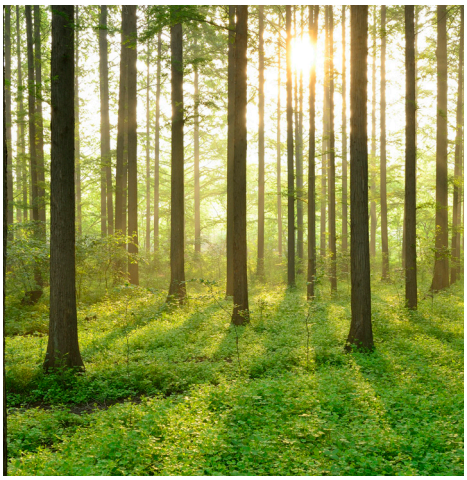
INNOVATIV TEKNIK FÖR KOMBINERAD FJÄRRKYLA OCH FJÄRRVÄRME

RAPPORT 2016:318





FJÄRRSYN





Energiforsk

Innovativ teknik för kombinerad fjärrkyla och fjärrvärme

Kundcentraler och distribution i fastigheten

SVEND FREDERIKSEN, JANUSZ WOLLERSTRAND,
ANDERS TVÄRNE OCH ANDERS RUBENHAG

ISBN 978-91-7673-318-9 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Rapporten belyser möjligheten att använda fjärrvärme och fjärrkyla i kombination istället för, som man gör idag, var för sig. Idag är installationen av dubbla system relativt kostsam för fastighetsägaren och gör många gånger att lokal kylproduktion installeras framför fjärrkylan i kommersiella fastigheter. För att kunna tillmötesgå kundens behov av billigare och enklare lösningar och samtidigt kunna erbjuda en lösning som kan ge ett ännu bättre inomhusklimat behöver en kombinerad anslutning utvecklas.

Ett mål med projektet har varit att ta fram nya kopplingsprinciper som möjliggör en framtida implementering kombinerade fjärrvärme och fjärrkyla lösningar. Resultatet pekar på att det finns en potential i Sverige för kombinerade lösningar vilket kan skapa nytta för branschen och minska miljöbelastningen från lokalt genererad värme och kyla.

Projektet har visat att det teoretiskt fungerar att ha anslutningar som samverkar med varandra för att få ett effektivare system. Rapporten visar även att inneklimatet kan förbättras genom att lösningen kan upprätthålla en stabilare luftfuktighet.

Projektet har genomförts av Svend Frederiksen, Janusz Wollerstrand, Anders Tvärne, och Anders Rubenhag. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och Svensk Fjärrvärme genom forskningsprogrammet Fjärrsyn.

Till projektet har en referensgrupp varit knuten bestående av Ordförande Per Rosén E.ON Värme AB, Patric Jönnervik Jönköping Energi AB, Lars Nordenhed Göteborg Energi AB, Christer Göransson Danfoss AB, Kjell Andersson Mälarenergi AB, Roger Belin Gävle Energi AB, Maria Karlsson Skövde Värmeverk AB, Tommy Persson ÅF AB Division Industry och Jan Baldefors Energiföretagen Sverige.

Jan Berglund
Ordförande för Svensk Fjärrvärmes teknikråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns programråd eller Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

Projektet går ut på att ta fram nya typer av kopplingsvarianter för kundcentraler som integrerar överförande av värme och kyla från fjärrvärme- och fjärrkylenät till fastigheter, att analysera dem termodynamiskt och att belysa dem ur tillämpnings-synpunkt. De nya kundcentralerna ska ha höga termiska prestanda (stort ΔT mm) och möjliggöra ett bra inneklimat.

Projektet har ingen geografisk begränsning. Men resultaten diskuteras särskilt ur perspektivet att de skall kunna utnyttjas av svensk fjärrvärmebransch för positionering i marknaden. Detta gäller inte minst i konkurrensen med bergvärmepumpar och annan geoenergi.

En omfattande genomgång av internationella, medicinska forskningsresultat pekar på att flera hygieniska och medicinska aspekter av värmning och kylning av byggnader har varit underskattade. Vi visar hur problemen kan bemästras och därmed vändas till en konkurrensfördel. Vi föreslår att Svensk Fjärrvärmes skilda tekniska bestämmelser för fjärrvärme och fjärrkyla i framtiden ersätts av ett gemensamt dokument, och vi lämnar bidrag till detta. Huvudresultatet har blivit fem varianter av nya kundcentraler. I de termodynamiska analyserna har vi använt Mollierdiagrammet i en utbyggd variant, vi själva har tagit fram.

Kundcentral 1: En ***sorptiv hybrid kundcentral***, varvid menas en central som har en värmedriven sorptiv rotor och kompletterande värmning och kylning i batterier. En sådan lösning medger ett högt ΔT på sommaren, även inom extremt fuktiga klimatiska regioner på jordklotet. Ur svensk synvinkel är den intressent då den kan utnyttjas för energisnål uppfuktning på vintern, så att man undviker långa perioder med mycket torr luft inomhus, inte minst i norra Sverige. En uppdaterad genomgång av den medicinska facklitteraturen dokumenterar att hälsoeffekterna av torr luft har undervärderats.

Kundcentral 2: En ***batterikombi med två batterier***, som båda fungerar som värmebatteri på vintern och som kylbatteri på sommaren. De är kopplade i serie varvid man bl.a. kan uppnå ett större ΔT både vinter och sommar. Antimikrobiell användning av UV-ljus kan förbättras.

Kundcentral 3: En kundcentral med ***selektiv recirkulation av returluft***. Recirkulationen regleras på så sätt att luften inomhus inte blir sämre, utan tvärtom. Recirkulationen används endast eller företrädesvis när det är mycket dålig luft utomhus, t ex vid atmosfärisk inversion på vintern, med hög koncentration av partiklar och NO_x , och vid hög koncentration av marknära ozon på sommaren.

Kundcentral 4: En kundcentral med utnyttjande av bl.a. ***högtemperaturkylning av ICT-utrustning***, t ex servrar och PC. En utvecklingslinje inom den snabba utvecklingen av ICT-hårdvara går mot vattenkylning av integrerade kretsar. Detta tillsammans med annan termisk utveckling medger kylning vid hög temperatur vilket kan utnyttjas både sommar- och vintertid, bl.a. för att uppnå ett högt ΔT. Delvis kan våra kopplingsvarianter även användas i system med konventionell kylning av ICT-utrustning.

Kundcentral 5: En kundcentral med ***pandemikoppling***: Risker med influensapandemier bedöms av myndigheter och sakkunniga vara det allvarligaste katastrofhotet under fredstid; det är möjligt att det till och med undervärderas. Viruset är känsligt för både temperatur och fukt. Kundcentralen utrustas därför således att man vid en pandemi kan uppvärma och uppfukta tillförd ventilationsluft kraftigt. Vi förutser att många läsare kommer att ifrågasätta vår analys och uppfatta det tekniska lösningsförslaget som orealistiskt. Därför lämnar vi detaljerad information om bedömningen av hotets allvar och annan baskunskap.

När det gäller kundcentral 1 indikeras att denna i jämförelse med en konventionell kundcentral kan medge en betydande höjning av fjärrkyle-returtemperaturen, t ex från dagens typiska designvärde på 16°C till 22-24°C, vilket är klart intressant. Vi har analyserat detta värde för både fastighetsägaren och energibolaget. Mest nytta har energibolag som genom detta kan använda mer frikyla. För fastighetsägarna behövs ett större incitament genom ett större inslag av flödesavgifter.

Vi har även studerat tekniken för sekvensstyrda styrventiler som ofta förekommer vid flödesreglering i fjärrkylecentraler. Man avser då att med två mindre ventiler åstadkomma samma flödeskarakteristik som en stor enskild styrventil hade haft. Vår forskning visar att så inte blir fallet när logaritmiska styrventiler används både i steg ett och steg två av sekvensstyrning. Vi visar att en linjär ventil bör användas i steg två. Regleralgoritmer som ger bättre lastföljsamhet vid stora dagliga variationer av kyllast har också undersökts.

Summary

The purpose of the project is to develop new types of connection schemes for energy transfer stations integrating heat and cold supply to buildings from district heating and cooling networks, and to analyze these transfer stations, both from a theoretical, thermodynamic point of view and in a practical context. The developed transfer stations are thus supposed to perform thermally in a superior manner in terms of a high delta T, and to provide an indoor climate of a high standard.

Although there are no geographical restrictions in the scope of the project, special attention is given to the aspect of providing Swedish district heating and cooling companies with tools that will strengthen their competitiveness in the energy market. In particular, this applies to the competition from ground source heat pumps and from other equipment utilizing the underground for thermal purposes.

As a result of the studies, it appears that the seriousness of a number of hygienic and medical aspects of building heating and cooling is currently being underrated. It is shown how these aspects can be dealt with in a way that will promote the competitiveness of the business. We propose that the separate district heating and cooling building installation guides currently being issued by the Swedish District Heating Association, be amalgamated into a common document.

The main result of the project is the development of five new types of connection schemes. In analyzing these schemes, extensive use is being made of the Mollier diagram for humid air, in an innovative form specially adapted for the present purpose.

Connection Scheme Type 1: A **sorptive, hybrid** energy transfer station by which is meant a transfer station comprising a rotor providing heat-driven dehumidification, in a combination with heating and cooling coils. It has been found that this kind of scheme is capable of providing a high cooling delta T in the summertime operation, even under climatic conditions of a highhigh outdoor air humidity. In a context of adaptation to typical Swedish climatic characteristics, there is the attractive capability of performing humidification during the winter season. By way of this, in particular the very dry outdoor air conditions prevailing in the northern part of the country during this part of the year can be mitigated to avoid prolonged periods of excessively dry indoor air. This kind of emphasis derives from an updated review of the medical scientific literature which provides documentation for the fact that such dry air is associated with significant adverse health effects.

Connection Scheme Type 2: A **double coil, dual-mode heating and cooling** energy transfer station functioning as heating coils during the winter and cooling coils during the summer. The two coils are connected in series which produces a high delta T, in both the winter and the summer operation modes. In addition, the solution promotes the possibility of providing efficient anti-microbial, ultra-violet irradiation.

Connection Scheme Type 3: An energy transfer station equipped with **selective return air re-circulation**. In the way the re-circulation is performed, it does not

result in a deteriorated indoor air quality, but the opposite, by functioning selectively on occasions of a particularly unhealthy outdoor air quality. Typically, in the winter season, such adverse conditions will be due to atmospheric thermal inversion causing high concentration levels of particulate matter and NOx. During the summer season, the adverse conditions will typically be manifested in the form of a high level of ozone air concentration.

Connection Scheme Type 4: An energy transfer station adapted to provide **high temperature cooling of ICT equipment**, e.g. a data server or PCs. A current trend in the fast ongoing development of ICT equipment is to provide water cooling of processors. In combination with other types of thermal development this provides opportunities for equipment cooling at relatively high temperature levels which can be capitalized on to achieve high delta Ts. In part, this kind of scheme can be combined with ICT equipment being cooling in a conventional manner.

Connection Scheme Type 5: An **anti-pandemic infection spread** energy transfer station. Currently, both public emergency authorities in various countries and experts maintain the assessment that the most serious kind of peace-time catastrophic threat to the general public is an influenza pandemic. The assessment may even underrate the seriousness of the threat. Interestingly, we have found evidence that the influenza virus is sensitive to high levels of both air temperature and humidity. This insight is being utilized to equip the energy transfer station with such controls that, during a pandemic, it will be possible to provide an indoor thermal environment of both high air temperature and high humidity. We anticipate that many readers of this report may be skeptical about our propositions. For the purpose of meeting this skepticism we provide detailed documentation.

Regarding Connection Scheme Type 1, we have found that it will be possible to raise a typical Swedish district cooling design return temperature of 16°C to 22-24°C, a gain which is certainly interesting. We have analyzed the potential value of this gain to both the building owner and to the energy company. Thereby it has been found that it will be most immediately beneficial to the energy company, for instance permitting an increased share of free cooling in the production mix. In order to enhance the incentive for the building owner to employ such a practice, it will be necessary the increase the amount of low flow premium in the subscriber taxation structure.

As a final theme of our investigation we have studied the technique of using control valves operating in a sequential manner, a most common solution in district cooling transfer stations. By adopting such an arrangement it is possible to achieve the same kind of operational characteristic that can be provided by a single, large control valve. Our research shows that this will not be the result in case of two logarithmic control valves operating as step one and two, respectively, in a sequential arrangement. Instead, it is shown that in the second step a linear valve should be used. In addition we have investigated the possibility of achieving a better cooling load match by adopting suitable control algorithms.

Executive Summary

Syftet med projektet är att ta fram, analysera och diskutera innovativa typer av kundcentraler för anslutning av byggnader till både fjärrvärme- och fjärrkylenät. Fokus ligger vid at skapa kopplingsvarianter som innebär:

1. Höga termiska prestanda
2. Bra termiskt inomhusklimat
3. Aspekter av bra hygienisk luftkvalitet inomhus
4. Värdekrav

Med (1) ”Höga termiska prestanda” menas bra temperaturprestanda och låga energi- och effektbehov. Vid fjärrvärmenslutningen eftersträvas i första hand en låg (utgående) returtemperatur (och därmed högt ΔT) och i andra hand möjligheten att åstadkomma full värmeleverans vid en låg (inkommande) framledningstemperatur. Vid fjärrkyleanslutningen eftersträvas i första hand en hög returtemperatur (och därmed högt ΔT) och i andra hand möjligheten att åstadkomma full kylleverans vid en hög framledningstemperatur. Anledningen till att tonvikten vid både fjärrvärme- och fjärrkyleanslutningen ligger vid returtemperaturen är, att det i ett befintligt nät är dessa temperaturer som kan påverkas vid val av kundcentral i en given fastighet.

Med höga termiska prestanda kan man undvika onödigt stora ledningsdimensioner och uppnå att produktionsanläggningarnas prestanda blir så bra som möjligt. En tredje vinst kan vara att andelen av förnyelsebar energi i produktionen kan maximeras. Både sakligt och imagemässigt är det för en fjärrkyleverksamhet attraktivt med speciellt en hög andel frikyla där denna finns tillgänglig. Om ett energiföretag på sin hemsida för resonemang om elverkningsgrader, totalverkningsgrader och COP-värden, är det endast en ganska begränsad andel läsare som kan ta till sig detta. Däremot förstår vem som helst poängen med att utnyttja ”gratis” kyla i havet, i en flod eller i en sjö.

Hur termiska prestanda för olika typer av anläggningar påverkas av ledningstemperatur är ganska välkänt, t ex att elproduktionen i ett ångkraftvärmeverk ökar om framledningstemperaturen sjunker. Då inverkan på kylproduktion är något mindre känt, har vi som ett exempel formulerat en enkel beräkningsmodell innefattande en produktionsanläggning med en kombination av frikyla och en kompressorkylmaskin. Här ser man hur mycket elförburkningen minskar, och hur mycket andelen frikyla ökar vid en höjning av returtemperaturen i kundcentralerna.

Ett (2) ”Bra termiskt inomhusklimat” har i Sverige traditionellt uppfattats som främst en komfortabel temperaturnivå. Vi har funnit att fukthalten måste beaktas mera än vad som är praxis i dag.

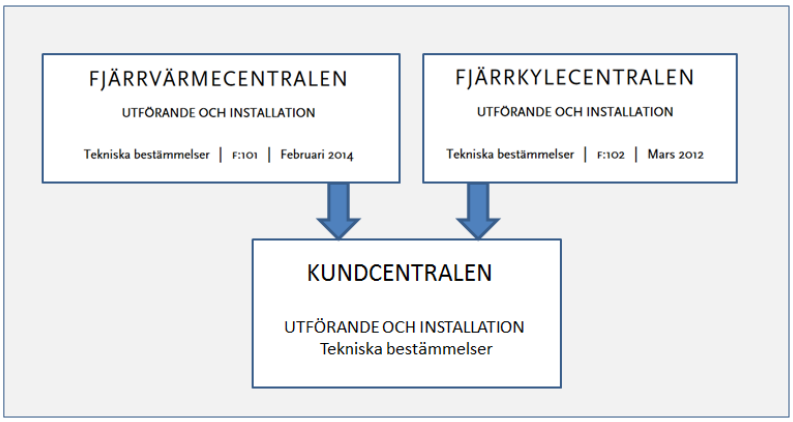
Delsyftet (3) ”Aspekter av bra hygienisk luftkvalitet inomhus” har tillkommit under projektets genomförande. Vi har granskat ett antal hygienfrågor med anknytning till kundcentralers termiska beteende och funnit att flera av dessa är undervärderade.

Delsyftet (4)" Värdekrav " kan för ett energiföretag delas in i 3 huvudtyper: Ekonomisk vinst, bättre image och ökat ansvarstagande. En annan uppdelning avser de krav som är specifika för de olika typerna intressenter.

Då rapporten är skriven på svenska och därmed primärt vänder sig till en svensk läsekrets, för vi ett mera ingående resonemang om värdekraven sett i ett nationellt svenskt perspektiv.

När det gäller värdet av en bättre inomhusmiljö har det stor betydelse vilka intressenterna är. Ett enkelt fall avser en situation då ett kontorsföretag äger en fastighet som förses med fjärrvärme och fjärrkyla. Om inomhusmiljön är bra kan det ge kontorsföretaget en ekonomisk vinst då sjukfrånvaron minskar, och risken att nyckelpersoner säger upp sig blir mindre. Denna vinst bör medföra att kontorsföretaget är berett att betala mer för fjärrvärmen och fjärrkylan (även om det nog sällan skulle vidkännas detta!). På det sättet kommer alla parter, inklusive energiföretaget, att dra nytta av den förbättrade inomhusmiljön.

Men om kontorsföretaget inte äger fastigheten, utan endast hyr in sig, blir det svårare att omsätta en bättre inomhusmiljö i ekonomiska möjligheter. De anställda kan visserligen inför sin arbetsgivare (kontorsföretaget) klaga på en dålig inomhusmiljö, men då detta företag inte äger fastigheten, kan det inte bestämma om tekniska återgärder, utan måste i sin tur förhandla med fastighetsägaren. Den mera komplicerade intressentstrukturen gör det svårare att skapa en "win-win-situation".



För svensk fjärrvärmebransch är det en ständig utmaning att man måste vara konkurrenskraftig gentemot s k geoenergi, t ex i form av en bergvärmeanläggning som kan leverera både värme och kyla, eller en anläggning med säsongslagring av både värme och kyla. Våra tekniska lösningar som integrerar överförande av fjärrvärme och fjärrkyla understödjer konkurrenskraften. En konkret aspekt av det integrerade synssättet är, at de tekniska lösningarna kan fungera som ett delunderlag vid utarbetande av framtida Tekniska Bestämmelser som är gemensamma för fjärrvärme och fjärrkyla. I dag har Svensk Fjärrvärme skilda bestämmelser för anslutning till fjärrvärme och fjärrkyla.

Frånsett den fördjupade diskussionen av värdekrav i en svensk kontext, finns ingen principiell geografisk begränsning i projektsyftet, även om svenska

förhållanden av naturliga skäl genomgående ägnas uppmärksamhet. Vi beaktar (särskilt i kundcentral variant 1 nedan) vitt skilda klimatiska förhållanden och utländsk praxis (inte minst amerikansk). Vi går igenom olika klassifikationer av klimat, men av utrymmesskäl snävas konkretseringen för de enskilda kundcentraltyperna in till några få exempel på klimat. En annan aspekt av det globala är att vi i stor utsträckning använt internationell facklitteratur inklusive patentdokument.

I slutet av denna executive summary redogör vi för 3 innovativa tekniker som har anknytning till både fjärrvärme och fjärrkyla i fastigheter. Arbetets huvudresultat är 5 nya typer av kundcentraler med ett antal undervarianter av dessa:

- Kundcentral 1: Sorptiv hybrid kundcentral
- Kundcentral 2: Batterikombi med värmeväxling i två steg
- Kundcentral 3: Kundcentral med selektiv recirkulation av returluft
- Kundcentral 4: Kundcentral med utnyttjande av högtemperaturkylning av ICT-utrustning
- Kundcentral 5: Kundcentral med pandemikoppling

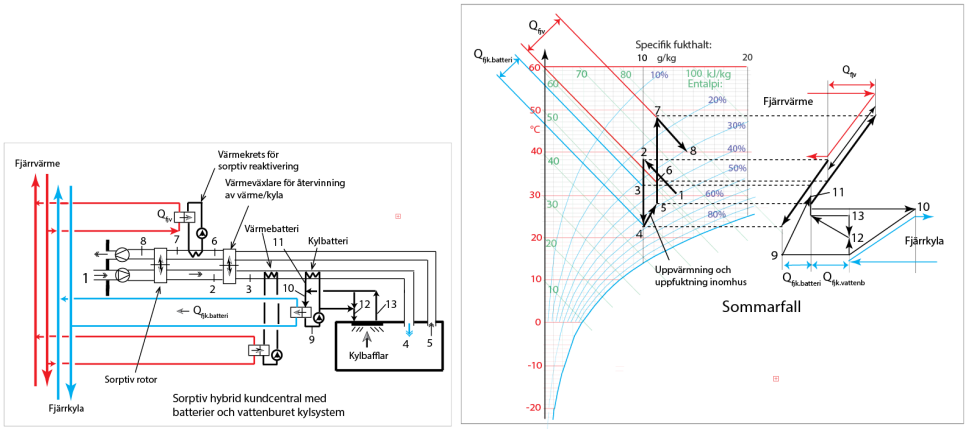
Returtemperaturen från den sorptiva hybriden öppnar potentialen att fjärrkylereturen kan ökas från dagens designdata på 16 till 22°C. Nyttan för kunden i rent ekonomiska termer, jämfört med konventionell fjärrkylelösning är något begränsad. Här behöver incitamentet ges med nya prismodeller där flödesavgiften har en större inverkan än dagens modeller. Nyttan för leverantören är betingad av hur de lokala förutsättningarna är för frikyla. Sammanfattningsvis så kan sägas att leverantören har ett klart ekonomiskt intresse av tekniken då mer frikyla kan tillföras systemet. Den ekonomiska nyttan är helt beroende på hur de lokala förutsättningarna är för tillgången på frikyla. Här krävs detaljerad information av temperaturvariationer, vattenströmmar och vattenvolymer.

Utöver de rent ekonomiska aspekterna med utnyttjande av bl. a. sorptiva tekniker så finns stora kundnyttigheter med den hygieniska aspekten. Obehag i form av luftfuktighetens inverkan kan reduceras. Möjlighet till uppfuktning under vintertid och att kunna avfukta under sommartid är en möjlighet som öppnas upp med sorptiva varianter av hybridlösningar. Att kvantifiera dessa komfortförbättringar i monetära värdringsmodeller är av komplex natur.

Kundcentral 1: ***Sorptiv hybrid kundcentral***

Denna typ av kundcentral bygger i likhet med den välkända typen av kundcentral för sorptiv kyla på att en sorptiv rotor tar upp fukt som sedan drivs ut med tillförd fjärrvärmeenergi. En skillnad är, att det i hybriden dessutom kyls med fjärrkyla.

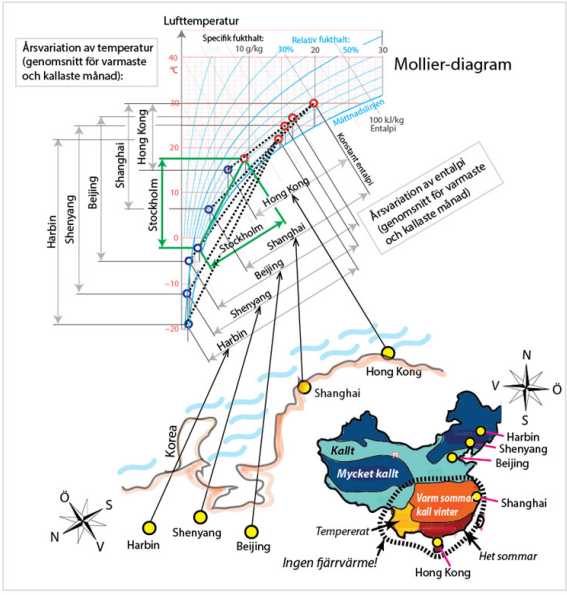
En annan skillnad är att man i grundvarianten av hybriden inte har någon tillförsel av vatten medan det som bekant tillförs vatten som evaporativ kyla, både i tilluft och i frånluft i den vanliga sorptiva kylningen. Lägg således märke till, att i Mollierdiagrammet sker alla tillståndsförändringar ovanför mättnadslinjen. Detta är en fördel ur hygienisk synpunkt, även i jämförelse med vanlig kylning i ett kylbatteri, där det normalt sker en viss utfällning av vatten.



Då det i den sorptiva hybridcentralen handlar om fuktig luft måste man vid grafiska presentationer av kundcentralens funktion använda Mollierdiagram. Vi har kombinerat detta med ett temperatur-effektdiagram och demonstrerar att detta gör presentationerna än mer upplysande. Vi är dock medvetna om att en betydande del av denna rapports läsare kommer att vara praktiker som inte har arbetat med Mollierdiagrammet under många år; därför redovisar vi som bakgrundsinformation en genomgång av Mollierdiagrammets uppbyggnad.

Figuren till vänster visar en variant med en kombination av ett ventilationssystem och vattenburen kyla. För enkelhetens skull har tappvarmvatten inte medtagits (andra separata varianter med tappvarmvatten har undersökts).

Inom geografiska områden med mycket varma och fuktiga somrar fungerar den vanliga typen av sorptiv kyla dåligt. Som vi visar, kan den sorptiva hybriden däremot fungera utmärkt under sådana förhållanden. Vi visar dessutom att hybriden kommer att fungera långt bättre än en enkel, konventionell lösning, sannolikt med en uppvärmning av fjärrkylevatten som typiskt kan vara storleksordningen dubbelt så stor.

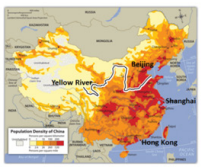


Klimatets variation under året utmed Kinas ostkust



Monsunvindar

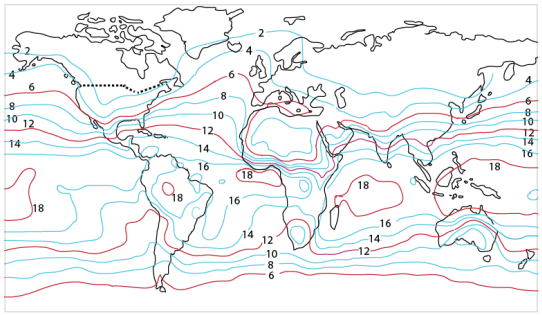


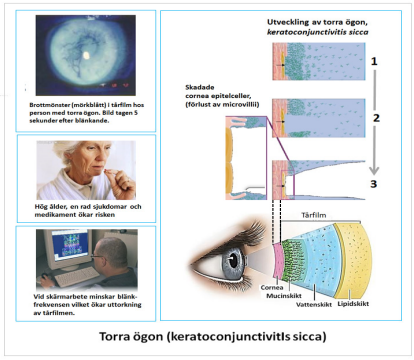


Gula Flodens Lag:
Det sägs att Ordförande Mao förbjöd all byggnadsvärmning söder om Gula Floden

Det finns ingen tvekan att den globala energiförbrukningen för komfortkyla kommer att öka mycket kraftigt under kommande decennier, inte minst i Sydostasien. Den sorptiva hybriden kan totalt sett visserligen knappast möjliggöra stora besparingar, men t ex vid exploatering av områden för ny bebyggelse i Kina borde den kunna bli ett effektivt verktyg för energihushållning. Kombinationen av fjärrvärme- och fjärrkyla stämmer idealiskt med det förhållande att klimatet längs nästan hela Kinas ostkust är kännetecknat av stora skillnader i både temperatur och fukthalt mellan sommar och vinter.

En specialvariant av den sorptiva hybriden bygger på att både fjärrvärme- och fjärrkylenätet är ettrörsystem, vilket förbilligar dessa. Fluiden i fjärrvärmenätet kan t ex vara geotermiskt vatten, och fluiden i fjärrkylenätet havsvatten. I det fallet är det frågan om en nästan 100% förnyelsebar energiproduktion.


Medelvärde av specifik luftfuktighet (g/kg) under januari



Torra ögon (keratoconjunctivitis sicca)

I en global jämförelse är vintrarna i norra Sverige synnerligen kalla och torra. Således kan den relativa fukthalten inomhus t o m understiga 10%, motsvarande det som råder i flygplan. Detta är välkänt, men hittills har svenska myndigheter avrått från uppfuktning, av tre skäl: 1) Det har inte ansetts vara säkert att torr luft i sig utgör ett medicinskt problem, utan det kan vara en kombination med

föroreningar i luften, och då bör man i första hand eliminera dessa om det är möjligt. 2) Uppfuktning kan i sig medföra medicinska problem. 3) Uppfuktning är förknippad med en betydande energiförbrukning.

Vår forskning visar nu: 1) Denna bedömning vilar på föråldrad vetenskaplig litteratur. Särskilt när det gäller torra ögon är dokumentationen i dag väl underbyggd.

2) Den sorptiva hybriden kan – i motsats till konventionella lösningar med kylbatteri – arbeta utan fuktkondensering och helt utan vatten i vätskeform, vilket minskar risken för mikrobiell tillväxt. 3) Med fuktåtervinning på vintern kan energiförbrukningen reduceras avsevärt.

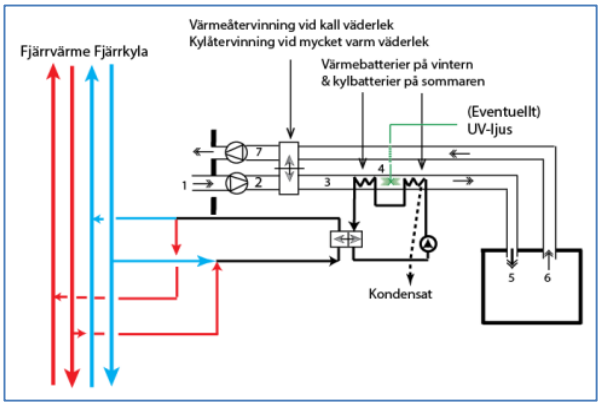
Somrarna i Sverige är, jämfört med andra regioner, ganska torra (i betydelsen låg daggpunkt och liten specifik fukthalt). Det finns dock anledning att ompröva praxis när det gäller dimensionerande utelufttillstånd sommartid, bl.a. med hänsyn till antagen fukthalt. Detta gynnar den sorptiva, hybrida kundcentralen.

Kundcentral 2: ***Batterikombi med värmeväxling i två steg***

Det är känt att man i stället för separata värme- och kylbatterier kan ha ett enda batteri som fungerar som värmebatteri på vintern och som kylbatteri på sommaren, vilket man åstadkommer med omkopplingsventiler. Systemet kallas ofta ”batterikombi”. Man uppnår med detta ett bättre utnyttjande av den totala värmeöverföringsytan då ingen värmeöverföringsyta är outnyttjad vare sig vinter- eller sommartid. Man kan även kalla det ”switch-over-funktion”.

Detta bättra utnyttjande innebär, dels en möjlighet att reducera investeringskostnaden, dels att tryckfallet på luftsidan kan reduceras, dels att värmeväxlingen kan göras mera kompakt, dels (för given total värmeöverföringsyta) att fjärrvärme-returtemperaturen kan bli lägre och att fjärrkyle-returtemperaturen kan bli högre. Ytterligare en fördel är att UV-ljus har lättare att komma åt alla ytor, varvid den hygieniska kvaliteten på luften blir bättre.

Omkopplingen ställer dock betydande krav på regleringen: Om den maximala kyleffekten inte är liten jämförbart med maximala värmeeffekten, kan det maximala fjärrkyleflödet (primärsidan) bli större än det maximala fjärrvärmeflödet. Detta innebär att den gemensamma styrventilen måste kunna hantera ett stort reglerområde. Bl.a. av den anledningen har vi studerat styrventilarrangemang. Det ställs även kvalificerade krav på omkopplingsventilerna om batterikombien ska kunna fungera tillförlitligt.





Vår nya lösning har i likhet med en konventionell central två batterier, men de har båda switch-over-funktion och är seriekopplade på både vatten- och luftsidan. Med detta arrangemang kan man utnyttja den totala värmeöverföringsytan ännu bättre än med den enkla batterikopplingen:

Med två seriekopplade värmeväxlare blir värmeväxlingsarrangemanget mera likt perfekt motströmskoppling, vilket för given total värmeväxlaryta och oförändrad inkommande vattentemperatur medför större uppvärmning (kylfallet) och större avkylning (värmefallet). Dessutom kan de båda batterierna optimeras i kylfallet på så sätt att det ena batteriet anpassas för både kylning och fuktkondensation, och det andra för luftkylning utan kondensation. Det enklaste sättet att göra detta är ha mindre lamelldelning i det sistnämnda batteriet där man inte måste lämna plats åt kondensering och bortförsel av kondensvatten.

På senare år har flera tillverkare, bl.a. baserat på nanoteknik, lanserat kylbatterier där man på luftsidan har en ytbeläggning som är hydrofob eller hydrofil, i syfte att accelerera kondensationen och bortskaffandet av kondensatet. I vår tvåstegslösning kan man reservera detta för kondensationsväxlaren, vilket innebär en kostnadsbesparing. Bilden till höger visar två ytor, den högra med hydrofobt ytskikt, den vänstra utan.

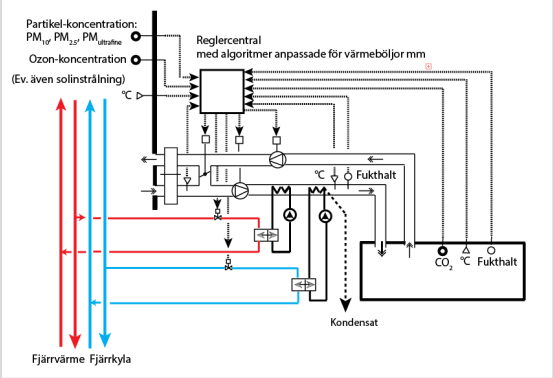
Kundcentral 3: ***Kundcentral med selektiv recirkulation av returluft***

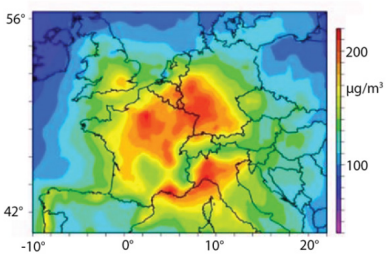
I länder med ett stort kylbehov på sommaren är det vanligt med recirkulation av returluft då det möjliggör tillförsel av en stor kyleffekt i ventilationssystemet.

Det råder i Sverige en stor skepsis mot recirkulation av returluft, även om metoden inte är förbjuden. Recirkulation blev vanlig efter de båda energikriserna på 1970-talet, som en av många energisparåtgärder, även om det ledde till sämre inomhusluft. Sedan övergav man i allmänhet recirkulation.

Den typ av recirkulation vi vill åstadkomma med den nya typen av kundcentral innebär inte att man accepterar sämre luft inomhus, utan tvärtom. Recirkulationen skall endast (eller huvudsakligen) tillgripas när luftkvaliteten är sämre utomhus än inomhus, eller lufttemperaturen och/eller fukthalten är väsentligt högre utomhus. Det finns framförallt tre lägen då detta kan vara fallet: Det första är ett vinterfall med atmosfärisk inversion som ofta leder till hög partikelhalt (och eventuellt hög NO_x-halt). Det andra är ett fall med hög halt av marknära ozon. Då höga lufttemperaturer gynnar bildandet av marknära ozon, är det företrädesvis ett

sommarfall. Recirkulation kan då ha det dubbla syftet att bidra till att undvika både hög ozonhalt och hög lufttemperatur/fukthalt inomhus (det tredje fallet). Figuren till höger visar extremt hög halt av marknära ozon under den stora europeiska värmeböljan 2003.





Problem med att säkra tillräckligt låg inomhustemperatur är särskilt påträngande vid värmeböljor. Det finns olika definitioner av begreppet värmeböljor. Sveriges Metereologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) använder följande: ”En värmbölja är en sammanhängande period då dygnets högsta temperatur överstiger 25°C minst fem dagar i sträck.” Då även fukthalten är av stor betydelse för den fysiologiska belastningen vid hög lufttemperatur, är det sannolikt att fukthalten kommer att ingå i en framtida definition.

År 2003 inträffande i Europa en extremt svår värmebölja som medförde kring 70 000 dödsfall i framförallt Frankrike och Italien, men även i t.ex. Holland och Belgien och i delar av Spanien, England och Tyskland. Denna incident ledde till att man i alla dessa länder införde varselsystem och beredskapsplaner vid värmeböljor. Motsvarende tillkom sedan även i Sverige. Bl.a. en epidemiologisk undersökning avseende Stockholm har visat att även relativt lindriga värmeböljor leder till statistiskt signifikant överdödlighet.

Vår kundcentrallösning bygger på kontinuerlig mätning av temperatur och daggpunkt både utomhus och inomhus, jämte partikelkoncentration (t ex PM_{10}) och ozonkoncentration utomhus samt CO_2-koncentration inomhus. Mätsignalerna matas in i en fastighetsanknuten dator. I denna finns olika kriterier och styralgoritmer för spjäll inprogrammerade. Kriterierna basera på hur värden av de olika parametrarna för inomhusluften ska viktas mot varandra. Regleringen kan vara automatisk, med en möjlighet för bemyndigade personer att göra manuella ingrepp, t ex så att man vid varsel om en svår värmebölja inte inväntar denna, utan drar ner innetemperaturen i god tid.

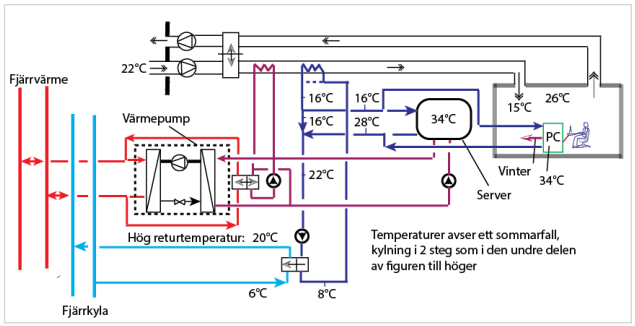
Kundcentral 4: ***Kundcentral med utnyttjande av bl.a. högtemperaturkylning av ICT-utrustning***

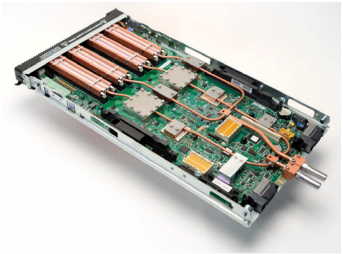
Utnyttjande av bortförsel av värme från datorer med hjälp av fjärrkyla eller i form av uppgraderat värme (med värmepump) till fjärrvärmenät har på senare år växt kraftigt, inte minst i Stockholm, men även i andra städer i Sverige och utomlands. Ett exempel är anläggningen ”Pionen” där ett gammalt bergrum på Södermalm utnyttjats av internetföretaget Bahnhof för placering av en servarhall.

En annan variant är att placera en dataanläggning, t ex en server, nära havet där kallt djupvatten finns tillgängligt på nära håll. Ett exempel på detta är Googles serveranläggning i Hamina öster om Helsingfors. De båda nämnda och ett flertal andra stora företag som driver kraftfulla ICT-anläggningar, framhåller sådana energisnåla lösningar som ett viktigt led i en grön profil.

När det gäller själva ICT-hårdvaran pågår det en utveckling mot allt högre tillåtna driftstemperaturer som öppnar möjligheter till attraktiva termiska systemlösningar, bl.a. i kundcentraler för fjärrvärme och fjärrkyla.

Den bekanta Moore´s lagen har innebörden att den snabba utvecklingen i datorers kapacitet under flera decennier har följt det sambandet att antalet transistorer eller andra logiska element i en integrerad krets fördubblas varje 18 månader. Det finns många kandidater till helt ny teknik som skulle kunna möjliggöra att lagen kan hålla ytterligare ett par decennier, bl.a. nanoteknologi baserad på s k grafener.





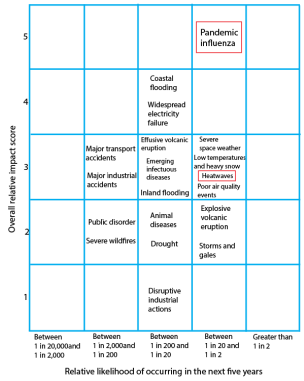
En kritisk faktor är värmeutvecklingen per ytenhet som ökar kraftigt. Det pågår bl.a. forskning som går ut på att kyla en integrerad krets med hjälp vatten i extremt tunna kanaler; vatten har som bekant en hög specifik värmekapacitet. En sådan teknologi har använts i en tysk universitetsdator som är en av världens mest kraftfulla. Tack vara den effektiva värmetransporten kan man tillåta en hög temperatur i de integrerade kretsarna, s.k. ”högtemperaturkylning”, vilket möjliggjort att det värme som datorn generar kan utnyttjas för byggnadsuppvärmning. De kopparfärgade rören i elementet i figuren ovan till höger leder vatten.

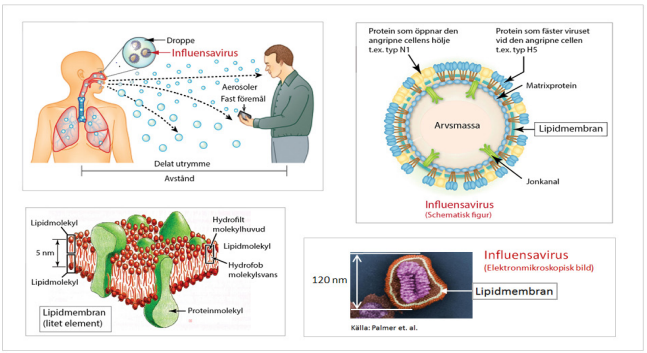
I händelse av en byggnad som är ansluten till ett fjärrvärmenät kunde man föreställa sig att datorvärme lämnats till detta på motsvarande sätt utan en mellanliggande värmepump. Så långt har högtemperaturtekniken för datorer inte hunnit än.

Vi visar ett flertal kopplingsvarianter för kundcentraler där man utnyttjar högtemperaturkylning av ICT-utrustning. Ett exempel är en kopplingsvariant där datorvärmet från en central server i en byggnad på sommaren kyls bort med fjärrkyla med en så pass hög returtemperatur som t ex 20°C. På vintern används värmet i första hand för att värme tilluften i ett ventilationssystem, och i andra hand som (parallellkopplat) värme som tillförs ett fjärrvärmenät via temperaturuppgradering i en värmepump (”prosumer-funktion”).

Kundcentral 5: ***Kundcentral med pandemikoppling***

I Sverige publicerar Myndigheten för samhällsskydd årligen bedömningar av hur pass allvarliga olika typer av potentiella katastrofala händelser under fredstid är. Graden av allvarlighet baseras på antalet dödsfall och tidshorisonten. I andra länder finns motsvarande myndigheter och bedömningar. De olika nationella myndigheterna är överens om att den potentiellt allvarligaste händelsen är en influensapandemi, mycket allvarligare än alla andra händelser. Se den vänstra figuren nedan. Den officiella svenska bedömningen av det sannolika antalet dödsfall vid en svår pandemi ligger i storleksordningen 10 000, vilket är en proportionellt mycket låg siffra, t ex jämfört med de engelska och amerikanska myndigheternas bedömningar.





Vi har genomfört en granskning av en del av den internationella medicinska facklitteraturen i ämnet. Bl.a. genom att studera hur olika forskare citeras, har vi försökt säkra oss att det bland de arbeten vi bygger våra bedömningar på finns sådana som författats av de absolut ledande specialisterna på pandemier. Vi har även tagit del av kvalificerade bedömningar från andra utgångspunkter, t ex de som används av försäkringsbolag.

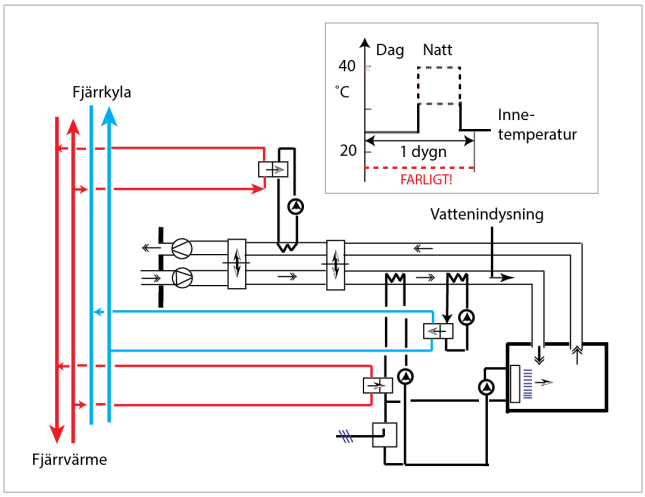
De olika specialisterna kommer fram till vitt skilda bedömningar av det potentiella antalet dödsfall. Tyngdpunkten ligger dock i samma storleksordning som vid Spanska sjukan 1918-20, 3 - 6% procent av den globala befolkningen. Proportionellt sett innebär detta för Sveriges del 300 000 till 600 000 dödsfall. Under Spanska sjukan dog i Sverige 37 000, vilket med hänsyn till befolkningsökningen motsvarar 60 000 i dag.

Mot ett skräckscenario kan man invända, att behandlingsmöjligheterna är mycket bättre idag, och att man idag kan vaccinera. Tyvärr finns det även argument som går i motsatt riktning, bl.a. att antalet smittotillfällen i dag är långt större p g a ett mångdubbelt resande. Influensavirus muterar (i motsats till t ex Ebolavirus) snabbt, och olika virusvarianter byter gener, så att ett harmlöst virus i ”nästa generation” kan bli mycket smittsamt och ha hög dödlighet.

Vilken relevans har pandemihotet för fjärrvärme- och fjärrkyletekniken?

Se den sammansatta figuren ovan till höger. Det finns en relativt entydig dokumentation av att influensavirusets möjligheter att överleva och spridas inomhus minskar avsevärt med högre lufttemperatur och högre luftfuktighet. En

av mekanismerna är att det skyddande lipidmembran som viruset har, mjukas upp. En annan mekanism är att viruspartiklar vid hög fukthalt bindas vid varandra och då inte håller sig svävande lika länge i luften, utan sjunker snabbare mot golvet. Figuren uppe längst till höger I den sammansatta figuren är en schematisk ritning av ett virus. Snett nere till vänster ser man en uppförstoring av en del av lipidmembranet.



Mot bakgrund av detta föreslår vi en typ av kundcentral med en reglering som bl.a. innebär att man på arbetsplatser i händelse av en svår pandemi nattetid avsevärt höjer både fukthalten och temperaturen, t ex till 30°C eller högre, och att man för att kunna åstadkomma detta även vid en låg utomhustemperatur har ett kraftigt elvärmebatteri som kan värma tilluften i ett ventilationssystem. Dessutom kan det tillföras vatten för att öka fukthalten Detta kan verka drastiskt, men en allvarlig pandemi är ett katastrofläge i vilket den omdelbara komfortupplevelsen kan få vika. Ett alternativ är: Undvik energisparande och håll behaglig temperatur 23°C och 50% RF dygnet runt, för att åtminstone inte aktivt gynna viruset!

Vi förutser att många läsare kommer att ifrågasätta vår analys och uppfatta det tekniska lösningsförslaget som orealistiskt. Därför lämnar vi detaljerad information om bedömningen av hotets allvar och den vetenskapliga grunden för effekter av temperatur och fukthalt. Wikipedia ger en bra introduktion. Man kan t.ex. göra uppslag på: ”Pandemic”, ”1918 flu pandemic” och ”Influenza A virus subtype H5N1”.

Vi uppmanar även den svenska fjärrvärmebranschen att ta fasta på denna fråga. Till en början kunde man initiera en ingående studie av pandemifrågan och dess relevans för fjärrvärme och fjärrkyla, ungefär som man på sin tid gjorde när risker med Legionella dök upp. Även om Legionella inte är specifik för fjärrvärme, tog man efter ett tag på sig ett ansvar och visade därmed framsynthet.

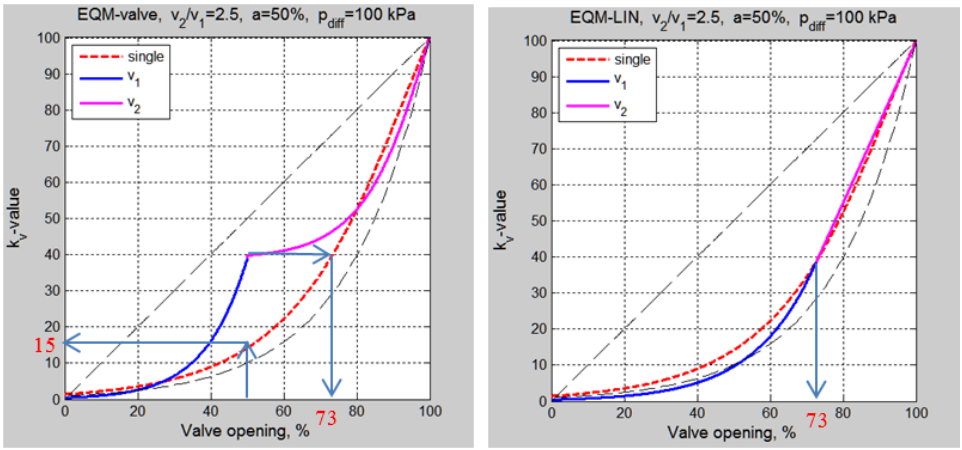
Såsom utlovades i sammanfattningens inledning kommer nu kortfattade redogörelser för 3 innovativa tekniker som har anknytning till både fjärrvärme och fjärrkyla i fastigheter.

Teknik 1: ***Styrventiler***

I fjärrvärmesystem, vid reglering av stora flöden, brukar man använda parallell-kopplade sekvensstyrda styrventiler. Detta är nästan en regel i fjärrkylesystem då flöden är alltid större än i fjärrvärmesystem vid samma effekt, p g a lägre ΔT. För att möta problematik beroende på varierande differenstryck och ventilauktoritet samt eventuell olinjäritet hos värmeväxlare/värmebatterier använder man styrventiler med logaritmisk flödeskarakteristik.

Vid parallellkoppling avser man att åstadkomma samma flödeskarakteristik som en stor enskild styrventil hade haft. Vår forskning visar att så inte blir fallet när logaritmiska styrventiler används både i steg ett och steg två av sekvensstyrning, se den vänstra bilden i figur nedan. Den logaritmiska flödeskarakteristikan är nästan linjär på slutet och därför ska en linjär ventil användas i steg två om man vill undvika att en stor olinjär ”skarv” uppstår. Dessutom är en linjär ventil enklare att tillverka med ett bra reglerförhållande, vilket bidrar till att ojämnheten i ”skarven” blir liten.

En annan brist i konventionell sekvensstyrning av flöde är att styrsignalen från regulatorn fördelas rutinmässigt 50%/50% mellan styrventill ett och två vid ventilernas rekommenderade storleksförhållande 1:2,5 . Jämför man med en enskild ventils logaritiska flödeskarakteristik så borde två ventiler ha ett storleksförhållande c:a 1:6. Alternativt bör man fördela styrsignalen c:a 70%/30% istället, se den högra bilden.



Olika konfigurationer är möjliga, beroende på förutsättningarna. T ex kan två lika stora ventiler sekvensstyras om man fördelar styrsignalen 85%/15%. Har man en styrventil som är tillräckligt stor allmänt men har svårt att styra vid små last-variationer kan den kompletteras med en liten parallellkopplad styrventil som tar hand om detta medan den stora ventilen tar hand om ”baslasten”. Tillvägagångssättet kallas ”Mid-range reglering”.

Syftet med ovannämnda åtgärder är att ge stabil flödes- och lastreglering inom hela arbetsområdet och därmed undvika negativa konsekvenser som ventilsvängningar kan ge i ett termohydrauliskt system. Vi har även undersökt kompletterande regleralgoritmer som ger bättre lastföljsamhet vid stora variationer

av kyllast, s k framkoppling, och kartlagt de förekommande typer av differenstryckkompenserade styrventiler, s k PICV.

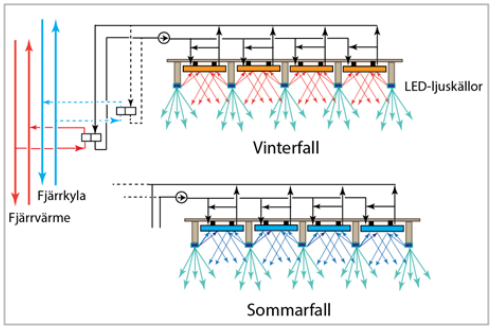
Teknik 2: ***Lagring av värme och kyla i byggnadsstomme***

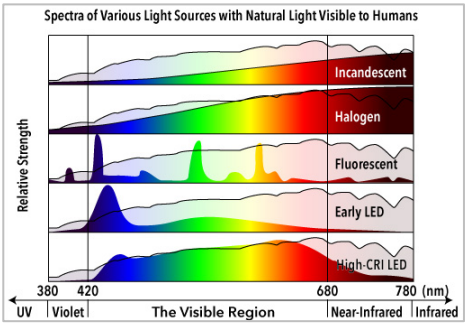
Lagring av värme eller kyla i en byggnad med tung stomme ger lägre och mindre varierande effektbehov, ett mer komfortabelt inomhusklimat, minskad sårbarhet och lägre energiförbrukning. Det är viktigt att hitta en bättre balans mellan nyttan att göra energibesparingar och fördelarna av att effektivisera kapacitetsbehovet. De allra flesta byggnader i de nordiska länderna är värme-och kyl-tröga till sin natur, vilket innebär att stommen har en självreglerande förmåga att hålla rätt temperatur. Detta utnyttjas endast i mycket begränsad utsträckning idag. Ett exempel är NODA Intelligent Systems Smart Heat Grid som gör det möjligt att interaktivt nyttja potentialen i enskilda byggnader.

Med kännedom om vilka byggnader kan låna ut värme kan man på ett kontrollerat sätt skjuta upp effektuttag med flera timmar både lokalt och i ett helt fjärrvärmenät. Det smarta styrsystemet avgör själv var det är lämpligt att låna effekt och ser till att lån ”lämnas tillbaka” i tid.

Något som skulle vara intressant att studera närmare i framtiden är hur liknande system för kyla skulle kunna fungera.

Teknik 3: ***”Kameleont-element”***





Denna lösning kan för en tekniskt orienterad läsare framstå som lite kuriös, men intentionen är seriös. Vi har i ett tidigare arbete (1) redovisat termodynamiska fördelar med kundcentraler med rumselement som kan fungera som värmeelement på vinterns och som kylelement på sommaren. En idé var att förse ett sådant element med ett skikt som kan skifta färg, så att det är ”mysigt” rödvarmt på vintern och ”svalkande” blått på sommaren. Man spelar då på en psykologisk effekt som kan tänkas förstärka dem upplevelse av den komfort, som den objektiva värmningen respektive kylningen åstadkommer.

En möjlighet är att använda s k termokromatiska målarfärg vars emissionsspektrum varierar med temperaturen. En annan möjlighet är att utnyttja modern LED-tekniken som medger vida variationer i lampors emissionsspektrum som visat i figurerna ovan.

Innehåll

1 Inledning 29

1.1 Projektbakgrund 29

1.2 Kunskapsläget från tidigare FoU kombinerad FV-FK 30

1.3 Projektupplägg 31

1.4 Samspel leverantör- kund 32

2 Omvärldsfaktorer 33

2.1 Generella förutsättningar 33

2.2 Minska effektbehov-belastningstoppar 34

2.2.1 Övergripande beskrivning av dagens distributionssystem i fastigheter 34

2.2.2 Jämförelse mellan ett VAV och CAV 37

2.2.3 Multifunktionssystem 37

2.3 Typiska exempel på dagens styr- och reglersystem 37

2.4 Ett bra inomhusklimat 39

2.5 Tvåvägsutbyte mellan leverantör – användare 40

2.6 Smart Heat Grid 40

2.6.1 Inverkan av installation och drift 40

2.6.2 Energi- och effektbehov 41

2.7 Användning av resultaten 41

2.8 Industrirelevans 42

2.9 Erfarenheter från plenarmöte 43

2.10 Kriterier för val av tekniklösningar 44

2.11 Omvärldsanalys – innovativ aktivitet 45

2.12 Rapportuppbyggnad 46

DEL A - Teknikrapport 48

3 Valda tekniklösningar och baskunskap 49

4 Sorptiva kundcentraler 51

4.1 Grundkoncept - Sorptiva kopplingsvarianter 51

4.1.1 Penningtoncykeln och dess många varianter 51

4.1.2 Fjärrkylecentraler baserade på olika absorptiva och adsorptiva processer 51

4.2 Sorptiva, hybrida kundcentraler 53

4.2.1 Mollierdiagrammet och sorptiv teknik för byggnadskyla i allmänhet 53

4.2.2 Konventionella kundcentraler med värme- och kylbatterier 66

4.2.3 Sorptiv, hybrid kundcentral för fjärrvärme och fjärrkyla 71

4.2.4 Utnyttjande av solenergi i samband med generering av kyla 97

4.3 Värdet av termodynamiskt effektiva kundcentraler 101

5 Batterilösningar 111

5.1 Inledning 111
5.2 Kylbatterier och innovativ Batterikombination 111
5.2.1 Kylbatteriers konfiguration 111
5.2.2 Kondensering i kylbatterier 116
5.2.3 Innovativ Batterikombi 119
6 Ventillösningar 120
6.1 Bakgrund 120
6.1.1 Styrning av flöde då två parallella styrventiler används för reglering. 120
6.1.2 Ventilkarakteristikor 121
6.1.3 Sammanlagda flödeskarakteristikor vid parallellkopplade styrventiler 123
6.1.4 Modifierad sekventiell styrning 127
6.1.5 Val av ventilernas storlek – k_{vs} 130
6.1.6 Slutsatser – sekventiell styrning 131
6.1.7 Alternativ reglerstrategi – Mid-range styrning 131
6.1.8 Nyttan med stabil reglering 132
6.1.9 Val av styrventilens flödeskarakteristik utifrån resultat av dynamisk simulering 133
6.2 Förbättrad reglering med hjälp av framkoppling mm 141
6.2.1 Problemställning 141
6.2.2 Lösningar för förslag till bättrad reglering 141
6.2.3 Diskussion och slutsatser 148
6.3 PICV (Pressure Independent Control Valve) 151
6.3.1 Inledning 151
6.3.2 Olika typer av PICV 151
6.3.3 Konkreta nyttan med PICV 158
7 Innovativa lösningar i fastighetssystem 160
7.1 Fastighetssystem 160
7.1.1 Ventilation - val mellan CAV eller VAV 160
7.1.2 Luftbehandlingsaggregat samt återvinning 162
7.1.3 Vattenbaserade värme- och kylsystem 167
7.1.4 Fläktkonvektorer, bafflar och fläktradiatorer 167
7.1.5 Golvvärme och golvkyla 170
7.1.6 Väggkyla 172
7.1.7 Takkyla och takvärme 173
7.1.8 Shuntgrupper för omkoppling värme – kyla 174
7.1.9 Styra och avgränsa behov 175
7.2 Kameleontradiatorer 175
8 Återcirkulation av frånluft 180
8.1 Resurshushållning med återcirkulation 180
8.2 Hygienkrav och arbetsmiljökrav 181

8.3 Lagar och regler angående ventilation och luftkvalité 181
8.4 Minskning av exponeringen mot marknära ozon 182
8.5 Exempel på effektivisering 183
8.6 Dags att ompröva den skeptiska inställningen till cirkulation av återluft? 185
8.7 Minska kapacitets- och energibehov 186
8.8 Innovativ lösning – Selektiv recirkulation av returluft 187

9 Kyldistribution inomhus för ict-teknik 190
9.1 Kundcetraler med datorer och annan ICT-teknik 190
9.2 Personliga komfortsystem 213

10 Pandemikoppling 218
10.1 Bakgrund och möjligheter 218
10.2 Innovativ lösning 219

11 Prosumers - Smart Grid 222
11.1 Inledning 222
11.2 Nuläge 223
11.3 Hur fungerar det 224
11.4 Inverkan av installation och drift 224
11.5 Energi- och effektbehov 224
11.6 Konventionella styr- och reglersystem 225
11.7 Olika tillämpningsområden 226
11.8 Optimerad kraftvärme 226
11.9 Minskad spetslast ger minskade produktionskostnader 226
11.10 Behovsbalansering 227
11.11 Kommersiella tillvägagångssätt – samverkan mellan leverantör och kund 227
11.12 Exempel: System för värmelagring i byggnader 228
11.13 Exempel: Intresse för ett mer integrerat energisystem 229
11.13.1 Öppen fjärrvärme 229
11.13.2 EON i Malmö 230
11.14 Förändrade affärsmodeller 230
11.15 Intressanta frågeställningar för framtiden 231
11.16 Synergin med säsongslagring 232

12 Exempel av innovativa distributionslösningar 243
12.1 Mix av produktion vid fjärrkyla 243
12.2 Distribuerade kyllösningar 244
12.3 Indirekt eller direkt anslutning 246
12.4 Tre-rörs distributionsteknik med gemensam returledning 246

13 Lösningar med synergier till annan tillförsel 248

14 Värdeskapande 260
14.1 Inledning och förutsättningar 260
14.2 Klimatologiska förutsättningar 262
14.3 Årstidsvariationen 263

14.4 Stora variationer av utomhustemperatur och luftfuktighet 265
14.5 Kylenergibehov under året 269
14.6 Värdering kundnytta 271
14.6.1 Val av en typkund och kostnadsbild 271
14.6.2 Exempel med en prismodell för fjärrkyla 272
14.7 Nyttan för energileverantören 275
14.8 Synergier med affären fjärrvärme 283
14.8.1 Indata 285
14.8.2 Kalkylförutsättningar 286
14.8.3 Marginalvärdering på ett Stort fjärrvärmenät 287
14.8.4 Marginalvärdring på ett Mellanstort fjärrvärmenät 288
14.8.5 Marginalvärdering på ett Mindre fjärrvärmenät med avfallsförbränning 290
14.8.6 Marginalvärdering på ett Mindre fjärrvärmenät utan avfall 291
14.8.7 Summering ekonomi värdering 293
14.9 Exempel på erfarenheter 293
14.10 Reducera hälsoproblem genom förbättrat inomhusklimat 295
14.11 Nyttigheter rörande de tre stora globala övergripande hotbilderna 296
14.11.1 Global uppvärmning 296
14.11.2 Spridning av pandemier 296
14.11.3 Terrorism 297
14.12 SWOT – sorptiv hybrid 297

15 Slutsatser och rekommendationer 299

15.1 Syfte och perspektiv 299
15.2 Slutsatser om innovativa lösningar 300
15.2.1 Summering av behandlade innovativa lösningar 300
15.2.2 Referensfall - Konventionell värmedriven sorptiv kyla 301
15.2.3 Sorptiv hybrid kundcentral 301
15.2.4 Sorptiv hybrid med direkt och indirekt evaporativ kylning 303
15.2.5 Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med beredning av tappvarmvatten 305
15.2.6 Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med vattenburet kylsystem 307
15.2.7 Sorptiv hybrid kundcentral med recirkulation av returluft 309
15.2.8 Sorptiv hybrid kundcentral med integrering av solfångare 311
15.2.9 Sorptiv hybrid kundcentral med solfångare samt inkluderande tappvarmvattenberedning 312
15.2.10 Sorptiv hybrid kundcentral med pandemikoppling 314
15.2.11 Sorptiv hybrid kundcentral, ett-rörssystem integrerad med vattenförsörjning 315
15.2.12 Innovativ batterikombilösning 317
15.2.13 Selektiv recirkulation av returluft 318
15.2.14 Innovativ batterikombi med recirkulationskrets 319

15.2.15 Kundcentralsystem med vattenkylning av ICT 320
15.2.16 Torr luft och membranteknik 321
15.2.17 Sekvensstyrning av reglerventiler 323
15.2.18 PICV – Pressure Independent Control Valves 325
15.2.19 Smart grid (smarta nät) 326
15.3 Omvärldsfrågor 326
15.4 Värdeskapande reflektioner 327
15.5 Flytta fram positionerna för energiföretagen 329
15.6 Rekommendationer till fortsatt arbete 330
15.7 Tillämpningar på kort och längre sikt 331
15.8 Behov av aktör för nästa steg 334
15.9 Rekommendation för framtida Tekniska Bestämmelser, F:102 334
15.9.1 Styrstrategier för begränsning av primär returtemperatur 335
15.9.2 Flödesbegränsning i kylkretsen 338
15.9.3 Inverkan av shuntgrupper på returtemperaturbegränsning 338
15.9.4 Råd angående sekvensstyrda styrventiler 340
15.9.5 Övriga aspekter 341
DEL B - fördjupningsavsnitt 342
16 Val av Dimensionerande utelufttillstånd 343
16.1 Dimensionerande och andra utelufttillstånd 343
16.2 Släpande inomhustemperatur 355
16.3 Värmeböljors framtida betydelse 356
16.4 Vilken inkommande vattentemperatur ska man dimensionera ett kylbatteri för? 359
17 Energisnål och hygienisk uppfuktning och fuktåtervinning 363
18 Klimatologi och Globala exempel 367
19 Termiskt inneklimat 384
19.1 Inledning och bakgrund 384
19.2 Koppling till hälsoaspekter 385
19.3 Termisk stress 386
19.4 Torr luft och hälsa 400
19.4.1 Läget i Sverige 401
19.4.2 Internationellt underlag om medicinska besvär 407
19.4.3 Torra ögon 408
19.4.4 Laryngitis, skolor, förskolor mm 410
19.5 Spridning av influensasmitta 411
19.6 Inverkan på material som tar upp fukt och risker med statisk elektricitet 418
19.7 Normer och riktlinjer för termisk komfort 421
20 Värmeböljors framtida betydelse 430
20.1 Förekomst av värmeböljor 430
20.2 Ökad aktivitet med värmeböljeplanering 436

20.3 Affärsaspekter relaterade till värmeböljor 437
20.3.1 Nya kundgrupper 437
20.3.2 Koppling till nya koncept 439
20.3.3 Framtida dimensioneringsförutsättningar 440

21 Referenser 443

Bilaga A – Mollierdiagrammets användning 461
A1 Introduktion 461
A1 Grundbegrepp - definitioner 461
A2 Stegvis beskrivning av Mollierdiagram 462
A3 Förklaringar av förlopp i Mollierdiagram 467
A4 Komfortzon i Mollier- och det psykrometriska diagrammet 471

Bilaga B - Uppfuktning 474

Bilaga C - Pandemier 489

Bilaga D – Sorptiva hybriden under året 503
D1 Inledande förutsättningar och antaganden 503
D2 Grundläggande beräkningssteg 504
D3 Exempel driftkarakteristik vid sommarfallet 506
D4 Årsdriftstatistik för sorptiv hybrid kundcentral 510
D5 Hur påverkas Fjärrkylcentralen av temperaturvariationer på primärsidan? 517

Bilaga E - Patentdokument 518
E1 Allmänt om fjärrenergipatent aktivitet 518
E2 Granskning av relevanta patentdokument 527
E2.1 Exempel på sökförfarande 528
E2.2 Kinesiskt patentdokument 532
E2.3 Sökning: Desiccant kombinerad med fjärrvärme eller solvärme 534
E2.4 En mycket originell uppfinning 537
E2.5 Patentdokument från sju av huvudaktörerna 538
E2.6 Ytterligare relevanta patent 543
E2.7 Angående driftövervakning i FC/FKC 548

1 Inledning

1.1 PROJEKTBAKGRUND

Projektets utgångspunkt är att nyckeln till framgång för en leverantör av fjärrvärme och fjärrkyla i allt större grad handlar om förbättringar av lösningarna i anslutningen till kundens fastighetssystem (sekundärsystem) och inte bara utgörs för hur man producerar och distribuerar produkterna till kund.

Projektets fokus ligger därmed på att beskriva och demonstrera hur man praktiskt kan använda nya tekniklösningar för att åstadkomma en bra komfort i fastigheter vars verksamheter efterfrågar både värme och kyla och påvisa hur det skapar värden för både energibolaget och kunden.

Resultatet av detta fjärrsynsprojekt skall vara till hjälp för att bättre positionera en kombinerad fjärrvärme och fjärrkyleleverans i den hårdnande konkurrens som vi i allt högre grad ser idag, där kunder efterfrågar värme och kyla i framförallt kommersiella fastigheter.

Detta skall kunna användas för att stärka unikiteten och konkurrenskraften för kombinerade fjärrvärme och fjärrkyleleveranser. Det kan även användas som en del i arbetet för att ge grogrund för ett samlat leverantör- kund engagemang – D.v.s. hur man får mer affärsfokus på ett bra inomhusklimat/komfort genom innovativ teknik. Som också kan synliggöras som efterfrågade värden för användaren.

Syftet är att lyfta fram systemlösningar för kombinerad anslutning till fjärrvärme- och fjärrkylenät, lösningar som uppfyller högt ställda krav på driftskarakteristika, innekomfort kvalitet och ekonomi.

Exempelvis undersöks hur man kan uppnå maximal returtemperatur i fjärrkylenätet och/eller kan tillfredsställa kylbehovet med så hög en framledningstemperatur som möjligt i fjärrkylenätet. I det förra fallet kan man bl.a. minimera storleken på fjärrkyleledningarna, och i det senare fallet kan man t.ex. maximera utnyttjandet av den extremt energisnåla frikylan i en sjö eller hav, där denna möjlighet står till buds.

För att åskådliggöra vad som går att åstadkomma i ett systemperspektiv kommer dessa innovativa anslutningslösningar även beskrivas i sitt sammanhang både ”uppströms och nedströms” för att på så viss påvisa hur man kan optimera hela systemets prestanda och resursoptimering från leverantör till funktionen att uppnå en bra komfort/klimat i fastigheten. Detta systemperspektiv eller helhetsperspektiv är grundläggande för att befästa fjärrkyla som teknik.

När vi definierar en kombinerad lösning är innebörden att vi skapar en hållbar lösning där synergier mellan värme och kyla leveransen skapar nya dimensioner i hur vi kan förbättra en komfort/klimatisering i en fastighet.

Projektet beaktar viktiga egenskaper såsom anläggningskostnad, robusthet, kompakthet mm, och diskuterar de olika typernas marknadsmässiga möjligheter.

Med ”anläggningar (A)” menas fjärrvärme/fjärrkylecentraler och sekundärsystemen inom byggnaderna. Med ”högvärdiga prestanda (B)” menas:

1. Termiska driftskarakteristika i form av stort delta T (ΔT, differens mellan fram- och returtemperaturer på primärsidan), minsta möjliga maximala primärflöde/minsta möjliga maximala effekt/förmåga att fungera tillfredsställande vid en relativt hög primär framledningstemperatur för fjärrkyleanslutningen och en relativt låg framledningstemperatur för fjärrvärmeanslutningen.
2. Komfortkrav i form av inomhusluft som uppfyller högt/synnerligen högt ställda krav på renhet, (operativ) temperatur och fuktighet.
3. Värdekrav där ”värdenivån” konkretiseras och demonstreras för respektive intressent.

1.2 KUNSKAPSLÄGET FRÅN TIDIGARE FOU KOMBINERAD FV-FK

Vad gäller kunskapsläget från tidigare FoU rörande kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla har Svensk Fjärrvärmes forskningsprogram under de senaste 20 årens fjärrvärme- och fjärrkyleforskningen inte fokuserat på projektområdet (systemfrågor nära användaren). Detta avspeglas i en begränsad resultatspridning på detta delområde, med optimala inkopplingar med primär och sekundärsystem för värme och kyla. När det gäller kombinerade installationer för fjärrvärme och fjärrkyla har det funnits ännu mer begränsade insatser. Naturligtvis finns både forskning och produktutveckling från andra sammanhang på fastighetsinterna distributionssystem och dess komponenter. Från att i vissa identifierade rapporter som belyst delfrågor är projektarbetet inställt på att ta fram och utvärdera effektiva systemlösningar för att ansluta fastigheter till både värme- och kylleverans och distribuera dessa nyttigheter inom fastigheten.

När det gäller tidigare identifierad forskning i Sverige kring kombinerade lösningar för värme och kyla begränsar den sig till en enda rapport: ”Kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla” från Fjärrsyn 2011:8 (1).

Utöver detta så finns två ytterligare forskningsrapporter kring områdena effektivare distribution respektive användning av fjärrkyla: ”Effektivare distribution av fjärrkyla” från Hetvattenprogrammet 2004:111 (2) och ”Optimerad användning av fjärrkyla” från Fjärrsyn 2012:10 (3).

Fokusområden i de tre tidigare FoU-rapporterna kan sammanfattas enligt följande:

- Syfte med (1) var att bana vägen för lågtemperaturfjärrvärme och introducera fjärrkyla i befintliga byggnader.
- En underliggande önskan var att öka avkylningen i fjärrvärmesystemen, för att öka motrycksproduktionen samt även att kunna sänka framledningstemperaturen, vilket öppnar för en ökad avsättning av spillvärme.
- Endast kyllösningar baserade på vattenburna distributionssystem behandlades.

  - × Vid lägre sekundär temperatur på radiatorsystem blir överförande ytor för små. Detta kan kompenseras genom att förse radiatorpaneler med fläktkonvektorer.
  - × Installationer med radiatorpaneler för kombinerad drift av värme och kyla skulle kunna ske utan omfattande installationer och införas i bostäder. Termostatventiler stänger flödet sommartid. Radiatorpaneler behöver därför förses med ett radiatorkoppel så termostventilen by-passas, vid kyldrift.
  - × Golvkyla fungerar tekniskt. Men är bara aktuellt vid nybyggnationer.
  - × Tak- och väggkyla lämpar sig mest i större byggnadsvolymer och med beaktande av att andra installationer i tak inte stör.
- Vid nybyggnation finns flera lösningar att tillgå. Vid befintlig bebyggelse är bara radiatorpaneler med fläktkonvektorer lämpligt.
- Syfte med (3) var att visa olika sätt att effektivisera utnyttjandet av leverantörernas produktions- och distributionsanläggningar genom att kunderna effektiviserar driften. Fokus låg därför på kostnadseffektivitet genom att förbättra (öka) ΔT vid maximalt effektbehov.
  - × När väl ett fjärrkylnät är utbyggt och en hög anslutningsgrad uppnåtts är det viktigt att kunna förtäta med nya kundanslutningar. Det finns då åtgärder som sänker effektbehoven och/eller öka ΔT.
  - × En metod är att ändra styrstrategin.
  - × En metod är att styra på en ny prissättningsmodell och därigenom få till stånd ett ändrat kundbeteende.
  - × En möjlighet som nämns är att aggregatet för kylåtervinning används som kylbatteri. Vilket resulterar i höjd returtemperatur.
- Syfte med (2) var att studera åtgärder för att öka ΔT.
  - × Rapporten utgår från den standardiserade kopplingsprincipen för att ansluta byggnader till fjärrkyla enligt Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelser (4).
  - × Kombinationer av att i kylbatterier öka antalet vattenvägar och även flera batterirader visar på positiva effekter såsom hur returtemperatur kan öka samt hur flöden kan reduceras.

En generell slutsats är att de identifierade rapporterna bara belyser vissa begränsade delfrågor av det som föreliggande förstudie skall handla om. Ingen av rapporterna studerar det forskningsområde som föreliggande projekt behandlar: Att ta fram och utvärdera effektiva systemlösningar för att ansluta fastigheter till både värme- och kylleverans och distribuera dessa nyttigheter inom fastigheten.

1.3 PROJEKTUPPLÄGG

Projektet huvudsyfte är att ta fram lösningar för anslutning av byggnader till både fjärrkyla- och fjärrvärmenät, karakteriserade av högvärdig prestanda. Viktiga egenskaper som skall uppfyllas är:

- Goda termiska driftkarakteristika såsom stort ΔT. Projektet sträcker sig in i fastigheternas sekundärsystem.
- Vidare skall inomhusklimatet med högt ställda komfortkrav innehållas, både vad gällande temperaturer och fuktighet.

- Värdekrav i form av värdenivå skall konkretiseras och demonstreras för respektive intressent.

Kombinerade lösningar för leverans av fjärrkyla och fjärrvärme har studerats. Sekundära delsystem där man beroende på driftsituation under året kan köra med kallt respektive varmt vatten öppnar då exempelvis en möjlighet att teoretiskt uppnå mycket goda returtemperaturer. Inget fjärrkyle- eller fjärrvärmesystem presterar bättre returtemperaturer än vad byggnadernas sekundärsystem levererar. En ökad kunskap kring byggnaders sekundärsystem och optimal anpassning för leveransförutsättningar för fjärrvärme och fjärrkyla är därför av stor vikt.

1.4 SAMSPEL LEVERANTÖR- KUND

Projektets primära fokus läggs på lösningar där den kombinerade fjärrvärme- och fjärrkyleleverantören kan utveckla sin konkurrenskraft till de kundmålgrupper som efterfrågar både en kyla och värmeförsörjningslösning.

Sett på fastighetsbeståndet utgör naturligt befintlig bebyggelse det i särklass mest betydelsefulla segmentet, därmed ligger fokus på tekniklösningar som är tillämpbara i existerande byggnader där kyla efterfrågas. Viktigaste segmenten är fastigheter avsedda för kontor, köpcentra, sjukhus, universitet samt andra offentliga lokaler.

Bostäder är idag en mycket begränsad målgrupp och därför läggs litet fokus här.

I de stycken där geografiskt specifika ämnen behandlas ligger fokus i första hand vid svenska förhållanden. Vi har dock i betydande grad beaktat globala perspektiv, bl.a. därför att tekniker för komfortkyla som inte är bundna till fjärrkyla används i långt större utsträckning i andra länder, inte minst i USA, som har en lång tradition inom komfortkylan. En stor del av rapportens referenser har således hämtats ur den internationella litteraturen.

2 Omvärldsfaktorer

2.1 GENERELLA FÖRUTSÄTTNINGAR

Den kanske viktigaste omvärldsfaktorn som regerar idag är att vi ”lever” i 2 världar – en värld börjar vid energikälla och går hela vägen till kundcentralen där startar en ny värld som breder ut sig i olika delar av fastigheten. I samband med förberedelserna för projektet förankrades en medverkan från aktörer med insyn och erfarenheter från dessa olika världar, tillverkare av utrustning med koppling till gränssnittet leverantör-kund, leverantörer av kombination värme och kyla samt fastighetsägare/förvaltare. Syftet var att skapa ett engagemang och deltagande som kunde ge väsentlig input för att säkerställa rätt fokus och utifrån sina perspektiv kunna validera kritiska fundamenta för att skapa en integrerad syn på vad som behöver utvecklas för att förbättra prestanda och vad som går att göra med nya tekniska lösningar för att optimera helheten – ett äkta systemperspektiv.

Projektet inleddes med att presentera det och diskutera fokuseringar och prioriterade insatser för att säkerställa att de 3 intressesfärerna utifrån sina perspektiv kunde delge synpunkter och invändningar.

När projektarbetet inleddes var fokus i kontakterna till medverkande företag främst inriktade på att fånga in vad som det finns en efterfrågan på inom den svenska marknaden, i ett brett systemperspektiv. Längre fram i arbetet diskuterades i högre grad tekniska detaljfrågor, dels för att inhämta information, dels för att få feedback på våra egna lösningsförslag. De reaktioner vi således fått har bl.a. styrkt vår bedömning att den sorptiva hybriden kan karakteriseras som originell, även om det finns likartad teknik utanför Sverige, såsom vi kommer att redovisa i detalj.

Vad fjärrvärme och fjärrkyla kan skapa i värdekedjan har historiskt mycket handlat om vad som investeras i produktionsanläggningar och distribution. Tekniska system för att producera och distribuera produkterna till användaren med egenskaper som utifrån investerade pengar och driftskostnadsperspektiv utgjort ett konkurrenskraftigt alternativ till kundens alternativ. Man har dessutom kunnat visa miljöprestanda och skapat ett enkelt och bekvämt sätt att tillföra värme och kyla till användarna i fastigheten.

I viss mån syns detta även i fastigheten där anslutningspunkten med växlare och mätutrustning visar hur enkel tekniken är och hur lite utrymme den kräver.

För att beskriva direkt kundnytta är det viktigt att utvärdera vad som händer i fastigheten efter värmeväxlaren. Det är därför viktigt att:

- Rikta fokus på optimering av samfunktionen mellan de husinterna distributionssystemen och fjärrvärme/fjärrkyla.
- Utveckla förutsättningar att skapa bra inomhuskomfort på ett resurseffektivt sätt.
- Värdeskapande med resurshushållning (ekonomiska och miljömässiga) behöver tydliggöras.
- Fjärrkyla och fjärrvärme kan inte reduceras till levererad energimängd enbart.

- Energiaffären måste vara lönsam, det vill säga man ska kunna uppnå en skälig avkastning.
- Utvecklingen måste bygga på en win-win situation

Inom projektet har följande företag medverkat:

Fortum Värme AB, Göteborg Energi AB, E.ON Värme AB, Alfa-Laval AB, Fläkt Woods AB, Lindab Comfort AB, Munters Europe AB, Samson Mät- och Reglerteknik AB, Siemens AB, Swegon AB, Akademiska Hus AB och Wihlborgs Fastigheter AB, Norrporten AB, Statens Fastighetsverk.

Projektet utgångspunkter är att nyttja den infrastruktur som finns med en distribuerad fjärrvärme och fjärrkyla 2-rörssystem med dagens temperaturnivåer, den innovativa processen skall koncenteras på nya tekniska lösningar som sker vid ”mötesplatsen” anslutningspunkt/ kundcentral.

Nedan beskrivs ett antal områden som ansågs relevanta och viktiga för att utmanas för att skapa förbättringar. Dessa har lagt grunden till fortsatt fördjupning

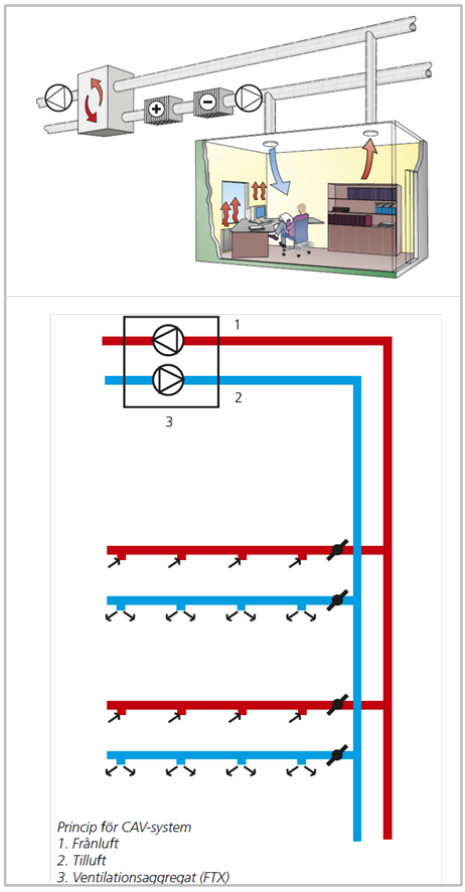
2.2 MINSKA EFFEKTBEHOV-BELASTNINGSTOPPAR

Möjligheter att effektivisera användning dvs. minska effekt och energibehov och därmed öka lönsamheten samt minska ekonomisk- och miljöbelastning är en viktig fråga som diskuterats med fler i projektets intressentgrupp. Framförallt när man har ett stort behov av kyla sommartid är det värdefullt att kunna begränsa behovet av avkylning och luftkonditionering, vilket i sin tur kan minska belastningstoppar som resursmässigt kostar i bundet kapital i anläggningstillgångar. Detta präglar utvecklingen av fastighetssystem som distribuerar samt styr och reglerar värme- och kylflödena i fastigheten, såsom olika typer av ventilationssystem, aggregat för att nyttja in och utkommande energiflöden och därmed nyttja tillgänglig energi på mest effektiva sätt, samt styr och regler utrustning som mer exakt och rumsindividuellt kan optimera driften utifrån behov samt påverkan av yttre faktorer såsom solinstrålning, inomhustemperaturer, personnärvaro etc. Digitaliseringstrenden kommer självklart att göra denna typ av lösningar mer kostnadseffektiva och därmed främja deras spridning till större andelar i fastighetsektorn.

2.2.1 Övergripande beskrivning av dagens distributionssystem i fastigheter

Syftet med ventilationssystemet är att förse byggnaden men ny luft och ventilera bort de föroreningar som finns. Ventilationssystemet kan även som tidigare nämnts användas till att värma eller kyla byggnaden vid behov. Ventilationen kan antingen ske passivt med så kallat självdrag eller aktivt med hjälp av fläktar. Det finns olika sätt att aktivt ventilera en byggnad. Den enklaste är att använda sig av en frånluftsfläkt, F-ventilation, att man tar in luft via otätheter och tar ut luften i frånluftskanaler med en fläkt som drivkraft. Nästa steg är FT-ventilation som tar in luft i tilluftskanaler med fläkt och bortför luften på samma sätt som F-ventilation. Sedan finns det FTX-ventilation som har samma princip som FT-ventilation men med en värmeväxlare som på vintern förvärmer uteluften som tas in med hjälp av rumsluften. På så sätt återvinner man värmeenergin som tillförts rumsluften.

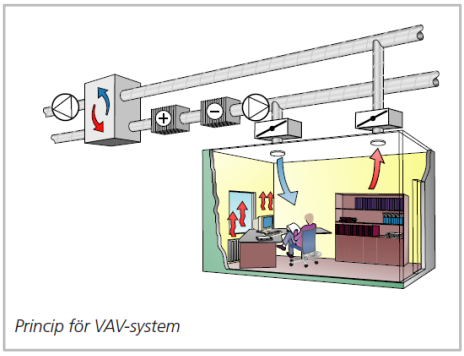
Nedan följer en förklaring som beskrivs av Swegon (5) vad gäller de olika typerna av AC-lösningarna, CAV, VAV och DCV, som återkommer senare i rapporten.



Figur 1: Princip för CAV-system. Källa: Swegon (5).

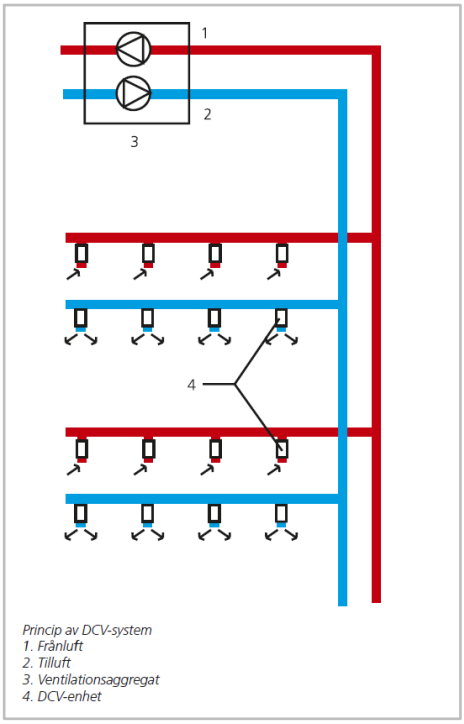
Den enklaste typen av AC system är CAV, Figur 1 där C står för konstant flöde. En injustering av flödet görs endast för att få eftersträvad fördelning. Injusteringen sker med fasta luftdon. Reglering av kylbehov sker genom varierande tillufttemperatur.

Den andra grundtypen av AC är VAV, Figur 2 vilket står för variabelt flöde. Det tillkommer jämfört med CAV reglerbara luftdon. En förfinad variant av VAV är DCV-system, Figur 3. Den är i princip densamma, men begreppet DCV avser ett mer långtgående system med reglering av flöde och temperatur. Behovsstyrd ventilation är lämplig i utrymmen där personbelastningen varierar.



Princip för VAV-system

Figur 2: Princip för VAV-system. Källa: Swegon (5).



Princip av DCV-system
1. Frånluft
2. Tilluft
3. Ventilationsaggregat
4. DCV-enhet

Figur 3: Princip för DCV-system. Källa: Swegon (5).

Distributionssystem med behovsanpassad ventilation är ett naturligt val i de flesta fall. CAV installeras idag mest vid utrymmen som inte kräver bortförande av överskottsvärme eller där bara små luftflöden krävs. Investeringar för VAV blir oproportionerligt dyrt för små luftflöden. I de flesta fall väljs för ventilation VAV lösningar. Ett bättre arbetsklimat i lokalen kan skapas, vilket är värdeskapande. Med LCC perspektiv blir VAV lösningar ett naturligt val. Den högre investeringskostnaden betalar över tiden relativt snabbt tillbaka. Prisbilden har dessutom förbättrats jämfört med tidigare generations styrsystemlösningar.

När det finns behov av att bortföra stora mängder överskottsvärme räcker det inte med att arbeta med bara ventilationsluft. Vattenburen kyla väljs då i form av fläktkonvektorer (fan-coils) där luft cirkuleras genom vattenkylda konvektorer. Vid ännu större kylbehov blir kylbafflar i tak ett alternativ.

Vid behovsanpassad ventilation kommer IDCC (Intelligent Diffusor for Climate Control) att bli allt vanligare. Tilluftdon och externt i rum förses med exempelvis tryckgivare/flödesgivare, temperaturgivare, närvarogivare (rörelsedetektorer) samt CO_2-givare.

Andra lösningar kan bli aktuella, t ex kommer vi att presentera en idé till långtgående anpassning av personers kyl- och värmebehov, s.k. kylhandske, se avsnitt 9.2 .

De tekniska lösningarna styrs av hyresgästens betalningsförmåga. Prismodeller där flödeskomponenten mm ingår kan därför vara ett effektivt sätt att styra in på mer flödeseffektiva lösningar.

2.2.2 Jämförelse mellan ett VAV och CAV

Vad är den stora skillnaden mellan ett Variabelt och konstant flödessystem? VAV innebär nästan dubbelt så höga investeringskostnader jmf med CAV samtidigt som de är mer underhållskrävande CAV innebär högre driftskostnader både för fläktar samt värme/kyla behov.

Vad som är mest kostnadseffektivt beror på vilken typ av verksamhet som pågår i lokalerna i fastigheten ex. vis ytterlighet kan vara evenemangshall konferenslokaler som där stora fluktuationer av antal personer som vistas i lokalen: Oftast är det svårt att motivera i ex. vis kontor klassrum etc.

2.2.3 Multifunktionssystem

Vi ser allt högre grad lösningar där man samlar alla funktioner i en enhet för att nyttja in och utkommande energiflöden i nya lösningsalternativ. Multifunktions-aggregat är reversibla värmepumpar som också kan producera tappvarmvatten. De har en krets för vardera funktionen och kan därmed underhålla köldbärare, värmebärare och tappvarmvatten samtidigt. Konsekvenserna av denna utveckling är att man skär bort möjligheter att utbyta nyttigheter med sin externa leverantör av värme och kyla.

2.3 TYPISKA EXEMPEL PÅ DAGENS STYR- OCH REGLERSYSTEM

I klimat utan stor variation i luftens fukthalt, som i Sverige, brukar man reglera tillförseln av värme- och kyla med utgångspunkt från ansatsen att transmissions- och ventilationsförlusterna är ungefär proportionella mot ute-temperaturen. Detta har styrt ingenjörer i VVS-branschen till att utveckla reglersystem som söker en konstant innetemperatur baserat på utetemperaturen. Byggnadens värme- och kylatröghet gör dock att installationer ofta ligger ur fas i reglering. Många befintliga styr- och reglersystem är dessutom onödigt komplicerade vilket kan leda till att de motverkar de värmedynamiska förloppen. I värsta fall värms och kyls fastigheten samtidigt och oavsiktligt (ibland kan det finnas värme- och kylbehov i olika delar av en fastighet, typiskt vid låg utetemperatur och starkt solsken). Dessutom, som vi redovisar i avsnitt 14.4, finns även i Sverige ett dolt behov av avfuktning på sommaren och uppfuktning på vintern. Om dessa tillämpas, blir sambanden annorlunda.

Vid design av en byggnads energianvändning finns det en stor potential i att integrera tillförseln i fastigheten och byggnadsstommen som värmelager. Ackumuleringsförmågan i en byggnad kan exempelvis uttryckas genom begreppet värmetröghet.

Det finns en sammanfattning från en workshop på Ideon i Lund (6) där ett antal forskargrupper och industriaktörer redovisade forskningsläget inom byggnads-material, byggnadsfysik och förkommande simuleringsmodeller. Denna workshops material har bl. a utnyttjas som källa i detta avsnitt.

Ett mått på ett hus värmetröghet är tidkonstanten som påverkas av värmelagring och förluster. Andra förhållanden som spelar in är värmekapacitet, det vill säga termisk massa, transmissionsförluster, det vill säga isoleringsgrad och köldbryggor samt värmeförluster på grund av luftläckage i klimatskalet och ventilationsförluster (där även återvinning ingår). Med traditionella styr- och reglersystem försvinner stora delar av nyttan med värme och kylatröghet. Därför finns det ett behov av att utveckla förbättrade styrsystem.

Det finns ett ökande utbud av installationssystem som kan utnyttja den värme/kylalagrande egenskapen. En översikt av den svenska marknaden visar att dessa system är inriktade på:

- Prognosstyrning
- Styrning på enbart innetemperatur
- Rumstemperatur- och prognosstyrning
- Behovsstyrd fjärrvärmecentral
- Last- och prognosstyrning

Viktiga utgångspunkter för förbättringar är att innetemperaturen borde vara att styra värme- och kylbalansen dynamiskt. Ofta är det dessutom inte relevant att styra på utetemperaturen. Huvudfokus bör ligga på att skapa incitament för styrning och optimering med hänsyn till effekt.

Ett typiskt exempel på detta är att det uppstår effekttoppar i fjärrvärmenät då det börjar regna. Luftens temperatur sjunker då snabbt, oftast med flera grader och ett ökat behov av att värma den inkommande ventilationsluften uppstår. Tillfällig automatisk sänkning av ventilationsflöde vid 100 % luftfuktighet kan förebygga den typen av spetslast. Detta gäller även fjärrkylesystem.

Styrning av flöde då två parallella styrventiler används för reglering: Styrventiler används i fjärrkylesystem på motsvarande sätt som i fjärrvärmesystem – flödet stryps för att anpassa kyleffekten till rådande behov. Den huvudsakliga skillnaden är att flödena är betydligt större i fjärrkylesystem och därför, vid samma effekt, krävs det större ventiler. En annan skillnad är att arbetstemperaturer är låga – oftast under omgivande luftens temperatur.

Att det krävs stora ventiler i fjärrkyla sammanhang leder till att två (eller fler) parallellkopplade mindre ventiler används mycket ofta istället för en större ventil, detta har flera anledningar, t ex

1. Bättre sammanlagda regleromräde (förhållande mellan det högsta och det minsta reglerbara flöde) då två ventiler används och därmed mindre risk för bland annat on-off reglering
2. Större sammanlagda ställprecision med tanke på att ett ställdon har begränsad förmåga att positionera ventilspindeln (beroende på t ex stegmotorns upplösning, friktion i ventilens packbox, hysteres etc.)
3. Lägre pris (två ungefär lika stora ventiler kostar mindre än en dubbelt så stor, gäller inklusive ställdon)
4. Billigare ställdon i och med att den nödvändiga ställkraften ökar med ökande ventilstorlek (gäller ventiler som inte är tryckavlastade)
5. Mindre skillnad mellan faktisk och föreskriven ventilstorlek kan uppnås förutsatt att man inte låser storleksförhållandet mellan de två ventilerna i onödan.
6. Viss begränsad redundans om en av ventilerna skulle gå sönder

Fördelarna är således många. När det gäller nyttan med bättre reglering bör man tänka på att vid stora flöden (och rördiametrar) är risken för farliga tryckslag vid ”hackig” reglering större, än då flödena är små. En annan aspekt är att differenstryckreglering, även om den är önskvärd, undviks ofta vid stora ventildimensioner eftersom stora differenstryckregulatorer är mer eller mindre stycktillverkade och därmed mycket dyra. Det är därför viktigt att styrventilen/ställdonet har tillräckligt hög upplösning, att den fungerar stabilt även om den t ex arbetar delvis stängd vid full last, vilket kan inträffa om differenstrycket blir högre än förväntat.

En förbigången detalj då parallellkopplade styrventiler används är dock vad som händer med ventilernas sammanlagda flödeskarakteristika jämfört med då en enda ventil används. I det följande kommer problemet analyseras i detalj.

2.4 ETT BRA INOMHUSKLIMAT

Krav till inomhusklimatet har sedan många decennier varit föremål för omfattande undersökningar, och det finns ett stort antal normer som skall säkra ett bra inomhusklimat. Ett huvudproblem är, att man traditionellt nästan uteslutande inriktat sig på vad personer upplever som behagligt och obehagligt, och i mindre grad på kopplingar till människors hälsa. Det gäller dels friska personer, men framförallt personer med olika sjukdomar som t ex kan innebära sämre reglering av kroppstemperaturen.

Ämnet luftfuktighet inomhus har traditionellt tillmäts ganska liten betydelse i Sverige. Styrparametrar när det gäller fastighetsförvaltning och energiförsörjning kanaliseras till, kr/m^2 eller kr/kWh. EED (Energieffektiviserings-direktivet) och andra EU direktiv samt lokala implementeringar av dessa syftar primärt till ökad hushållning med energiresurser. Att bibehålla eller förbättra luftkvalitet inomhus tenderar att glömmas bort i strävan att reducera energiförbrukning. För att undvika kostsamma bakslag i framtiden är det viktigt att kvalitetsfrågor får rätt uppmärksamhet.

Vid möten med intressentkretsen kunde två motsatta förhållningssätt kring problematiken skönjas:

- Torr luft eller för hög luftfuktighet utgör inget problem i Sverige. Installationer för att hantera detta är inget vi planerar för. Våra hyresgäster har inte uttryckt några önskemål om nivå på luftfuktighet.
- Torr luft utgör ett underskattat problem vintertid i Sverige. Problem med torra slemhinnor (ögon och näsa/hals) och allergier kräver en uppmärksamhet.

Anläggningar med befuktning är inte särskilt vanliga i Sverige. Ett av skälen torde vara att man är rädd för risken att tillföra för mycket vatten och därmed orsaka fukt, mögel och korrosionsproblem på komponenter i installationerna. Dessutom ökar uppfuktning spetsbelastningen i värmebehovet och är förknippad med en kostnad för tillfört vatten.

Avfuktning är i det svenska klimatet ingen stor fråga. Men det kan inte bortses från behovet. Vi gör en grov bedömning att det i södra Sverige finns ett behov av avfuktning minst under 50 timmar per år.

2.5 TVÅVÄGSUTBYTE MELLAN LEVERANTÖR – ANVÄNDARE

Effektivisering och återvinning sker i de två världarna men vad kan göras för att mer dra nytta av anslutningspunkten som en viktig mötesplats för att skapa nya värden för parterna?

Smart Heat Grid är ett bra exempel på hur man kan öka utbyte mellan leverantör och användare, och bland annat skapa nya förutsättningar att styra mer effektivt och göra detta utifrån en mer exakt och efterfrågestyrd behovsoptimering.

2.6 SMART HEAT GRID

Här finns onekligen möjlighet till en viktig en mötesplats för leverantörer och kunder där det finns värden för båda. Från både ett kund- och leverantörsperspektiv är det värdefullt att kunna hushålla med både ekonomiska resurser och miljöresurser. En tydligare koppling mellan leverantör och kund kommer att vara en viktig komponent för att lyckas med den strategiska utvecklingen i framtiden för svenska energiföretag (fjärrvärme-och fjärrkyleleverantörer) och smarta nät är ett verktyg för att uppnå detta. Redan på 1970-talet byggdes det upp ett kunnande om byggnaders förutsättningar att fungera som värmelager, men lägre energipriser gjorde frågan mindre intressant. Idag, i och med att hållbarhetsfrågorna fått allt mer uppmärksamhet, är resurs/energihushållning återigen en viktig fråga.

Det är viktigt att skilja på passiv och (termo)aktiv värmelagring. Oftast diskuteras passiv värmelagring, men av stort intresse är även aktiv värmelagring där energiuttaget flyttas mellan olika rum eller mellan leverantör och kund.

2.6.1 Inverkan av installation och drift

Idag finns inom det svenska fastighetsbeståndet en mångfald av styrsystemlösningar, från traditionella styrsystem som till exempel styr utifrån inomhustemperatur, till nya innovativa styr- och reglersystem som använder den tunga fastighetsstommens egenskaper. Styrsystemets utformning och dess

anpassningsförmåga till de lokala förhållandena påverkar byggnadens värme- och kylbehov.

I takt med att det byggs energieffektivare hus minskar uppvärmningsbehovet, men det kan också resultera i högre inomhustemperaturer när exempelvis solen värmer. Till detta kommer klimatförändringen som också potentiellt leder till ett ökat kylbehov om medeltemperaturerna stiger.

2.6.2 Energi- och effektbehov

Fokus idag ligger ofta på energibehov och möjlighet att effektivisera med avseende på mängden energi som används. Det är dock mycket viktigt att inte glömma effektbehovet. Idag är effekttopparna (både för värme och för kyla) alltmer det som dimensionerar på användarsidan. Vad händer om vi begränsar tillgänglig effekt? För att spara resurser är det viktigt att fundera på vilka vinster som kan finnas vid minskning av effekttopparna. I många fall är det spetslastproduktion som används vid toppar under kortare perioder och denna är ofta dyrbar både när det gäller ekonomiska resurser såväl som naturresurser.

Värmelagrande byggnader minskar dess effektbehov. Lagring av värme i en byggnad med tung stomme ger lägre och mindre varierande effektbehov, ett mer komfortabelt inomhusklimat, minskad sårbarhet och lägre energiförbrukning. Det är viktigt att hitta en bättre balans mellan nyttan att göra energibesparingar och fördelarna att effektivisera kapacitetsbehovet. De allra flesta byggnader i de nordiska länderna är värme-och kyla tröga till sin natur, vilket innebär att stommen har en självreglerande förmåga att hålla rätt temperatur. Detta utnyttjas till väldigt liten utsträckning idag.

De flesta traditionella styr- och reglersystem som används i dag är till stor del uppbyggda för att ögonblickligen kompensera för minsta avvikelse. En viktig fråga är om det behovet finns i verkligheten.

2.7 ANVÄNDNING AV RESULTATEN

Projektet har en kommunikationsplan. Den täcker att ta fram underlag och presentera resultat i några utvalda sammanhang. Men för att lyckas så krävs även att resultaten används. Inarbetande i kommande versioner av Svensk Fjärrvärmes tekniska bestämmelser är ett exempel på aktiviteter efter projektets genomförande.

För att få en utväxling på forskning är det naturligtvis viktigt att resultaten omsätts i användning. Kärnfrågan blir då att resultaten måste vara kända bland användarkretsen utöver de grupper som finns företrädda i intressentkretsen. En viktig grupp att nå ut till kommer att bli VVS och installationskonsulter. Detta är en mycket bred grupp och knappast realistiskt att nå ut till via Svensk Fjärrvärmes konferenser. En viktig kanal bör vara VVS Tekniska Föreneingen.

En annan avnämnare är naturligtvis användarna. För hyresgästrepresentanter i kontorslokaler finns inget naturligt forum att kanalisera information till. Det forum som ligger närmast till hands är regelverket i form av nya byggregler och arbetsmiljölagstiftning.

Utöver konsultgruppen är byggföretag en viktig målgrupp. För att innovationer skall tas tillvara är att de är attraktiva lösningar som byggföretag (NCC, Skanska m fl.) tar in i sina koncept. Detta gäller speciellt i totalentreprenader där byggaren står för teknikvalet. Ett problem är då att design oftast driver mot låg investering. Att nå låga driftkostnader blir då svårare att styra mot, om inte stor vikt på kriterier för detta tas med i upphandlingen.

Ett antal svenska konsultföretag och tillverkare (Alfa-Laval, Munters, Fläkt Woods m.fl.) arbetar internationellt. I Del B fördjupningsavsnitt 18 utvecklar vi några globala exempel/visioner om val av teknik för fjärrvärme och fjärrkyla under skilda klimatologiska betingelser som vi tror kan vara av intresse för denna grupp av aktörer.

Det globala kylbehovet kommer att öka dramatiskt under kommande decennier. Kan fjärrvärme- och fjärrkyletekniken bidra till att detta behov tillfredsställs på ett förnyelsebart sätt? I alla städer i länder som nått en rimlig levnadsstandard produceras brännbart avfall som kan utnyttjas för produktion av fjärrvärme. En betydande del av det potentiella kylbehovet återfinns inom geografiska regioner där det även kan finns möjligheter att utnyttja geotermisk energi. På en del platser finns tillgång till frikyla i havet eller i sjöar.

Vi presenterar en kundcentrallösning som utgör ett element i system med enrörsnät för både fjärrvärme och fjärrkyla, där värmebäraren är en geotermisk fluid och köldbäraren är frikylevatten. Alternativt eller kompletterande kan det transporterade värmet komma från avfallsförbränning. Ett sådant system har utsikter att kunna förena förnyelsebar produktion med reducerade investeringskostnader.

2.8 INDUSTRIRELEVANS

Under första fasen i projektet genomfördes en rad möten med representanter från de företag som visat intresse för att delta i projekt. Syftet var att beskriva vår ansats i projektet och att få in relevanta synpunkter från aktörerna.

Följande energibolag var delaktiga i dessa möten: E.ON, Fortum och Göteborg Energi. Följande fastighetsbolag har även besökts: Akademiska hus, Wihlborgs, Norrporten och Statens fastighetsverk. Efter våra möten med dessa aktörer gjordes följande summering:

Fastighetsaktörer samt värme- och kylleverantörer uttrycker alla vikten att resultaten från projektet beskriver hur valda systemlösningar erbjuder värden för ingående parter. Vi har uppfattat att framtidens lösningar för befintliga fastigheter som är föremål för renoveringsinsatser är mest intressanta.

Samtidigt finns det en nyfikenhet på hur nya fastighetsbestånd kan uppnå optimala lösningar för värme- och kylbehoven. Här kommer troligen fokuset mer ligga i vad som behöver tillföras till det moderna fastighetbeståndets typiska kravprofil. Ökad användning av VAV-ventilationssystem och frikyla från luften förändrar behovsprofilen från en extern leverans prekärt.

Förståelsen för att beskriva olika systemlösningars prestanda bör troligen skapas från att projektet ”definierar” referenshus med hög respektive låg FK-avkylning och se hur ekonomin påverkas av en viss teknisk lösning.

Vi har från start haft en tanke att fastighetstyper/verksamhetstyper i fastigheterna vi studerar främst är kontor samt offentliga lokaler (universitet och sjukhus). Efter vår genomgång ser vi att detta även bör inkludera köpcentra och butikslokaler.

Flerbostadshus har även vart uppe vid fler diskussioner, och visst känns det som en spännande utvecklingspotential, men den kommer dock ha relativt liten affärspotential för att skapa de värden som vi önskar beskriva för ingående partners (värme- och kylleverantörer, fastighetsägare/förvaltare samt systemtillverkare) de närmsta åren.

Möjligheter att avgränsa var i byggnaden man har ett kylbehov är en viktig fråga som diskuterats med fler i intressentgruppen. Framförallt när man har ett stort behov sommartid är det värdefullt att kunna avgränsa behovet av avkylning och luftkonditionering. Detta kan i sin tur minska kapacitetstoppar som resursmässigt kostar i bundet kapital i anläggningstillgångar.

Ny teknik ska ju också uppfylla befintliga myndighetskrav, ta hänsyn till miljöfrågor (miljöcertifieringskrav) och ge de ekonomiska incitament som öppnar upp för lönsam utveckling och nya affärer.

Förståelsen och beskrivningen av den ekonomiska optik som ser olika ut för olika intressenter är också en viktig byggsten för att skapa handlingskraft för förändring och utveckling.

Vi har även haft uppe frågan om kompletteringar i intressegruppen för att få en ökad bredd av aktörer som är viktiga för att få förändring att ske. De grupper som vi idag saknar är VVS och installationskonsulter samt hyresgästrepresentanter. Vi tar detta i beaktning och kommer se till att dessa grupper på något sätt kan ge vettig input och framförallt få ta del av de resultat som kommer genereras.

2.9 ERFARENHETER FRÅN PLENARMÖTE

Som ett led i att fånga upp intressanta utvecklingsspår och kunskapsläget arrangerades internt plenarmöte i maj 2014, med följande deltagande företag:

- Lindab Comfort AB
- Fläkt Woods AB
- Alfa Laval AB
- Munters Europe AB
- Siemens AB
- Samson Mät- och Reglerteknik AB
- TA Hydronics
- Prema
- Luvata
- MMA
- Jönköping Energi AB
- Göteborg Energi AB

- Mälarenergi AB
- Växjö Energi
- Skövde Värmeverk AB
- Gävle Energi
- Öresundskraft

Den breda gruppen av industripartners presenterade några aktuella lösningar, med kopplingar till vårt problemområde. De olika presentationerna visade på många intressanta innovativa lösningar. Några generella reflektioner:

- Luftbehandlingsaggregat utvecklas inriktat på att ta tillvara möjlighet att kombinera drift för värme och kyla internt i fastigheterna genom energiåtervinning. Fokus har inte legat på att åstadkomma gynnsamma returtemperaturer för extern försörjning med fjärrvärme och fjärrkyla, vilket leder till att en djupare systemaspekt mot samhällsperspektiv och globala påverkan genom ökad möjlighet att använda resurser som annars går förlorade fångas inte upp.
- Tilluftbafflar av induktiv typ som har både värme- och kylanslutning arbetar med högtemperaturkylning och lågtemperaturvärmning av luften. Detta innebär i praktiken ett fåtal graders differens bara mellan de olika driftlägena.
- Om kallt respektive varmt vatten matas till exempelvis en panelradiator eller konvektor så finns ett speciellt shuntpaket att tillgå. Vilket behövs om radiators termostaters funktioner skall förbikopplas vid kall drift kontra varm driftläge.
- Erfarenheter och möjligheter med värmedriven sorptiv kyla redovisades. Projektet kommer att djupare analysera ett antal hybrid lösningar med sorptiv avfuktningslösning. Mycket intressanta höga returtemperat för kyla är möjliga.
- Traditionell sekvensstyrning av reglerventiler i fjärrvärme och fjärrkylcentralerna uppvisar onödigt hackiga flödesbilder. Gällande rekommendationer för dimensionerings synes vara tveksamma. Alternativ som mid-range styrning verkar intressant.
- Styrventiler med olika varianter av kombination av styr- och injusteringsventil med differenstrycksstabilisering uppvisar intressanta driftbetingelser. Typen kan med fördel övervägas i såväl fjärrvärme/fjärrkylcentralen som ute i de sekundära distributionssystemen.

Detta förstärkte några av de grundidéer som funnits i tekniklösningar som växt fram under projektet och gav även inspiration för att analysera några nya.

2.10 KRITERIER FÖR VAL AV TEKNIKLÖSNINGAR

Syftet är att konkretisera tekniska lösningar, vad de gör och vad de skapar för värde, som vi beskrev som *”Optimal och innovativ teknik för kombinerad fjärrkyla- och fjärrvärmeanslutning - kundcentraler och distribution i fastigheter”*.

Huruvida innovationshöjden eller huruvida det skapar relativt lättillgängliga tillämpningar har vi inte haft som primärt riktmärke vid val lösningar, utan mer att det har gått att se förutsättningar för att nå funktionsförbättring och förbättrad prestanda med relativt låg ”inträskel”.

Vi upplever att vi har gett referensgruppen samt intressentkretsen möjligheter att påverka inriktningen av projektet. Med det avses att inom aktuella problemställningar enligt projektspecifikationen finns en frihet att lägga större fokus på frågor som bedöms ha störst intresse. Därför har följande kriterier valts för att presentera de prioriterade kandidaterna.

- Största prioritet är lösningar som understödjer förbättrade returtemperaturer. Detta för att möjliggöra ökad andel frikyla i systemen.
- Lösningar som enkelt kan implementeras i befintliga fastigheter utan att stora investeringsbehov krävs är viktiga – speciellt de som kan skapa tydliga win-win resultat.
- Tekniklösningar som kan skapa bättre konkurrenskraft som kombinerad försörjningslösning värme och kyla på en större geografisk marknad är av intresse
- Systemfunktionen i fastigheten och konsekvenser på försörjningslösningar är av stor vikt. Ökad förståelse om fastighetsinterna system och den teknik som installeras när befintliga fastigheter renoveras är viktiga. Detta har även koppling hur Svensk Fjärrvärmes Tekniska Bestämmelser (4) och (7) skall utformas för att uppnå bästa möjliga effektivitet och tillgänglighet. Det vill säga grunden för att omarbeta Tekniska Bestämmelser, där även komplettering med Råd och Anvisningar kan vara betydelsefulla.
- För fastigheter som redan är anslutna till fjärrkyla skall ständiga förbättringsåtgärder övervägas.
- Att arbeta med att reducera effekttoppar är av stort värde. Behovet av att använda dyr spetsproduktion kan reduceras. Kan dessutom behov av att bygga ytterligare produktion undvikas är vinsten ännu större. Åtgärder som jämnar ut användarmönstret är därför av intresse. Systemperspektiv som ger bättre förutsättningarna mellan leverantör och användare.

Det som blivit resultatet av denna inriktning är att vi primärt beskriver konkreta tekniska lösningar som möter de uppsatta kriterierna som framförallt begränsar ledtider för att de kan skapa kommersiellt värde. Vi har för vår betraktelse valt att även innefatta system eller teknikområden där vi inte skarpt kan beskriva en teknisk lösning men som kan erbjuda en viktig inriktning för områden som kan stärka profileringen och konkurrenskraft för kombinationen värme- och kylleverantör jämtemot kunder. Någon del kan även uppfattas som kontroversiell och säkert upplevas som en motpol till den utveckling som ofta handlar om att bygga mer komplexa installationslösningar.

2.11 OMVÄRLDSANALYS – INNOVATIV AKTIVITET

Av fundamentalt intresse för att utveckla nya innovativa lösningar för fjärrvärme och fjärrkyla är att betrakta marknadsutveckling i vår omvärld. Föreliggande rapport har inte som uppgift att betrakta marknaden eller beskriva något scenario on fjärrvärmes eller fjärrkylans utveckling. Den innovativa aktiviteten har dock en central relevans för projektet. Ett naturligt sätt för en sådan betraktelse blir att fånga upp patentaktiviteter. Ett utmärkt sätt är då att utnyttja patentdatabaser. Dessa är ofta en förbisedd möjlighet att finna relevant information. Nu innehåller dessa naturligtvis en mycket stor kunskapsbank och, det är precis som vilken

sökning som helst med sökmetoder på internet av vikt vilka sökkriterier man definierar för att finna relevant information. Och inte minst sortera bort den stora mängden brus.

Vi har genom patentdatabassökningar funnit:

- Patentansökningar inom centrala områden
- Granskat innehållet i de för vårt projekt mest relevanta ansökningarna
- Sökningar på patent i databaser från USA med sökkriterier ”sorption”, ”adsorption, ”district heating” resp ”district cooling” ger ett begränsat antal träffar men jämförande sökningar med sökord ”AC” och ”airconditioning” ger enormt mycket fler träffar. Detta speglar rätt väl fjärrvärme resp. fjärrkylans situation kontra lokala lösningar i USA.
- Patentaktivitet i Kina och Sydkorea har ökat de senaste 10-20 åren.

Se vidare bilaga E som behandlar patentaktivitet, hur sökningar går till och resultat från sökningarna med relevanta patentansökningar inom vårt intresseområde.

2.12 RAPPORTUPPBYGGNAD

Huvudsyftet med rapporten har varit att identifiera minst 5 st. innovativa tekniker. Samt analysera dessa med avseende på ett antal kriterier, som kan omsättas i grundläggande målsättningar såsom:

- *Effekt målsättning*; Ett problem med distributionsnät för fjärrkyla är att de blir mycket utrymmeskrävande och investeringsintensiva, för att överföra stora effekter. Detta omsätts genom att fokusera på tekniska lösningar som ger höga ΔT, och då även innefattande fastighetssystemen.
- *Resurs målsättning*: En grundsten för att lyckas med fjärrkyla är att reducera primärenergianvändningen genom användning av frikyla. Ökad andelen frikyla kan uppnås om fjärrkylans returtemperatur kan ökas.
- *Prestanda målsättning*: Genom egenskaper vad gäller anläggningskostnad, robusthet, kompakthet. Robusthet kan som exempel lyftas fram stabilare reglerventiler, med exempel på bättre sekvensstyrning än med dagens teknik.
- *Prestanda målsättning*: Genom komfortkrav i form av kvalitet på inomhusluften.
- *Prestanda målsättning*: Genom värdekrav, som utgörs av ett brett spektrum av nyttigheter. Där driftekonomi bara är en av parametrarna.

Med dessa målsättningar kommer vi att behandla och analysera både tekniklösningar samt bredare influenser kring egenskaper inom yttre omvärldsaspekter. När vi arbetat med problemområdet har vi funnit ett antal mycket viktiga systemfrågor och specifika områden med kunskapsluckor, där vi efter svenska förhållanden, ser behov av framtida insatser. Vi har här vid faktainsamlingen identifierat områden där branschen genom kunskapslyft kan ge mervärden. För att strukturera materialet har vi valt att dela upp rapporten på två byggstenar:

- Del A Teknikrapport
- Del B Fördjupningsavsnitt

Vi sammanfattar i teknikrapportdelen viktiga resultat från de tyngre och mer omfattande fördjupningsavsnitten. För att bygga upp resonemangen i fördjupningsavsnitten har vi lagt tonvikt på att ge ett brett helikopterperspektiv och även fångat in kunskap från andra discipliner än de vanliga rent energirelaterade.

DEL A - Teknikrapport

3 Valda tekniklösningar och baskunskap

I de nästföljande avsnitten kommer de utvalda tekniklösningarna att presenteras närmare tillsammans med respektive tekniks för-och nackdelar. De tekniklösningar vi identifierat alternativt själva tagit fram är en blandning av nya typer av kundcentraler samt även förbättringar med tekniska komponenter. De centrala lösningarna som vi kommer att redovisa är:

En inledande beskrivning av referenstekniker med grundfallen:

- Konventionell kundcentral med batterier och värmeväxlare för återvinning av värme och kyla
- Konventionell värmedriven sorptiv kyla.
- Samt vad som skiljer adsorptionstekniken från absorptionsteknik.

Därefter redovisar vi de innovativa teknikerna med varierande teknisk lösning:

- Sorptiv hybrid kundcentral
- Sorptiv hybrid med direkt och indirekt evaporativ kylning
- Sorptiv hybrid med beredning av tappvarmvatten
- Sorptiv hybrid kompletterad med vattenburet kylsystem
- Sorptiv hybrid kundcentral med recirkulation av returluft.
- Sorptiv hybrid och utnyttjande av solfångare för kyla
- Sorptiv hybrid och utnyttjande av solfångare för kyla och tappvarmvattenberedning
- Sorptiv hybrid med pandemikoppling
- Sorptiv hybrid ett-rörssystem integrerat med vattenförsörjning
- Innovativ batterikombilösning
- Selektiv recirkulation av returluft
- Innovativ batterikombi med recirkulationskrets
- Kundcentralsystem med vattenkylning av ICT
- Membranteknik för fuktåtervinning i kombination med sorptiva hybriden

I de fortsatta avsnitten kommer vi att i huvudsak fokusera på teknikbeskrivningarna efter två huvudgrupper; Innovativa kundcentraler samt Innovativa lösningar kopplade till fastighetssystem. Vi kommer även att beröra en del ytterligare separata lösningar som även skapar mervärden. Vi kommer även att kort behandla smart grids.

Det finns några grundläggande byggstenar som det behövs lite baskunskap kring för att tillgodogöra sig den kunskap vi redovisar om egenskaper hos fuktig luft. Avsnitt 4.2 inleds därför med en kort beskrivning av Mollierdiagrammet (som används i Europa) och det psykrometriska diagrammet (som används i USA).

Något annat som har stor betydelse för att bedöma prestanda för olika tekniker är även att använda samma dimensionerande tillstånd. Vi har i projektet identifierat lite varierande praxis, som inte kan kopplas direkt till variationer av olika städers klimat. Byggnaders kylbehov i en stad uppvisar stora variationer beroende på en mängd faktorer, byggnadsstandard, verksamheten/användningen samt olika konsulters beräknade värden. Dessa faktorer leder till betydligt större differenser i

kylbehov än vad som kan identifieras kopplat till valet av dimensionerande tillstånd. Detta kan vara ett skäl till att man till synes inte lagt vikt vid att ta fram entydigt klimatologiskt definierade tillstånd.

Vårt projekt använder som en lösning sorptiva hjul i ventilationslösningen. Här blir behovet att använda rätt dimensionerande tillstånd direkt kopplade till aktuellt klimat centralt för att få fram resultat utan onödigt stora felmarginaler.

Fördjupad information om dimensionerande tillstånd, termisk komfort, olika definitioner av komfortzon samt om användning av Mollierdiagrammet mm finns i rapportens del B samt i bilaga A.

4 Sorptiva kundcentraler

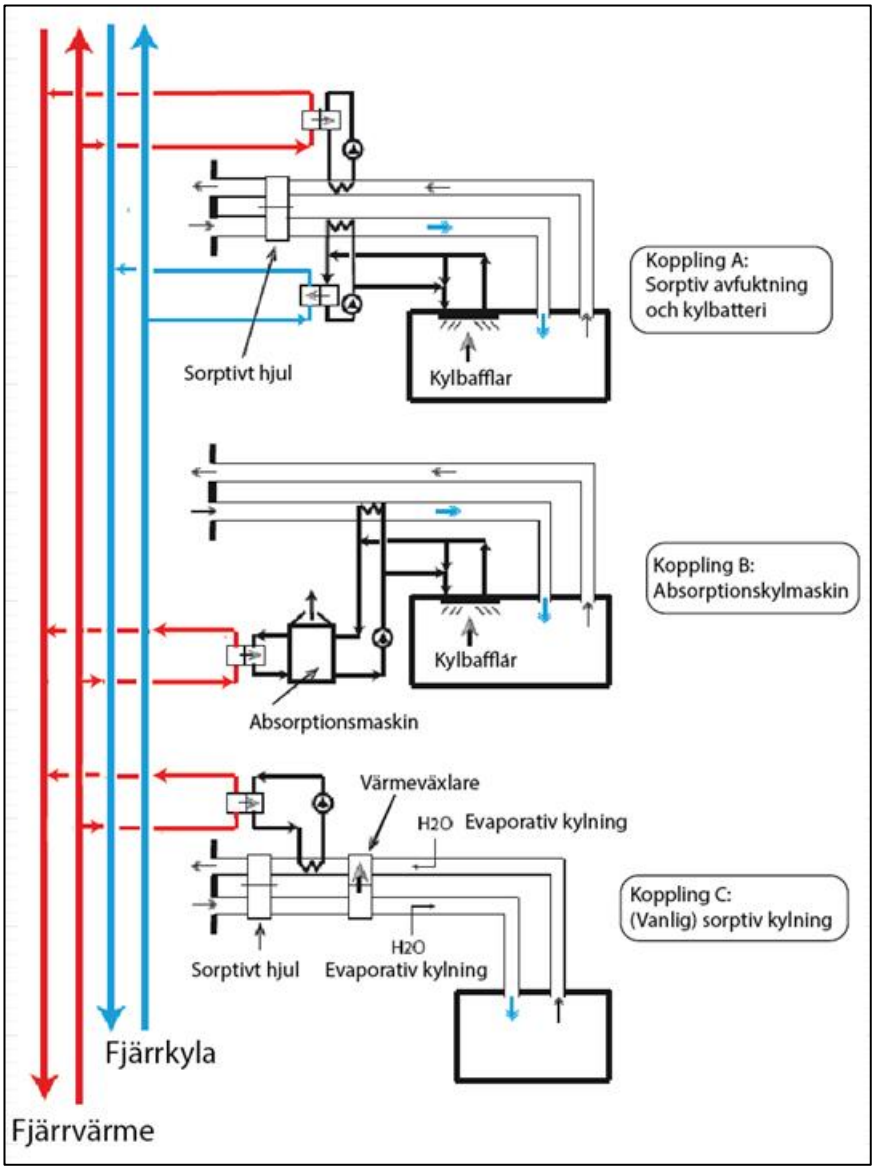
4.1 GRUNDKONCEPT - SORPTIVA KOPPLINGSVARIANTER

4.1.1 Penningtoncykeln och dess många varianter

I detta kapitel kommer vi bl.a. att presentera och diskutera tre varianter av det som vi kallar den sorptiva hybriden där man tillfogar evaporativ kylning på olika sätt. Den tredje varianten av dessa kan man även beskriva som en Pennington-cykel kompletterad med ett kylbatteri. Penningtoncykeln är den cykel man vanligen använder för att producera värmedriven kyla med sorptiv (även kallad dessicant) teknik. När man i Sverige säger ”sorptiv kyla” brukar det vara detta koncept som åsyftas. Först inleder vi dock med att redovisa de vanliga standardkoncepten. Att vi senare lyfter fram en tekniklösning vi valt att kalla ”hybrid” är för att indikera att det inte är standardkonceptet utan att det modifierats i någon form.

4.1.2 Fjärrkylecentraler baserade på olika absorptiva och adsorptiva processer

Värmedriven kyla bygger i allmänhet på, antingen en absorptionsmaskin eller en sorptiv cykel. Vi kommer i rapporten att redovisa olika koncept med utnyttjande av ett likartat upplägg av systemschema. Därmed blir respektive variants specifika utformning och skillnad med andra koncept tydligt spårbar. Oavsett om separata ledningar för primär distribution av fjärrkyla ingår i konceptet eller inte så har vi för formsakens skull lagt in dessa i figurerna. Skillnaden mellan absorptions- och adsorptionsprocess framgår av Figur 4. Djupare tekniska detaljer redovisas senare i detta kapitel.



Figur 4: Kopplingsprinciper för standardkoncepten absorptionskylmaskin (B), vanlig värmedriven sorptiv kylning (C) samt dito försett med ett extra kylbatteri för sorptiv avfuktning (A).

Det är underförstått att systemen ingår i lösningar som kompletterats på så sätt att det sker värmning på vintern. Huvudfördelen med den sorptiva cykeln (s.k. Penningtoncykel) är att den inte fordrar lika hög framledningstemperatur och att den ger bättre avkylning av fjärrvärmevattnet. Huvudnackdelen är att den inte kan användas för kylning via ett vattenburet kylsystem, dvs. den fungerar endast vid närvaro av ett ventilationssystem. Även när det finns ett sådant, är det fördelaktigt att kunna komplettera med ett vattenburet system: När kylbehovet är stort och man måste prestera all komfortkyla via ventilationssystemet, kan resultatet bli onödigt hög kylförbrukning om ventilationsflödet överstiger det flöde som behövs för att åstadkomma tillräckligt luftbyte. Alternativet är att välja hög avkylning av luften, men det medför risk för drag i rummen. Slutligen innebär närvaro av ett

vattenburet system bättre möjligheter att anpassa kylningen individuellt i de enskilda rummen.

Det finns fler faktorer att beakta vid jämförelsen. Vi avstår från att djupare gå närmare in på dessa båda metoder för värmedriven kyla då det finns en omfattande litteratur om dem, dels om metoderna i allmänhet, dels specifikt för fjärrvärmetillämpningar, det sistnämnda inte minst i rapporter som finns tillgängliga från Svensk Fjärrvärmes forskningsprogram Fjärrsyn och även det tidigare Hetvattenprogrammet (1995-2005).

Det finns även ett antal värden som kunden går miste om när man installerar lokal absorption, vilka i princip utgör de vanliga försäljningsvärdena (Added values) för fjärrkyla:

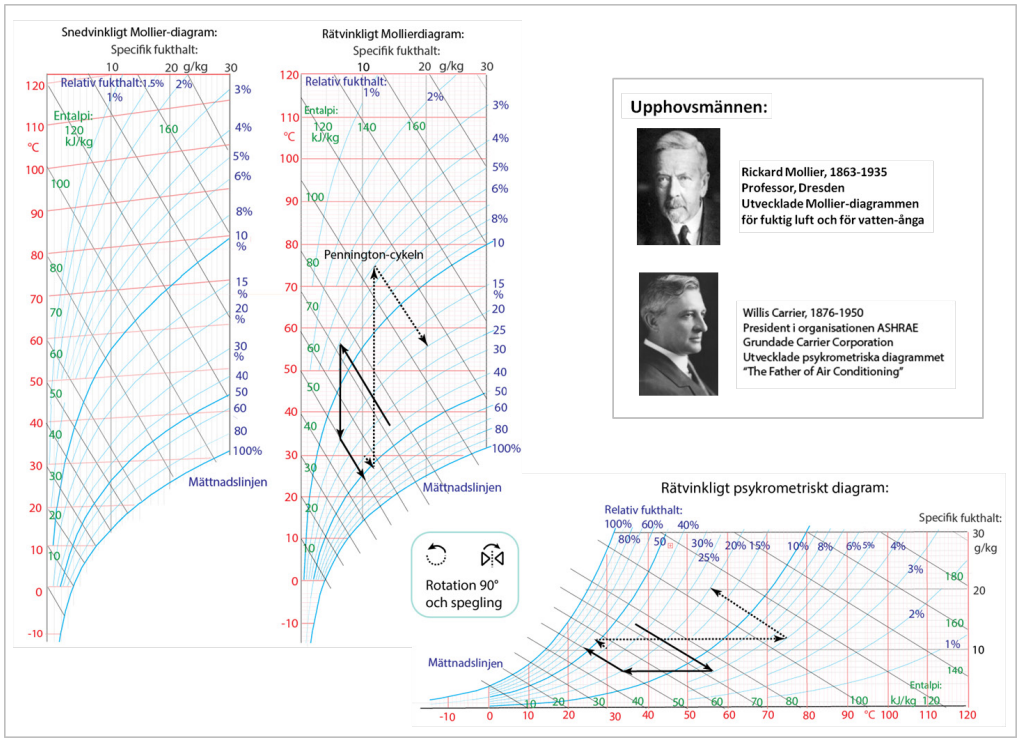
- Slipper kyltorn på taket, frigör utrymme
- Ingen risk för Legionella med vattenhantering i kyltorn hos kunden
- Utrymmesbehov betydligt större för absorptionskylmaskin än med kundcentral
- Högre drift och underhållskostnad på kylmaskin än med drift av rena VVX (avser interna pumpar och reglerventiler)
- Vid stillestånd och eventuell inläckage av luft med otäta packningar har man en korrosionsmässig aggressiv miljö för materialet i absorptionskylmaskiner (LiBr är ett salt)
- Ljudnivån med att pumpa runt vatten med saltkristaller
- Behov av reservkylmaskiner i varje byggnad

4.2 SORPTIVA, HYBRIDA KUNDCENTRALER

4.2.1 Mollierdiagrammet och sorptiv teknik för byggnadskyla i allmänhet

Innan vi presenterar det innovativa konceptet sorptiv hybrid kundcentral är det för jämförelsens skull lämpligt att ta upp konventionell kundcentralteknik med en kortfattad presentation av Mollierdiagrammet för fuktig luft, det psykrometriska diagrammet och temperatur-effekt-diagrammet som vi kommer att använda flitigt.

Mollierdiagrammet tillhör den klassiska termodynamiken och finns behandlat i många läroböcker och andra publikationer. På nätet kan man t ex hitta en detaljerad presentation av diagrammet på tyska och engelska i en publikation från Siemens (8). ”The Dehumification Handbook” (9) utgiven Munters, presenterar på ett pedagogiskt sätt det psykrometriska diagrammet och avfuktningsteknik. Om man vill läsa om Mollierdiagrammet på svenska, hittar man det t ex i boken Abel och Elmroth: ”Byggnaden som system” (10). Se även rapportens bilaga A. Här kommer en mycket kortfattat presentation, som kommer att komplettas med förklaringar efterhand i konkreta fall där diagrammen används:

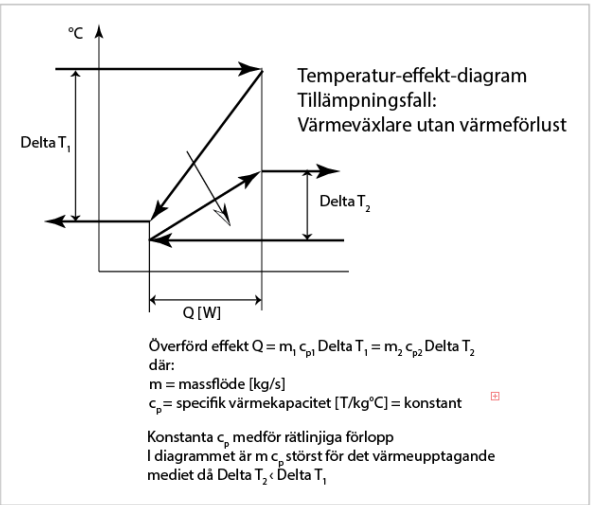


Figur 5: Mollierdiagram och det psykrometriska diagrammet.

Mollierdiagrammet, se Figur 5, finns i en strikt version med ett snedvinklat koordinatsystem och i en förenklad version med et rättvinklat koordinatsystem som vi kommer at använda. I bl.a. USA används en variant av Mollierdiagrammet, det psykrometriska diagrammet, som man kan erhålla genom att rotera Mollier-diagrammet 90 grader och därefter spegla. Båda diagram kommer att uppträda nedan, då vi återger diagram ur både europeiska, amerikanska och andra referenser.

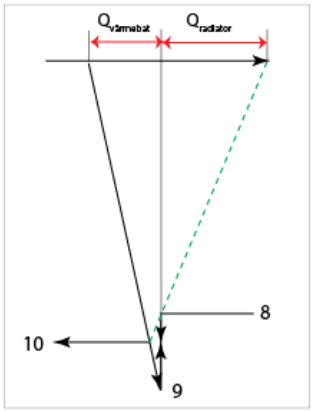
I Mollierdiagrammet är gastemperaturen ordinata, och abskissan är den specifika (även kallad absoluta) fukthalten i form av g (eller kg) fukt per kg torr luft. I diagrammet finns kurvor för relativ fukthalt och för konstant entalpi och ibland även för specifik volym. De båda sistnämnda är räta linjer som lutar. Det vanligaste (och besvärligt för européer) är att temperaturen i det psykrometriska diagrammet i regel anges i grader Fahrenheit.

En annan typ av diagram vi kommer att använda för att grafiskt avbilda tillstånds-förlopp i värmeväxlare, jämte blandning av flöden med olika temperatur, är temperatur-effektdiagram. Enkel tillämpning på värmeväxlare visas i Figur 6; användning på blandning av flöden kommer att framgå vid presentationen av anläggningar i fortsättningen.



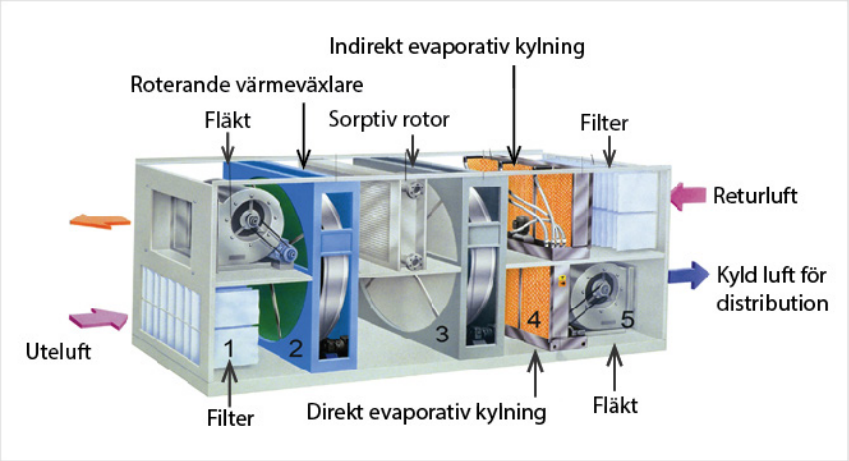
Figur 6: Temperatur- effektdiagram (11).

Figur 7 illustrerar en finess med temperatur-effektdiagrammer, hur man grafiskt på enkelt sätt kan konstruera blandningstemperatur för två flöden: Avkylningslinjen för det flöde som lämnar värme till, i det fallet, radiatorkretsen speglas och förskjuts åt vänster till den gröna linjen där man fortsätter linjen tills den skär den andra avkylningslinjen, varvid man erhåller blandningstemperaturen 10. Se vidare Figur 23.

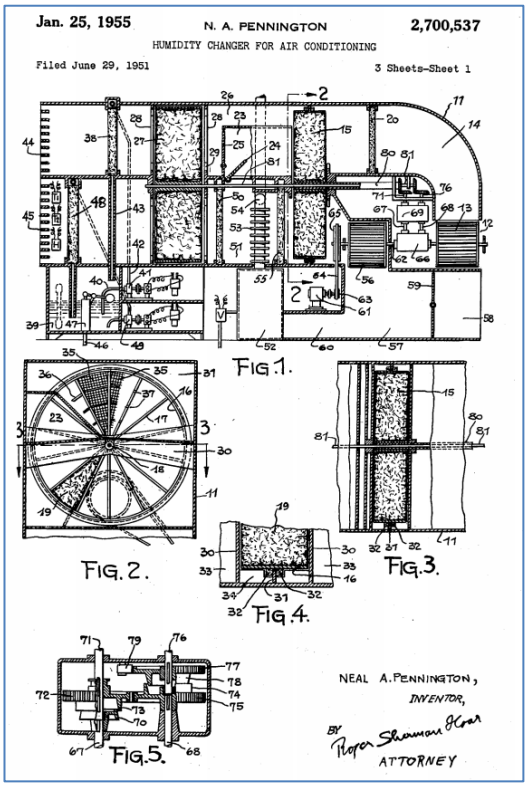


Figur 7: Grafisk konstruktion av blandningstemperatur.

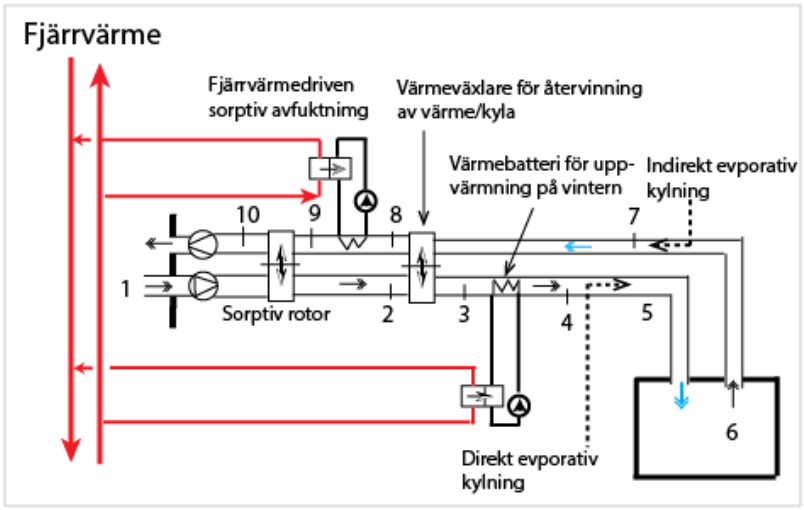
En vanlig process inom fjärrvärmetekniken, som baseras på sorptiv teknik, är Pennington-cykeln som möjliggör byggnadskylning med enbart värme från ett fjärrvärmenät, Figur 8 – Figur 11.



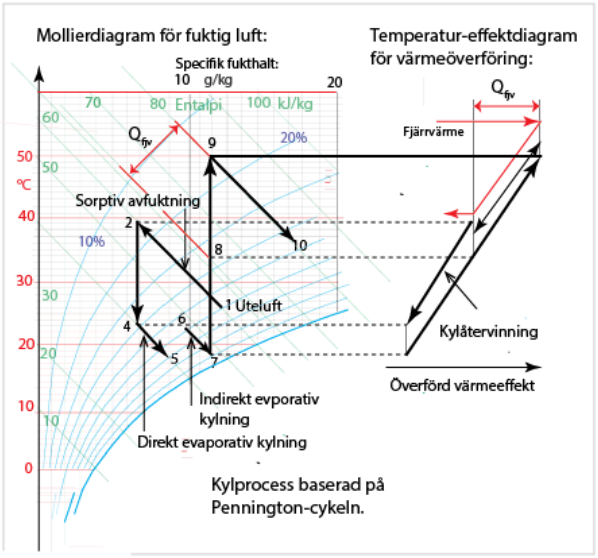
Figur 8: Modernt, standard värmedrivet sorptivt kylaggregat med produktnamnet DesiCool. Källa: Munters.



Figur 9: Neil A. Pennington's patent. Källa: (12) [www.espacenet.com.](http://www.espacenet.com)



Figur 10: Pennington-cykeln med fjärrvärme som drivenergi.

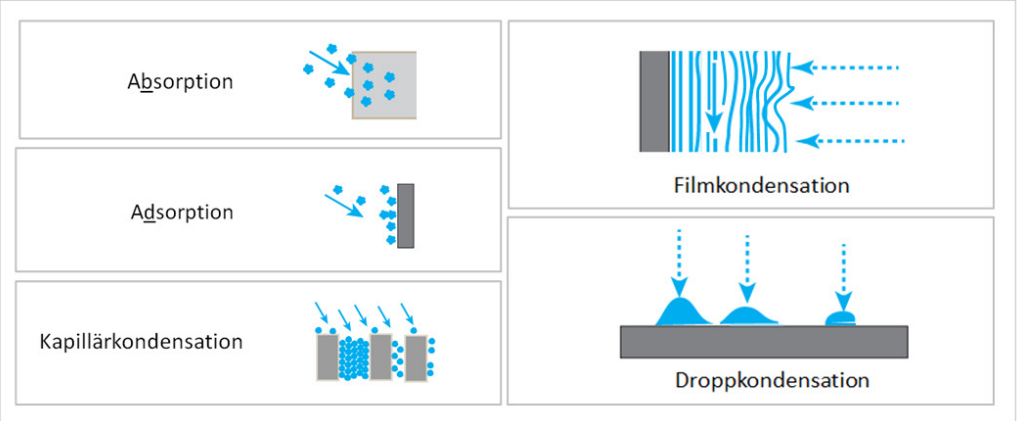


Figur 11: Kylprocessen i ett Mollier- och temperatur-effektdiagram.

Samma funktion har värmedrivna absorptionsmaskiner. Fördelen med den sorptiva processen är at den kan drivas med lägre framlednings- och returtemperatur. En begränsning, som absorptionsprocessen inte har, är att den sorptiva processen förutsätter att det finns ett ventilationssystem. I Sverige är de flesta fjärrkylekunder kommersiella och institutionella kunder med byggnader som har ett sådant system. I andra länder, t ex Danmark, finns det många byggnader som har ett kylbehov, men inte något ventilationssystem.

Pennington-cykeln, som patenterades på 1950-talet av amerikanen Neil A. Pennington, bygger på adsorption som innebär att (i det här fallet) vattenmolekyler binds vid ytan av en desiccant, ett ämne med hygroskopiska egenskaper, medan absorption innebär att vattenmolekylerna tas upp i hela det

andra mediet, t.ex. i processer med LiBr och vatten eller NH_3 och vatten. Mer precist binds vattenmolekylerna till desiccanten med van-der-Waals-krafter. Adsorption beror alltså på en fysikalisk mekanism, medan absorption är kemisk, förknippad med ett lösningsvärme. Se Figur 12 där vi från olika källor hämtat figurer och därefter sammanställt en tydlig presentation av olika typer av mekanismer för bindning av vattenånga till fasta ämnen.



Figur 12: Olika mekanismer för bindning av vattenånga vid fasta ämnen. Källa: Google Images och VDI Värmeatlas.

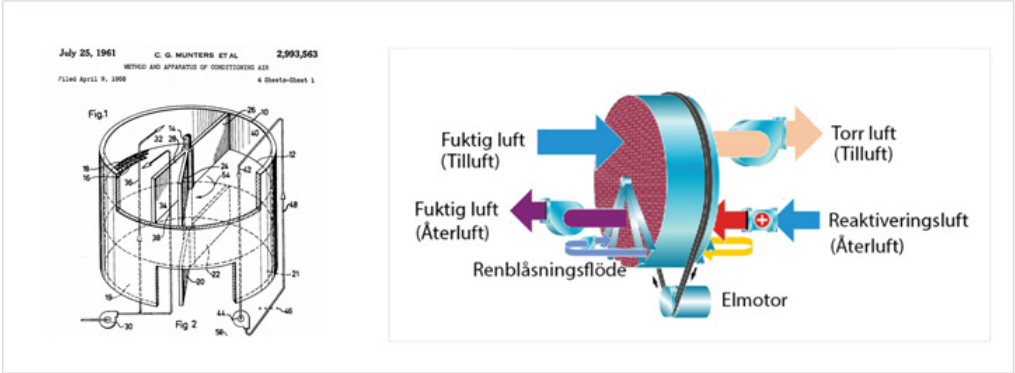
En annan hygroskopisk mekanism, som kan binda molekyler vid ytan av en desiccant, är kapillärkondensation; här är orsaken ytspänningskrafter/kapillaritet. Medan det fordras värmning för att frigöra molekyler som adsorberats, räcker det vid kapillarkondensation med låg fukthalt i den omgivande gasen för att frigöra molekylerna. De båda mekanismerna kallas även aktiv respektive passiv sorption. Vi återkommer till passiv sorption längre fram.

För jämförelsens skull visas i Figur 12 även ”vanlig kondensation” på en kall yta med värmeupptagning. Det finns två former: Filmkondensation (som täcker hela ytan) och droppkondensation.

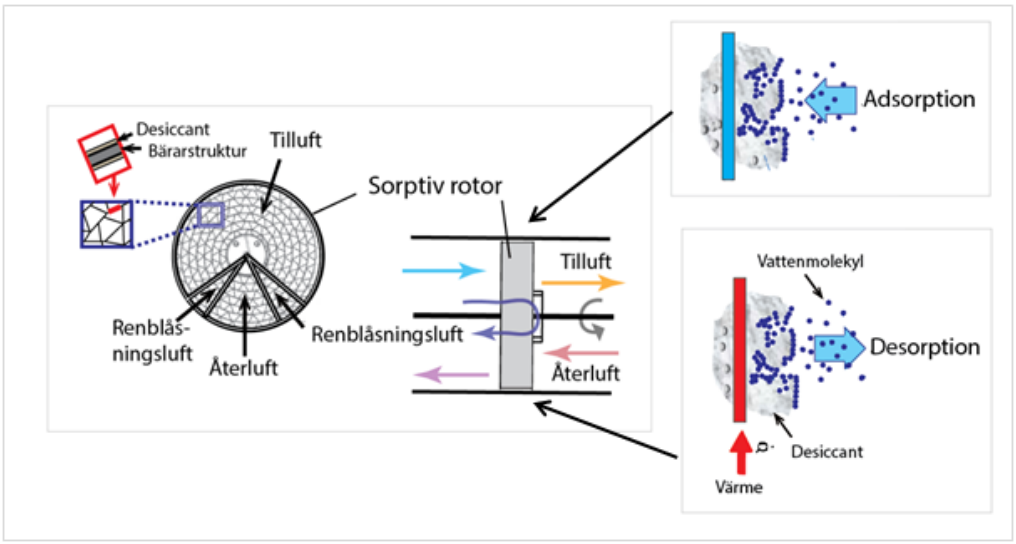
I Pennington-cykeln, Figur 10 och Figur 11, sker i en sorptiv rotor avfuktning 1-2 med en tillståndsförändring som i idealfallet är helt adiabatisk och därför följer en linje med konstant entalpi i Mollierdiagrammet. Därefter kommer i en värmeväxlare avkylning med konstant fukthalt och därför en rät linje, 2-4. Värmebatteriet är inte i funktion vid kylning utan används för uppvärmning på vintern. Därefter sker genom indysning av vatten en uppfuktning och avkylning (direkt evaporativ kylning) som även den i idealfallet är adiabatisk och rör sig längs en linje med konstant entalpi, 4-5. I de kylda rummen sker en uppvärmning från 5 till 6 på grund av interna värmelaster och en uppfuktning, vanligen på grund av närvaro av människor och genom inläckage från den fuktigare omgivningen och ibland även från ytterligare källor, t ex tvätt eller växter.

I återluftkanalen sker först en avkylning med vattenindysning, 6-7 och sedan en värmeväxling 7-8 där det tas upp värme från tilluften som nyss beskrivits. Kombinationen av vattenindysning och värmeväxling kallas indirekt, evaporativ kylning. Nästa steg är värmning med värme från fjärrvärmenätet, 8-9, och slutligen

sker en fuktavgivning (desorption) från den sorptiva rotorn motsvarande nyss beskriven upptagning av fukt från tilluften. Då syftet med värme är att driva ut fukten brukar man kalla temperaturen i inloppet til rotorn reaktiveringstemperaturen eller regenereringstemperaturen.



Figur 13: Sorptiv (aktiv desiccant) rotor, C.C. Munters' patent till vänster och en modern rotor till höger. Källor: www.espacenet och www.munters.com/sv/solutions/avfuktning



Figur 14: Sorptiv rotor och dess funktion. Källa: "Adsorption" och "Desorption" (13).

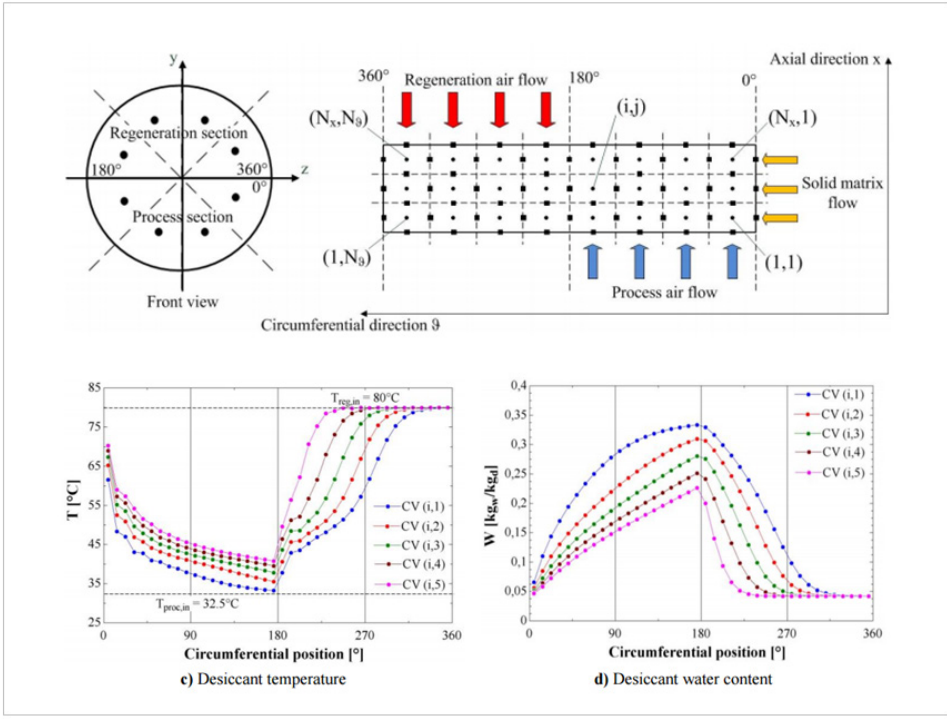
Den sorptiva rotorn Figur 13 uppfanns på 1950-talet av svensken Carl C. Munters (1897-1989) och en av hans medarbetare. Figur 14 visar hur den sorptiva rotorn i dag är uppbyggd och fungerar: Luften strömmar inuti ett stort antal parallella kanaler, och i dessa, dvs. på rotorns inre ytor, sker växelvis upptagning och frigörande av vattenånga. Genom rotorns rotation kommer alla kanaler att omväxlande genomströmmas av luft i tilloppssystemet och luft i återluftsystemet. I regel är rotorn uppbyggd med en honeycomb-struktur på samma sätt som t.ex. rotorer för värmeåtervinning och katalysatorer för fordon. Skillnaden jämfört med en katalysator är att den inre ytan är belagd med en desiccant i stället för ett katalytiskt skikt. I båda fallen gäller det att göra den inre ytan stor som möjligt för att göra apparaten så kompakt som möjligt, och att se till att luftens passage inte ska medföra för högt tryckfall.

Förutom antagandet om adiabatiska förlopp i den sorptiva rotorn finns ett antal ytterligare förenklingar som inte är försumbara, men inte heller drastiska, bl.a.:

Vi bortser från den uppvärmning eller avkylning som sker i luften i ventilationssystemet. Vi bortser från den temperaturstegring som sker i fläktarna. I temperatur-effektdiagrammet antas alla linjer vara parallella vilket förutsätter att massflödet gånger specifik värmekapacitet har det samma värde vid alla tillståndsförändringar. Processerna med upptagning i och avgivning från den sorptiva rotorn förutsätts vara helt adiabatiska, dvs. det är enbart fukt som överförs, inte värme. Vi återkommer till förenklingarna.

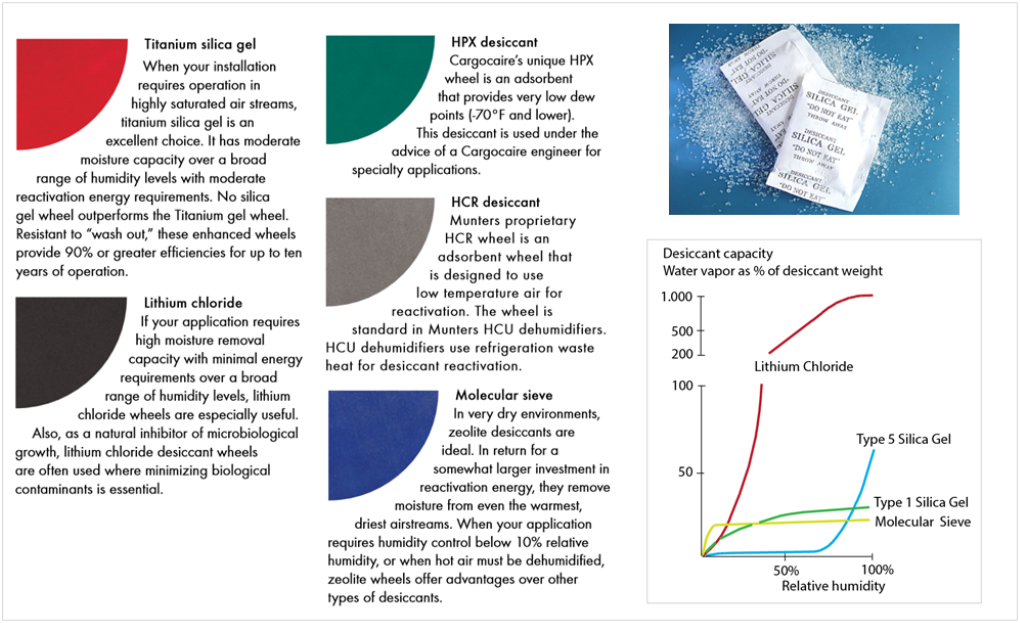
Rotorn drivs via en kilrem av en elmotor. Då utbyte av fukt är en långsammare process än värmetransport, rotorer en sorptiv rotor avsevärt långsammare än en (rent) värme- eller kylåtervinnande rotor, typiskt med varvtalet 20 varv i timmen, i stället för typiskt 10 varv i minuten. Som man ser, är sektorn för tilluft större än sektorn för återluft, vilket är typiskt, då fuktupptagningen går snabbare än fuktavgivningen, beroende på hur hög temperatur regenereringen börjar vid.

Den i Figur 14 visade rotorn är försedd med ett renblåsningsflöde, som innebär att ett litet luftflöde leds från tilluften in i avluften. Huvudsyftet med detta är att (som beteckningen antyder) se till att varje kanal som förflyttar sig in i den sektor av rotorn där det strömmar tilluft, dessförinnan har tömts på återluft. Därmed undviker man transport av kanske ohygienisk återluft till tilluften. I de kundcentraler vi kommer att visa uppträder för enhelhetens skull inte något renblåsningsflöde.



Figur 15: Temperatur- och fuktfördelning i en sorptiv rotor. Källa: (14).

Figur 15 visar beräknad variation i temperatur och fukthalt på en cylinderyta med given radie i en sorptiv rotor vid en given tidpunkt. Kurvparameter är positionen i axialled, uttryckt med hjälp av noder i ett gitter. Där blå värden CV (i,1) är närmast centrum på rotorn och ljuslila värden CV (i,5) är närmast ytterdiametern. Längs x-axeln är positionen i periferiel led, representerad av vinkeln. Den aktuelle rotorn har lika stora sektorer för luftflödena på ömse sidor. Man ser det cykliska förloppet av kurvornas variation i den periferiella riktningen.

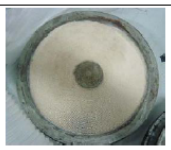


Figur 16: Olika typer desiccanter. Källa: Munters.

Det finns flera hundra typer desiccant med olika egenskaper, lämpade för olika typer av användning, se Figur 16. Den klassiska typen är Silicagel, ibland kallad aktiv kiselsyre, SiO_2. Utöver funktionen som desiccant i sorptiva rotorer finns t ex (illustrerat av fotot uppe till höger) påsar med Silicagel som placeras i paket vid transport och lagring av fuktkänsliga produkter, t ex elektronisk utrustning. I denna typ av tillämpning består desiccanten av lösa korn.

I figurens vänstra del beskrivs fem olika desiccanter som används i rotorer. T ex har litiumklorid antimikrobiell verkan som kan utnyttjas i kundcentraler där man vill ha effektivt skydd mot överförande av föroreningar från återluft till tilloppsluft. Detta är en viktig egenskap i relation till den innovativa typ av kundcentral vi kommer att presentera då ett av argumenten för denna central just är möjligheten att undvika mikrobiella problem.

Desiccanternas fuktupptagande förmåga specificeras i ett diagram där luftens relativa fukthalt som abskissa. Man ser att kurvan (kallad isotermen) varierar starkt mellan de olika typerna. Man kan inte säga generellt att den ena karakteristikan är bättre än de övriga, det beror på tillämpningen. Det pågår en ständig utveckling av nya desiccanter. En av fokuspunkterna är att förbättra tåligheten för olika påverkan som påskyndar åldring med nedsatt verkan. Se ref. (15) och (16).

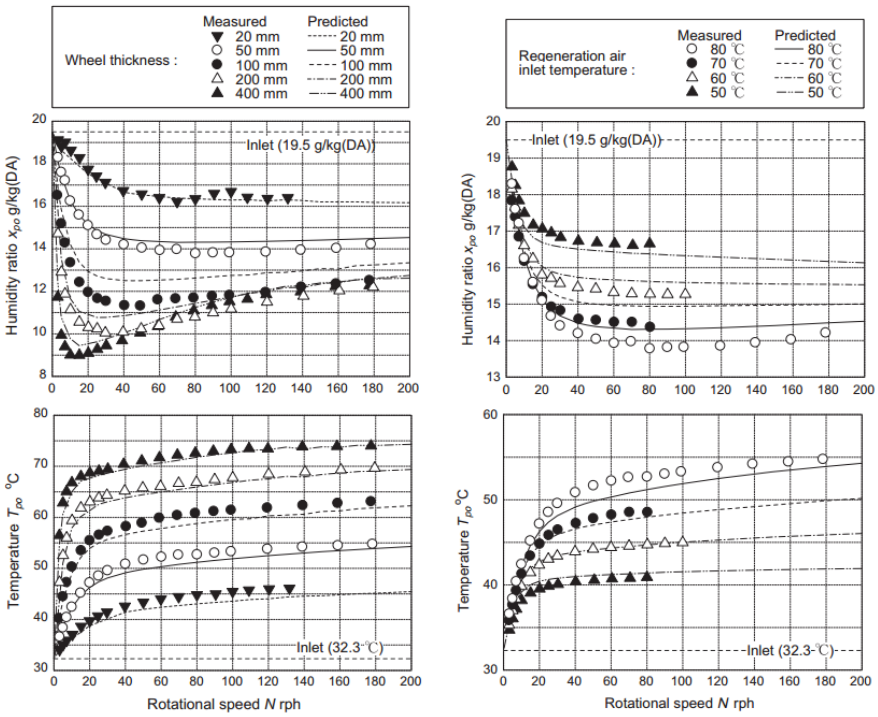
Manufacturer	*Engelhard HexCore,LP DES-H-Hexcore-DC15/N*	*Klingenburg SECO 1000*	*Silica gel fabricated*	*Silica gel composite fabricated*
Abbreviation	*H-St*	*K-St*	*S-Sh*	*SC-Sh*
Wheel specifications				
Matrix material	*Hexcore Nomex™*	*Cellulose*	*Ceramic based*	*Ceramic based*
Desiccant type	*Hexcore ETS™ (titanium silicate)*	*lithium chloride*	*Silica gel*	*Silica gel & lithium chloride*
Matrix structure	*honeycomb*	*sinusoidal structure*	*honeycomb*	*honeycomb*
Wheel depth	*140 mm*	*250 mm*	*16.6mm/100mm*	*16.6mm/100mm*
Wheel diameter	*870 mm*	*895 mm*	*260 mm*	*260 mm*
Revolutions per hour	*15-100 r h^{-1} (winter)*	*20 r h^{-1} (summer) / up to 600 r h^{-1} (winter)*	*8-24 r h^{-1}*	*8-24 r h^{-1}*
face velocity	*2 to 2.6 m/s*	*1.5 to 2 m/s*	*2.0-2.5 m/s*	*2.0-2.5 m/s*
Reg. temp.	*55 °C to 85 °C (max. 120 °C)*	*40 °C up to 70 °C*	*60 °C to 120 °C*	*60 °C to 90 °C*

Figur 17: Exempel på kommersiella desiccant-rotorer av olika fabrikat, desiccant-typ, dimensioner, aktiveringstemperatur mm. Källa: Allied Thermal Engineering (17).

Reaktiveringstemperaturen varierar starkt mellan olika tillämpningar. Således kan den t.ex. vara hög där reaktiveringen sker med hjälp av värme från en gaseldad panna. Solvärme, olika former av spillvärme och fjärrvärme fordrar att desiccanten fungerar vid relativt låg temperatur. Bland de olika exemplen på sorptiva rotorer som redovisas i Figur 17 märks t ex en rotortyp från den tyska tillverkaren Klingenburg GmbH som klarar av en så pass låg lägsta reaktiveringstemperatur som 40°C. Denna rotor är betydligt bredare än de övriga. Detta medför ett relativt högt tryckfall, men detta är oundvikligt om man vill åstadkomma en betydande avfuktning med en låg aktiveringstemperatur i en apparat där diametern är begränsad.

Det har utvecklats värmedrivna, sorptiva system som endast fordrar en regenereringstemperatur om kring 30°C, (18).

Figur 18 visar resultat från en vetenskaplig studie där man simulerat en rotors prestande i en matematisk modell som veriefierats med mätningar. Som framgår av diagrammen är överensstämmelsen god. I litteraturen hittar man ett stort antal undersökningar av denna typ, t ex ref (19), (20), (21) och (22). I diagrammet uppe till vänster är kurvparameten rotorns bredd. Med den största bredden kan man med optimerat varvtal reducera den specifika fukthalten med 10 g/kg.



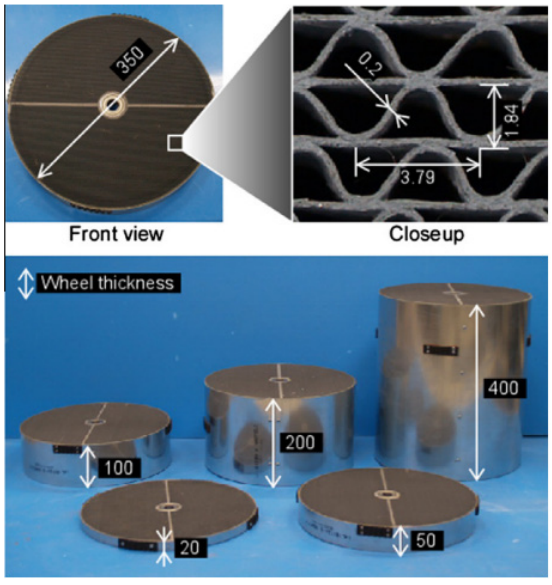
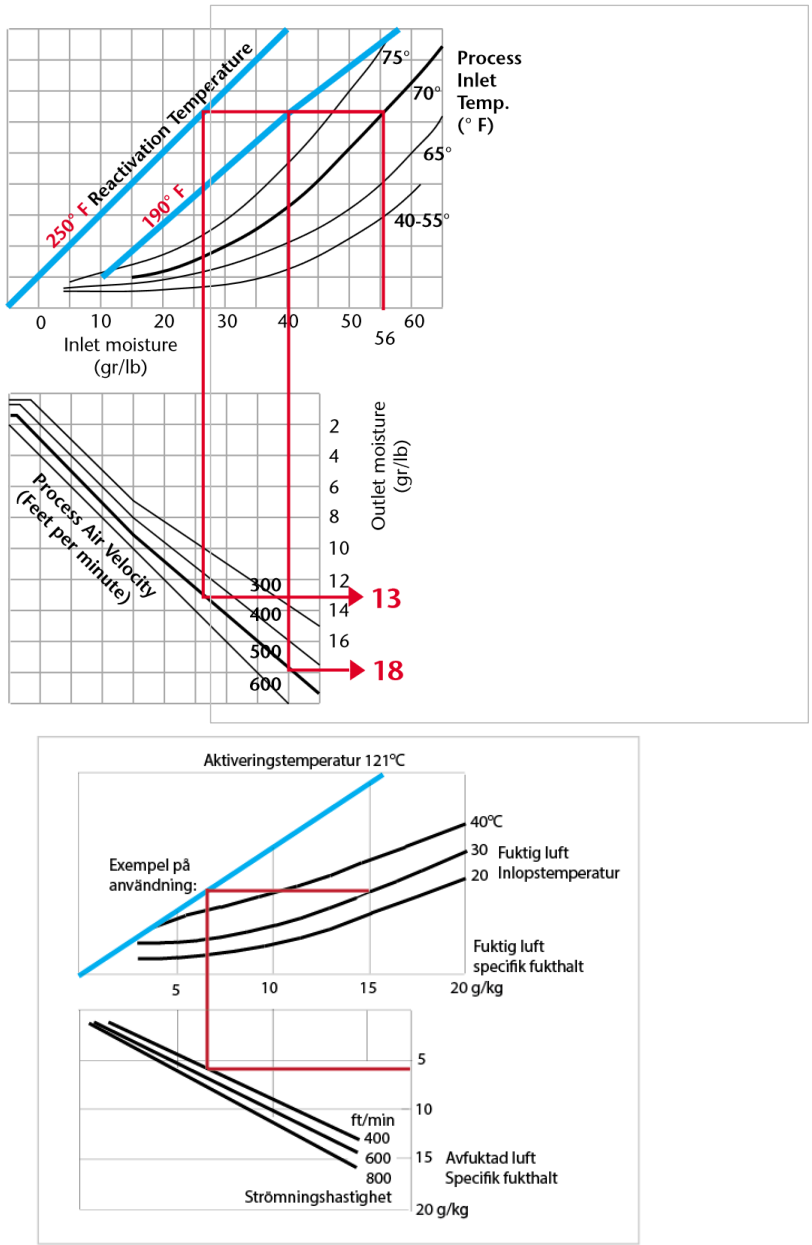


Fig. 2. Pictures of desiccant wheels.

Figur 18: Vetenskaplig analys av desiccantrotorers prestanda. Källa: Yamaguchi et al. (23).

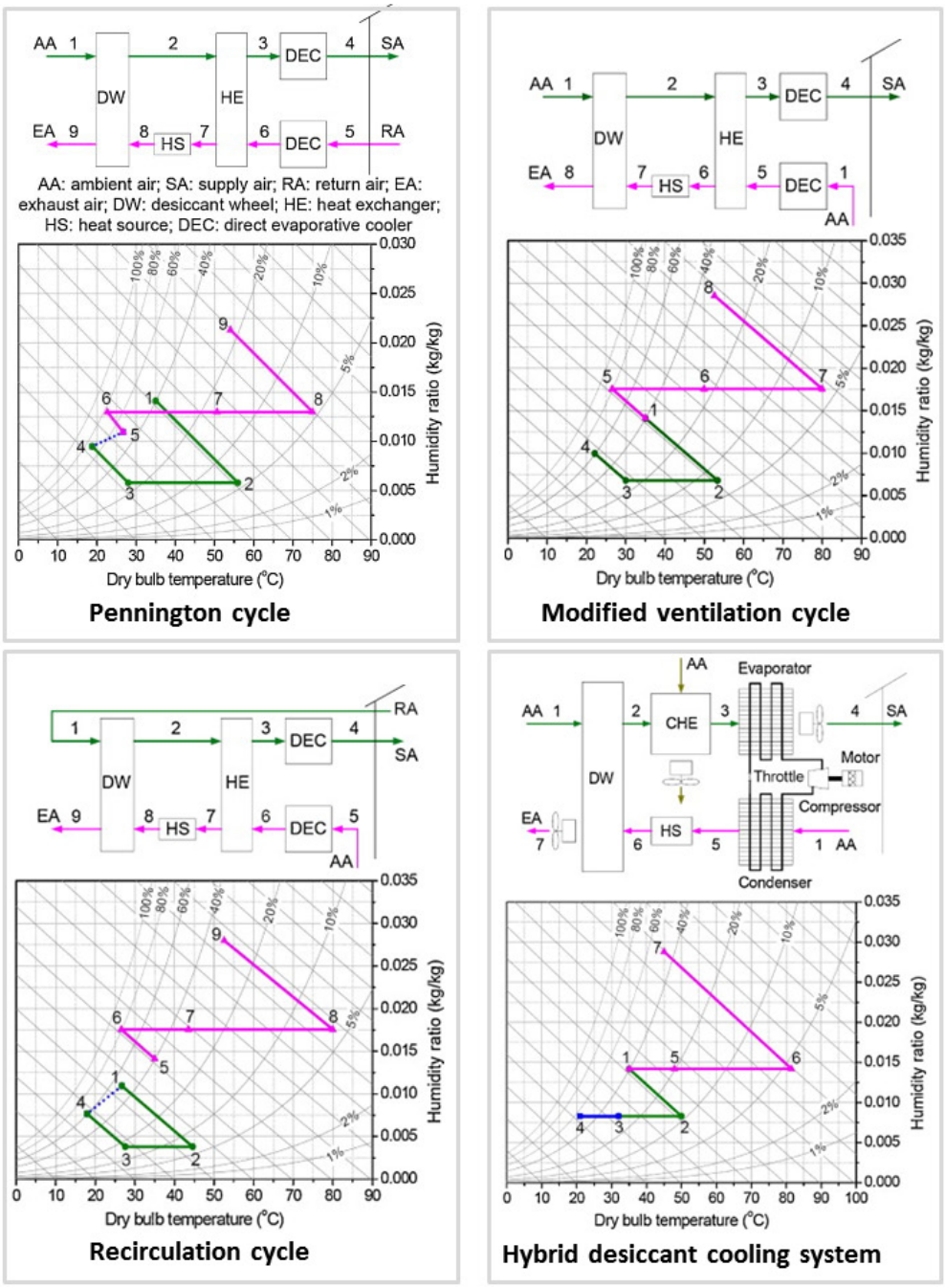
Figur 18 visar beräknade och uppmätta prestanda för desiccant-rotorer som funktion av varvtalet. Specifik fukthalt (de övre diagrammen) och temperatur (det undre diagrammen) efter avfuktning. Kurvparameter: Rotorns djup (det vänstra diagrammen) och reaktiveringstemperaturen (temperatur i inloppet, det högra diagrammen).



Figur 19: Exempel på dimensioneringsdiagram för sorptiva rotorer. Källa: Munters, ref (9) m.fl.

Figur 19 visar exempel på dimensioneringsdiagram för sorptiva rotorer. Diagrammet längst ner avser en synnerligen bred rotor. Som man ser, är det med denna rotor möjligt att åstadkomma en avfuktning om 10 g/kg, en egenskap vi kommer att utnyttja i kundcentraler avsedda för varma och fuktiga sommarklimat.

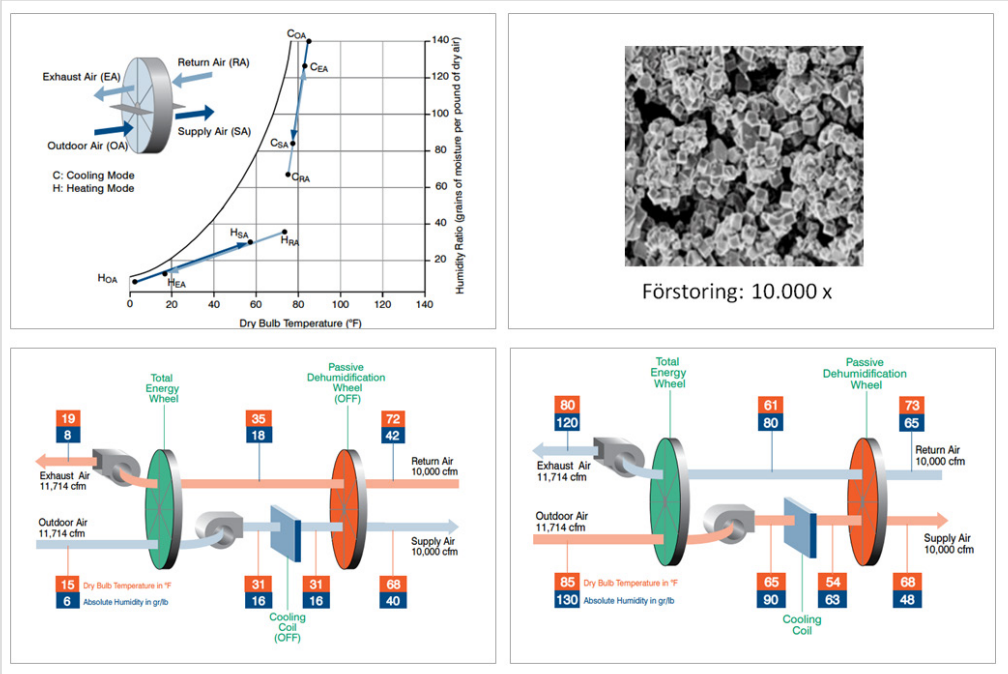
Det finns många varianter av Pennington-cykeln, på engelska även kallad ”Ventilation cycle”. Figur 20 visar uppe till vänster grundvarianten, dvs. det samma som Figur 11, fast i ett psykrometriskt diagram i stället för ett Mollierdiagram. I varianten uppe till höger visar man hur cykeln kan modifieras när det inte finns något återluftflöde. När uteluften är varmare än inneluften, blir energiutnyttjandet sämre än i grundvarianten.



Figur 20: Varianter av Pennington-cykeln. Källa: (15).

Nere till vänster avfuktar och kyler man recirkulerad återluft i stället för uteluft, vilket gör det möjligt att öka kyleffekten, till priset av en sämre kvalité på luften inomhus. I varianten nere till höger kompletterar man med en värmepump, vilket kan vara gynnsamt om det värme som tillförs cykeln är begränsat eller relativt dyrbart. Vi kommer att referera till dessa varianter längre fram när vi diskuterar varianter av den sorptiva hybrida kundcentralen. I den artikel ur vilken de fyra visade varianterna visats, finns ytterligare 7 varianter av Pennington-cykeln.

Figur 21 visar ett arrangemang med en passiv-desiccant-rotor (en rotor som kan avge fukt utan värmning), en värmeväxlar-rotor, ett kylbatteri, och ett värmebatteri som är i funktion på vintern. Den desiccant som visas i förstoring uppe till höger är en 3A-molekylär-sikt-desiccant, vilket syftar på att den av kristaller bildade öppna strukturen har porer som har en dimension om endast 3 Ångström, varvid långt flesta ämnen och molekyler som utgör ett potentiellt hygieniskt problem inte kan bindas, då de är för stora för att passera; det gäller t ex alla mikroorganismer, inklusive de små viruspartiklarna.



Figur 21: Kylande, avfuktande och värmande system baserat på en passiv desiccant. Systemet marknadsförs i USA av Semco Inc. under beteckningen ”Pinnacle” och i Sverige av Fläkt Woods AB (samma koncern) under beteckningen ”Twin Wheel”.

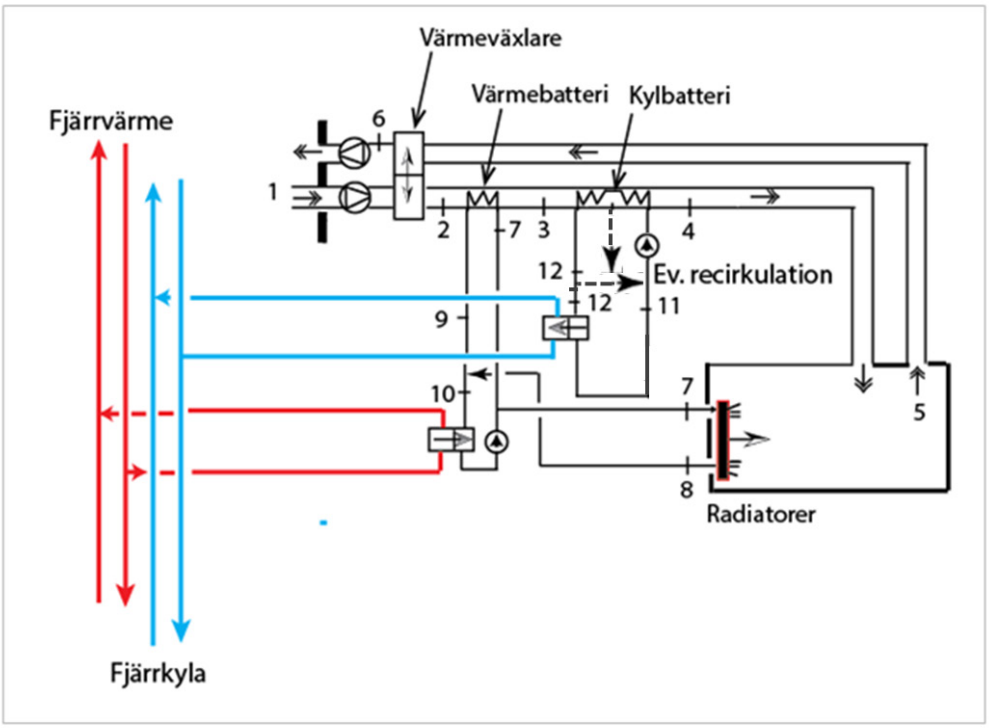
Den omständighet att det inte, som i fallet med aktiv desiccant, fordras någon värmetillförsel, är en fördel där det inte utan vidare finns en tillgänglig värmekälla, t ex naturgas. Det kan t ex även vara fallet inom klimatiska regioner med en varm vinter, där det till en fastighet finns fjärrkyla framdragen, men inte fjärrvärme. Den sistnämnda fördelen är av mindre intresse i Sverige då det här nästan alltid finns fjärrvärme där fjärrkyla är aktuell. Vi har dock inte analyserat närmare de möjligheter som det ändå kan tänkas ligga i användning av systemet i ett svenskt sammanhang med fjärrvärme och fjärrkyla.

4.2.2 Konventionella kundcentraler med värme- och kylbatterier

På de flesta håll i världen är det vanligaste sättet att förse en byggnad med kyla att utnyttja ett ventilationssystem. I Europa kompletterar man ibland, särskilt vid större kylbehov, med ett vattenburet system. Detta är inte lika vanligt i t.ex. USA (”radiant cooling”), (24), där uteluften på många håll kan vara mycket fuktig,

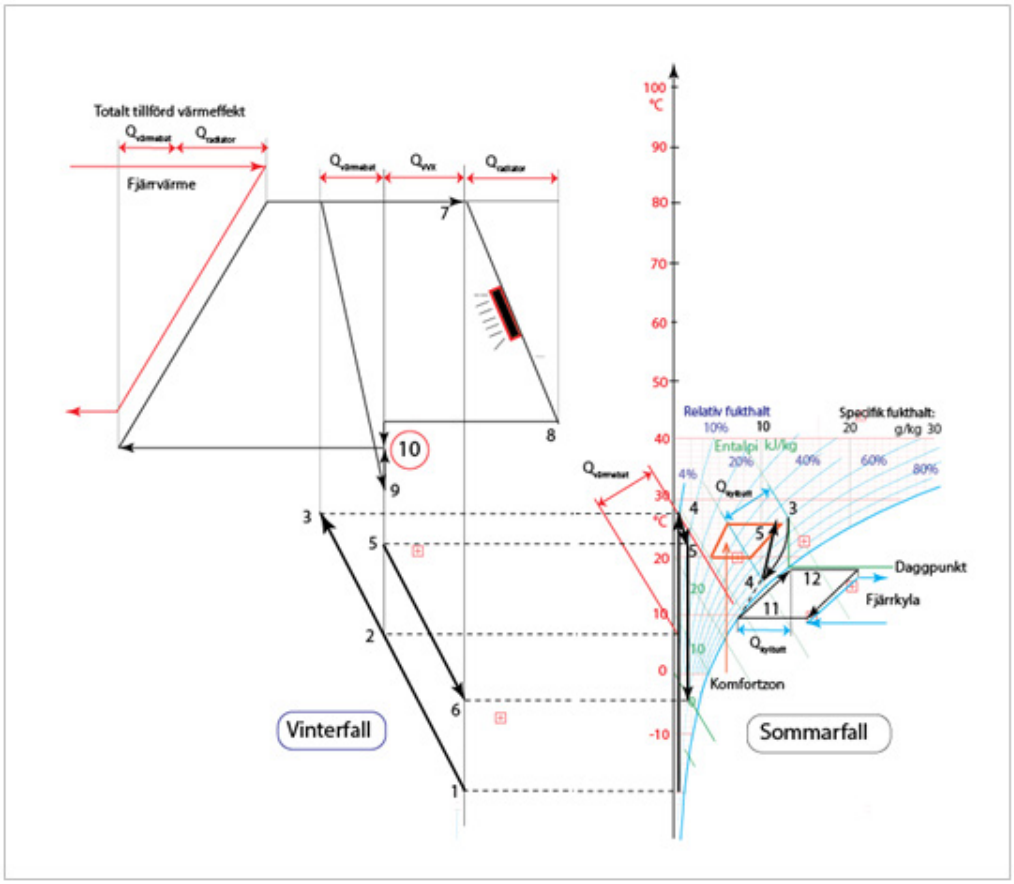
vilket kan medföra fuktkondensering på kylande ytor i rummen. För att klara av stora kylbehov brukar man recirkulera återluft där det finns ett återluftsystem.

I Sverige och på många andra håll i världen är nästan alla byggnader försedda med ett radiatorsystem. Återigen är det något (”radiant heating”), (24), som ofta saknas i USA, där all värmning brukar ske med ventilationsluft. Sverige är, jämte Finland, sannolikt det europeiska land, där luftburen kyla är mest vanlig. Således finns det nästan undantagslöst i alla kommersiella och institutionella byggnader.



Figur 22: Referensfall med konventionell kundcentral med batterier och värmväxlare för återvinning av värme och kyla.

Det system som visas i Figur 22 är således typiskt för svenska byggnader som tillhör denna kategori, frånsett utelämnande (för enkelhetens skull) av ett tappvarmvattensystem. Ett sådant och ett betydande behov av energi för att värma tappvattenvatten finns i nästan alla bostadshus i Sverige, där å andra sidan endast en mindre del av dessa byggnader har ett ventilationssystem. I de flesta kommersiella och institutionella byggnader, t ex kontorshus, är tappvarmvattenbehovet avsevärt mindre än i bostadsbyggnader. Simhallar, motionsanläggningar mm har dock ett mycket stort tappvarmvattenbehov.



Figur 23: Temperaturer och fukthalt för den konventionella kundcentralen som visas i Figur 22.

I Figur 23 har ett rätvinkligt Mollierdiagram kombinerats med temperatur-effektdiagram enligt tidigare visad Figur 6 med både ett vinter- och ett sommarfall inritade, båda utgående från ett uteluftstillstånd som är ungefär det som typiskt används i Sverige. Vinterfallet finns i den vänstra delen av Mollierdiagrammet kompletterat med all grafik till vänster om diagrammet. Den energi som måste tillföras uteluften är på vintern avsevärt större än på sommaren, främst därför att det i luft-luft värmeväxlaren sker en värmeåtervinning.

På sommaren sker fuktutfällning i kylbatteriet. Detta är en oundviklig konsekvens av att ingående kylvattnets temperatur endast är 9°C, 2°C högre än inkommande fjärrkylevattnets temperatur, vilket ligger väsentligt under daggpunkten som är 18°C inomhus (avläses som skärningspunkten mellan mättnadskurvan och en vertikal linje som innehåller punkten 3). När luften lämnar batteriet håller den temperaturen 16°C. I rummen sker en betydande uppvärmning, till 27°C, sluttillståndet 5. I Mollierdiagrammet har med orange färg ritats en fyrkant som avgränsar en komfortzon (se avsnitt 19 om inomhustillstånd). Det sker även en viss uppfuktning.

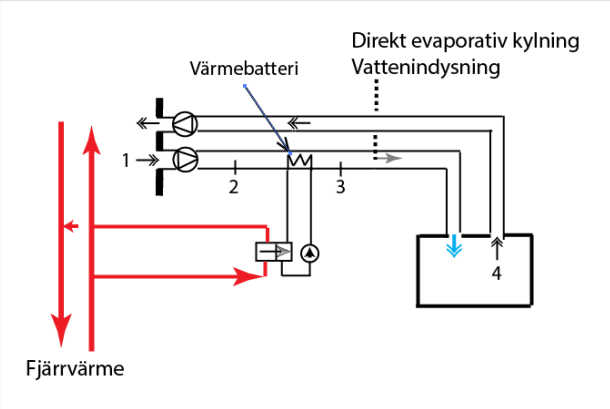
I kopplingsschemat har med streckad linje ritats en recirkulationsledning för kylvattnet till kylbatterier. Om man aktiverar recirkulation kan man reducera fuktutfällningen som kan svara för en betydande del av den erforderliga

kyleffekten. I det här fallet blir valet en avvägning mot komfort. När det finns ett vattenburet kylsystem måste man även beakta risken för fuktutfällning på kalla ytor.

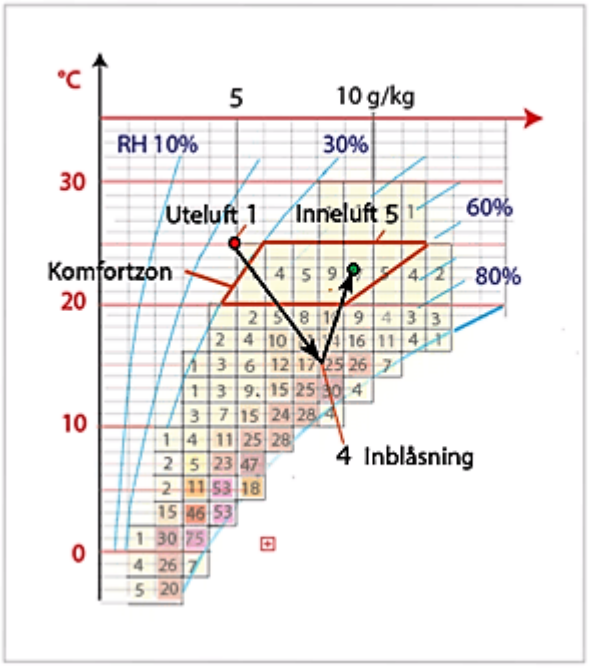
Utfällningen av fukt i kylbatterier kan medföra problem med mögel mm, i synnerhet om gashastigheten är för hög, så att droppar lämnar batteriet och avlagras på väggarna i ventilationssystemets kanaler. Hur man undviker onödig fuktutfällning diskuteras i kapitel 5.

Som man ser blir den relativa fukthalten inomhus mycket liten på vintern, vilket kan förorsaka olika hälsobesvär såsom torra ögon, se vidare fördjupningsavsnitt 19.4.

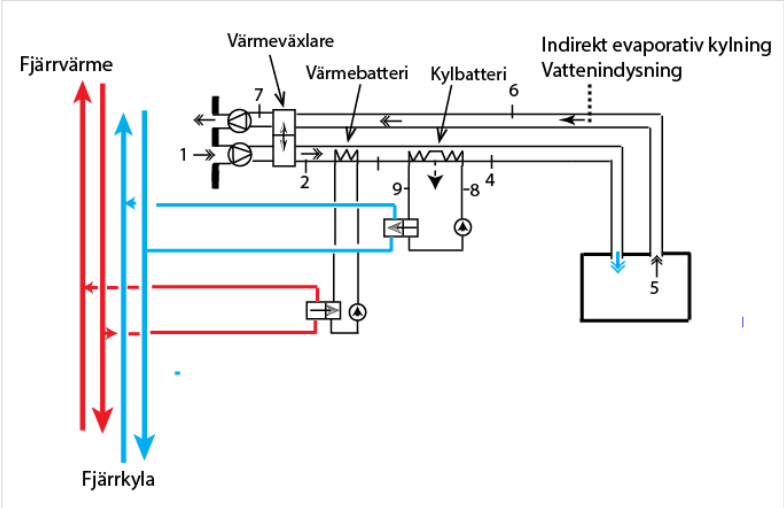
När det på ytan i en luft-luft-värmeväxlare uppkommer en temperatur som är under 0°C kommer det att ske en påfrostning. Där avluftens temperatur samtidigt är över 0°C kommer det att även ske en avdunstning. Om den senare går långsammare kommer det att ske en uppbyggnad av et frostskikt som hämmar värmeövergången, och då måste det finnas ett avfrostningssystem. Detta kan antingen bestå i att man tidvis minskar rotorns varvtal, eller att det installeras ett fjärrvärmedrivet förvärmningsbatteri som värmer uteluften innan den leds in i värmeväxlaren.



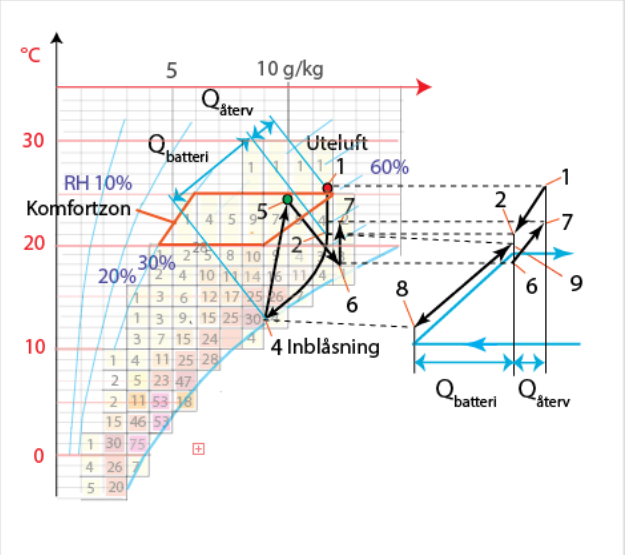
Figur 24: Enkel kundcentral med direkt evaporativ kylning.



Figur 25: Mollierdiagram för direkt evaporativ kylning



Figur 26: Konventionell kundcentral med indirekt, evaporativ kylning kombinerat med kylbatteri på sommaren.



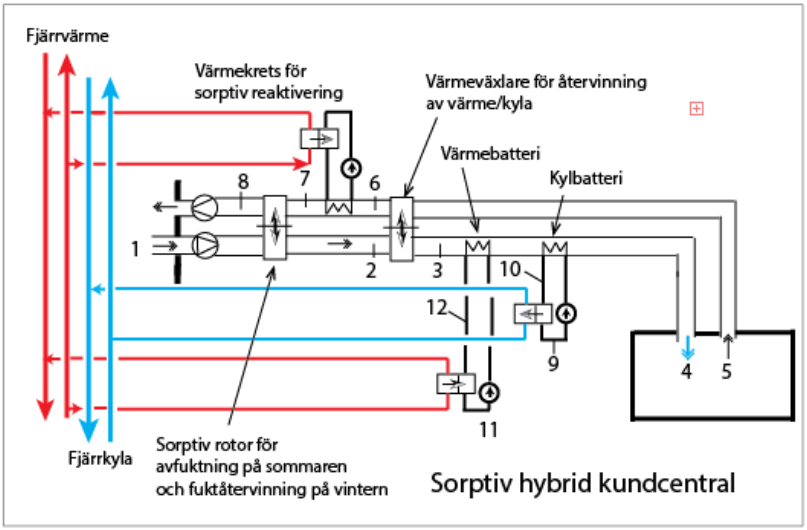
Figur 27: Processen enligt Figur 26.

Figur 24 till Figur 27 visar utnyttjande av direkt och indirekt evaporativ kylning (med vattenindysning) i konventionella kundcentraler vid uteluftttillstånd där de fungerar väl. Processerna är inlagda i intervallindelade Mollierdiagram för Malmö. Man ser att den direkta indysningen fordrar utetillstånd som inträffar tämligen sällan i Malmö, så kundcentralen måste kompletteras med ett kylbatteri om man vill har effektiv kylning generellt under sommaren. Indirekt kylning fungerar under längre tidsperioder.

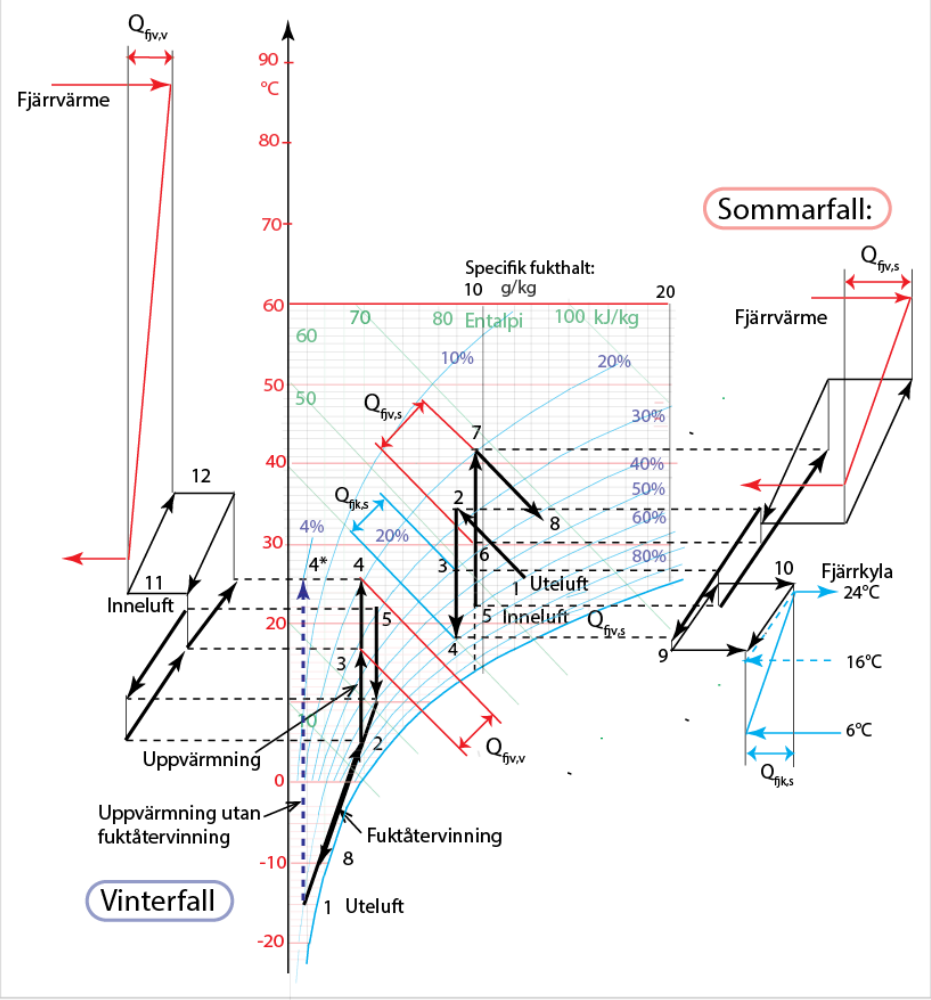
Evaporativ kylning är – där den fungerar – attraktiv för energisparsynpunkt, då principen inte fordrar energitillförsel. Då det förbrukas vatten är den inte helt utan driftskostnad, mycket varierande på lokaliteten. I Sverige är kostnaden begränsad, men där evaporativ kylning är mest motiverat från energikostnadssynpunkten – i torra klimat – brukar vattnet kosta mer.

4.2.3 Sorptiv, hybrid kundcentral för fjärrvärme och fjärrkyla

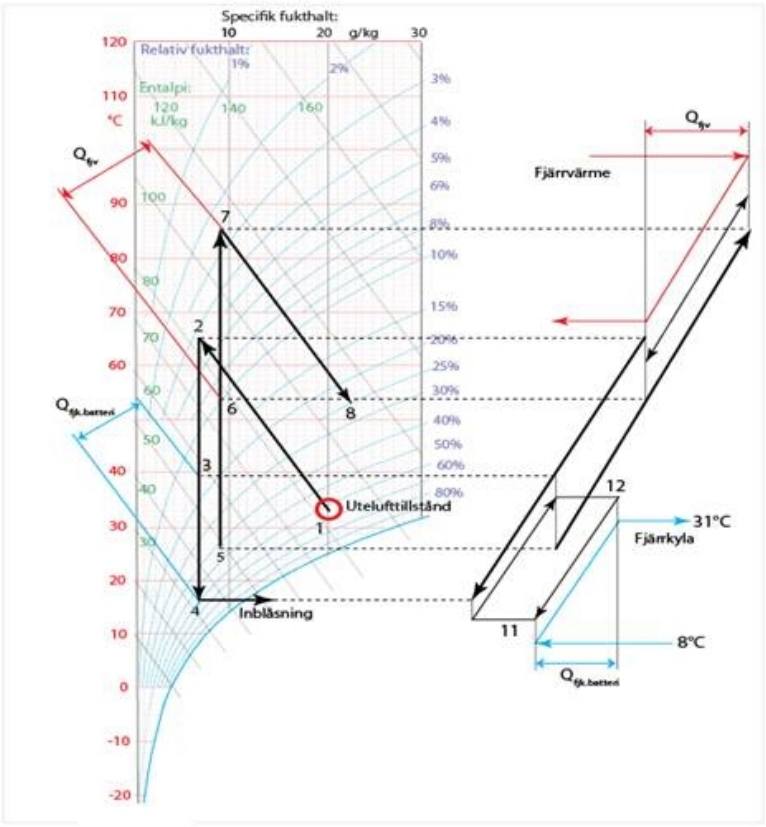
Figur 28 visar kopplingsschemat för den typ av innovativ kundcentral som vi valt att kalla ”Sorptiv hybrid kundcentral”. Figur 29 visar exempel på vinter- och sommardrift för kundcentralen. Sommarfallet motsvarar ett typiskt svenskt dimensioneringsfall, dvs. ett fall som i ett internationellt perspektiv innebär ett milt sommarklimat. Figur 30 visar ett sommarfall med mycket varm och fuktig uteluft; ΔT blir mycket bra.

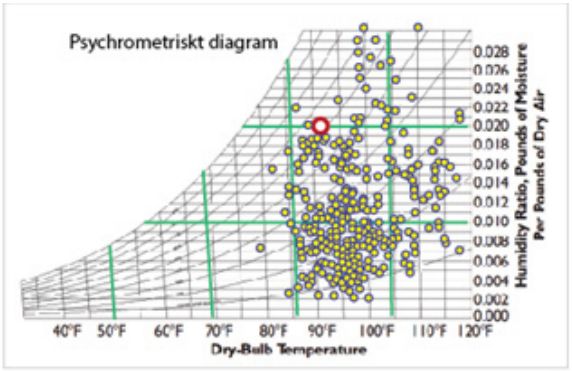


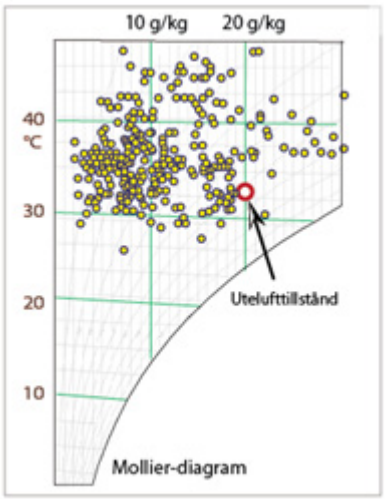
Figur 28: Sorptiv, hybrid kundcentral.



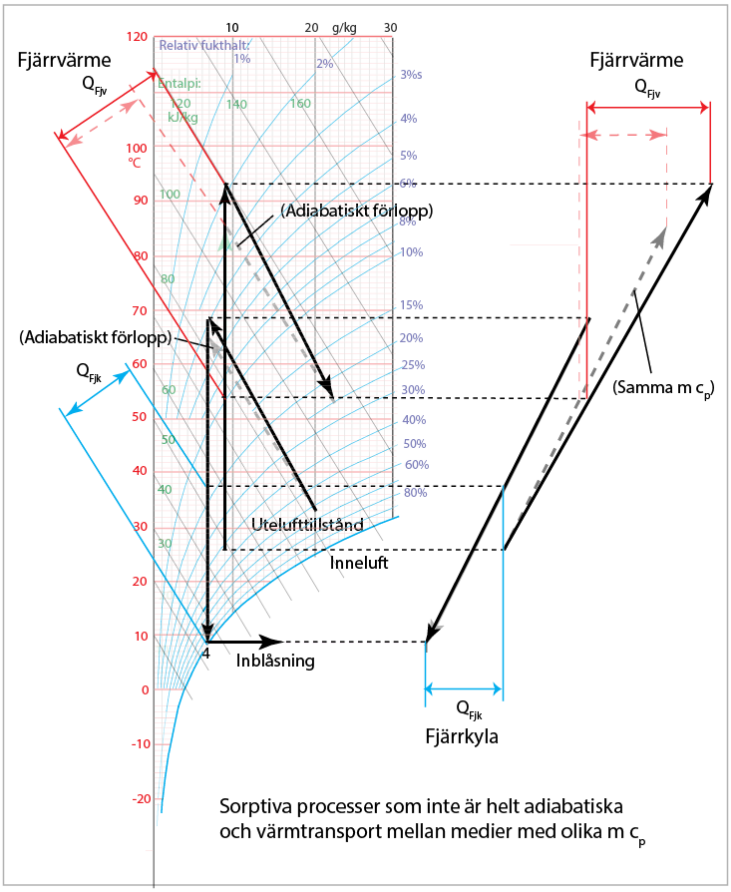
Figur 29: Vinter- och sommarfall för den sorptiva hybrida kundcentralen enligt Figur 28.





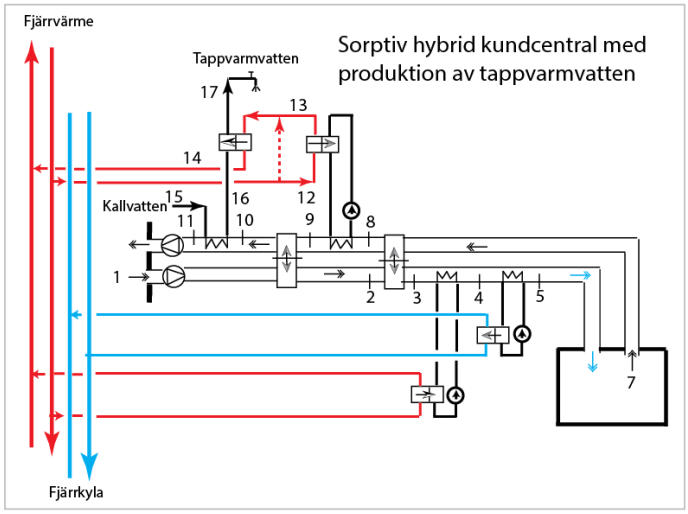


Figur 30: Sorptiv hybrid kundcentral i ett sommarfall med mycket varm och fuktig uteluft. Nederst: Psykrometriskt diagram med genomsnittligt sommartillstånd för större iranska städer (25).



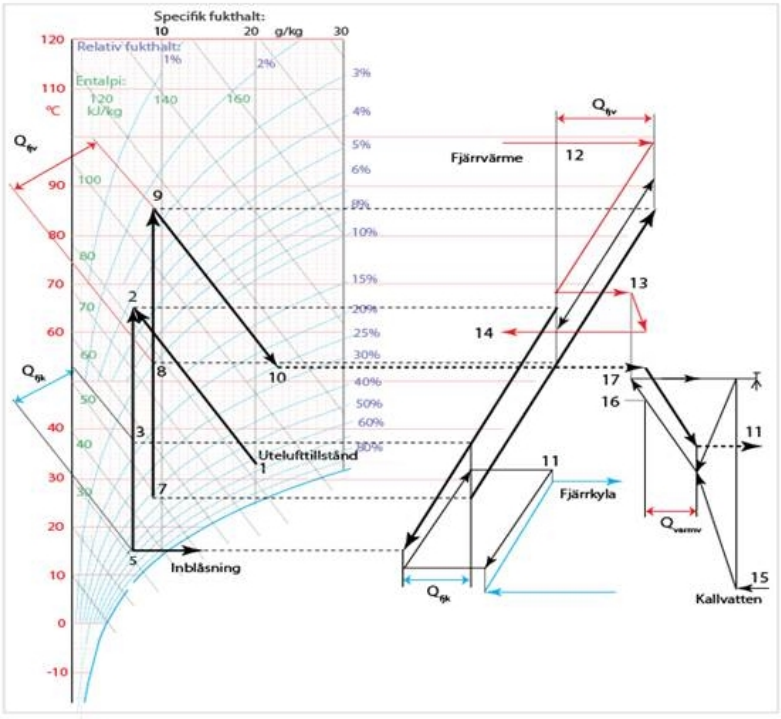
Figur 31: Inverkan av icke-adiabatiska tillståndsförändringar och olika m c_p för flöden i värmeväxlare.

I samband med presentationen av Pennington-cykeln diskuterades de förenklingar som gjorts i Mollier- och temperatur-effekt-diagrammen. Med tillämpning på den sorptiva hybrida kopplingen visas i Figur 31 effekter av avvikelser från adiabatiska förlopp i sorptiva rotorer, jämte skillnad i massflöde multiplicerat med specifikt värme för värmeväxlaren.

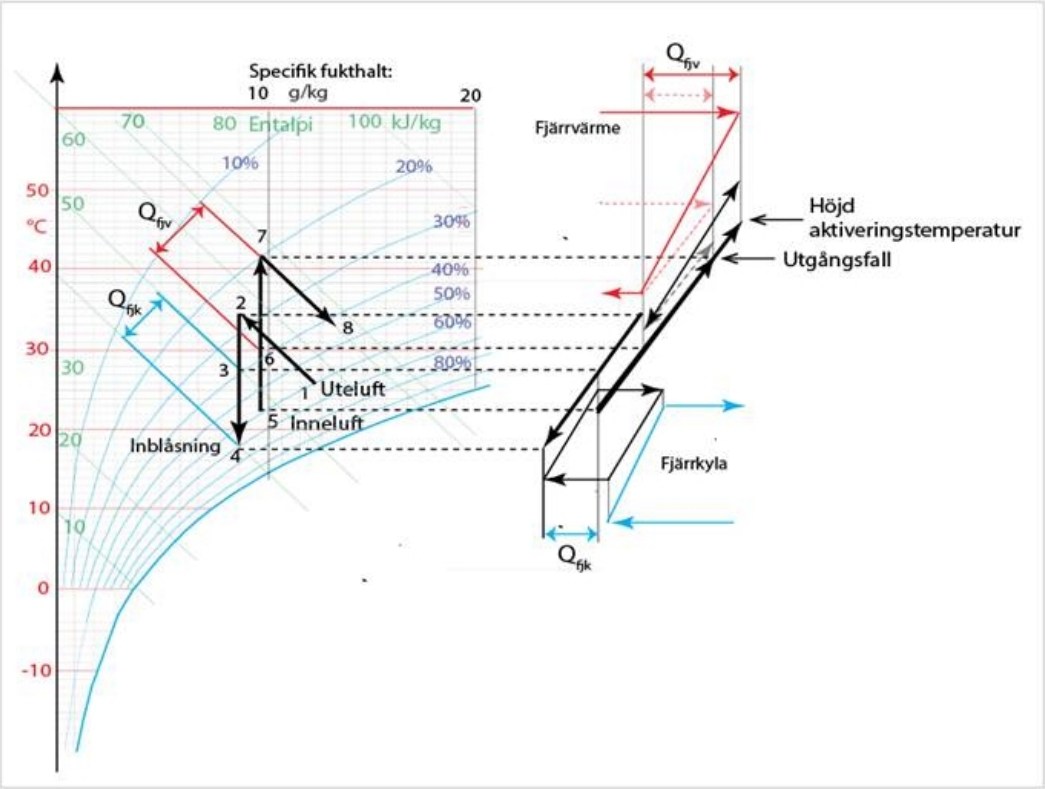


Figur 32: Sorptiv hybrid kundcentral med beredning av tappvarmvatten.

I det andra fallet lämnar återluften ventilationssystemet med en temperatur så hög som 53°C. (Notera att detta gäller för en systemlösning med sorptiv hybrid, där återluften har en tillräckligt hög temperatur. Konventionella ventilationslösningar kan vintertid ha alltför kall återluft.) När det finns tappvarmvatten till hands, kan en del av detta värme återvinnas för tappvarmvattenproduktion, Figur 32 och Figur 33.



Figur 33: Processerna för sorptiv hybrid kundcentral enligt principschemat Figur 32 med beredning av tappvarmvatten.



Figur 34: Effekt av högre regenereringstemperatur.

Figur 34 visar effekter av att välja en högre regenereringstemperatur: Tillförd värmeeffekt ökar, men kan ändå vara befogat då det minskar kraven till den sorptiva rotorn som kan bli mindre och fungera med lägre tryckfall. Om man även har beredning av tappvarmvatten, som i Figur 32 och Figur 33, kan det beroende på det extra tillförda värmet helt eller delvist återvinnas.

Den sorptiva, hybrida kundcentralen har sex attraktioner i jämförelse med en konventionell kundcentral med värme- och kylbatterier enbart, då den:

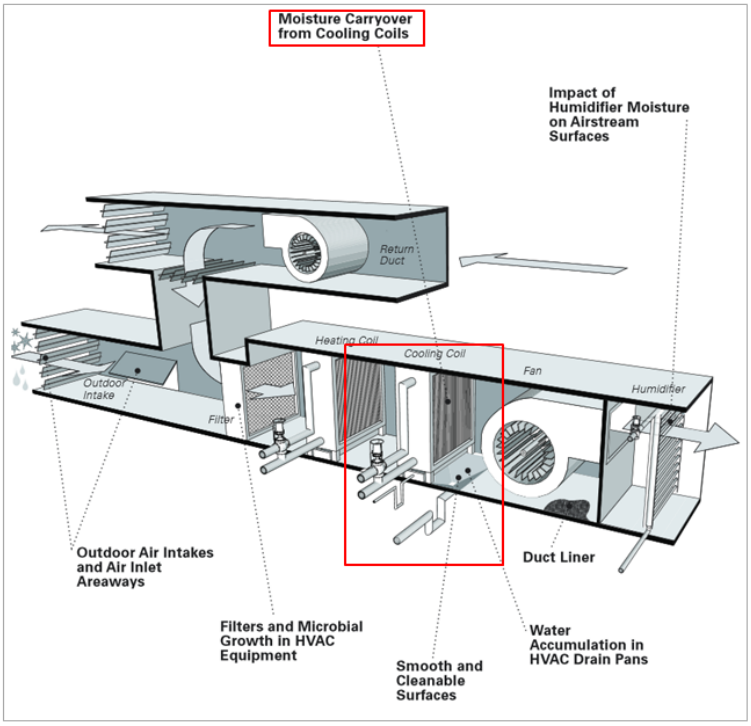
- Attraktion 1: Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas, även vid kraftig avfuktning, och därmed potentiella hygieniska problem
- Attraktion 2: Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus
- Attraktion 3: Reducerar behovet av fjärrkyla
- Attraktion 4: Möjliggör högre fjärrkylereturtemperatur
- Attraktion 5: Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur
- Attraktion 6: Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus

Attraktion 1: Undvika vatten i vätskefas vid avfuktning

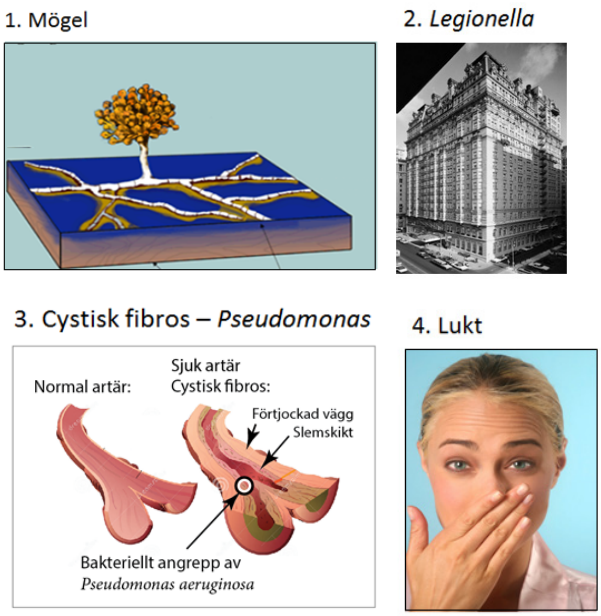
Allmänt kan man säga att fördelarna blir desto mera tydliga, ju varmare och fuktigare det är utomhus, med undantag för Attraktion 1. Fördelarna måste vägas mot en sannolik högre investeringskostnad en vanlig anläggning med enbart värmeväxling.

En annan tveksamhet är att man, som vi kommer att se, i regioner med ett milt sommarklimat (inte i regioner med mycket fuktiga klimat) kanske föredrar en klassisk Pennington-cykel i stället, om man anser att de potentiella hygieniska problemen kan bemästras.

Det är en generell erfarenhet att ventilationssystem, som borde säkra bra luft inomhus, tvärtom kan vara en orsak till hygieniska problem inomhus. Problemen hänger ofta ihop med vatten i vätskefas, (26), (27) och (28). De beskrivs med Figurerna Figur 35 och Figur 36. Figur 35 är hämtad ur en mycket genomarbetad skrift som en rad tunga amerikanska institutioner gemensamt tagit fram, bl.a. ASHRAE och myndigheten EPA (Environmental Protection Agency). En relativt färsk och intressant svensk undersökning (28) rekommenderar att man avstår från fuktutfällning, men går inte in på fysiken som ligger i detta: För det första fordrar det tidvis ganska hög ingående temperatur till kylbatterier, och för det andra kan fuktutfällning i kylbatterier (som vi går in gå på flera ställen i denna rapport) fordras för att förebygga fuktutfällning på kylande ytor där man kompletterar med ett vattenburet kylsystem.



Figur 35: Ventilationssystem med bl.a. kylbatteri och påpekande av risken för ”moisture carry-over”, dvs vattendroppar som lämnar ett kylbatteri. Källa: (26)



Figur 36: Fyra olika potentiella hygieniska problem i samband med fukt i och efter ett kylbatteri med fuktutfällning. Källor: Google Images

1. Mögelsvampar och deras sporer kan tillväxa och spridas.

2. Lunginflammationen Legionella konstaterades första gången 1976 då den spridde sig inom ett luftkonditioneringssystem i en byggnad i Philadelphia, USA.

3. Bakterien *Pseudomonas aeruginosa* är den mikroorganism som brukar vara den akuta orsaken till att personer med sjukdomen cystisk fibros dör i förtid. Den kan även leda till andra sjukdomstillstånd. Källa: Downstream.com.

4. I batterier där det utfälls fukt kan det uppkomma obehaglig luft som kan spridas inom byggnaden. Problemet kallas i USA populärt: ”Dirty Socks Syndrome”.

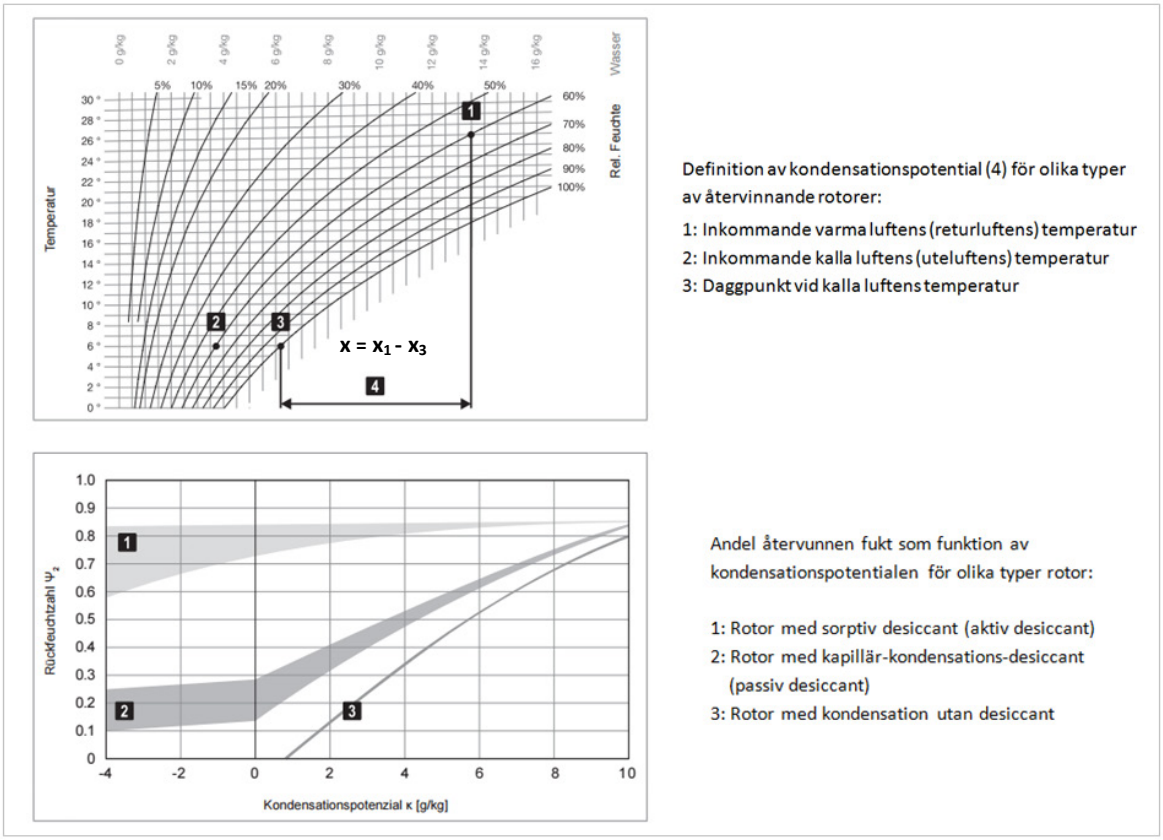
Figur 36 illustrerar lite populärt en del av de mikrobiologiska problem som kan uppstå i samband med fukt i och efter kylbatterier med fuktutfällning. Sammantaget är mikrobiologin synnerligen komplicerad. Av våra kontakter till aktörer i Sverige framgår att t ex luktproblem kan vara envisa och svåra att komma till rätta med.

Av tidigare visade Figur 29 och påföljande Mollierdiagram ser man att samtliga tillståndsförändringar för både till- och återluft sker ovanför mättnadslinjen, och det finns inga permanent kalla ytor (vid start från kallt tillstånd kan det dock uppträda kortvarigt). Man kan påstå att detta är det säkra och mest sunda sätt att hantera de potentiella mikrobiella problemen – att ta bort den kanske mest väsentliga grundorsaken, att helt undvika det vatten som så många mikroorganismer trivs med.

Attraktion 2:Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus:

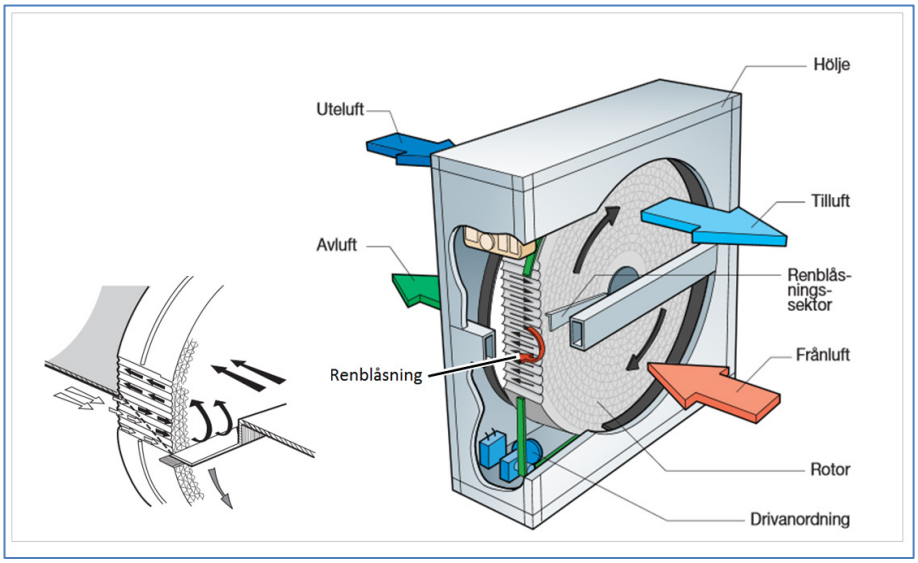
I tidigare visad Figur 23 såg vi hur det vid en låg utomhustemperatur blev mycket torrt inomhus (relativ fukthalt endast 10 %, höjd från inblåsningsluftens 4 %), och i Figur 318 i kapitel 16 konkretiseras det i intervallindelade Mollierdiagram för Luleå och Malmö, varav man ser att den torra luften inomhus särskilt Luleå råder under många av årets timmar.

Man ser, at det sorptiva hjulet vintertid ger, inte enbart värmeutvinning, utan även fuktåtervinning. I figuren har linjerna för både uppvärmning av tillförd luft ritats helt vertikala och rätlinjiga, vilket innebär att det inte sker någon fuktkondensering i återluften vid värmeövergången i den värmeåtervinnande värmeväxlaren. Men vid tillräcklig hög fukthalt i återluften i kombination med tillräckligt kall och torr utomhusluft kan sådan fuktkondensering äga rum vilket, när värmeväxlaren är roterande, innebär en möjlighet att fuktåtervinna i viss utsträckning med en sådan vanlig värmeväxlare.



Figur 37: Fuktåtervinning vid uppvärmning, olika typer av rotor, grad av återvinning. Källor: (29) & Hoval.

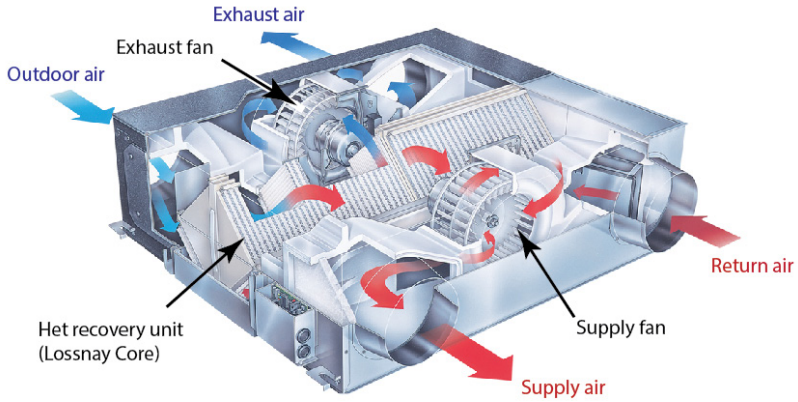
Figur 37 visar en metod för analys av möjlig fuktutvinning vid värmeåtervinning i ventilationssystem. Man använder parametern ”kondensationspotential” som kan avläsas i Mollierdiagrammet, det övre diagrammet. I det undre diagrammet är denna storhet abskissa, och ordinatan är en parameter som karakteriserar hur mycket fukt som kan återvinnas. här visas typiska kurvor för tre sorters värme- och fuktåtervinnande rotorer i enlighet med olika mekanismerna som visades i tidigare Figur 12.



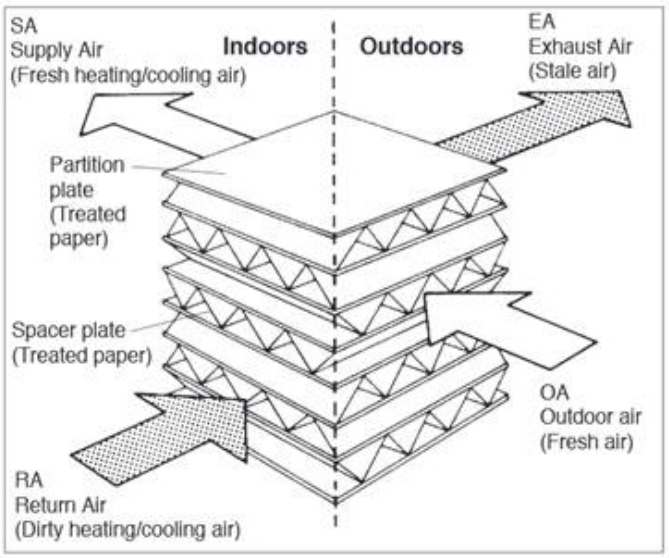
Figur 38: Rotor som kan levereras utan eller med desiccantskikt. Källa: (30)

Figur 38 visar en rotor som levereras valfritt utan eller med passivt desiccantskikt. Som man ser, innebär detta att även en huvudsakligen värmeöverförande rotor kan köpas med den hygienska renblåsningstekniken och därmed kan bidra till en hög hygienisk standard i den sorptiva, hybrida kundcentralen. Rotorbaserade sorptiva system av olika slag har godkänts för användning på lasarett med mycket höga hygienkrav.

En vanlig teknik som helt kan eliminera risken för överförande av förorenande ämnen och mikroorganismer som även den kan användas i konceptet (värmeväxlaren i kopplingsschemat kan uppfattas representera detta) är vätskekopplade värmeväxlare i båda kanaler. Nackdelen med denna teknik är att den dubbla värmeöverföringen fordrar större temperaturdifferens mellan de båda luftflödena.

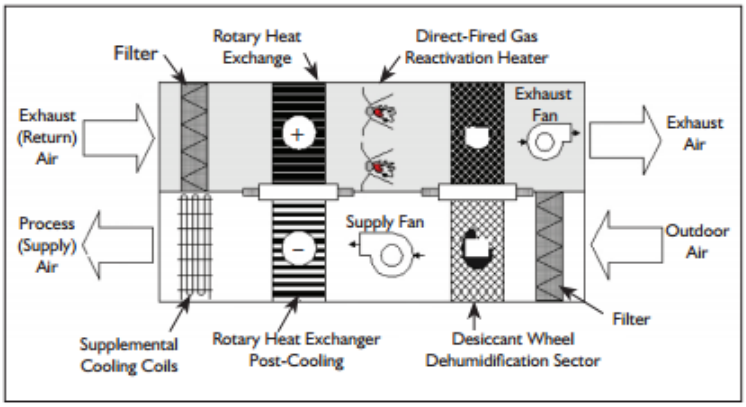


Figur 39: Membranbaserad fuktåtervinning typ ”Lossnay”. Källa: Mitsubishi Electric.

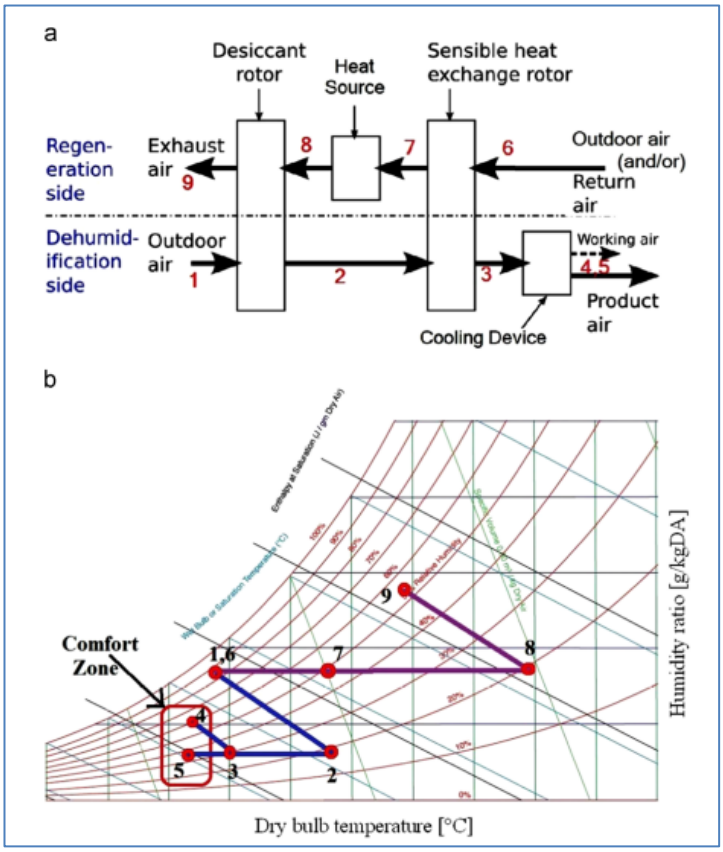


Figur 40: Lossnay membranets uppbyggnad, bearbetad figur ur patentdokument, (31).

En intressant, mindre vanlig, men även den kommersiell teknik som kan användas är fuktåtervinning med membranteknik, Figur 39 och Figur 40. Den apparat som visas tillverkas av Mitsubishi Electric. Det finns även ett svenskt fabrikat som baseras på membranteknik Heatex AB, (32).



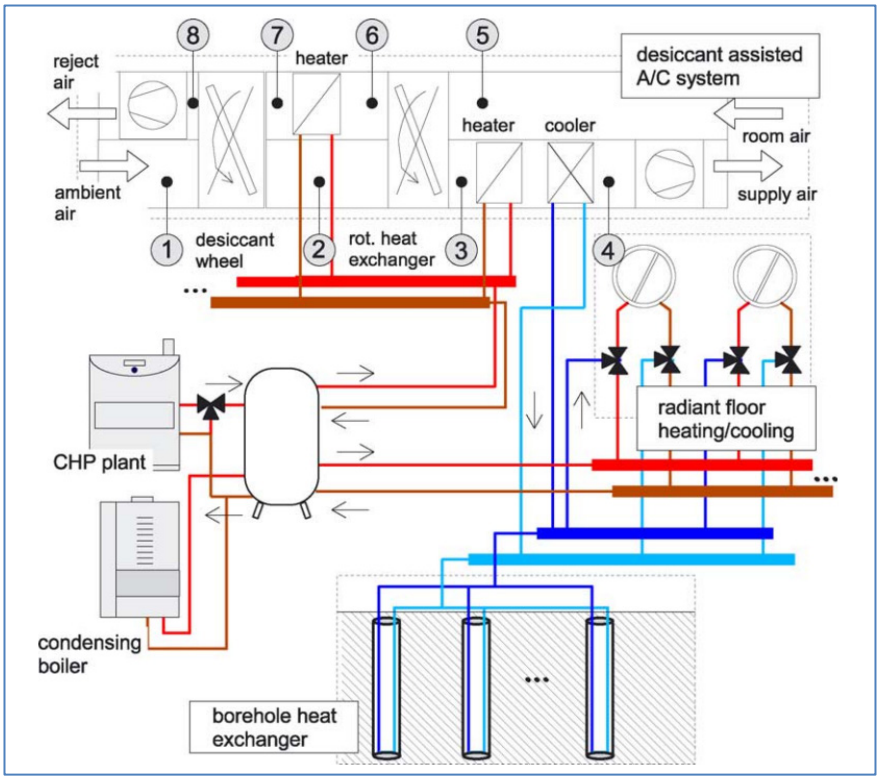
Figur 41: Gasdriven, sorptiv hybrid kylning och avfuktning, kommersiell apparat. Källa: (25).



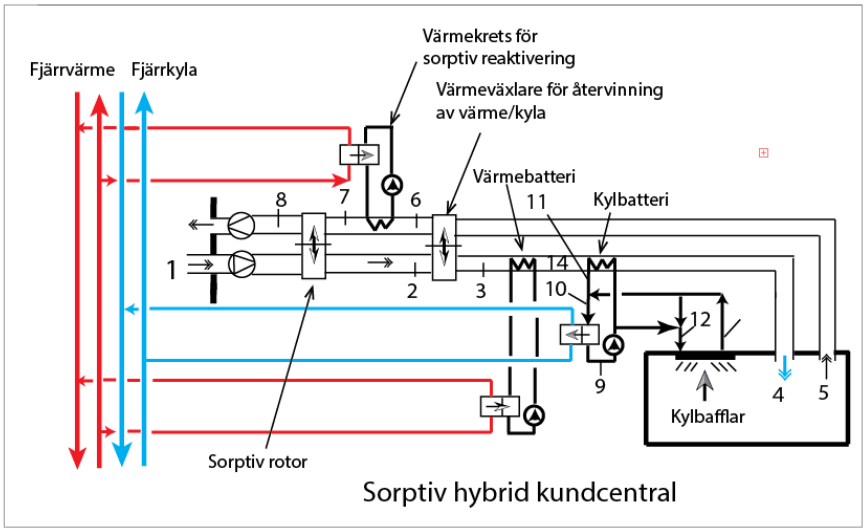
Figur 42: Sorptiv hybrid kyl- och avfuktningssystem som regenereras med värme från elelement, gaseldning eller spillvärme. Källa: (16).

Den sorptiva, hybrida kundcentralen kan ses som en variant av en teknik som är vanlig i regioner med hög luftfuktighet och tillgång till naturgas, Figur 41. Här är den drivande värmeenergin den som frigörs vid förbränning av gasen. Kylenergin brukar produceras med en vanlig kylmaskin. Lösningen är särskilt attraktiv där naturgasen är billig jämfört med den elenergi som behövs för att driva kylmaskinen. Jämfört med den sorptiva lösningen baserad på fjärrvärme och fjärrkyla finns den termodynamiska fördelen att den drivande värmeenergin finns på hög temperaturnivå. I (33) finns en översikt av internationella publikationer om denna teknik.

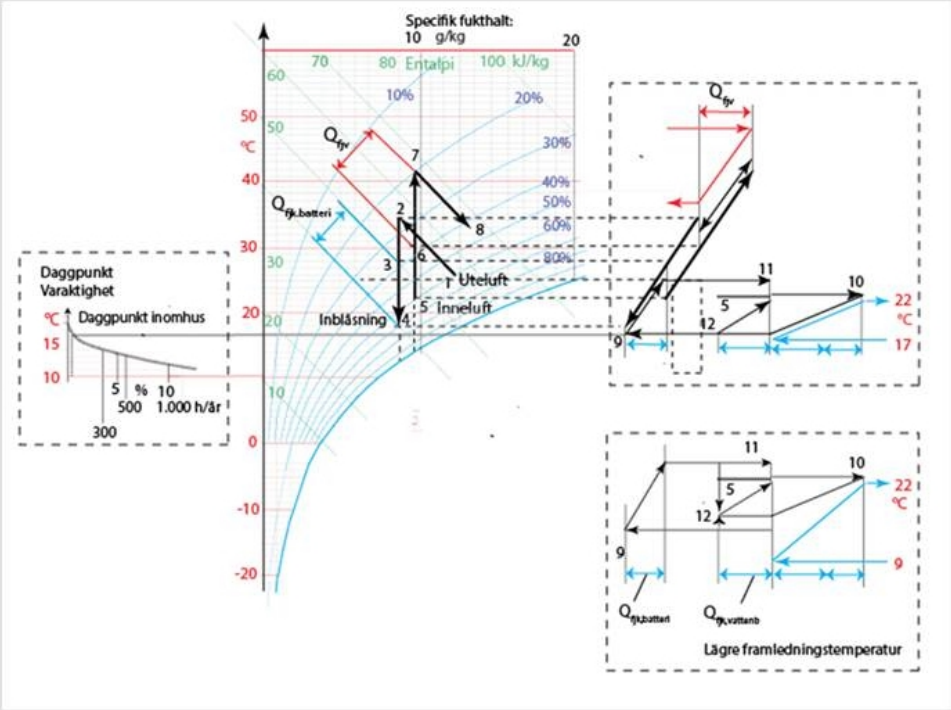
Figur 42 och Figur 43 visar ytterligare möjligheter när det gäller värmekällan i sorptiva, hybrida kyl- och avfuktningssystem. I Figur 43 finns även ett värmebatteri för vinterdrift.



Figur 43: Uppvärmnings-, kyl- och avfuktningssystem baserat luftvärme, vattenbaserad kyldistribution, ett gasmotorkraftvärmeverk, en gaseldad panna (båda drivenergi) och utbyte av värme med marken. Tysk testanläggning. Källa: Energy and Buildings (34).



Figur 44: Sorptiv hybrid kundcentral kompletterat med vattenburet kylsystem.



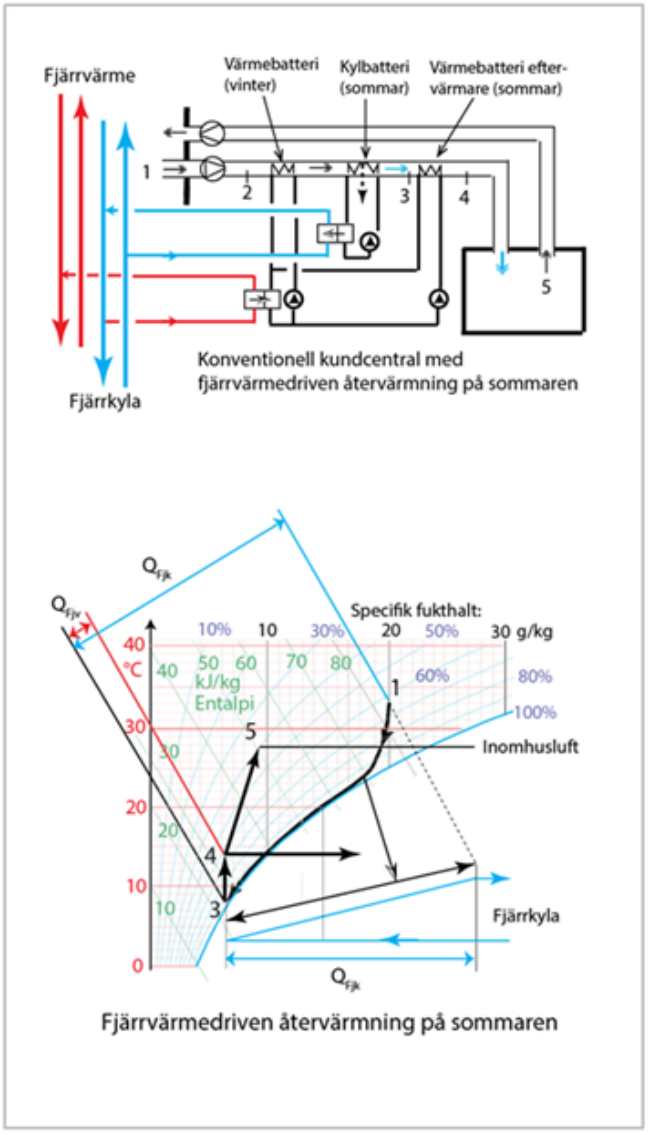
Figur 45: Processerna motsvarande kopplingen i Figur 44.

Figur 44 visar hur den sorptiva hybrida kundcentralen kan kombineras med ett vattenburet kylsystem. Avfuktningen banar vägen för att kunna undvika fuktkondenseringen på kylande ytor, med undantag för ett mindre antal drifttimmar om året. Detta framgår av varaktighetsdiagrammet till vänster i Figur 45 (diagrammet är baserat på Figur 328 i kapitel 16). Det visas två fall av ingående framledningstemperatur. I det övre fallet är temperaturen så pass hög som 17°C. Detta är inte aktuellt i befintliga svenska system, men skulle kunna vara det i nya system.

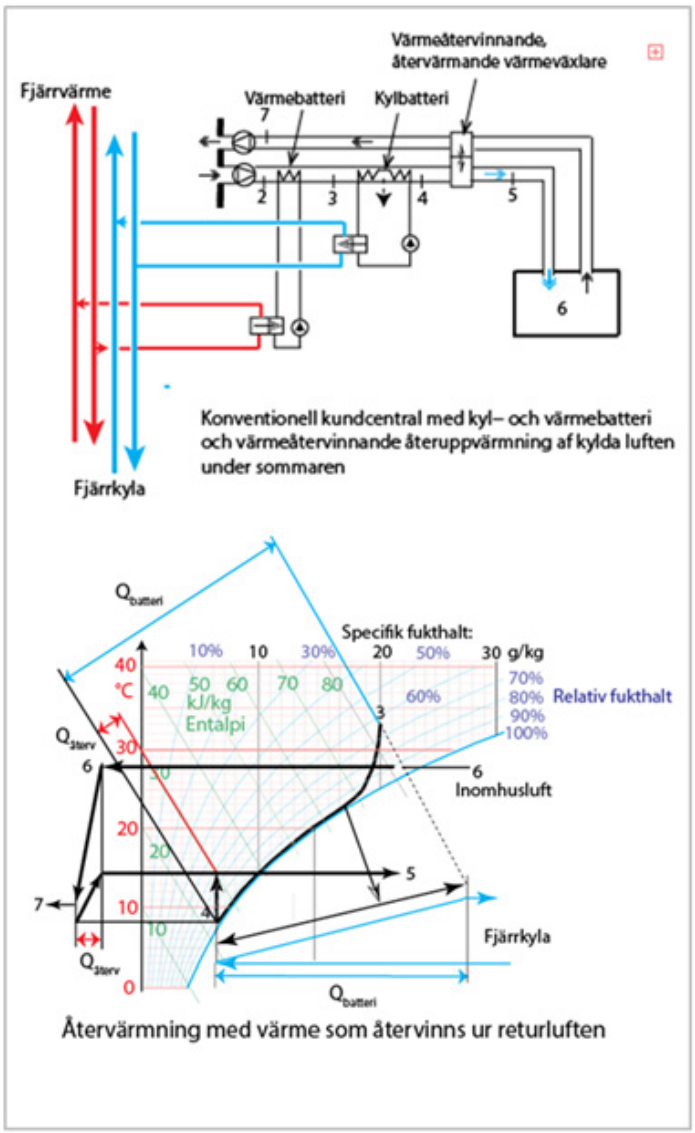
Egenskapen att tillåta högre framledningstemperaturer än normalt i fjärrkylestem är en generell egenskap hos den sorptiva, hybrida kundcentralen, även i fall där den inte kombineras med ett vattenburet kyldisristributionssystem. I avsnitt 4.3 redovisas resultat av en intressant amerikansk undersökning som behandlade frågan om fjärrkyleanslutningars förmåga att hantera höga framledningstemperatur. Detta illustrerar att den sorptiva hybrida kundcentralen skulle kunna bidra till att bana vägen för en global expansion av fjärrkyla.

Om man betraktar befintliga, svenska fjärrkylesystem är robusthet mot högre framledningstemperaturer inte helt ointressant: I ett fjärrvärmesystem bestäms lägsta oproblematiska framledningstemperaturen av den temperatur som fordras av den kund som fordrar den högsta framledningstemperaturen. Förutsätter man, at denna kund inte ska uppleva leveransproblem, är vinsten av eventuell sänkning av den lägsta acceptabla framledningstemperaturen i försone obefintlig. Detta är en klassisk frågeställning inom fjärrvärmetekniken.

Parallelt med denna bestäms den högst tillåtna framledningstemperaturen i ett fjärrkylesystem av den kund som fordrar den lägsta framledningstemperaturen. Normalt åtar sig ett energibolag som levererar fjärrkyla att garantera en viss högsta framledningstemperatur vid leveranspunkten hos en kund. Har denna kund då någon nytta av en kundcentral som är så pass robust att en högre framledningstemperatur inte medför någon sänkt komfort? Ja, erfarenheten visar att de inte ar ovanligt att fjärrkyleföretagen inte kan leva upp till sina löften när det gäller högsta framledningstemperatur. En hyresvärd kan – även om det inte ar hans fel – drabbas av försämrad relation till en kund, t ex ett företag med kontorsverksamhet om komforten blir sämre än utlovad. Detta resonemang illustrerar att det i praktiken kan vara värdefullt att ha en kundcentral som är robust m h t framledningstemperatur.



Figur 46: Fjärrvärmedriven återvärmning



Figur 47: Konventionell kundcentral med kyl- och värmebatterier kompletterad med VVX för återvärmning med returluft.

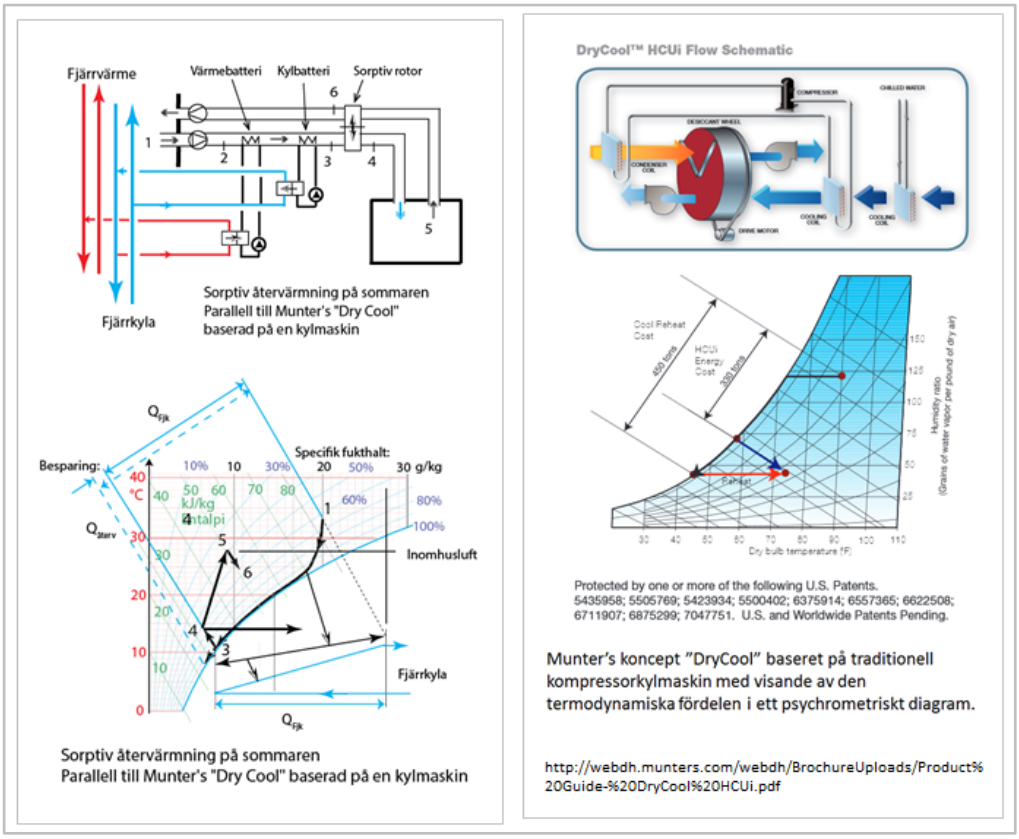
Figur 46 och Figur 47 avser användning av den sorptiva hybrida kundcentralen i ett mycket varmt och fuktigt klimat. En stor del av kylprocessen äger rum längs och strax ovanför mättnadslinjen. Erfarenheten visar att det under sådana förhållanden är svårt att komma upp i ett högt ΔT (skillnad mellan fram- och returtemperatur för fjärrkyla).

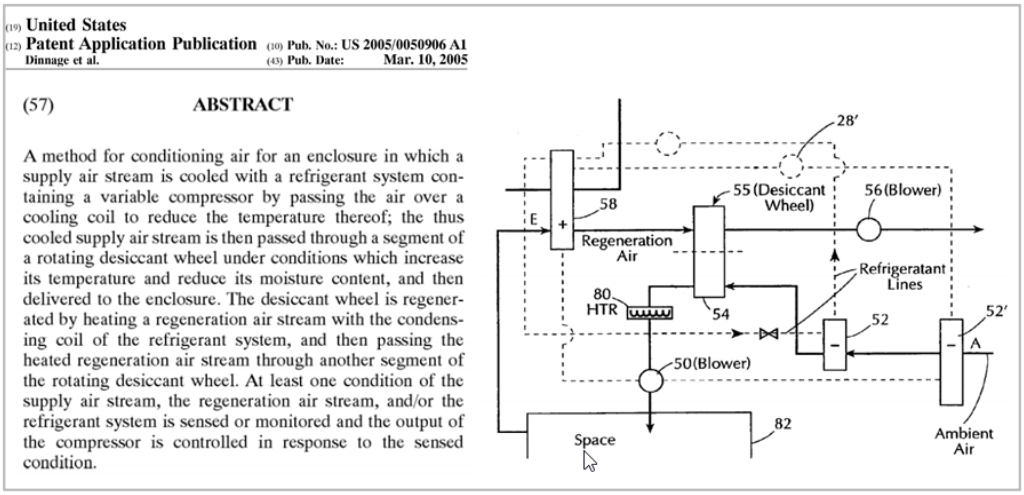
För att kunna avfukta tillräckligt måste man kyla luften till en låg temperatur. Det finns exempel på ventilationssystem utlagda för distribution av kylluft som är så pass kall som 10°C (35). En attraktion med den låga temperaturen är att man kan använda relativt små kanaldimensioner. Inblåsningen i rummen måste, för att man ska undvika för mycket drag, åstadkomma en mycket effektiv omblandning över en stor volym. De flesta ventilationssystem förutsätter emellertid en distributionstemperatur som inte ligger under kring 14°C. För att kunna

tillfredsställa detta villkor fordras det kraftig avfuktning och återvärmning av luften innan den distribueras. Figur 46 visar förloppet i ett Mollierdiagram där man återvärmer med fjärrvärme. En annan och mer energiekonomisk möjlighet är att värma med värmeåtervinning i en värmeväxlare enligt Figur 47.

Om man jämför de båda diagrammen i Figur 30 med diagrammen i Figur 46 och Figur 47, ser man, at den sorptiva hybriden i mycket varmt och fuktigt sommarklimat har potential att drastiskt kunna förbättra ΔT för fjärrkyla och att reducera kylbehovet. Priset är att det måste tillföras värmeenergi från ett fjärrvärmenät. Men på sommaren finns ofta möjlighet att producera fjärrvärme billigt, till exempel med värme från avfallsförbränning.

En variant som påminner om både den sorptiva hybriden och den variant av Pennington-cykeln som visas till höger i Figur 48 är ett koncept ”DryCool” som marknadsförs av Munters, figuren i mitten av Figur 48. Det gemensamma är att den tillförda luften kyls i ett kylbatteri och avfuktas i en sorptiv rotor. Det finns tre skillnader: 1. Värme för regenerering tillförs inte från ett fjärrvärmenät utan från kondensorn i en eldriven kylmaskin/värmepump, 2. Kylningen sker inte med fjärrkyla utan med värmeenergi till kylmaskinens förångare (evaporator), 3. Ordningen är den omvända, dvs. först kylning och sedan torkning.





(19) United States
(12) Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2005/0050906 A1
Dinnage et al. (43) Pub. Date: Mar. 10, 2005

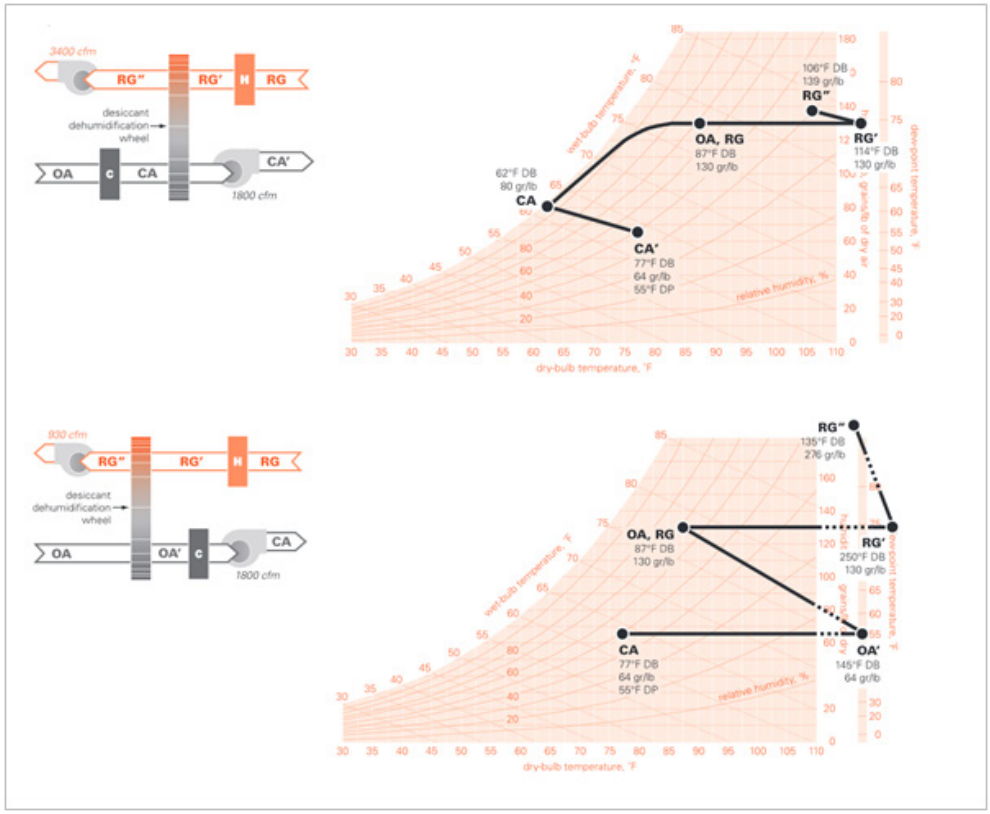
(57) ABSTRACT

A method for conditioning air for an enclosure in which a supply air stream is cooled with a refrigerant system containing a variable compressor by passing the air over a cooling coil to reduce the temperature thereof; the thus cooled supply air stream is then passed through a segment of a rotating desiccant wheel under conditions which increase its temperature and reduce its moisture content, and then delivered to the enclosure. The desiccant wheel is regenerated by heating a regeneration air stream with the condensing coil of the refrigerant system, and then passing the heated regeneration air stream through another segment of the rotating desiccant wheel. At least one condition of the supply air stream, the regeneration air stream, and/or the refrigerant system is sensed or monitored and the output of the compressor is controlled in response to the sensed condition.

Figur 48: Till höger: Munters´ koncept "DryCool" med värmepump. Till vänster: Fjärrkyla (och – värme) – central med samma ordning i som i Munters' koncept. Underst: Patent relaterat till det kommersiella konceptet. Källa : Munters.

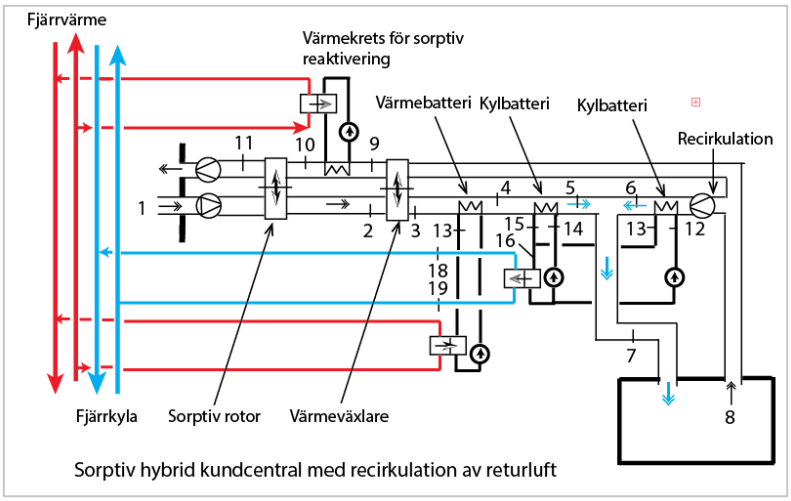
Såsom Mollierdiagrammet till vänster och Munters' psykrometriska diagram i mitten visar, ger det en besparing i kyleffekt jämfört med konventionella lösningar med kylbatteri enbart. I jämförelse med den sorptiva hybrida kundcentralen finns den fördelen ur energihushållningssynpunkt att det inte behövs någon tillförsel av värmeenergi. Men vid tillämpningar för fjärrvärme och fjärrkyla är det låga ΔT en nackdel, och kylbehovet är allmänt större.

Till detta kommer den fördelen med de sorptiva hybriden, som nämnts förut: Det faktum att alla tillståndsförändringar sker utan vatten i vätskefas är bättre ur hygienisk synpunkt.

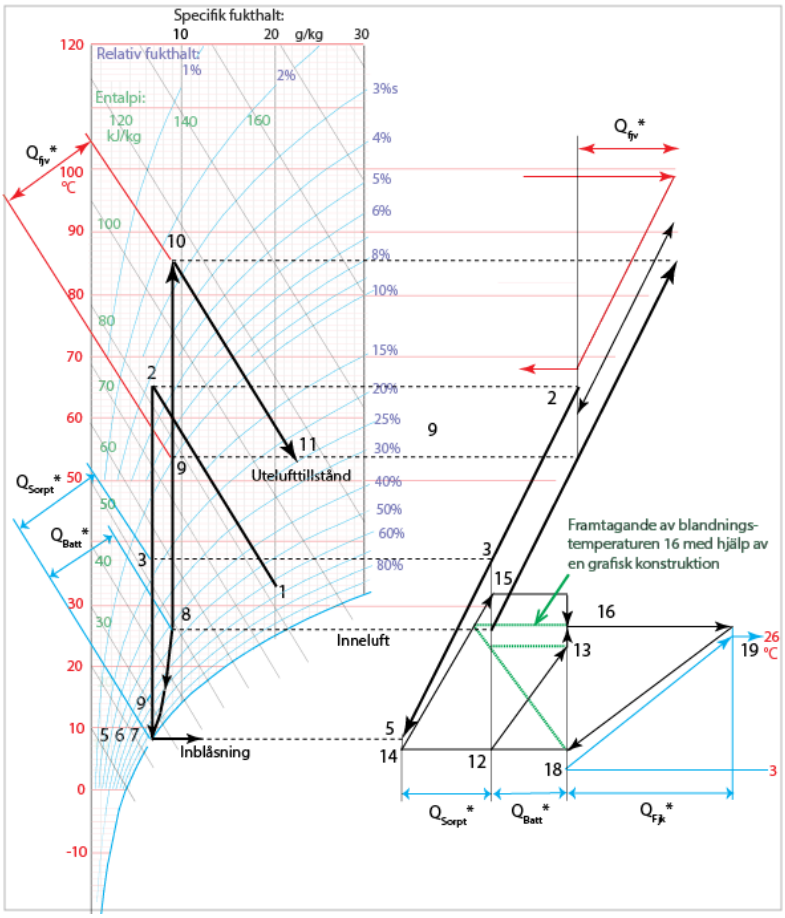


Figur 49: Sorptiv hybrid, olika ordning för avfuktning och kylning. Källa: Trane (36).

Där man använder gaseldad, hybrid kylning och avfuktning används omväxlande den ena eller den andra ordningen, Figur 49.

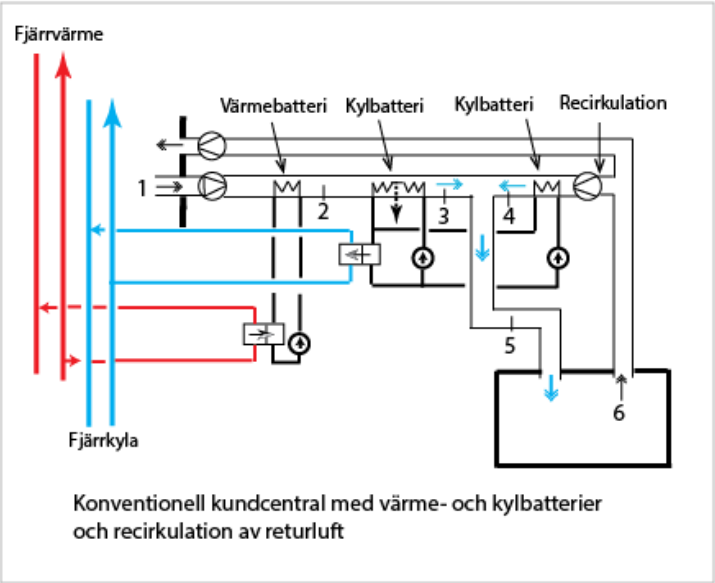


Figur 50: Recirkulation av returluft i sorptiv hybrid kundcentral.

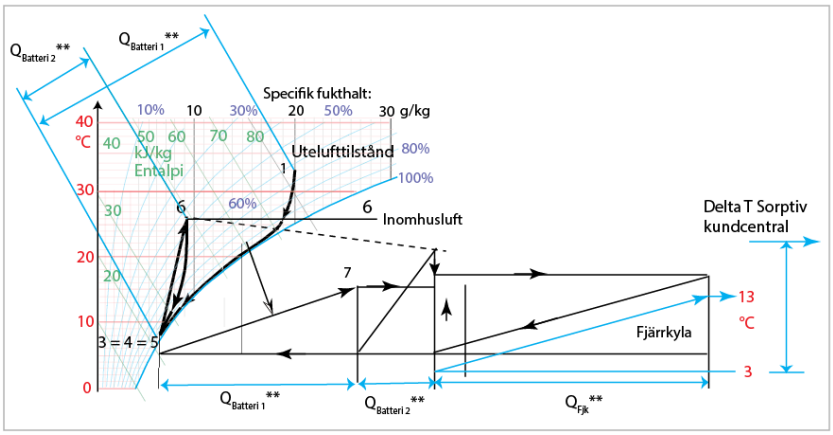


Figur 51: Processen enligt föregående Figur 50 redovisad i ett Mollierdiagram.

Fördelar med att använda recirkulation av återluft för ökad kyleffekt i varma och fuktiga klimat har nämnts förut. Figur 50 och Figur 51 visar användning av den sorptiva hybrida lösningen för ett sådant fall. Grafisk konstruktion av blandnings-temperatur visas här som ett exempel, ritat med grön färg. I båda fallen blir inblåsningstemperaturen mycket låg, vilket medför att man normalt måste komplettera med återvärmning.

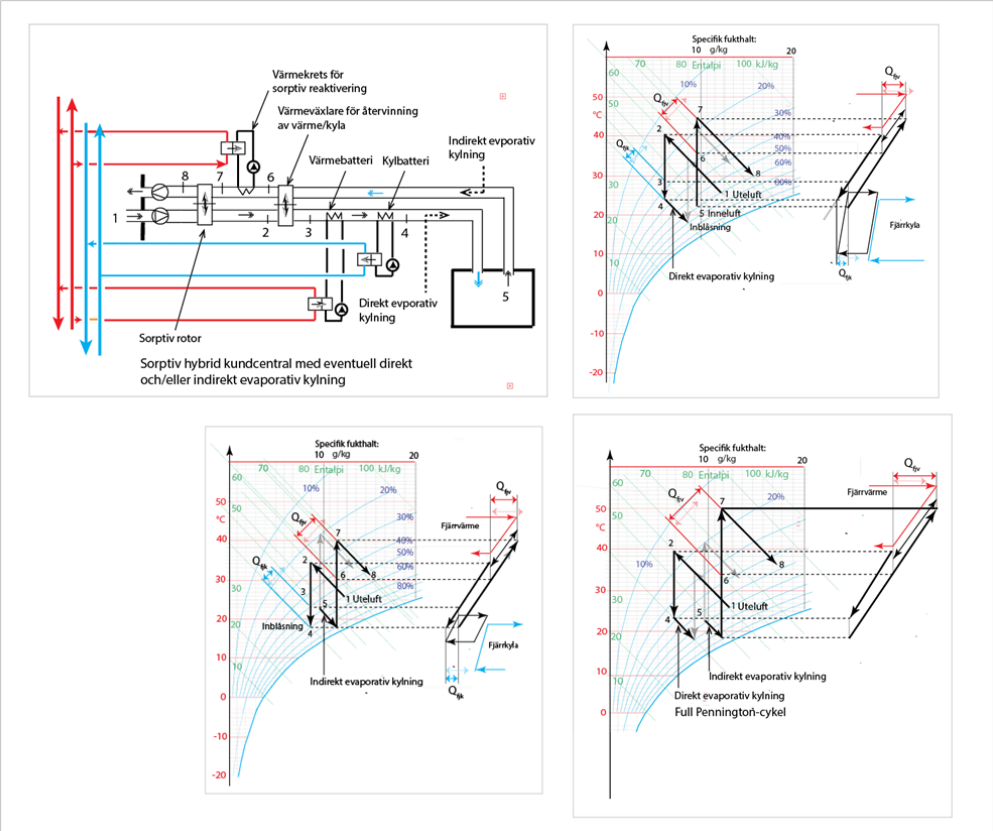


Figur 52: Konventionell kundcentral nu även i system med recirkulation av returluft med extra kylbatteri.



Figur 53: Processen enligt Figur 52 i Mollierdiagram.

Man kan jämföra det visade fallet med motsvarande för ett konventionellt system med recirkulation, Figur 52 och Figur 53. Man ser att de termodynamiska fördelarna (högre fjärrkyletemperatur) med den sorptiva lösningen finns kvar.



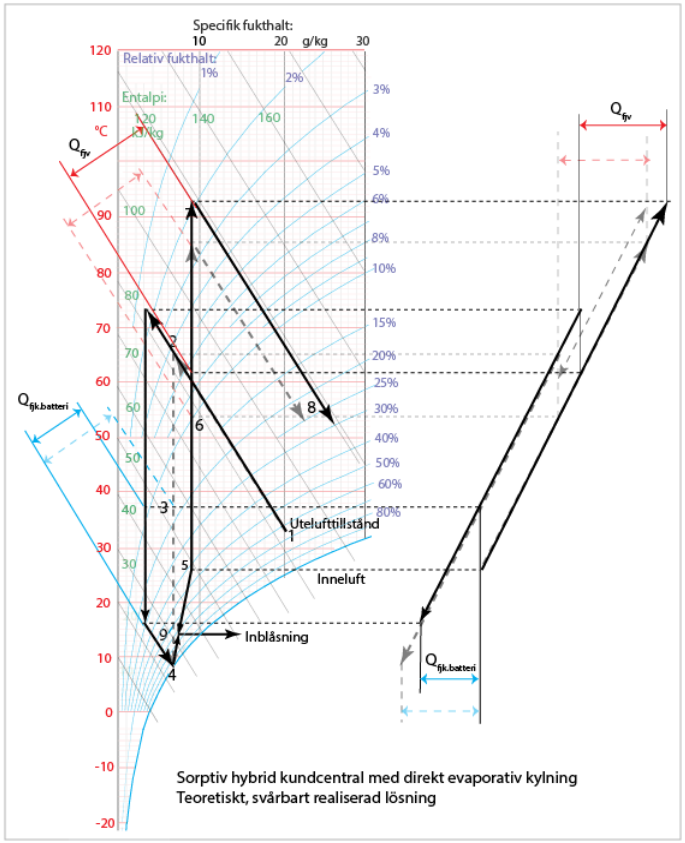
Figur 54 Sorptiv hybrid kompletterad med direkt eller indirekt evaporativ kylning, eller med båda (längst nere till höger).

Figur 54 visar tre varianter av den sorptiva hybrida kundcentralen i sommarfall. Det är frågan om att lägga till kylning med hjälp av indysat vatten, i tilluftskanalen (diagrammet uppe till höger, direkt evaporativ kylning), i avluftskanalen (diagrammet nere till vänster, indirekt evaporativ kylning), eller båda (diagrammet nere till höger). I det sistnämnda fallet får vi den rena Pennington-cykeln. Grundvarianten utan indysningar visas med svaga linjer i diagrammen, för jämförelsens skull.

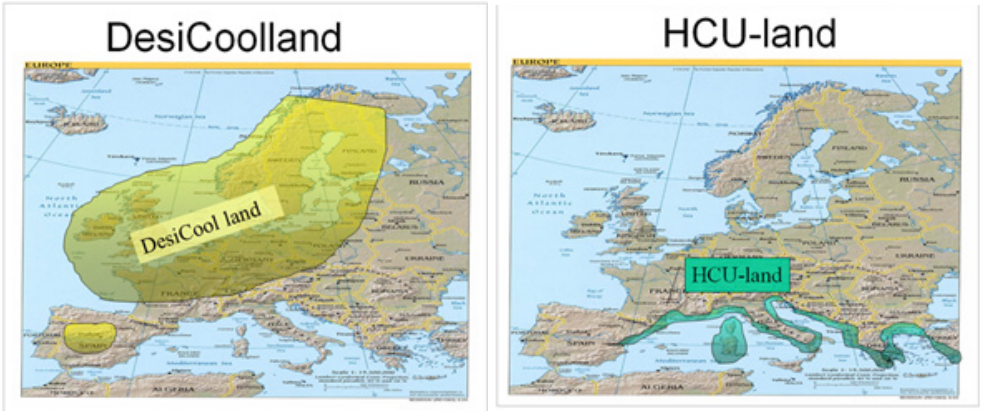
Vi kan konstatera, att alla tre varianter innebär reduktion av både värme- och kyleffektbehovet. I Pennington-cykeln har behovet av kylning helt försvunnit. Om man inte anser att indysningen av vatten är något större problem, erbjuder dessa olika varianter attraktiva alternativ. Om man å andra sidan är angelägen om att förebygga hygienproblemen, kan man fastna för varianten med indirekt evaporativ kylning, då i det fallet möjligheterna att förebygga hygienproblem i tilluftskanalen är goda. Det kan vara en lämplig kompromiss när man ska dimensionera efter ett uteluftstillstånd på sommaren som är så pass milt som fallet är i Figur 54.

Figur 55 visar användning av direkt evaporativ kylning som komplement till den sorptive hybriden i ett fall med mycket varm och fuktig uteluft. Man ser att den vertikala kyllinjen hamnar på en mycket låg relativ fukthalt, och anspråken på den

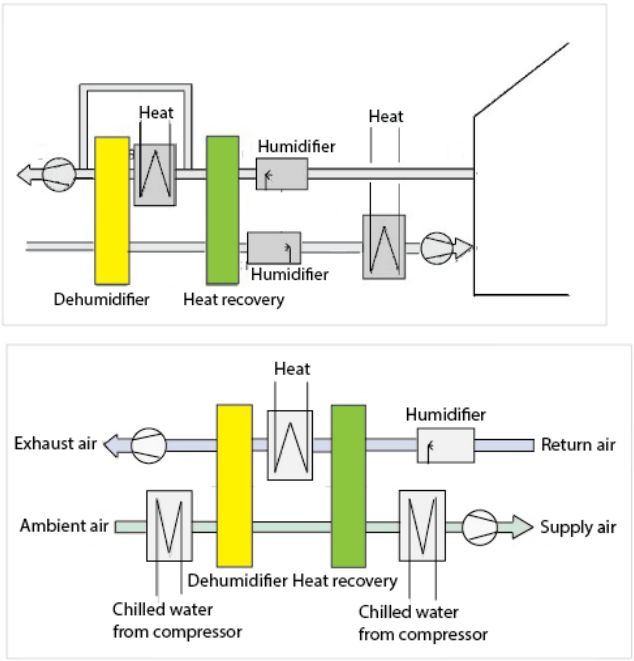
redan i utgångsläget kraftigt belastade sorptiva rotorn ökar. Hel Pennington-cykel framstår som orealistiskt. Munters har en målande beskrivning av att Pennington-cykeln får problem i varma och fuktiga klimat. Man jämför med HCU-aggragat (Humidity Control Unit), som kan vara av typen DryCool. Figur 56 visar europakartan med angivande av var de båda alternativen anses vara mest lämpade.



Figur 55: Indysning av vatten är problematisk i mycket varm och fuktig miljö, pga att hög fjärrvärmetempertur krävs.



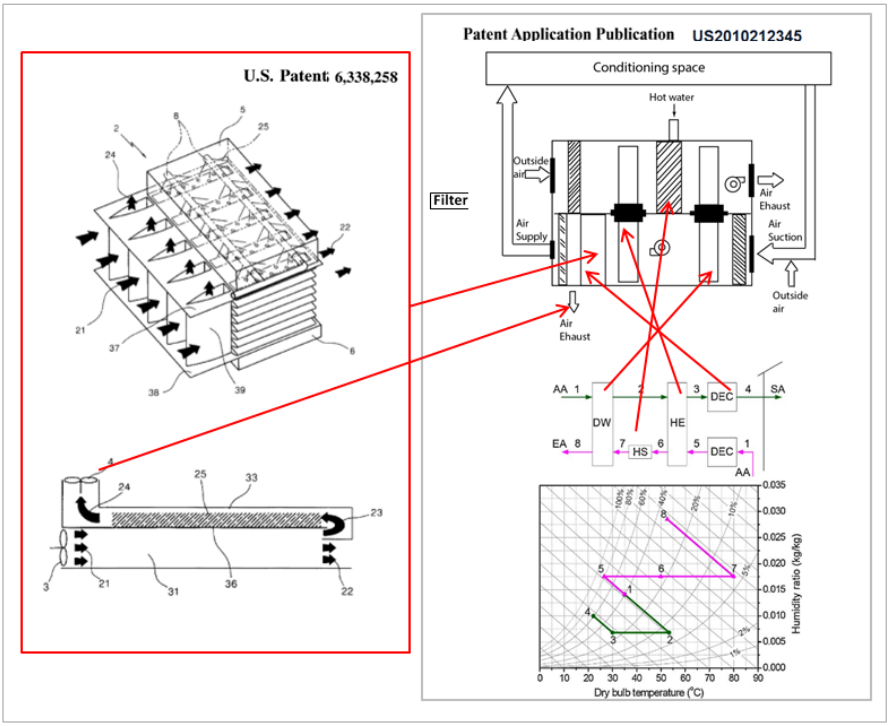
Figur 56: Geografiska områden där Pennington-cykeln (”DesiCoolland”) respektive sorpiv hybrid (HCU-land = ”Humidity Control Unit”) är mest lämpad enligt Munters. Källa: Munters.



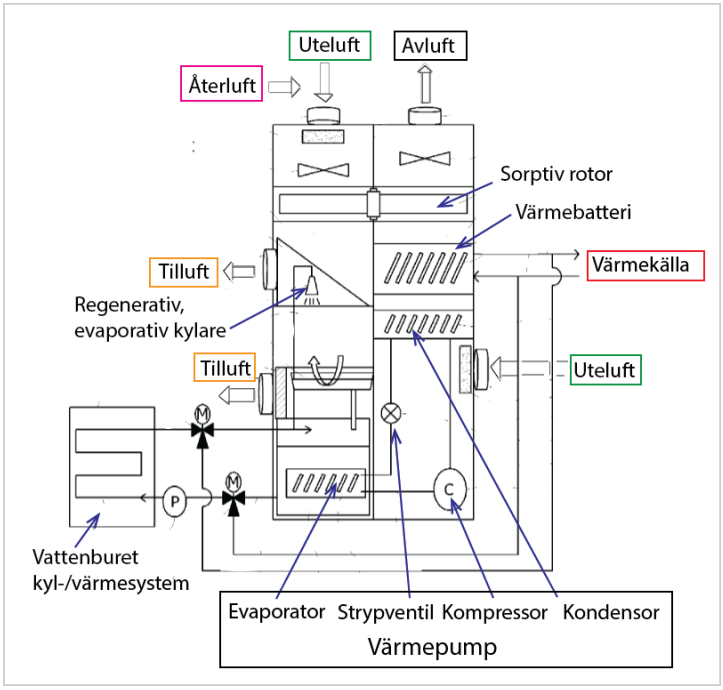
Figur 57: Överst: Sorptiv hybrid central jämfört med (underst) en Pennington-cykel. Källa: Tidskriften Journal of Sustainable Energy (37).

Samma problematik dyker upp i en tysk studie där man förordar att välja en sorptiv hybrid lösning i stället för en Pennington-cykel, Figur 57. Den föreslagne varianten kan man se som vår sorptive hybrid med indirekt evaporativ kylning, kompletterat med ett kylbatteri före den sorptive rotorn.

Figur 58 visar en koreansk dubbeluppfining, som har patentsökts i bl.a. USA. Den syftar specifikt till fjärrvärme-tillämpningar. Det är frågan om en delvis Pennington–cykel med en speciell typ av evaporativ kylare placerad i det luftflöde som leds in i rummen. Kylaren är en regerativ evaporativ kylare som visas nere till vänster i figuren på ett schematiskt sätt och uppe till vänster i form av en ritning av en verklig apparat. Med denna uppfinning erhåller man den kylande verkan i tilluftskanalen, utan att den bildade ångan kommer att ledas in i tilluftskanalen. Detta åstadkoms på det viset att uppfuktningen sker i en mindre kanal där ett delflöde av luften strömmar i motström längs en gemensam vägg med huvudkanalen, så att huvudflödet kyls av delflödet. Inom klimat med varm och fuktig luft är det en fördel att man på det viset undviker att tillförd fukt för evaporativ kylning inte tillförs rummen i byggnaden.



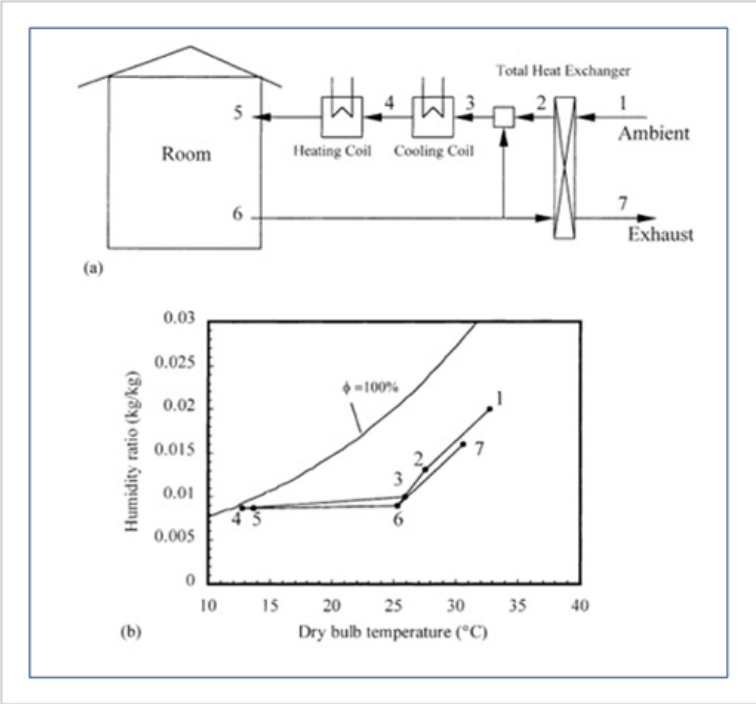
Figur 58: Fjärrvärmedriven variant av Penningtoncykeln med innovativ evaporativ kylning. Källa: www.espacenet.com.



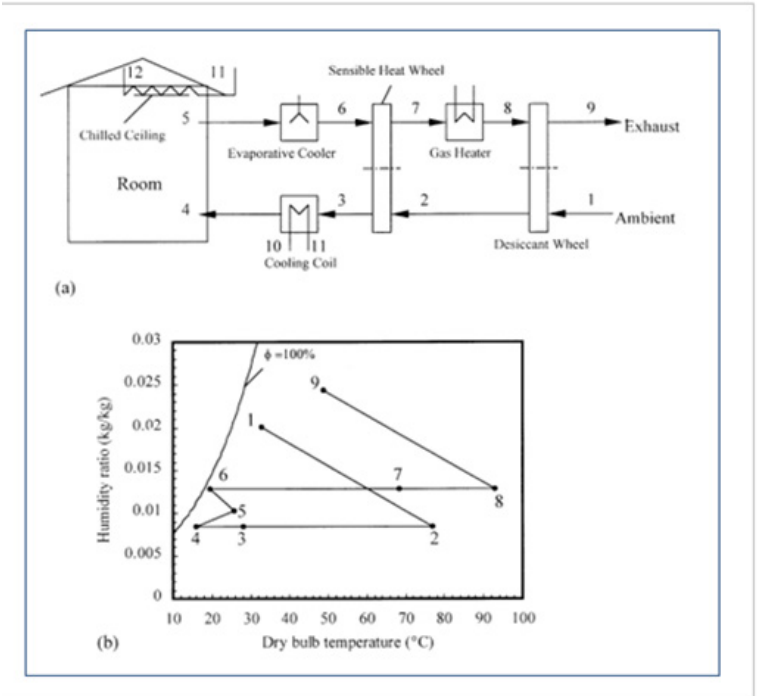
Figur 59: Annan sorptiv lösning än i Figur 58, som utnyttjar samma typ av evaporativ kylning. Källa: www.espacenet.com.

Figur 59 visar en annan koreansk uppfinning vari den regenerativa, evaporative kylan ingår: Ett sorptivt system kombineras med en värmepump och ett

vattenburet distributionssystem som värmer på vintern och kyler på sommaren. Värmekällan kan t ex vara et fjärrvärmesystem.



Figur 60: Konventionell batterikoppling i en undersökning gjord i Hong Kong. Källa: (38).



Figur 61: Gaseldad, sorptiv lösning kombinerad med vattenburen kyla. Källa: (38).

Som tidigare nämnts, är det i USA mindre vanligt med vattenbaserade distributionssystem för värme och kyla (”radiant heating and cooling”) inomhus.

Det sammanhänger bl.a. med att luften är fuktigare än i t.ex. norra Europa, vilket gör det svårare att undvika problem med bildande av kondensvatten på kylande ytor. Det finns dock kunniga förespråkare som menar att problemen kan hanteras, och att införande av de vattenburna systemen bjuder på fördelar (39).

Figur 60 och Figur 61 visar olika koncept för kylning och avfuktning i byggnader i Hong Kong. Här är sommaren mycket varm och fuktig (se Figur 78 i avsnittet om värdering), med en medeldaggpunkt om 18°C. Det traditionella sättet att kyla och avfukta är, som i USA, att använda ett ventilationssystem, antingen utan eller med kylåtervinning, som vi tidgare visat. I alla de studerade systemen åstadkoms kylningen i kylbatteriet av en kylmaskin. Värmetillförseln för regeneringen av den sorptive rotorn sker med gaseldning.

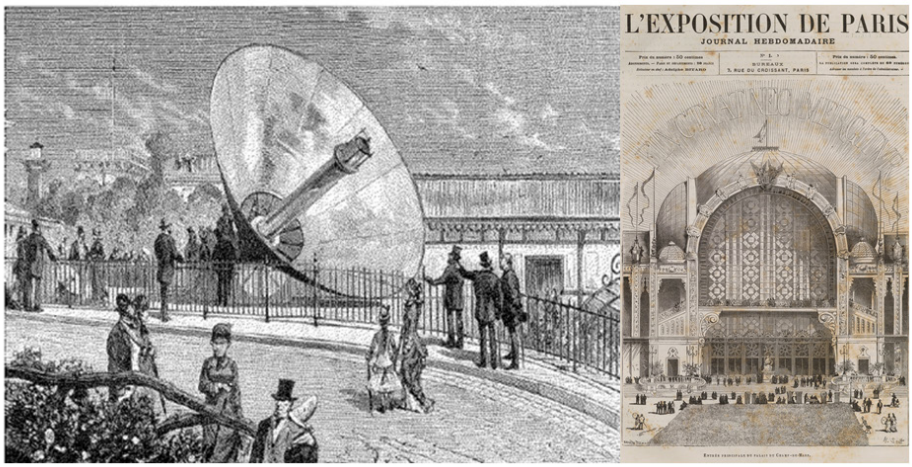
Studien syftade till att undersöka potentialen för att kombinera med vattenburen kyla, som visat i Figur 61. Systemet i Figur 61 kan tolkas som en kombination av de tiidigare visade systemen i Figur 44 (komplettering av den sorptiva basvarianten med vattenburen kyla) och Figur 54 (komplettering med indirekt, evaporativ kyla), frånsett att kylningen i våra kopplingar åstadkoms med fjärrkyla, och att det tillförda värmet inte åstadkoms med fjärrvärme. I inloppet till kylbafflarna hålls en temperatur om 19°C, dvs. 1°C över medeldaggpunkten. I stället för gaseldning skulle man, enligt författarna, kunna använda en lågtempererad källa som under 70% av tiden inte behöver hålla högre temperatur än 80°C.

Resultat var, att systemet jämfört med det som visas i Figur 61 kan spara 38% primärenergi på årsbasis. Om jämförelsen görs med ett enkelt ventilationssystem utan kylåtervinning, är besparingen så stor som 44%. Denna stora besparing beror på två skäl: Kylningen i kylbatteriet sker vid en avservärt högre temperatur, vilket ger en betydligt högre COP-faktor. Det andra skälet är att den pumpeffekt som behövs för att cirkulera vattenflödet i kyldistributionssystemet är avsevärt mindre än besparingen i fläkteffekt till följd ett mindre luftflöde i ventilationssystemet.

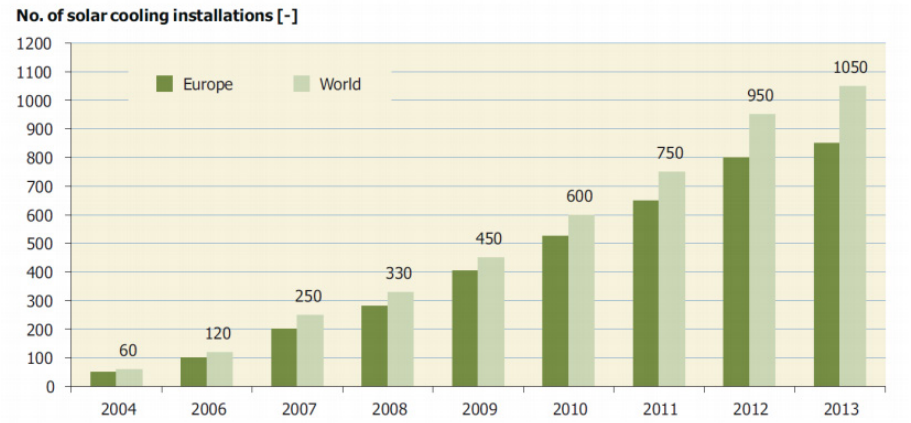
Det förstnämnda skälet är helt parallellt till ett viktigt skäl till att vår sorptiva hybrid är av intresse för kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla: Temperaturnivåns betydelse.

4.2.4 Utnyttjande av solenergi i samband med generering av kyla

Utnyttjande av solvärme för produktion av kyla är en gammal idé. Det lanserades första gången vid Världsutställningen i Paris 1878, se Figur 62.



Figur 62: Vid Världsutställningen i Paris 1878 demonstrerar Augustin Mouchot (1825 – 1911) hur man kan bilda ett isblock med hjälp av en soldriven absorptionskylmaskin. Bilden kan nerladdas från flera ställen på nätet. Mouchot publicerade en skrift (40) om sin uppfinning. Han demonstrerade även hur solenergin kan användas för att driva en motor baserad på en Stirling-cykel.

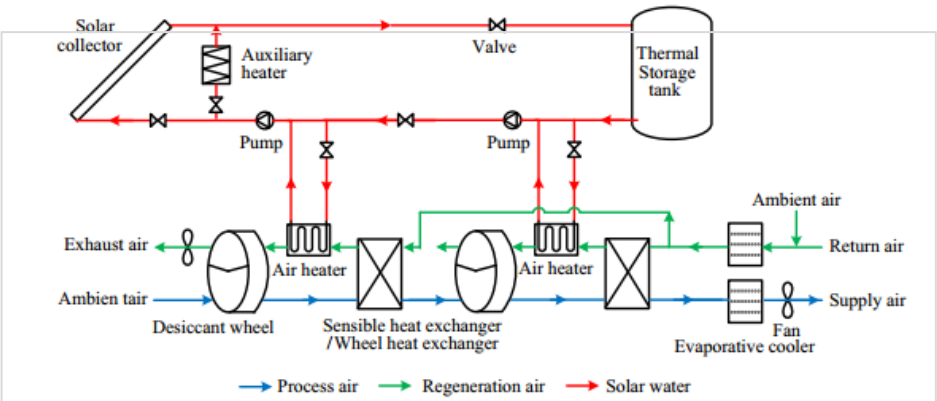


Figur 63: Utveckling i antal soldrivna kylanläggningar globalt och i Europa. Källa: (41).

Utnyttjande av solenergi för byggnadsuppvärmning har det fundamentala problemet att ju mer solen skiner dess mindre blir värmebehovet. Med utnyttjande av solenergi för byggnadskyla är det precis tvärtom. Trots denna fördelaktiga egenskap går tillväxten av sådana system tämligen långsamt, se Figur 63. Diagrammet omfattar all typ av soldriven kyla, främst absorptiva och adsorptiva tekniker.

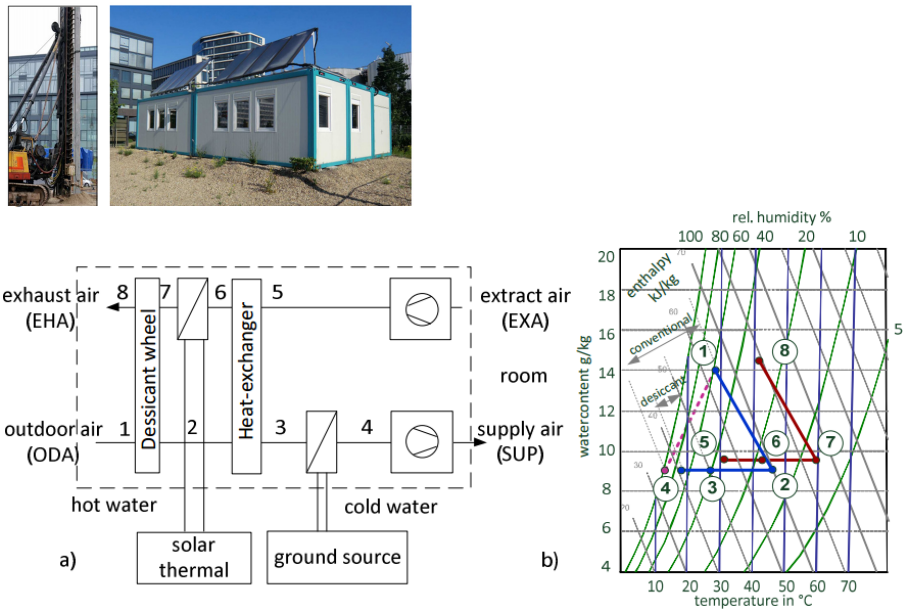
Sorptiv kylning med solenergi har testats i många utvecklingsprojekt och behandlas i ett stort antal publikationer. Sorptiv kylning enligt Pennington-processen och fjärrvärmedriven sorptiv hybrid kylning drivs båda med värmeenergi som ligger på en väsentligt lägre temperaturnivå än den som t ex frigörs i en gaseldad panna. Detta innebär att identiska typer av rotorer med desiccant kan användas i de båda tillämpningarna. Fjärrvärme-kyl-tekniken kan därmed dra nytta av den stora mängd resultat som framkommit inom tekniken för soldriven kyla.

Ett stort antal artiklar och dissertationer behandlar soldrivna Pennington-cykler, många av dem författade i Tredje Världens länder och i Emerging Economies, ibland inom internationella projekt där även högindustriländer är representerade.



Figur 64: Soldriven, två-stegs Pennington-cykel. Källa: (42).

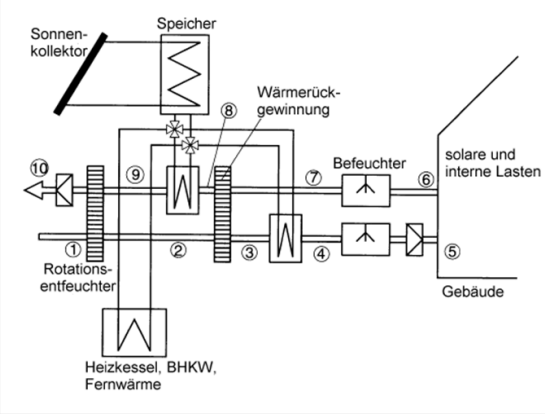
Figur 64 visar ett avancerat koncept för soldriven kyla med adsorption i två steg syftande till att ge effektiv avfuktning under besvärliga villkor med låg regenereringstemperatur och hög fukthalt utomhus. Den har visat sig fungera väl i både Berlin och Shanghai med regenereringstemperatur 59 respektive 85°C. Det är dock frågan om ett kostsamt och voluminöst system. Anläggningen som visas i Figur 65 finns i Hamburg där det inte är särskilt fuktigt på sommaren.



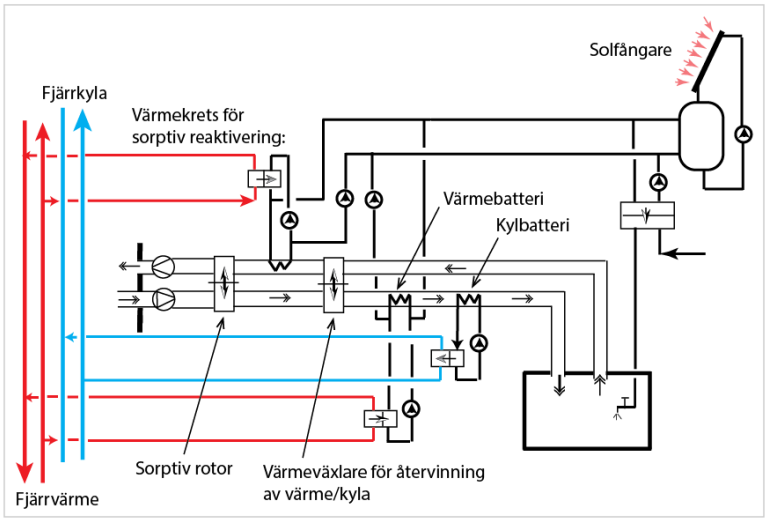
Figur 65: Soldriven sorptivt hybrid kylsystem som kyls med markkyla. Testanläggning ”Hafen” i Hamburg. Källa: (43).

I Figur 67 har vi kompletterat en sorptiv, hybrid kundcentral med solfångare som kan valfritt används för regenerering av en sorptiv rotor eller för

byggnadsuppvärmning. Till detta har lagts värmning av tappvarmvatten. Se även Figur 66.

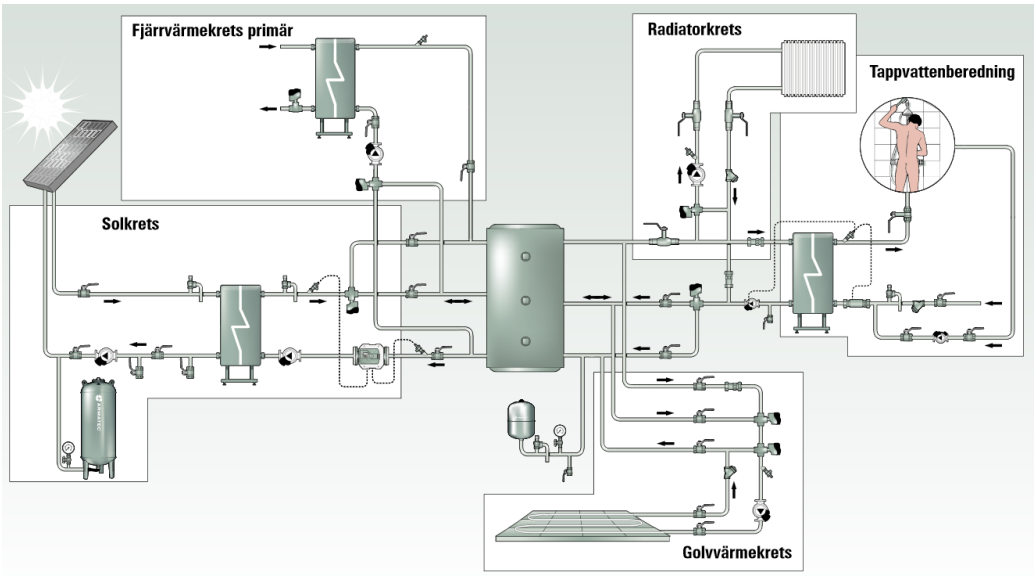


Figur 66: Pennington-cykel med ett flertal (möjliga) värmekällor: solvärme, fjärrvärme mm. Källa: (44).



Figur 67: Sorptiv, fjärrvärme-fjärrkyle hybrid kundcentral med värmning av tappvarmvatten och kompletterad med solvärme.

Det finns kommersiella fjärrvärmecentraler med kompletterande solvärme, Figur 68.



Figur 68: Kommersiell fjärrvärmecentral kompletterad med solvärme. Källa: Armatec AB.

Ytterligare en möjlig variant är att utrusta en kundcentral kompletterad med solvärme så att den tidvis kan leverera värme till fjärrvärmenätet, dvs. fungera som en ”prosumer”.

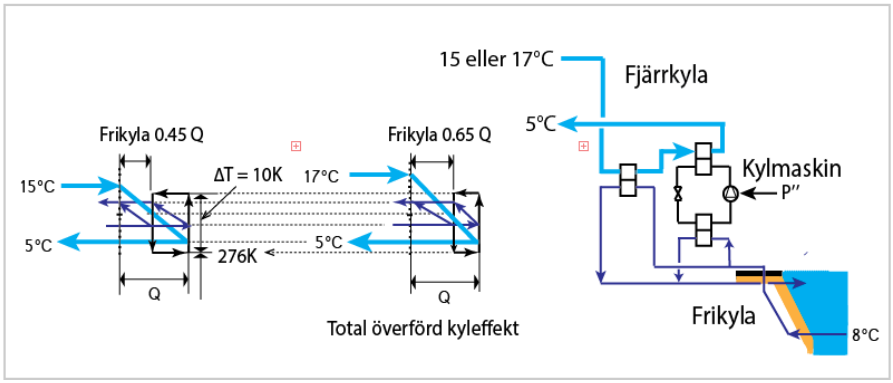
I ett klimat som det svenska med relativt få soltimmar är det i många fall tveksamt om kundcentraler kompletterade med solfångare är motiverade ur rent ekonomisk synpunkt. Men vid en bedömning av marknadsmöjligheterna måste man även beakta den ideologiska aspekten – solvärme är förnyelsebar energi. Det kan finnas fjärrvärmekunder som är beredda att betala extra för en solfångaroption, och energibolaget kan stärka sin miljöprofil genom att erbjuda lösningar med solfångare.

Avslutningsvis kan vi konstatera att antalet av möjliga kopplingsvarianter är mycket stort, för att inte säga enormt. Vi har redovisat en del av dem och har antytt en del ytterligare, men det finns ännu fler. Några varianter är utan vidare relevanta för kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla, andra är det, åtminstone vid första anblicken inte. Det är motiverat att göra en ambitiös studie helt fokuserat på detta tema. Det faktum, at man i kopplingen utnyttjar solvärmen både på vintern och på sommaren ökar sannolikheten att merinvesteringen i solfångarna ska vara ekonomiskt motiverad, jämfört med traditionella kombinationer av fjärrvärme och individuell solvärme på byggnader.

4.3 VÄRDET AV TERMODYNAMISKT EFFEKTIVA KUNDCENTRALER

Frikyla i form av kyla i havet, i sjöar och floder är helt förnyelsebar energi. För att ta tillvara frikylan i ett fjärrkylnät krävs endast lite el för pumparbete. På många håll kan fjärrkyleproduktion helt eller till viss del baseras på frikyla. I gynnsamma fall finns den nära försörjningsområdet och kan då möjliggöra billig fjärrkyleproduktion. Tillgången till frikyla varierar extremt mycket från ort till ort.

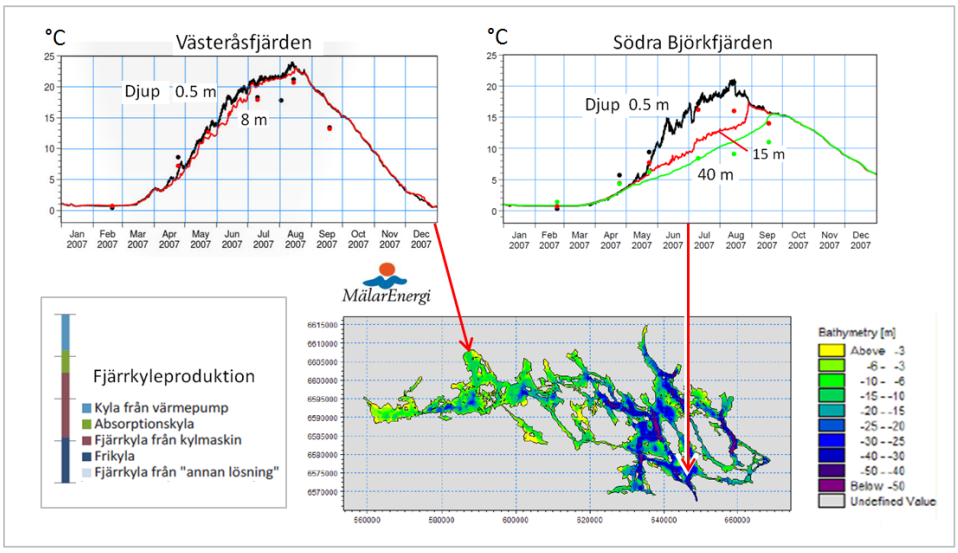
Där den finns tillgänglig är det attraktivt att kunna göra andelen frikyla i den totala fjärrkyleproduktionen så stor som möjligt.



Figur 69: Enkel modell som visar fördel med höjd returtemperatur i ett fjärrkylesystem.

Figur 69 visar till höger ett kopplingsschema med fjärrkyleproduktion i en kylmaskin och med frikyla. Om fjärrkylereturtemperaturen ökar från 15 till 17°C, ökar i detta exempel andelen frikyla från 45 till 65%. På motsvarande sätt kan man illustrera att även höjd framledningstemperatur kommer att minska andelen frikyla.

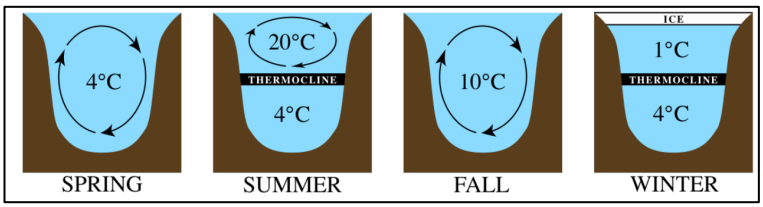
Vi kommer att illustrera denna frågeställning med fyra konkreta exempel hämtade från Västerås, Jönköping, Kalifornien och östra Kina. Den sistnämnde regionen kommer dock att vara i fokus ur en annan aspekt: Kombinationen av ett stort värmebehov på vintern och ett stort kylbehov på sommmaren.



Figur 70: Temperaturförlopp på olika djup i två fjärdar i Mälaren och fjärrkyleproduktion i Västerås. Källa: (45).

Mälarenergi AB i Västerås levererar fjärrkyla med en mix av olika produktionssätt. Frikyla från Mälaren i Västeråsfjärden är ett av sätten. Men när kylan behövs som mest är temperaturen på det vatten som tas in för hög för att det är möjligt att ta ut

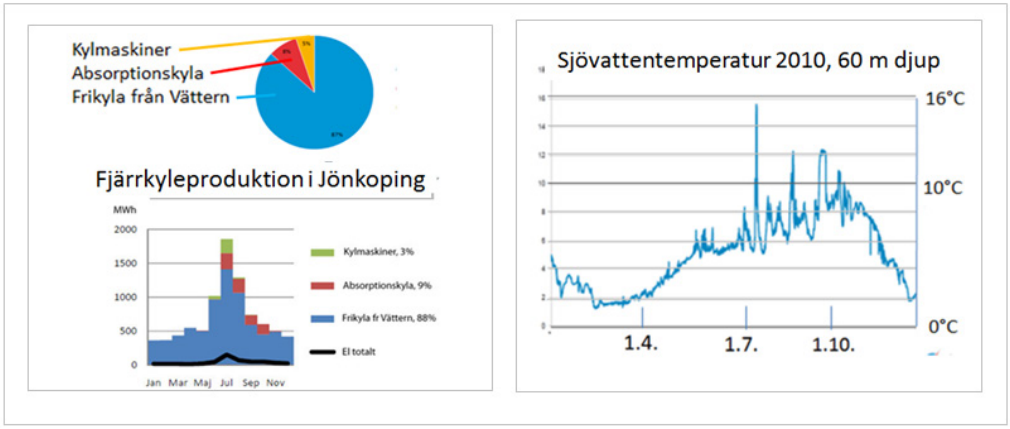
fjärrkyla. Den period som detta gäller är desto längre ju lägre framlednings- och returtemperaturen är. Västeråsfjärden är ett typiskt exempel på ett mycket grunt vatten, skillnaden mellan yt- och bottentemperaturen är liten året runt, all vattnet har en temperatur som inte ligger långt från uteluftens temperatur, så länge denna är högre än 0°C. Se Figur 70.



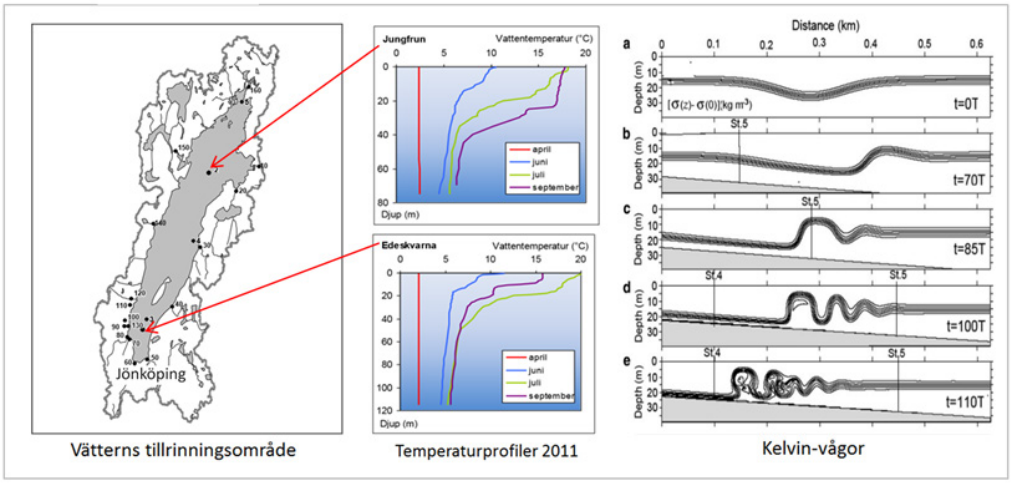
Figur 71: Typisk årsvariation i temperatur på olika djup i djup sjö. Källa: Google Images

I tillräckligt djupa sjöar ställer det in sig en skiktning med en stabil gränszon, termoklinen, mellan en varm övre vattenmassa och en kall, undre värmemassa. Se Figur 71. Men på hösten kyls vattnet uppifrån, och då lägre temperatur medför större densitet bryts stabilliteten, det blir en total omrörning. Det sker även på våren. Man säger att sjön vänder. Det är detta som händer i Södra Björkfjärden när alla tre kurvor möts på sensommaren. Se det högra övre temeperaturförloppet i Figur 70.

Jönköping är gynnad av ett läge vid Vättern som är djup, även rätt nära in på. Under större delen av sommaren kan man från 60 meters djup ta in frikyla på en temperaturnivå som ligger under 10°C, vilket har möjliggjort att den förnyelsebara frikylan står för huvuddelen av fjärrkyleproduktionen, enligt Figur 72.



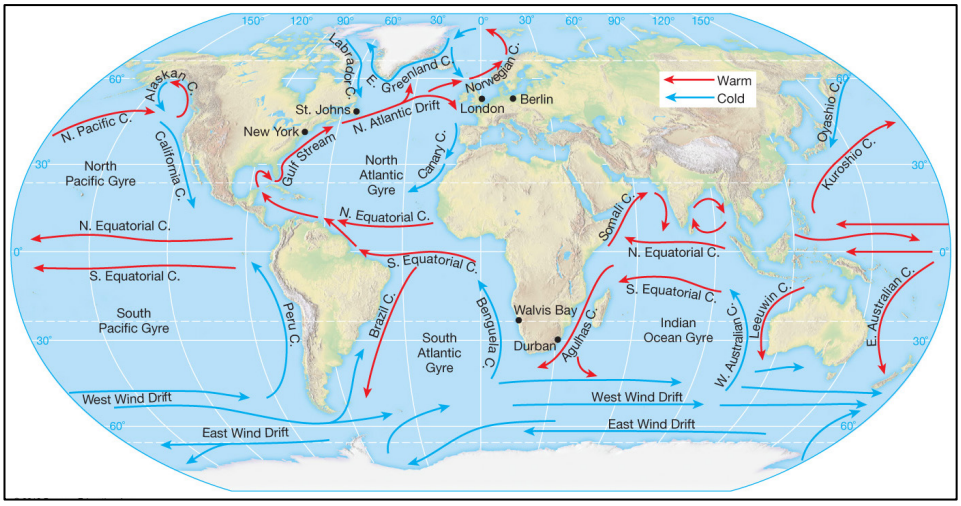
Figur 72: Fjärrkyleproduktion i Jönköping och förlopp av sjövattentemperatur för vatten som tas in. Källa: Jönköping Energi AB.



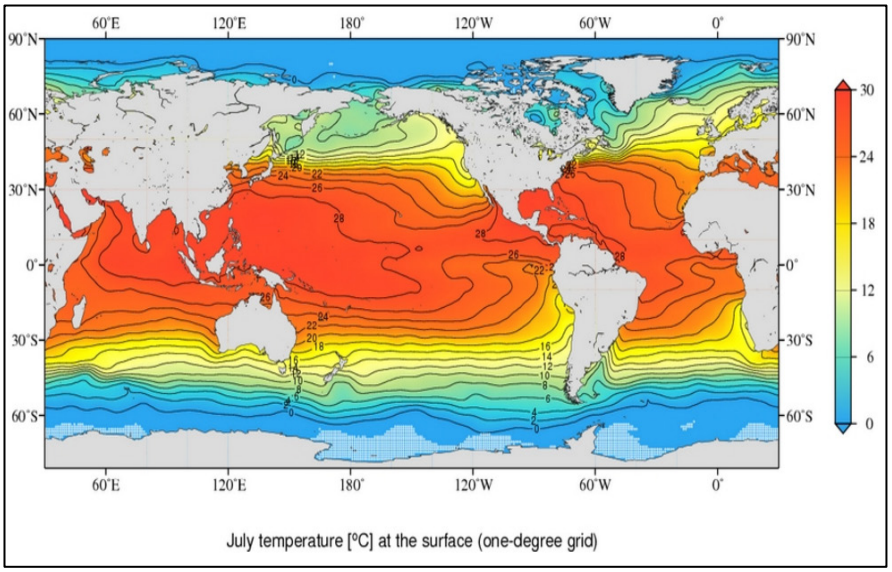
Figur 73: Temperaturprofiler i Vättern och beskrivning av det störande fenomenet Kelvin-vågor. Källa: (46) och (47)

Ett hinder för att komma ännu högre upp, är att det då och då på sensommaren sker en plötslig höjning av framledningstemperaturen. Fenomenet har identifierats som Kelvin-vågor, en intern vågbildning i den termiska skiktningen, Figur 73, förorsakad av vind över den stora vattenytan. Hade fjärrkylecentralerna kunnat klara av en högre framledningstemperatur, skulle minskningen av andelen förnyelsebar produktion kunnat reduceras.

Vi visar i Figur 74 kartor över globala havsströmmar och yttemperatur i världshaven under juli månad som en introduktion till fjärrkyla i Kalifornien. Vi kommer att ha nytta av dem längre fram när vid studerar möjligheter till fjärrvärme och fjärrkyla i östra Kina.



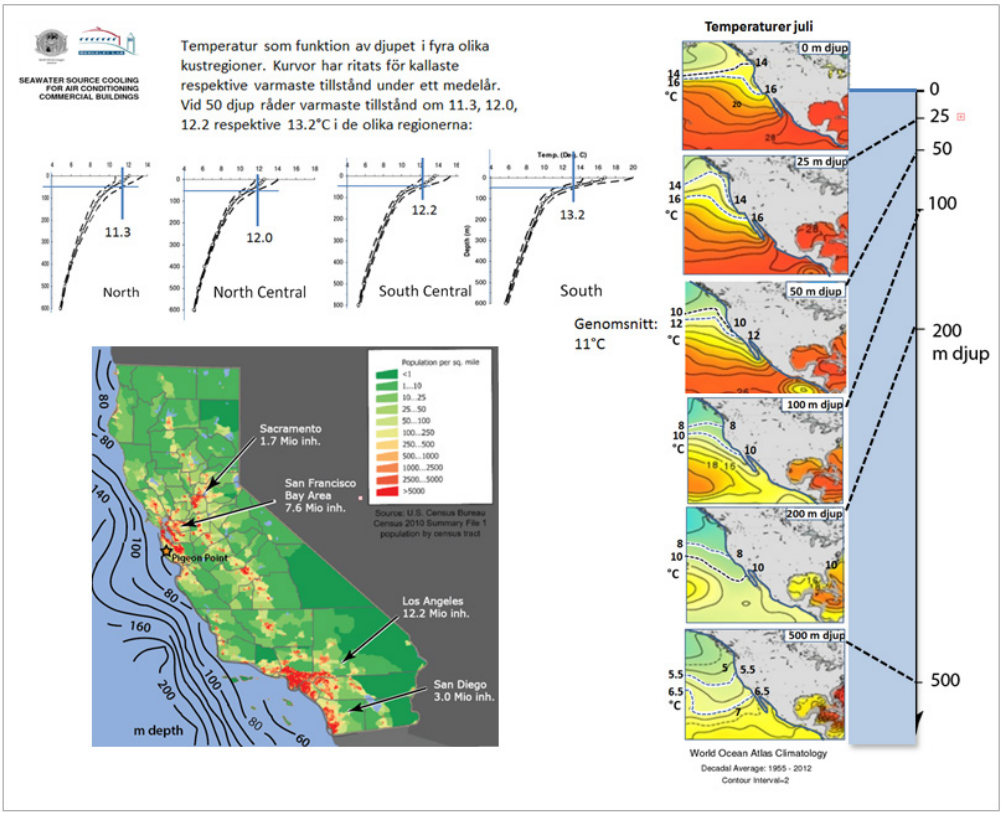
Figur 74: De globala havsströmmarna. Källa: Google Images



Figur 75: Den globala yttemperaturen i havet, medelvärde för juli månad. Källa: World Ocean Atlas (https://www.nodc.noaa.gov/OC5/woa13/)

Längs Kaliforniens kust finns en huvudström, California Current, som transporterar kallt vatten norrifrån. Denna avkylande verkan syns tydligt på temperaturkartan. Detta, i kombination med vetskapen om att klimatet i Kalifornien är varmare än i Sverige, hela året runt, och att det finns kring 25 miljoner människor tillsammans i de tre store kuststäderna Los Angeles, San Francisco och San Diego, innebär att det är värt att fundera på möjligheterna för att utnyttja frikyla i havet för fjärrkyla i Kalifornien. På grund av de branta bergskedjorna i norr-syd-riktning variarar klimatet starkt med avståndet från kusten. Således är det mycket varmare på sommaren i den stora Central Valley. Utmed kusten är det endast en mindre del av bostadshusen som har luftkonditionering. Det är ungefär som i Sverige, luftkonditionering är i första hand relevant för kommersiella och institutionella byggnader.

Det måste understrykas att betraktandet av de globala strömmarna endast ger en mycket grov bild. Det finns överallt längs kontinentens kuster många mindre strömmar i olika riktningar och på olika djup. Över huvud taget är havets temperaturförhållanden komplicerade. En orsak till detta är att vattnets densitet är en funktion av salthalten, i kombination med variation med temperaturen. Östersjön är t ex mycket skiktat på olika nivåer. Det är detta som gynnar möjligheterna att i Östersjön operera relativt fritt och oupptäckt med U-båtar, då skiktningen motverkar ljudets fortplantning i vertikalled.



Figur 76: Möjligt utnyttjande av frikyla i Kalifornien. Källor (internet): National Atlas of the United States, World Ocean Atlas, Lawrence Berkeley National Laboratory: Seawater Source Cooling for Air Conditioning Commercial Buildings.

Det finns en studie som beaktar de detaljerade temperaturförhållandena, ref. (48). Från denna visas längst uppe i Figur 76 temperaturprofiler i vattnet på fyra ställen från norr till söder. På 50 meters djup varierar den genomsnittliga vattentemperaturen under juli månad från 11°C i norr till 13°C i söder. Generellt varierar vattnets temperatur rätt lite under året. Till höger i Figur 76 visas kartor över havstemperaturen under juli månad på olika djup. Det syns att man måste ner på större djup än i Vättern för att komma ner i riktigt låg temperatur.

Kartan över befolkningsfördelning visar hur stora befolkningskoncentrationer som finns utmed Kaliforniens kust. Se västra undre delen av Figur 76.

Studiens resultat blev att ren frikyleproduktion inte är lönsam, men att kombinationen av frikyla och vanliga kylmaskiner har på papperet goda möjligheter att bli lönsam. Frånvaron av tradition för både fjärrvärme och fjärrkyla i Kalifornien är dock ett betydande praktiskt hinder för storskaliga fjärrkyleprojekt överhuvud taget. I Sverige har fjärrkylan kunnat rida på ryggen av en lång fjärrvärmetradition som innebär att många av hindren på förhand undanröjts. Exempelvis finns redan ett affärsförhållande mellan energiföretaget och den presumtive kunden, och att lägga fjärrkyleledningar skiljer sig inte mycket från att lägga fjärrvärmeledningar.

Det finns i rapporten en intressant analys, av temperaturproblematiken, se Figur 77:

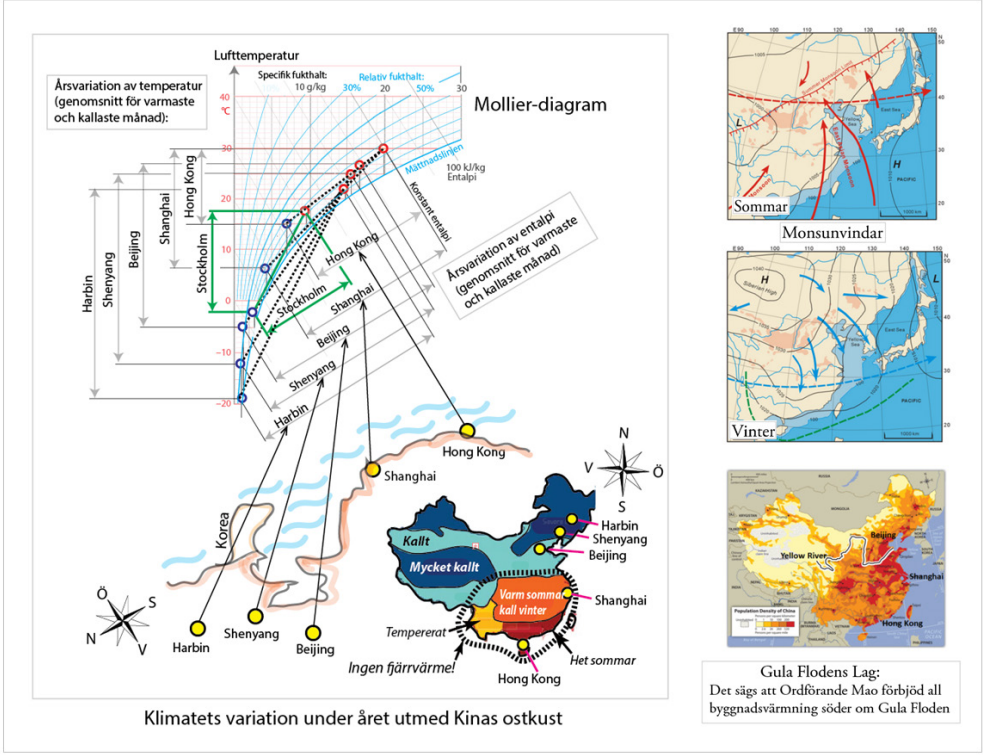
Maximizing the use of free cooling depends on minimizing the temperature difference between the occupied space and the heat sink that is required to transfer the cooling load. Radiant cooling systems, which use chilled water temperatures ~17°C (63°F) are the most effective in this respect, although they are most readily implemented in new construction and major refurbishments. Displacement ventilation, which requires ~19°C (67°F) supply air, and hence ~14°C (57°F) chilled water, and under-floor air distribution (UFAD) with swirl diffusers, which requires ~18°C (64°F) supply air, and hence ~12°C (54°F) chilled water, are also more readily deployed in new construction and major refurbishments. By contrast, conventional, mixed ventilation systems require ~16°C (60°F) supply air, and hence ~10°C (50°F) chilled water at peak load. All these values assume that no dehumidification is required – if the seawater is cold enough to provide full cooling, the surface temperature of the ocean can be expected to be low enough for the ambient dew point temperature within a few miles of the shore to be low enough that latent loads are met by the ventilation air. Assuming a 1.7 °C (3 °F) degree temperature difference in the sea-water to cooling water heat exchanger, the maximum usable seawater temperatures range from 16°C (60°F) for radiant cooling to 8°C (47°F) for conventional cooling systems if seawater is the only source of cooling. These limiting seawater temperatures are based on assumptions about the temperature difference between the supply air and the chilled water based on conventional sizing of the heat exchangers ('cooling coils'). In a new or refurbished system, it is possible to reduce this temperature difference by increasing the size of the cooling coils, thereby increasing the limiting seawater temperature for air-based systems.

Figur 77: Utdrag ur rapporten om temperaturproblematiken för fjärrkyla och frikyla rörande Kalifornien. Källa: (48).

Som vi ser i avsnitt 4.2.3, innebär den sorptiva hybrida kundcentralen (Figur 28 och Figur 29) goda möjligheter att kyla byggnader med en hög framledningstemperatur i fjärrkylenätet. De relativt varma somrarna i Kalifornien kan dock vara ett hinder, då man kanske inte vill introducera fjärrvärme. I så fall är i stället lösningar baserade på passiv, sorptiv teknik (Figur 21) ett intressant alternativ.

Man kan ta fasta på at den sorptiva hybrida kundcentralen uppvisar attraktiva egenskaper, både i värme- och i kylfallet, och ställa frågan: Var på jordklotet har man stora koncentrationer av både värmebehov på vintern och kylbehov på sommaren?

Ett bra svar på denna fråga är: Östra Kina, se Figur 78. Befolkningsmängderna är enorma. Klimatet liknar ett fastlandsklimat: Heta och fuktiga somrar och kalla, torra vintrar. Skälet till att det, trots närheten till havet, är monsunvindar som blåser åt olika håll sommar och vinter: På sommaren blåser det söderifrån varma vindar som laddats med fukt ur sydliga oceanen. På vintern är det tvärtom, det är vindar från den kalla ryska kontinenten som råder.



Figur 78: Östra Kina, variation i klimatet under året, kompletterat med (nere till höger) karta över befolkningsfördelning jämte Gula Floden. Källor: (49) och kartor från Google Images.

I Kina finns det en lång tradition fjärrvärme, men en egendomlig tradition med hänsyn till byggnadsuppvärmning i allmänhet: ”Gula Flodens Lag”: Det påstås att Ordförande Mao ska ha utfärdat förbud mot byggnadsuppvärmning söder om Gula Floden. Om detta är sant, har det varit särskilt grymt i den region inne i landet där Gula Floden buktar sig uppåt. Hur som helst, det är ont om byggnadsuppvärmning i södra Kina. Ett urklipp ur den officiella tidningen China Daily illustrerar detta, Figur 79.



中国日报
CHINA DAILY
THE NATIONAL ENGLISH LANGUAGE NEWSPAPER

Cold snap fuels calls for heating

By Hong Liang
China Daily, January 21, 2013

0 Comment(s) Print E-mail

Adjust font size:

The cold spell in the past couple of months has stirred heated debate in Shanghai and neighboring regions on district heating such as that found in northern cities.

For historical reasons, the majority of homes in central and eastern China, where the winter can get very cold, are denied what is considered the most cost-efficient heat source. Families that can afford it run their air conditioners non-stop to keep warm on particularly cold days, of which there have been many in the past month. Others seek relief with space heaters, electric blankets and hot water bottles.

Shanghai city planning experts agree that district heating is not feasible. Instead, they recommend that the simplest and least expensive way to keep warm in the winter is to install buildings better-insulated windows in buildings. Other than that, just keep wearing a lot of clothes.

But that's not what the increasingly prosperous Shanghai people want to hear. Of course, the debate may die down when warmer weather returns in the spring. But the growing desire for heated homes is not going to go away. The government, which takes great pride in its people-oriented policies, will have to produce a plan to satisfy the yearning of more and more people of all classes to warm their homes in the winter time.

Figur 79: Utdrag ur China Daily on förhållanden kring byggnadsuppvärmning.

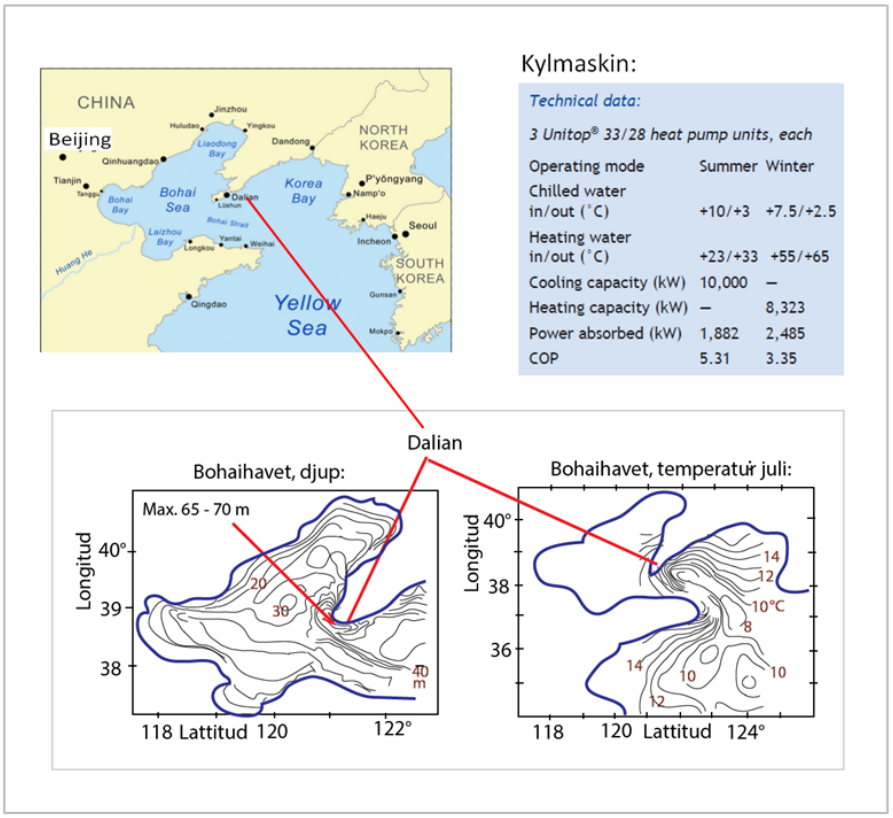
En annan mindre gynnsam omständighet är att den överordnade havströmmen utmed Kinas ostkust går norrut och verkar därför värmande, även på sommaren, se tidigare visade Figur 74 och Figur 75.

Mollierdiagrammet till vänster i tidigare visade Figur 78 visar variationen i månadsmedeltillstånd mellan varmaste och kallaste månad för ett antal av de stora städerna längs (och en bit in i landet) Kinas ostkust. Dessutom har värden för Stockholm lagts in som jämförelse. För samtliga kinesiska städer är temperatur-variationen större än i Stockholm. Ännu större skillnad råder när det gäller variation i entalpi som ger ett mera realistiskt mått då det innefattar energibehov för hantering av fukt. Den sorptiva, hybrida kundcentralen borde ha mycket goda chanser överallt i städer i östra Kina.

Man kan t.ex. ta Harbin: Här är det långt kallare på vintern än i Stockholm. Lika väl är sommaren varmare och mer fuktig. Eller man kan ta Shanghai: Sommaren är långt varmare och fuktigare än i Stockholm; visserligen är vintern något mildare än i Stockholm, men ändå så pass kall att det behövs uppvärmning om man ska kunna upprätthålla västlig innetemperatur i bostadsfastigheter.

Ett fundamentalt problem för utvecklingen av fjärrkyla är de stora lednings-dimensionerna. Det begränsar i hög grad hur mycket man kan bygga ut fjärrkylan,

även där alla byggnader är i behov av mycket energi för kylning på sommaren. Det höga ΔT för fjärrkyla och det relativt lilla behovet av fjärrkyla i den sorptiva, hybrida kundcentralen erbjuder en möjlighet att utvidga försörjningsområdet för fjärrkyla. Man kan se det som att man på sommaren utnyttjar både fjärrkyla- och fjärrvärmenäten för distribution av kyla.



Figur 80: Fjärrvärme och fjärrkyla i Dalian, djupkarta och karta över bottentemperaturer Källa: Friotherm och (50).

Figur 80 illustrerar att det finns avsevärda, och för fjärrkyla gynnsamma, avvikelser från den bild av hög havsvattentemperatur som syns på den tidigare visade globala kartan enligt Figur 74.

Det finns många regionala och lokala strömmar som avviker och ger upphov till relativt kallt vatten på olika djup på olika platser. Ett exempel där det faktisk kommit till stånd både fjärrvärme och fjärrkyla är staden Dalian som ligger öster om Beijing, vid infarten till Bohai-havet (51).

5 Batterilösningar

5.1 INLEDNING

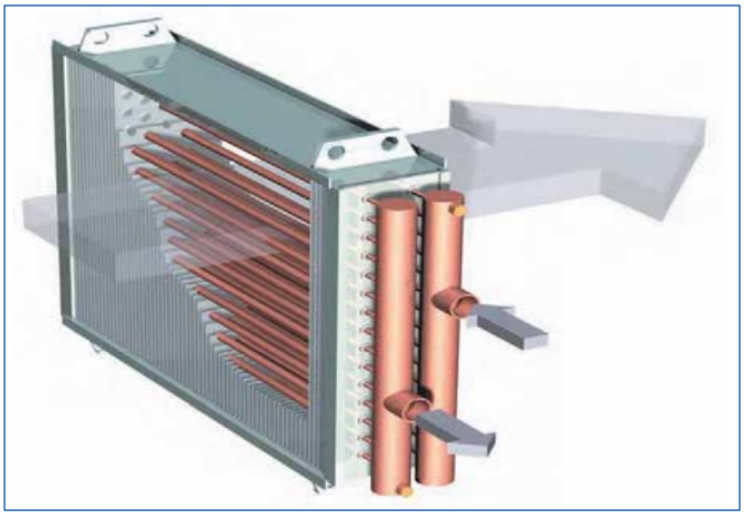
Projektet har som syfte att identifiera och värdera olika innovativa lösningar för kundcentraler för fjärrvärme och fjärrkyla. I värdekedjan för koncepten ligger bland annat identifiera termodynamiskt intressanta realistiska lösningar. Ett av värdena är att högpresterande lösningar har höga ΔT. Vi ser med sorptiva lösningar en potential att åstadkomma detta. Utöver innovativa kundcentraler skall inte förglömmas möjligheten att med nya tekniska lösningar inne i fastigheternas distributionssystem även kan man åstadkomma förbättrade ΔT. Det gäller således att ha en systemsyn där förbättringar kan ske både i kundcentralen och inne i fastigheternas distributionssystem. I detta avsnitt 5 redovisar vi innovativa lösningar inom området batterikopplingar. I avsnitt 6 följer effektiviseringsalternativ inom styr- och reglerventiler. I avsnitt 7 redovisas exempel på distributionsrelaterade lösningar i fastighetssystem.

5.2 KYLBATTERIER OCH INNOVATIV BATTERIKOMBINATION

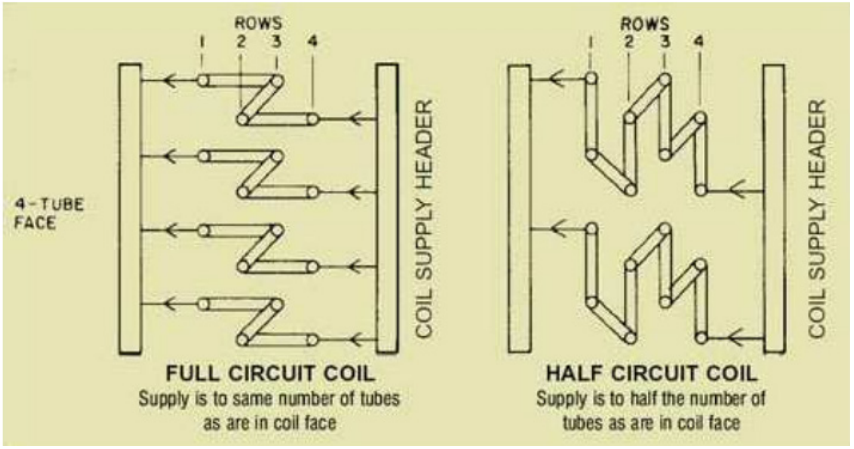
5.2.1 Kylbatteriers konfiguration

Kylbatterier som generellt används i luftbehandlingsaggregat är en mycket etablerad produkt. Deras konstruktion är i huvudsak samma som för värmebatterier. Det finns utförliga beskrivningar av hur batteriprestanda kan beräknas och hur dessa ska utformas beroende på önskad prestanda och driftbetingelser, t ex i VDI-Värmeatlas och i ASHRAE-publikationer. Styrkan med batteriernas design är att den är mycket flexibel så att batterierna närapå kan skräddarsys för olika applikationer.

Den typiska konstruktionen är att kylvätska strömmar inuti rör placerade på tvären i en luftströmningskanal - batteriets hölje. Flödet distribueras från samlingsrör kan vända fram och tillbaka, bilda slingor, tills det når utgående samlingsrör. Antalet gånger flödet korsar luftflödet kallas för antalet "vattenvägar". Figur 81 visar en bild över ett batteri med fyra vattenvägar (flödet vänder tre gånger på väg mellan samlingsrören). Ett annat viktigt begrepp är "kretsar". En krets är en individuell rörslinga som förbinder samlingsrören. Antalet kretsar/slingor i Figur 82 är lika med antalet rör per rörrad (d.v.s. 15) och motsvarar principiellt den koppling som visas till vänster i Figur 82, som består av bara fyra kretsar. Kopplingen till höger i figuren består av exakt lika många rörväggar men har bara två kretsar.



Figur 81: Typiskt utseende för ett kylbatteri. Källa: Aerofin Heat Transfer Products



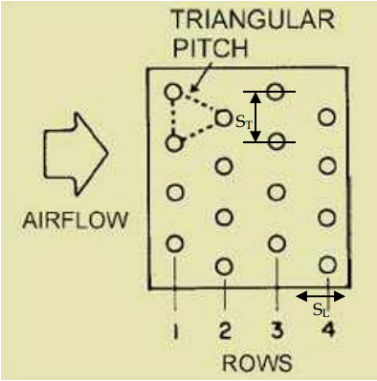
Figur 82: Pprincipiellt utseende av hur kretsar definieras i ett batteri, med fyra kretsar till vänster och två kretsar till höger. Källa: Aerofin Heat Transfer Products

Konsekvensen av ett mindre antal kretsar än det maximalt möjliga på bilden är att batteriet får större termisk längd. Slingorna blir ju färre men dubbelt så långa och uppvärmning av kylvattnet kommer att öka. Man får dock tänka på att även tryckfallet kommer att öka på vattensidan.

Observera att antalet kretsar kan enkelt fastställas om vi räknar antalet rör anslutna till respektive anslutningsrör, 4 resp. 2 i exemplet ovan. Batteriet skulle kunna bestå att bara en krets d v s alla rörväggar seriekopplade i en enda lång slinga som sig-sackar sig till höger respektive vänster genom varje rörvägg, ömsom uppåt ömsom neråt, jämför någon av slingorna i 2-kretsscheman i Figur 82. I det fallet hade något samlingsrör inte behövts. Räknar man antalet rör som är anslutna till samlingsrören i den översta bilden i figuren så ser man att det finns 15 kretsar där. Hade man velat få färre antal kretsar där med slingor som är lika långa då får man välja 5 kretsar som var och en får tredubbel längd, eller bara tre kretsar med femdubbel längd var.

I praktiken är man ganska flexibel med slingornas utformning när man vill uppnå en viss dimensionering av batteriet. Genom att tillåta att inte alla slingor har samma längd kan antal kretsar som inte går jämt upp i batteriets antal av horisontella rör skapas. Det är till och med möjligt att skapa antalet kretsar som är större än det tillgängliga antalet av horisontella rör, men vi ska inte fördjupa oss här i hur man då går till väga. Huvudsaken är att möjligheter att skräddarsy ett luftbatteri är stora.

Tryckfallet på vätskesidan i ett batteri motsvarar det tryckfall man i genomsnitt får i en och varje krets eftersom dessa är parallellkopplade. Tryckfallet kan minskas genom att välja större rördiametrar. De typiska rör man använder i luftbatterier som är aktuella i luftaggregat är kopparrör med ytterdiameter 5/16", 3/8", 1/2" eller 5/8”, vilket motsvarar ungefär 8, 10, 13 respektive 16 mm. Rörrader är ofta förskjutna mot varandra för att få bättre värmeövergång på luftsidan, se Figur 83 och avståndet mellan rader (CC-mått) är typiskt 2-3 ggr rördiameter.



Figur 83: Rörväggar i luftbatterier -"staggered grid", och cc-mått. Källa: Aerofin Heat Transfer Products

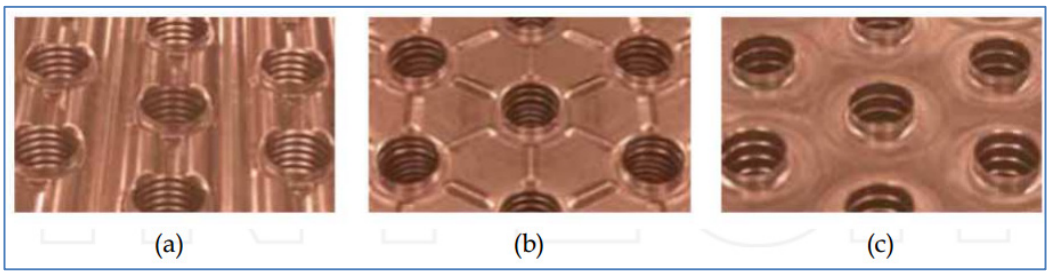
Tabell 1 visar typiska CC-mått och resulterande rörantal per rad vid olika rördiametrar enligt företaget Aircoil.

c lodrätt	antal rör	höjd, mm	a	cc vågrätt
25	24	600	3,1	21,65
25	24	600	2,6	21,65
30	20	600	2,3	30
35	17	595	2,7	30,3
40	15	600	2,5	34,6

Tabell 1: Typiska CC-mått och resulterande rörantal per rad vid olika rördiametrar i luftbatterier enligt företaget Aircoil.

Hittills har vi diskuterat rörkonfigurationer i ett luftbatteri, mest utifrån dess vätskesida. Luftsidan är mer komplicerad på det sättet att värmeövergång mellan en yta och förbiströmmande luft är mycket svagare per ytenhet. Därför krävs det en ordentlig ytförstoring för att luftbatteriet ska bli effektivt. Detta åstadkommer man genom kamflänsar (typiskt av aluminium) som sätts på rören, jmf figur Figur 81, och kan ha olika utformning. Figur 84 visar tre olika typer av flänsar, vågiga

(a), med stjärnformad prägling (b) och helt släta (c). De två förstnämnda ökar värmeövergång (på bekostnad av ökat tryckfall) men rekommenderas inte i batterier där det förekommer kondensering.



Figur 84: Olika typer av lameller för luftbatterier, med eller utan prägling. Material: koppar. Källa: Aerofin Heat Transfer Products

Ytförstoring man åstadkommer är mycket stor. Förutom cc-måttet beror den på lamellernas avstånd och dess tjocklek, typiskt 0,1-0,2 mm beroende på valt cc-mått. Låt oss ta ett enkelt räkneexempel. Anta rördiameter d=10 mm, cc-mått c=25 mm, samma både horisontellt och vertikalt, och slutligen lamelltjocklek h=0,1 mm och lamellavstånd x=2 mm. Rörets ytteryta per lamell blir

$$A_r=\pi*d*(x-h)=60\ mm^2$$

och lamellens yta (på lamellens ena sida) som tillhör ett rör blir

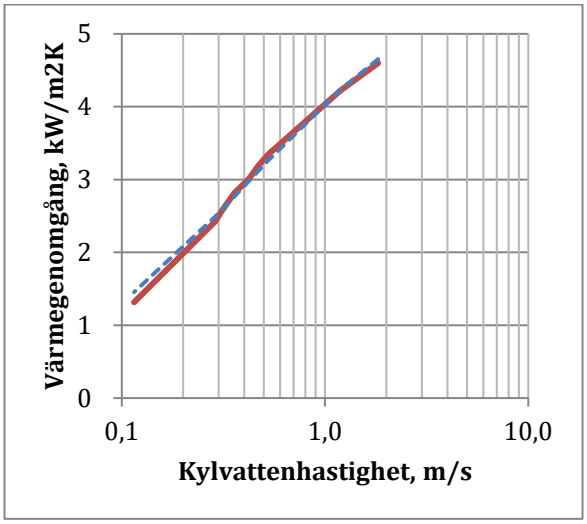
$$A_L=c^2-\pi*d^2/4=546\ mm^2$$

Ytförstoringen blir då, med hänsyn tagen till flänseffektivitet 0,85 och att lameller är dubbelsidiga

$$Yf=1+(0,85*A_L*2/A_r)=16,6\ ggr$$

och med hänsyn tagen till diameterskillnad mellan rörets in- och utsida blir den ännu större, drygt 20 ggr.

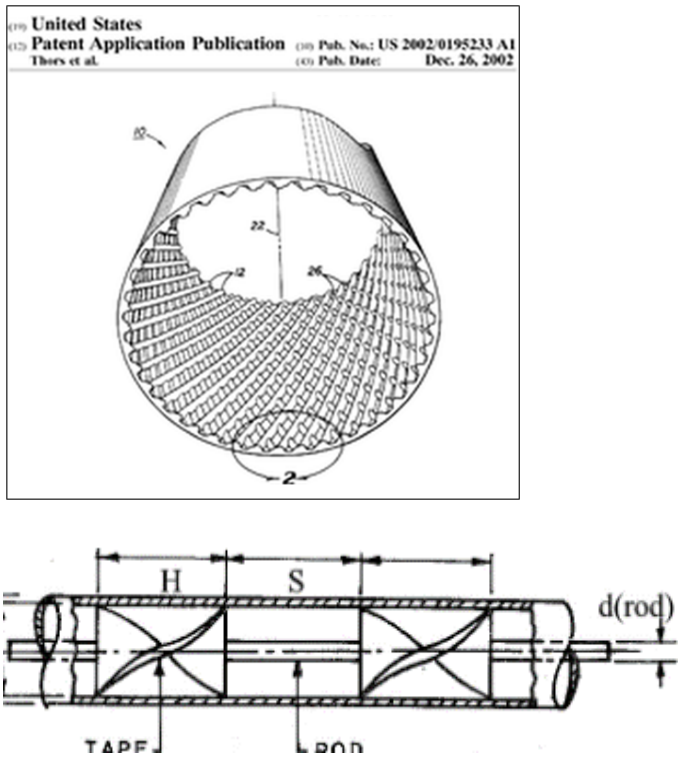
Detta krymper åtskilligt den stora skillnaden mellan värmeövergångskoefficient för vatten (4000 W/m²K) och luft (60 W/m²K). Med hänsyn tagen till ytförstoring blir luftens värmeöverföringsförmåga på luftsidan räknat per rörytenhet 60*20=1200 W/m²K. vilket är i samma storleksordning som på vätskesidan. Lärdom av detta (utöver allmänbildning) är att man inte kan bortse från inverkan av flödesvariationer på värmeövergången i ett luftbatteri oavsett om de inträffar på vätskesidan eller på luftsidan. Detta i motsats till värmeapparater med moderat eller ingen ytförstoring, t ex vattenradiatorer, där värmemotståndet på luftsidan dominerar värmeövergången helt.



Figur 85: Värmegenomgångens beroende av kylvattnets hastighet i kylbatteriets rörkretsar

Ett exempel på detta visas i Figur 85 där värmegenomgång som funktion av kylvattnets hastighet i rörkretsarna visas Man bör tillägga att ytförstoring kan ske även invändigt på vätskesidan men är mindre vanligt bl. a med tanke på ökat tryckfall det orsakar.

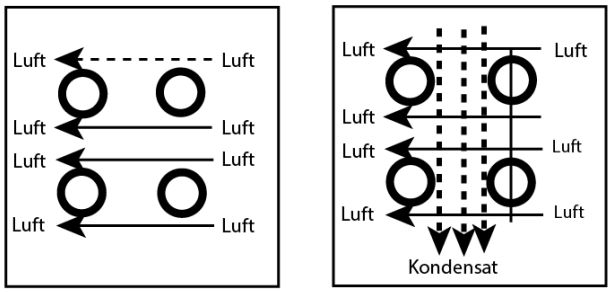
Ibland använder man tillsats av glykol eller andra fryspunktssänkande tillsatser för att förebygga frysrisk. Detta kan medföra en avsevärd försämring av värmeövergången på vätskesidan. Figur 86 visar exempel på ytförstoringar inuti rör. Utöver ytförstoringen i sig ger ytförstoringen, tack vara ökad turbulens, även högre värmeövergångstal.



Figur 86: Två typer av ytförstoring på tubernas insida. Den undre typen brukar kallas en ”turbulator”. Källa: Espacenet och (52)

5.2.2 Kondensering i kylbatterier

Kondensering av fukt i kylbatterier är ett vanligt fenomen. Kondensatutfällning mellan lamellerna försämrar värmeövergången och orsakar ökat tryckfall. Vattendroppar förväntas rinna nerför lamellerna till för detta avsedd uppsamlingsbricka, jmf Figur 87 till vänster och till höger. Höga lufthastigheter (större än 2,5 m/s) och små lamellavstånd (mindre än 2,5 mm) kan leda till problem med utblåsning av vattendroppar kylbatteriets utlopp och rekommenderas inte. Detta sätter begränsning på batteriets möjliga prestanda eftersom större lamellavstånd minskar batteriets värmeöverförande yta.

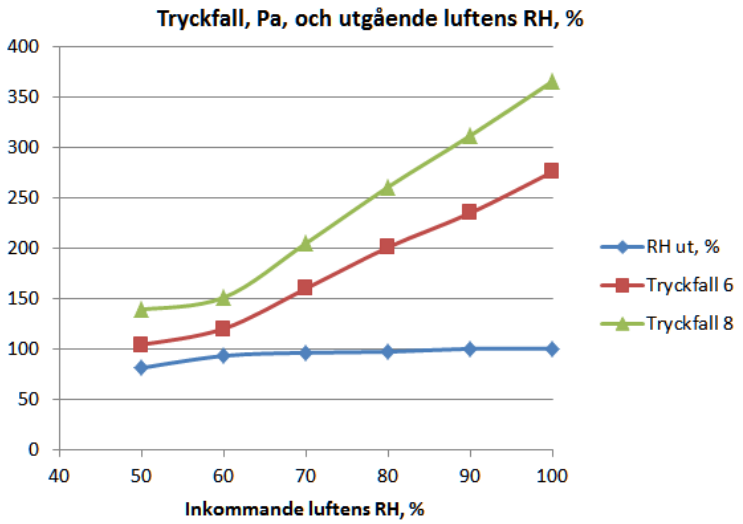


Figur 87: Luftströmning i ett kylbatteri, utan resp. med kondensatutfällning (till vänster resp. till höger).

Här kan man även nämna att om kylbatteriet har mindre höjd än bredd så minskar det risken för att kondensatdropparna inte hinner rinna ner till uppsamlingsbrickan innan de blir så pass stora att de rycks med den

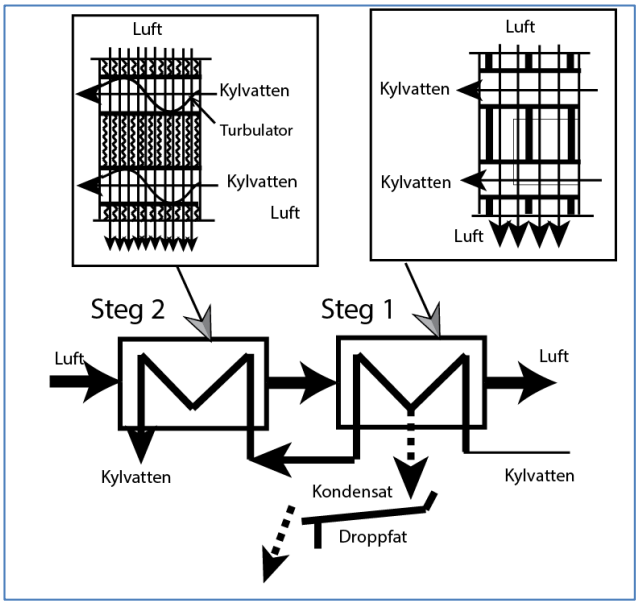
förbipasserande luften och hamnar utanför batteriet. (För övrigt minskar lägre batterihöjd antalet rörböjar och därmed ökat tryckfall dessa orsakar, samt passar bra i ventilationsschakt där den inkommande och utgående luften leds i parallella kanaler).

Figur 88 visar hur tryckfallet ökar i ett kylbatteri med 6 resp. 8 rörrader vid samma luftflöde då den inkommande luftens relativa fukthalt ökar. Inledningsvis, vid inkommande luftens fukthalt 50-60%, är tryckfallet moderat. Men så fort fuktutfällning uppstår då den inkommande luftens fukthalt ökar (utgående luftens RH närmar sig 100%) då ökar tryckfallet. Vid lägre inkommande fukthalt ökar tryckfallet mindre eftersom fuktutfällning sker bara i en del av batteriet medan det blir mer än dubbelt då inkommande luftens RH är 100% - kondensatutfällning sker då längs hela batteriet.



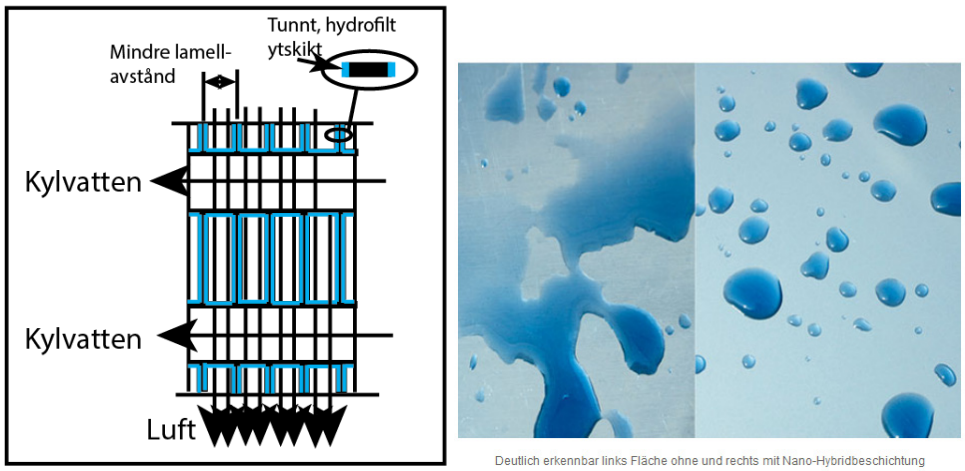
Figur 88: Tryckfallsökning i ett kylbatteri med 6 resp. 8 rörrader vid samma luftflöde då den inkommande luftens relativa fukthalt ökar och kondensatutfällning uppstår

Som redan nämnts påverkas valet av rördiametern och lamellavstånd av risk för kondensering på luftsidan. Det ligger då nära till hands att fundera på om man inte borde använda separata batterier för kondenserande resp. icke kondenserande kylning av luften. Ett principiellt utseende för en sådan lösning visas i Figur 89. Nederst i figuren visas en seriekoppling av två luftbatterier medan överst visas skillnader i utformning av värmeöverförande ytor i steg 1 och steg 2 (sett från resp. batteriets ovansida) i överensstämmelse med de ovannämnda funderingarna.



Figur 89: Seriekoppling av två luftbatterier. Överst visas skillnader i utformning av värmeöverförande ytor i seriekopplingens steg 1 och steg 2 (sett från resp. batteriets ovansida).

Figur 90 visar en möjlig vidareutveckling av lamellerna i det första stegets batteri då hydrofil ytbeläggning används.

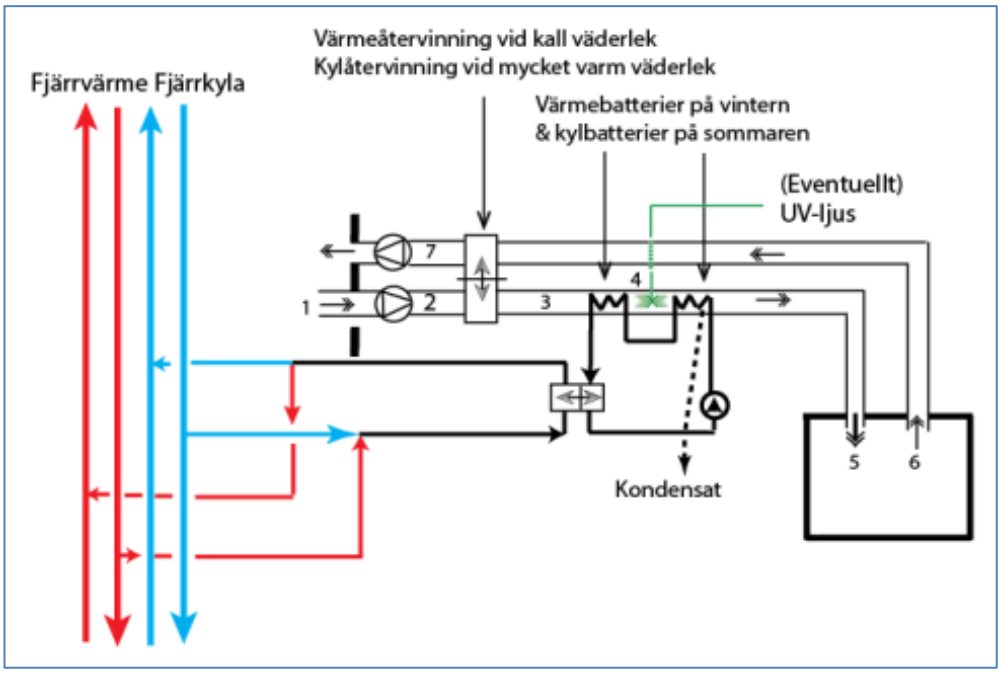


Figur 90: Möjlig vidareutveckling av lamellerna i det första stegets batteri i Figur 89 då hydrofil ytbeläggning används. Källa (bild till höger): http://www.howatherm.de/web/DE/products/nanohybridcoating/

En hydrofil eller hydrofob beläggning minskar försmutsningstendensen och därmed även risken för mikrobiell tillväxt. Därutöver kan man med modern nanoteknik göra en beläggning baktericid, dvs. Den verkar avdödande på mikroorganismer.

5.2.3 Innovativ Batterikombi

Figurerna Figur 89 ochFigur 90 demonstrerar en av poängerna med den typ av otraditionell kopplingsvariant för kundcentraler som vi valt att kalla ”Innovativ Batterikombi”, se Figur 91. I denna har man (minst) två batterier som båda kan fungera som värmebatteri på vintern och kylbatteri på sommaren. Denna ”Switch-over”-funktion innebär att ingen värmeöverföringsyta lämnas outnyttjad.



Figur 91: Otraditionell kopplingsvariant för kundcentraler, här kallad ”Innovativ Batterikombi”. Kopplingen har (minst) två batterier som båda kan fungera som värmebatteri på vintern och kylbatteri på sommaren.

När uppvärmningen på vintern och avkylningen på sommaren sker i två steg kan man på flera sätt förbättra värmetransporten:

Ett batteri av konventionell typ är inte en perfekt motströmsvärmeväxlare utan ett mellanting mellan en motströmsvärmeväxlare och en korströmsvärmeväxlare. När man seriekopplar två sådana värmeväxlare kommer den totala värmeöverföringen att ligga närmare motströmsprincipen, jämfört med ett enda batteri med samma värmeöverföringsyta.

En annan fördel är att man kan optimera varje värmeväxlare för sig. Detta gäller i utpräglad grad vid kylning med avfuktning om man delar upp så att det aldrig sker kondensering i den ena växlaren. Denna kan då konstrueras för större strömningshastighet, det kan finnas fler lameller som sitter tätare, och den detaljerade utformningen av värmeöverföringsytan kan göras mer ”skrovlig”, utan att tryckfallets storlek blir oacceptabel.

Dessutom, om man delar upp ett batteri i flera separata värmnings- och kylsteg blir ytorna mer åtkomliga för rengöring. Ibland använder man UV-ljus för mikrobiologisk rengöring. I sådana fall underlättar uppdelningen möjligheten att med UV-ljuset träffa alla delar av värmeöverföringsytan.

6 Ventillösningar

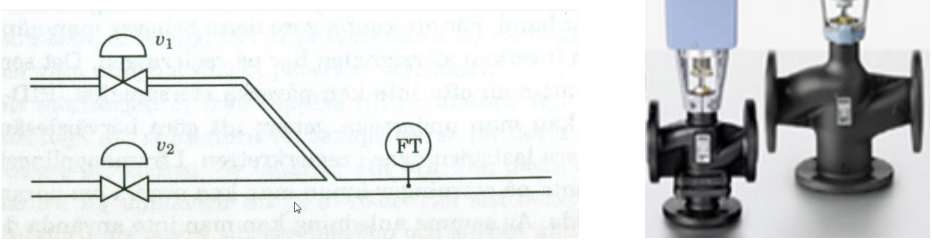
6.1 BAKGRUND

Det finns även möjlighet att kombinera de tidigare innovativa kundcentralerna med innovativa tekniska lösningar i fastighetsystemen. Vår bedömning är att de innovativa kundcentralerna leder till förbättrade ΔT på systemen. Detta kommer att innebära lägre flöden i systemen. Vi ser då ett behov av att analysera lösningar för att öka prestanda på exempelvis styrventiler. Två områden vi identifierat är, förbättringsåtgärder vid sekvensreglering av styrventiler samt användande av s k PICV, (Pressure Independant Control Valves).

6.1.1 Styrning av flöde då två parallella styrventiler används för reglering.

Styrventiler används i fjärrkylesystem på motsvarande sätt som i fjärrvärmesystem – flödet stryps för att anpassa kyleffekten till rådande behov. Den huvudsakliga skillnaden är att flöden är betydligt större i fjärrkylesystem och därför, vid samma effekt, krävs det större ventiler. En annan skillnad är att arbetstemperaturer är låga – oftast under omgivande luftens temperatur.

Att det krävs stora ventiler i fjärrkyla sammanhang leder till att två (eller fler) parallellkopplade mindre ventiler används mycket ofta istället för en större ventil, Figur 92.



Figur 92: Parallellkopplade styrventiler vid styrning av stora flöden. Källa: Hägglund, T., Praktisk processreglering (till v.); Siemens (till h.)

Detta har flera anledningar, t ex

1. Bättre sammanlagda regleromräde (förhållande mellan det högsta och det minsta reglerbara flöde) då två ventiler används och därmed mindre risk för bland annat on-off reglering
2. Större sammanlagda ställprecision med tanke på att ett ställdon har begränsad förmåga att positionera ventilspindeln (beroende på t ex stegmotorns upplösning, friktion i ventilens packbox, hysteres etc.)
3. Lägre pris (två ungefär lika stora ventiler kostar mindre än en dubbelt så stor, gäller inklusive ställdon)
4. Billigare ställdon i och med att den nödvändiga ställkraften ökar med ökande ventilstorlek (gäller ventiler som inte är tryckavlastade)

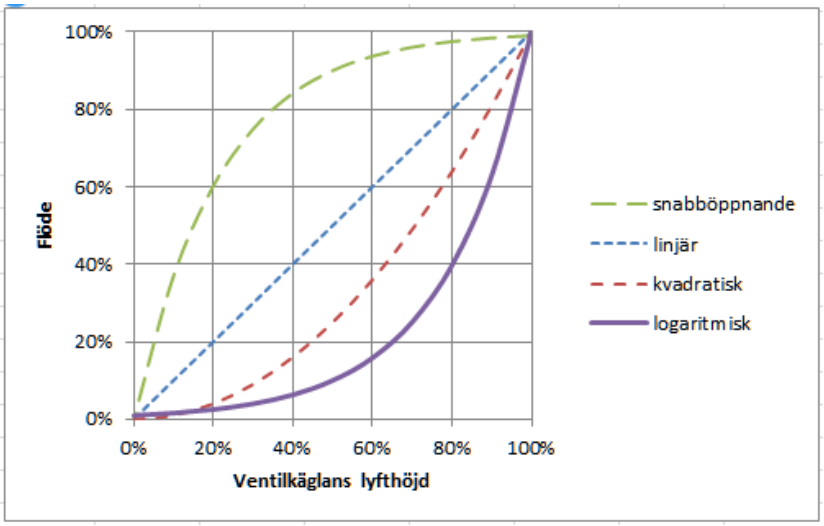
5. Mindre skillnad mellan faktisk och föreskriven ventilstorlek kan uppnås förutsatt att man inte låser storleksförhållandet mellan de två ventilerna i onödan.
6. Viss begränsad redundans om en av ventilerna skulle gå sönder

Fördelarna är således många. När det gäller nyttan med bättre reglering bör man tänka på att vid stora flöden (och rördiametrar) är risken för farliga tryckslag vid ”hackig” reglering större än då flödena är små. En annan aspekt är att differenstryckreglering, även om önskvärd, undviks ofta vid stora ventildimensioner eftersom stora differenstryckregulatorer är mer eller mindre stycktillverkade och därmed mycket dyra. Det är därför viktigt att styrventilen/ställdonet har tillräckligt hög upplösning, så att den fungerar stabilt även om den t ex arbetar delvis stängd vid full last, vilket kan inträffa om differenstrycket blir högre än förväntat.

En förbigången detalj då parallellkopplade styrventiler används är dock vad som händer med ventilernas sammanlagda flödeskarakteristika jämfört med då en enda ventil används. I det följande kommer problemet analyseras i detalj.

6.1.2 Ventilkarakteristikor

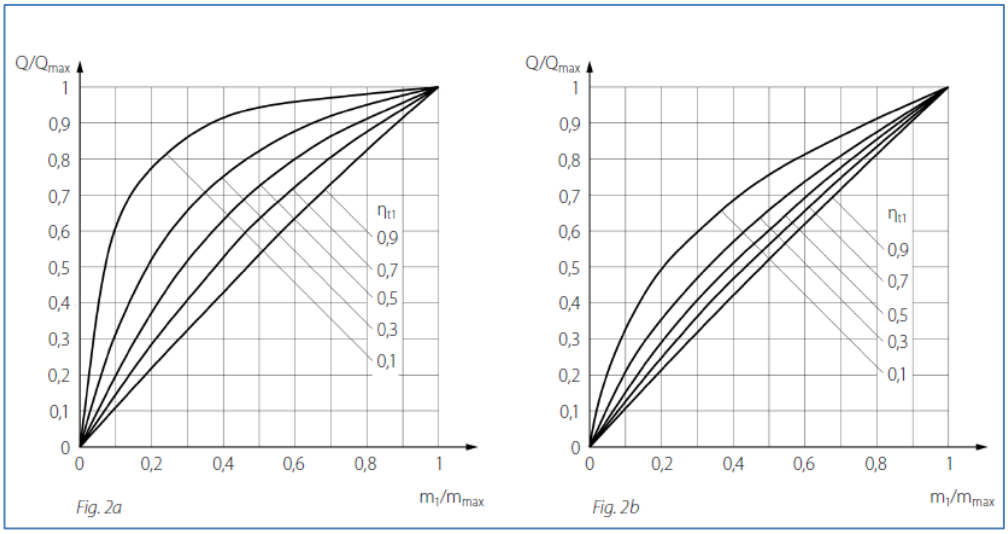
Styrventiler brukar karakteriseras genom att man beskriver vilket flöde som erhålles vid olika ventilöppningsgrader då differenstrycket över ventilen hålls konstant (normalt 1 bar = 100 kPa), s k flödeskarakteristik. Den enklaste karakteristiken är den linjära, då flödet ändras proportionellt med ventilens öppningsgrad (vilket i normala fall motsvarar ventilkäglans lyfthöjd). Styrventiler som används i fjärrvärme-/fjärrkylesystem har oftast flödeskarakteristik som benämns ”logaritmisk” eller ”likprocentig”. I det fallet ändras flödet svagt med ökande öppningsgrad i början och ändringen blir kraftigare och kraftigare då ventilkäglan närmar sig fullt öppet läge, se kurva nr 3 i Figur 93, där även andra karakteristikor visas.



Figur 93: Olika typer av flödeskarakteristikor hos styrventiler: snabböppnande, linjär, kvadratisk och logaritmisk.

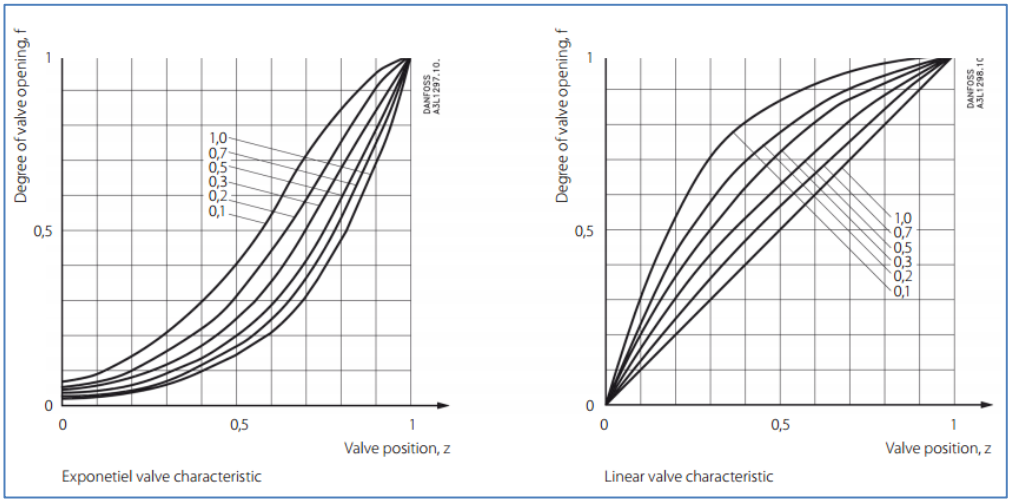
Syftet med logaritmisk karakteristik är att kompensera för eventuella olinjäriteter i reglerkretsen som styrventilen ingår i. Man får beakta att en typisk regulator som styr en process har konstant förstärkning d v s ändrar sin utsignal proportionellt till hur reglerfelet (i vårt fall oftast temperaturavvikelse) förändras, oavsett om lasten är liten eller stor. Är någon av de ingående komponenterna olinjär då reagerar den olika på samma styrsignalförändring beroende på hur belastad den är. I värmetekniska sammanhang handlar det ofta om värmeväxlare och dess egenskaper. Generellt anses värmeväxlarens prestanda minska med ökande last, varav önskemål om styrventiler som skulle agera omvänt d v s ”öka sin prestanda” då lasten ökar. Sammantaget får man då två komponenter som, när de seriekopplas, uppträder ”linjärt” oberoende av last.

Resonemanget ovan gäller för kyl- och värmebatterier som används vid luftbehandling i system med konstanta flöden, som regleras genom lämpliga temperaturändringar på vätskesidan (typiskt med hjälp av recirkulation och en blandningsventil), eller om man antar att värmeöverföring i värmeväxlaren inte påverkas av flödesvariationer. Situationen blir annorlunda när flödena, eller åtminstone ett av dem, varierar och hänsyn tas till att värmeövergångstal i värmeväxlare varierar med mediernas strömningshastighet. Man kan visa att när ett flöde ökar med ökande last då ökar även växlarens termiska prestanda (värmegenomgångstalet) vilket kompenserar för olinjäriteten som beror på växlarens temperaturverkningsgrad för primärsidans. Det gäller då att ju högre verkningsgrad desto mer linjär värmeväxlaren blir. Figur 94 visar hur värmeväxlarens prestanda varierar med primärflödet vid olika temperaturverkningsgrader. Diagrammet till vänster gäller vid konstant värmegenomgångstal medan diagrammet till höger gäller vid värmegenomgångstal som är flödesberoende. Det framgår att vid rimliga temperaturverkningsgrader, 0,5-0,7 , är värmeväxlaren nästan linjär. Värmeväxlare i FK-centraler dimensioneras ofta för temperaturfall 6,00°C – 16,00°C/18,00°C – 8,00°C primärt resp. sekundärt, vilket motsvarar η_T = (6-16)/(6-18) = 0,83 och ger nästan linjäritet, se det högra diagrammet.



Figur 94: Värmeväxlarens olinjäritet beroende på primärflöde, med primär temperaturverkningsgrad som parameter. Till vänster: idealiserat fall med konstant värmegenomgångstal, till höger: realistiskt fall med flödesberoende värmegenomgångstal. Källa: (53).

Likväl är det en allmän erfarenhet att logaritmiska ventiler är lämpliga att använda i fjärrvärme-/fjärrkylesystem. Behovet av linjärisering finns uppenbarligen även om det beror på andra fenomen, dels ventilauktoritet, se Figur 95, och dels det olinjära sambandet mellan temperaturavvikelse som är regulatorns input och den nödvändiga flödesförändringen för att korrigera avvikelsen, som regulatorn förväntas åstadkomma. Det sistnämnda beror på att korrektion av en viss temperaturavvikelse i en värmeväxlare kräver olika stora flödesförändringar beroende på om lasten är liten eller stor (53).



Figur 95: Inverkan av ventilauktoritet på flödeskarakteristikan i en logaritmisk ventil (till vänster) och en linjär ventil (till höger) Källa: (54)

Ovanbeskriven problematik är välkänd för en reglertekniker. Hur är den relevant i fallet parallellkopplade reglerventiler? Det har redan nämnts att de parallellkopplade styrventilernas sammanlagda flödeskarakteristik inte är optimal. Frågan är vilka karakteristikor är lämpliga för respektive ventil. Detta undersöks i nästa avsnitt.

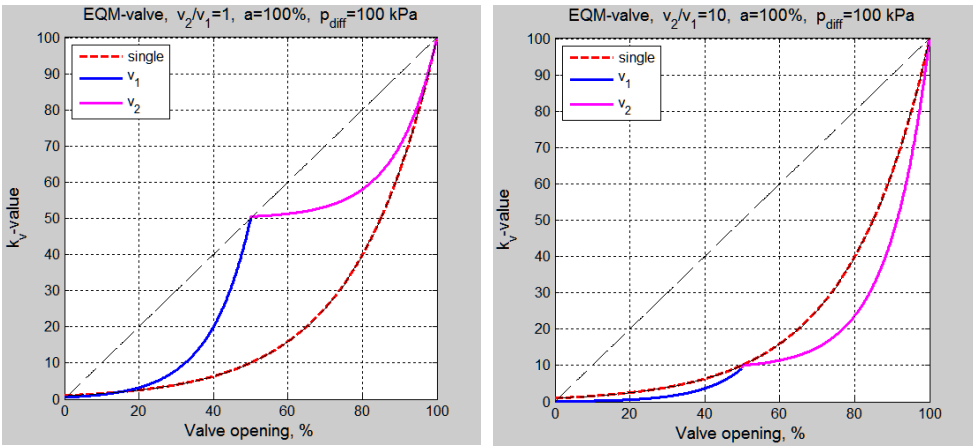
6.1.3 Sammanlagda flödeskarakteristikor vid parallellkopplade styrventiler

Den typiska reglertekniska lösningen då parallellkopplade ventiler används är sekventiell styrning. Man bestämmer vilken av ventilerna, oftast den som är mindre, som öppnar först (ventil v1 i Figur 92) och låter den andra ventilen (v2) vänta tills den första har öppnat helt. Styrsignalen kommer typiskt från bara en regulator men signalen delas då upp i två signaler som agerar enligt ovan. I äldre regulatorer fanns det tilläggsmoduler för detta att köpa medan i moderna regulatorer kan sekventiell styrning arrangeras direkt, mjukvarumässigt. En typisk lösning vid sekventiell styrning är att man fördelar styrsignalen 50%/50% d v s att den första ventilen blir 100% öppen då styrsignalen når 50% av signalspannet varefter den andra ventilen börjar öppna. Detta känns naturligt men behöver inte alls vara optimalt.

Figur 96 visar sammanlagd flödeskarakteristik (k_v s f a regulatorns styrsignal) som fås då två lika stora, parallellmonterade logaritmiska ventiler öppnas enligt principen ovan. En streckad linje visar karakteristik som en ensam ventil hade haft.

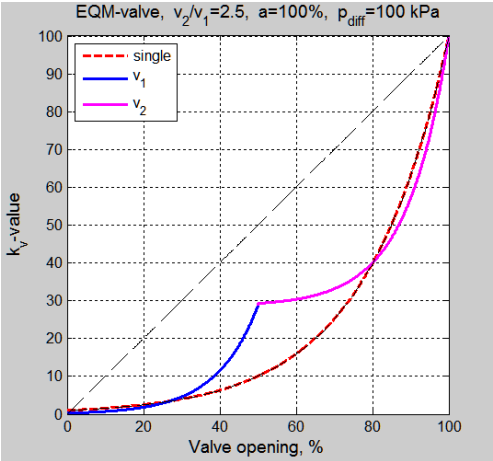
Man ser att den sammanlagda karakteristikan blir kraftigt olinjär i skarven mellan den första och den andra ventilen och att regleringen blir trög i området 50-75% av styrsignalen. Det positiva är att det sammanlagda regelområdet (k_{vs}/k_{vr}) blir dubbelt så stort jämfört med fallet då en enda stor ventil används. Detta kan skönjas i nivåskillnad mellan den streckade och den heldragna linjen nära nollpunkten och innebär att lägre flöden kan hanteras. Man kan säga att den första ventilen i sekvensen kan reglera laster som en större ventil hade inte klarat pga. ett för litet regelområde.

Till vänster i figuren visas ett fall där storleksförhållandet mellan ventil nr 1 och ventil nr 2 är 1:1. Man kan visa att ju mindre den första ventilen är desto bättre det sammanlagda regelområdet kommer att bli, jmf fallet till höger där storleksförhållandet är 1:10. Observera att ”skarven” i den sammanlagda karakteristikan har reducerats kraftigt. Samtidigt har flödeskarakteristikan förskjutits neråt jämfört med idealfallet.



Figur 96: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade, logaritmiska ventiler. Storleksförhållande mellan ventilerna 1:1 (till vänster) och 1:10 (till höger). Det vanliga är att ventil nr 1 öppnar på 0-50% av styrsignalen och ventil nr 2 på 51-100% av signalen, vilket visas i diagrammet. Observera förbättrat regleområde nära stängt läge (k_{vs}/k_{vr}) samt den stora avvikelsen jämfört med då en stor styrventil används (röd streckad linje).

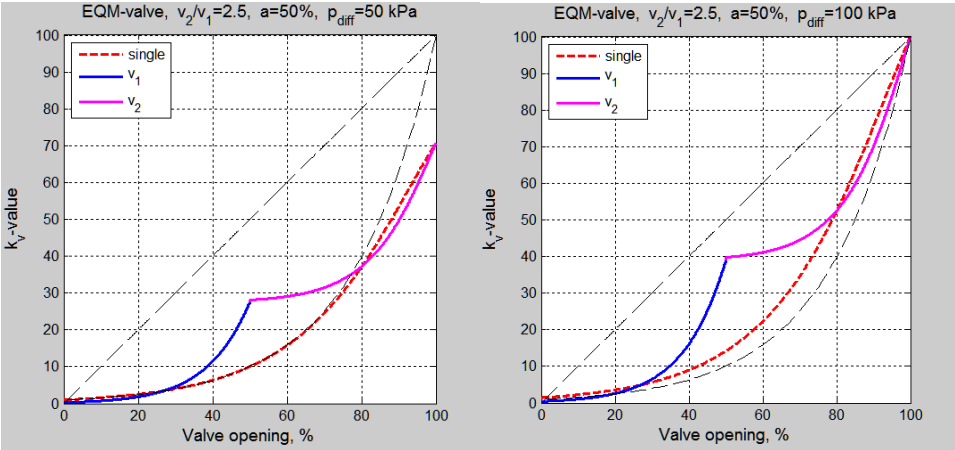
Svensk Fjärrvärmes Tekniska bestämmelser F:101 (7) och F:102 (4) tar upp sekvensstyrda ventiler och rekommenderar att den minsta ventilens storlek ska motsvara ”1/4 till 1/3 av hela k_{vs}-värdet”. Detta motsvarar storleksförhållande 1:3 till 1:2, vilket, med hänsyn tagen till vilka storleksserier finns tillgängliga som standard, innebär att storleksförhållande 1:2.5 får väljas. Den resulterande flödeskarakteristikan blir då som i Figur 97 och följer bra den ideala kurvan förutom flödesområde 5-35% där skarven framträder tydligt. Det är tänkbart att rekommendationen ovan hade tagits fram just med hänsyn tagen till resulterande flödeskarakteristik, även om dess ursprung är svårt att spåra.



Figur 97: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade logaritmiska ventiler med storleksförhållande 1:2.5 (enligt rekommendation i F:101 och F:102).

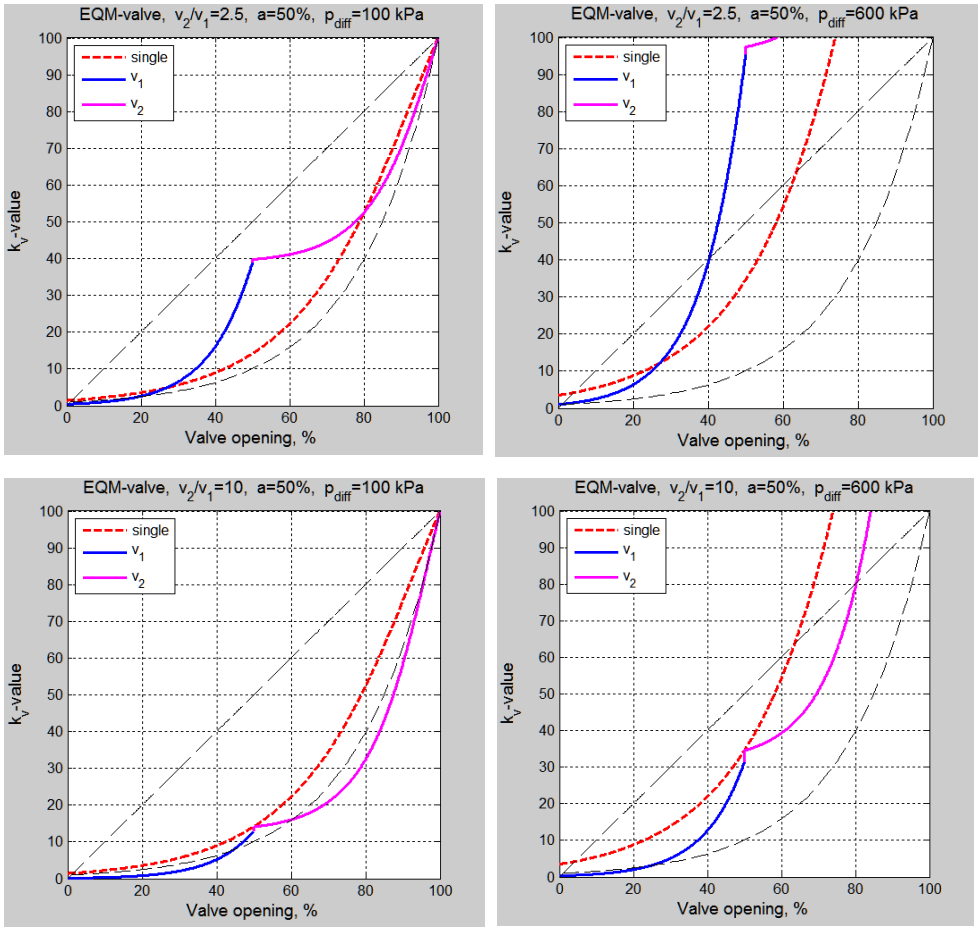
Flödeskarakteristikor tas fram vid konstant differenstryck över styrventilen, ett förhållande som nästan aldrig råder i praktiken. När en ventil är stängd uppbär den det differenstryck som råder i nätet. Men så fort den öppnar och ett flöde uppstår då uppstår det tryckfall i alla komponenter som finns i serie med ventilen d v s servisledningar, anslutningsrör, armatur (t ex filter), energimätarens flödesgivare och inte minst värmeväxlaren som regleras. Detta gör att differenstrycket över ventilen succesivt sjunker med ökande flöde och när ventilen är helt öppen då har det sjunkit typiskt till hälften. Fenomenet kallas för ventilauktoritet och har redan nämnts ovan. För att försäkra sig om att ventilen behåller det avgörande inflytandet över det kontrollerade flödet inom dess hela arbetsområde brukar man kräva ventilauktoritet minst 50 % (jmf F:101 (7)).

Hur påverkas flödeskarakteristikor av ventilauktoritet vid sekventiell styrning? Låt oss anta att våra ventiler i Figur 97 är dimensionerade för differenstryck 100 kPa (1 bar) och arbetar i ett system där nätets differenstryck konstanthålls på just 100 kPa, men att de interna tryckfallen resulterar i ventilauktoritet 50%, vilket innebär att tillgängligt differenstryck över en helt öppen ventil blir 50 kPa. Resulterande flödeskarakteristik kan ses till vänster i Figur 98. Skillnaden, jämfört med Figur 97 är liten vid lägre öppningsgrader, däremot sjunker kurvan betydligt vid hög (sammanlagd) öppningsgrad. Man kan konstatera att ventil nr 1 inte påverkas nämnvärt av ventilauktoritet men att ventil nr 2 gör det. Det sistnämnda resulterar i att bara 70% av det dimensionerande flödet kan levereras. För att åtgärda kapacitetsproblemet måste differenstrycket i nätet höjas eller så måste ventilerna dimensioneras för 50 kPa, vilket innebär högre k_{vs}-värden, se resultatet i diagram till höger i figuren. Rätt flöde kan nu levereras vid full last, däremot har kurvan lyfts upp vid lägre laster och skarven har blivit ännu tydligare. För jämförelse visas det även flödeskarakteristik för enskild ventil vid auktoritet 100 % (streckad linje) och vid 50 % (punktstreckad röd linje).



Figur 98: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade, logaritmiska ventiler. Storleksförhållande mellan ventilerna 1:2,5 och ventilauktoritet 50%. Ventilerna i diagram till vänster är dimensionerade utan hänsyn tagen till ventilauktoritet, varför kapacitetsbrist uppstår vid full last.

Vi får avsluta jämförelsen med att se hur flödeskarakteristikorna påverkas av en markant differenstryckhöjning i nätet, se Figur 99. I översta diagramraden ser vi flödeskarakteristikan för samma ventiluppsättning som i Figur 98, men vid differenstryck 600 kPa (till höger). I den understa diagramraden ser vi motsvarande förlopp då storleksförhållande mellan ventilerna är 1:10.



Figur 99: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade, logaritmiska ventiler. Storleksförhållande mellan ventilerna 1:2,5 överst och 1:10 underst. Ventilauktoritet 50%. Differenstrycket i nätet är 100 kPa till vänster och 600 kPa till höger i figuren.

Vilka slutsatser kan man dra här? De reglertekniska egenskaperna av två sekvenskopplade styrventiler avviker kraftigt från en enskild ventils egenskaper. Detta gäller i synnerhet en diskontinuitet i kretsförstärkningen, som inträffar i ”skarven” dvs när den ventilen som börjat öppna först är fullt öppen och den andra ventilen ska börja öppna. Kretsförstärkningen blir bitvis mycket hög jämfört med då man bara har en ventil att styra, vilket tvingar fram en sänkning av regulatorns förstärkning, med trög reglering som följd. Ur den synvinkeln är det bättre att välja större storleksförhållande mellan ventilerna, t ex 1:10, men då missar man de prismässiga fördelarna som sekventiell styrning av flöde innebär.

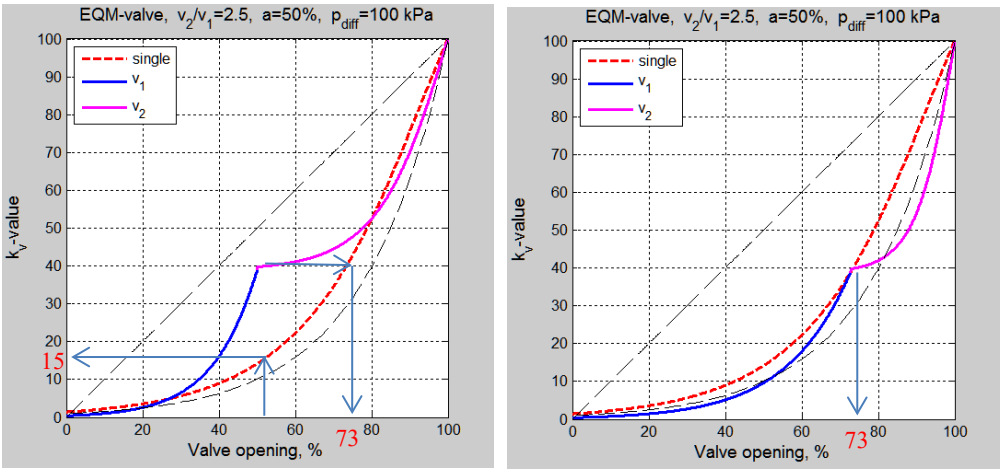
6.1.4 Modifierad sekventiell styrning

I föregående avsnitt visades att den sammanlagda flödeskarakteristikan hos parallellkopplade styrventiler kan förbättras om en av ventilerna väljs ganska liten, vilket ger bättre regelområde och jämnare kretsförstärkning, men det är en dyrare och opraktisk lösning. Huvudpoängen är ju att använda två ventiler som var och än är klart mindre än den stora ventilen som måste anskaffas annars. Det finns dock en lösning. Den reglerstrategin (uppdelning av styrsignalen i två enligt 0-50%

och 51-100%-principen) som slentrianmässigt fortfarande tillämpas beror på de praktiska begränsningar som fanns i den analoga reglertekniken från förr. Idag då en regulator oftast är en mjukvaruslinga inprogrammerad i en mer eller mindre fritt programmerbar minidator ska uppdelning av styrsignaler kunna väljas fritt. Om vi utgår ifrån det, hur skulle man kunna modifiera styrsignalerna i vårt fall?

Felet med 50/50%-principen är att den inte tar hänsyn till den flödeskarakteristikan vi hade velat välja egentligen – den som gäller för en enskild stor ventil. Låt oss då gå tillbaka till det högra diagrammet i Figur 98 och se hur stor skall styrsignalen vara för att en enskild ventil (den rödstreckade linjen) skall ge samma flöde som en fullt öppen ventil nr 1 ger, $k_v = 40$. Vi ser att detta inträffar vid styrsignal c:a 70-75%, se det vänstra diagrammet i Figur 100. Observera även att flödet man önskar vid 50% styrsignal är bara $k_v = 15$, vilket är nästan tre gånger mer än man får om två ventiler används - en mycket grov avvikelse. Felet kunde dock åtgärdas med enkla medel.

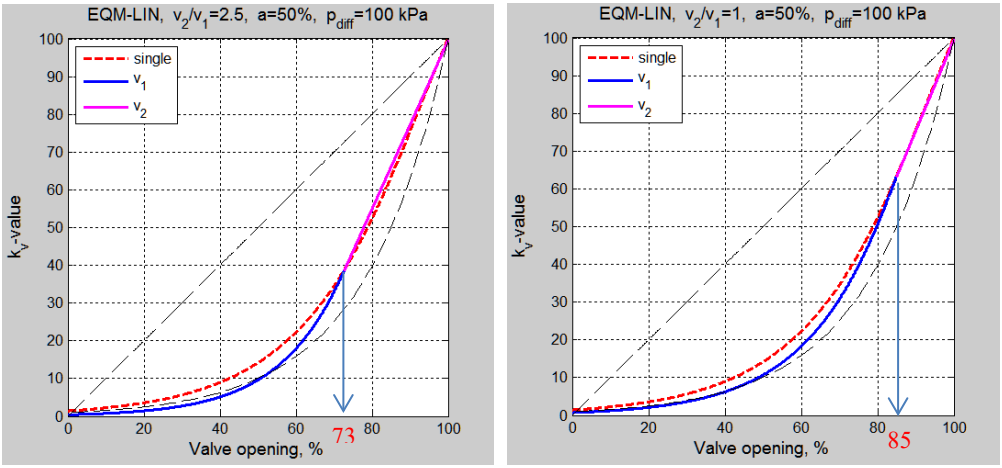
Anta att vi önskar en logaritmisk ventilkarakteristik med regleromräde $R=k_{vs}/k_{vr}=100$ och att vi har två ventiler med storleksförhållande $H=k_{vs1}/k_{vs2}=1:2,5$. Formeln $H1 = 1 + log[H/(1+H)]/log(R)$ ger oss, efter insättning av värdena ovan, den sammanlagda öppningsgraden vi nyligen har uppskattat i Figur 100, $h_1=73\%$. Låt oss nu programmera regulatorn som hanterar sekventiellstyrningen så att öppning av den första, mindre styrventilen täcks av 73% av styrsignalen. Resultatet ser vi till höger i Figur 100.



Figur 100: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade, logaritmiska ventiler. Storleksförhållande 1:2,5 , ventilauktoritet 50%. Till vänster: styrsignalen uppdelad 0-50% och 51-100% mellan ventilerna. Till höger: styrsignalen uppdelad 0-73% och 74-100 %.

Förfarandet enligt ovan innebär en klar förbättring i flödeskurvans utseende. Man ser dock samtidigt att den andra, större ventilens logaritmiska egenskaper försämrar flödeskurvan fortfarande. Därför går vi vidare och ersätter ventil nr 2 med en som är helt linjär, se Figur 101. Vi ser att ”skarven” mellan del 1 och del 2 av flödeskurvan har försvunnit nästan helt nu och att den linjära delen av karakteristikan överensstämmer mycket bättre med idealkurvan (diagram till vänster)!

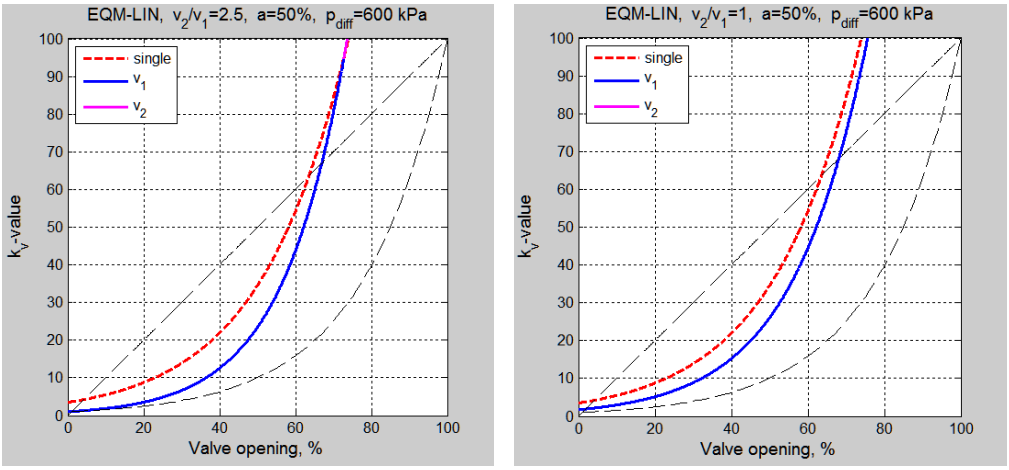
Till sist kan man dock undra om ventilstorleksförhållande 1:2,5 fortfarande ska betraktas som optimalt. Om vi antar att styrventilens relativa pris (inklusive ställdon) ökar med ökande ventilstorlek då borde ett köp av två lika stora ventiler, storleksförhållande 1:1, vara det optimala. I det högra diagrammet i Figur 101 ser vi en resulterande flödeskurva. Det visar sig att resultatet blir bättre än vid olika stora ventiler – del 1 av flödeskurvan avviker nu mindre från idealkurvan och del 2 överlappar den helt. Observera att styrsignalens uppdelningsgräns har påverkats av ändrat storleksförhållande och ökat från 73% till 85%.



Figur 101: Sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellmonterade ventiler, den första logaritmisk och den andra linjär. Ventilauktoritet 50%.

Till vänster: ventilernas storleksförhållande 1:2,5 , styrsignalen uppdelad 0-73% och 74-100%. Till höger: storleksförhållande 1:1, styrsignalen uppdelad 0-85% och 86-100%.

Det goda resultatet man erhåller genom att använda en linjär styrventil som ventil nummer 2 beror på att den sista delen av en logaritmisk flödeskarakteristik är just nästan linjär. En annan fördel med en sådan ventil är att den är enklare att tillverka med ett bra reglerförhållande, vilket bidrar till att ojämnheten i ”skarven” mellan kurvans del 1 och 2 blir försumbar. Motsvarande goda resultat får man även vid höjt differenstryck, se Figur 102.



Figur 102: Förlopp enligt figur Figur 101 med differenstryck höjd till 600 kPa. Jämför även motsvarande förlopp vid konventionell sekvensreglering, diagram till höger i Figur 99.

Observera att lösningen ovan kan tillämpas även utan att ventil nummer 2 byts ut mot en linjär ventil. Det finns ventilställdon som kan omvandla den inkommande linjära styrsignalen internt till logaritmisk eller omvänt logaritmisk. I det senare fallet blir resultatet att en logaritmisk ventil får en linjär flödeskarakteristik. Således byte av styrventil i en befintlig installation kan ofta ersättas med ändrad inställning i ställdonet. Det som återstår är anpassning av hur styrsignalen från regulatorn fördelas mellan ventil nummer 1 och 2, vilket dock bör göras oavsett vilket.

6.1.5 Val av ventilernas storlek – k_{vs}

Det har redan nämnts att rekommendationen gällande ventilernas storleksförhållande vid parallellkoppling i praktiken resulterar i att förhållandet 1:2,5 måste väljas. Detta gör att anpassning av ventilernas sammanlagda flödeskapacitet, k_{vs}, blir lika grov som när en enskild ventil används. Tabell 2 visar vilka kombinationer av sammanlagd ventilstorlek är möjliga om man kunde välja fritt mellan två ventilstorlekar specificerade i första kolumn (k_{vs}). Om vi utgår från det översta värdet inuti varje kolumn så ger storleksförhållande 1:1 ett sammanlagt k_{vs}-värde 25 + 25 = 50 m³/h, 1:1,6 ger 25 + 40 = 65 m³/h o s v. Man ser att om man får välja fler än ett fixt storleksförhållande då blir det många fler olika sammanlagda storlekar att välja emellan, vilket minskar risken för annars oundviklig överdimensionering.

			1:2-1:3			
k_{vs}	**1.0+1.0**	**1.0+1.6**	**1.0+2.5**	**1.0+4.0**	**1.0+6.3**	**1.0+10.0**
25	50					
40	80	65				
63	126	103	**88**			
100	200	163	**140**	***125***		
160	320	260	**223**	***200***	***185***	
250	500	410	**350**	***313***	***290***	***275***
400	800	650	**560**	***500***	***463***	***440***
630	1260	1030	**880**	***790***	***730***	***693***

Tabell 2: Olika ventilstorlekar och dess kombinationer vid sekventiell koppling av styrventiler

6.1.6 Slutsatser – sekventiell styrning

Det har redan sagts att den befintliga rekommendationen, att använda två logaritmiska styrventiler med storleksförhållande 1:1,25 styrda i sekvens 50/50% av styrsignalen, ger ett långtifrån optimalt resultat ur styrningens synvinkel. Det flödesmässigt optimala är en kombination av två ungefär lika stora ventiler, den första logaritmisk, den andra linjär, med styrsignalens uppdelning anpassad till ventilernas storleksförhållande, i det fallet ungefär 70/30%. Även andra storlekskombinationer kan användas om det hjälper att undvika överdimensionering eller om särskilda krav ställs på högt ställförhållande, förutsatt att styrsignalen anpassas (formeln H1 = *1 + log[H/(1+H)]/log(R*) får då användas). Således borde relevanta rekommendationer i F:101 (7) och F:102 (4) modifieras enligt ovan.

Det är svårt att ge några rekommendationer baserat på prisöverväganden. Tittar man på tillverkarnas listpriser så sjunker priset av enbart ventiler relativt dess k_{vs}-värde något med ökande storlek. Detta gäller dock för en och samma ventilmodell. Det kan finnas ”hopp” uppåt i prislistan när man är tvungen att gå över till en annan modell av ventilen, t ex från gängad till flänsad ventil. Vidare måste man ta hänsyn till ställdon som kan behöva vara starkare när man överskrider en viss ventilstorlek. Och i vilken utsträckning det sistnämnda behövs beror på ventilens konstruktion, t ex om den har tryckkompenserad kägla eller inte. Slutligen spelar det roll hur pass lätt det är att omprogrammera regulatorn för anpassning av dess styrsignal. Vill man inte använda sig av den tekniska rekommendationen ovan så får val av ventilstorlekarna avgöras från fall till fall.

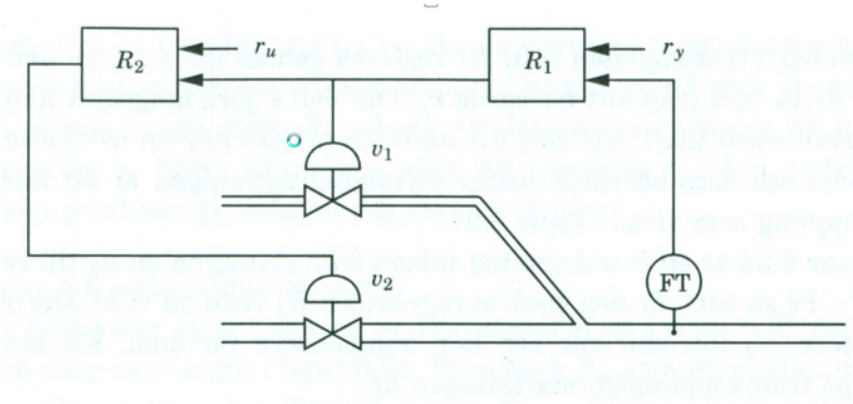
6.1.7 Alternativ reglerstrategi – Mid-range styrning

Resonemangen hittills har handlat om en förbättring av den existerande strategin – sekventiell styrning. Det finns en alternativ lösning som kallas Mid-range styrning som åskådliggörs i Figur 103.

Mid-range styrning fungerar enligt följande: den lilla ventilen *v1* i figuren, som är snabbare än den stora ventilen *v2*, regleras av regulatorn *R1* som övervakar flödesbehov, direkt eller genom att mäta temperaturavvikelsen efter värmeväxlaren som regleras. Ventilen *v1* som styrs av *R1* öppnar först. Regulatorn *R2* har ett börvärde 50 % d v s den styr ventilen *v2* så att styrsignalen från *R1* ska bli 50 % i ett stationärt läge. Man kan säga att *v2* ”hänger efter” *v1* eftersom så fort styrsignalen till *v1* blir större än 50 % då vill regulatorn *R2* genast korrigera den uppstådda avvikelsen och då böjar även ventil *v2* öppna mer. Det totala flödet ökar, vilket känns av, av regulatorn *R1* som börjar minska sin styrsignal för att stänga ventilen *v1*. När dess styrsignal har sjunkit till 50% upphör regleringen om det totala flödet blivit rätt, annars fortsätter den tills tillståndet blir stationärt. Samma, fast tvärtom, gäller vid minskande flöde/styrsignal.

Mid-range reglering är en komplikation jämfört med vanlig sekventiell styrning. Den kunde dock vara motiverad i fall där en befintlig ventil har tillräcklig kapacitet men då dess regleromräde och/eller snabbhet behöver förbättras. Det kan vara billigare att köpa och installera (som parallell) en mindre ventil än att ersätta

en stor befintlig ventil med ny enskild eller två nya parallellkopplade ventiler av likvärdig storlek.



Figur 103: Mid-range-reglering av flödet.

När det gäller den lilla ventilens storlek så kunde den i princip vara bara något större än den stora ventilens lägsta reglerbara flöde k_r. I praktiken kan det vara frågan om ekonomisk optimering vid inköp av två ventiler som ska ge ett visst flöde k_v tillsammans. Under alla omständigheter ska man inte köpa två nästan lika stora ventiler i det fallet!

6.1.8 Nyttan med stabil reglering

Hittills har åtgärder för förbättring av styrventilernas flödeskarakteristik diskuterats. Varför är en jämn karakteristik att eftersträva? För att fungera på ett ändamålsenligt sätt behöver styrventilen kopplas till en regulator som i sin tur behöver kunna ”observera” det tillståndet som ska styras, t ex en temperatur i den styrda processen. Detta visas i Figur 103 ovan där regulatorn R1 genom mätaren FT observerar flöde och, genom att variera sin styrsignal, strävar efter att flödet får samma värde som börvärdet r_y . En viktig parameter i regulatorn är dess förstärkning. Av olika anledningar strävar man efter att förstärkningen ska vara så hög som möjligt, men utan att det orsakar svängningar i systemet.

För att kunna bestämma högsta möjliga förstärkning i regulatorn måste man undersöka reglerkretsens sammanlagda förstärkning, s k kretsförstärkning. Låt oss anta att vi har ställt in regulatorn så att den fungerar väl vid full last. Senare upptäcker vi att processens respons på regulatorns styrsignal är mycket starkare vid låg last än vid hög last och att svängningar uppstår. Detta innebär att kretsförstärkningen har ökat och säkerhetsmarginal mot svängningar har överskridits. För att åtgärda detta måste vi kompensera genom att sänka regulatorns förstärkning. Svängningarna upphör men kretsförstärkningen är nu lägre vid höga laster och regleringen blir trög då samt får högre känslighet för störningar.

Problematiken blir mycket påtaglig vid starka olinjäriteter i processen och är anledningen till att man försöker bygga processen av komponenter som tillsammans uppträder linjärt eller tillfoga komponenter som kompenserar för de befintliga olinjäriteter. Att en styrventil som önskas vara ”effektlinjär” utformas

som ”flödeslogaritmisk” utifrån kännedom om hela processen är ett typiskt exempel på en sådan anpassning.

I fallet parallellkopplade ventiler har vi en ventiluppsättning som skulle verka kompenserande men har förlorat en stor del av sina kompenserande egenskaper då två ventiler används i sekvens. Ventilens sammanlagda förstärkning (flödesändring l/s per mm lyfthöjd) som är låg i början får ett maximum vid 50 % styrsignal för att diskontinuerligt minska och sedan öka igen. Risken är uppenbar att om regulatorns förstärkning inte väljs lämpligt låg då kan svängningar uppstå då signalen närmar sig 50 % öppningsgrad. Omvänt, när den passerat 50 % blir regleringen stabil men väldigt trög. Utan att gå in på detaljer kan vi även konstatera att derivatadelen i en PID-regulator måste användas med en stor försiktighet i ett system där diskontinuiteter förekommer, vilket också sänker regleringens kvalité. ”Skarvproblemet” har bekräftats av teknisk personal hos Schneider Electric (teknikexpert Niklas Jeppsson) som berättat att man är ibland tvungen att införa mjukvarumässiga ”fixar” i reglercentraler för att få mjuk övergång kring 50% styrsignal vid sekventiell styrning.

Vilka konsekvenser kan svängningar i en reglerventil få? Flödespulsationer som uppstår på primärsidan kan orsaka tryckstötar och ljudproblem, fortplanta sig till produktionsanläggningar och kan även påverka systemets differenstryckhållning. På sekundärsidan kan temperaturvariationer som påverkar reglerutrustningen i hela byggnaden uppstå vid långsamma svängningar som kan uppstå vid reducerad regulatorförstärkning. Allmänt anses temperaturvariationer medföra större momentana effektbehov och ökad energiförbrukning.

I själva FK-centralen brukar man tala om ökat slitage i styrventiler och ställdon. Där har olika tillverkare olika erfarenheter men man är allmänt enig om att ställdon är oftast mer känsliga för utslitning än själva ventilerna, beroende på utförande. Vid on-off reglering kan dock ventilsätet slitas ut om ställdonet inte är utrustad med moment-avkänning som begränsar ställkraften nära stängt läge. Ventilens pack-box kan förstöras av vibrationer som ursakas av virvlande strömning kring ventilkäglan nära stängt läge men även av smuts på ventilspindeln som kan dras in i packboxen när ventilen arbetar, vilket den gör i större utsträckning vid svängningar eller svängig reglering. För att skydda packboxen är det viktigt att torka av spindels synliga del då och då från damm och smuts. Man ska dock definitivt inte fetta in spindelytan eftersom det inte ska behövas för pack-boxens funktion medan det påskyndar att smuts fäster på glidytan med förtida förslitning som följd.

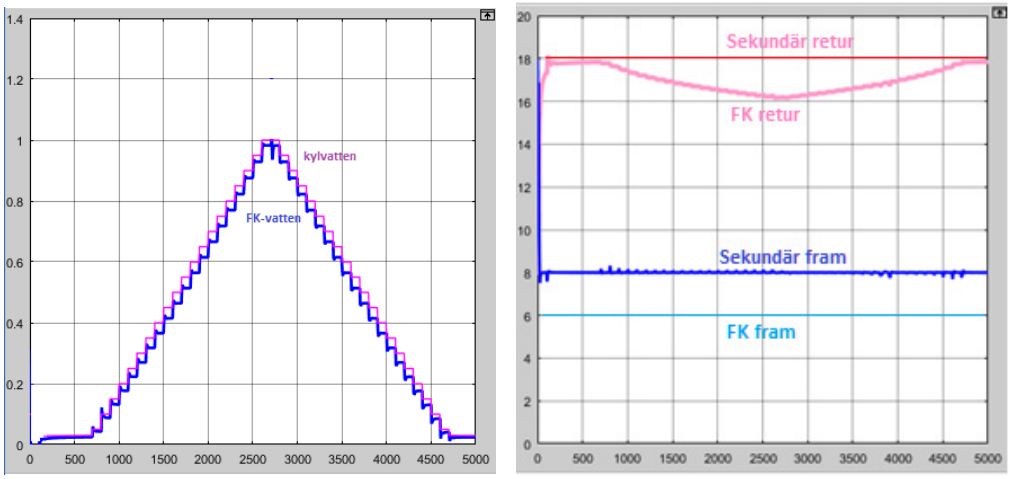
6.1.9 Val av styrventilens flödeskarakteristik utifrån resultat av dynamisk simulering

När man diskuterar stabilitet är man inne på systemets dynamiska egenskaper. Det räcker inte då med att analysera själva styrventilens utformning utan egenskaper av de övriga komponenter som ingår i systemet måste tas hänsyn till.

De statiska betraktelserna i föregående avsnitt har visat att det inte är optimalt att använda två logaritmiska ventiler vid kaskadstyrning. En vidare fråga är: är det nödvändigt med logaritmisk karakteristik överhuvudtaget? De intresserade känner till det traditionella resonemanget om linjärisering av reglerkretsen där

styrventilens olinjära flödeskarakteristik kompenserar för den omvänt olinjära effektkarakteristikan av värmeväxlaren som styrs av nämnda ventil. Resonemanget gäller fortfarande men dagens värmeväxlare har långtifrån samma egenskaper som en värmeväxlare hade då exemplet ovan presenterades.

För att undersöka problemet närmare har en dynamisk simuleringsmodell av en enkel FK-central skapats. Modellen består av en plattvärmeväxlare och en regulator med tillhörande temperaturgivare och styrventil för primärvatten. I Figur 104, till vänster, visas simulerad stegvis ökning respektive minskning av sekundärt kylflöde i värmeväxlaren (betecknas *kylvatten* i figuren). Man kan se att det primära kylflödet, betecknat *FK-vatten*, som krävs för att hålla den sekundära framledningstemperaturen konstant (se förlopp till höger i figuren) skiljer bara några procent från det sekundära flödet inom hela lastområdet. Detta gäller eftersom den använda typen av plattvärmeväxlare har symmetrisk konstruktion och samma värmeövergångs mekanismer gäller på båda sidor av respektive platta. Hur påverkar detta regleringen?

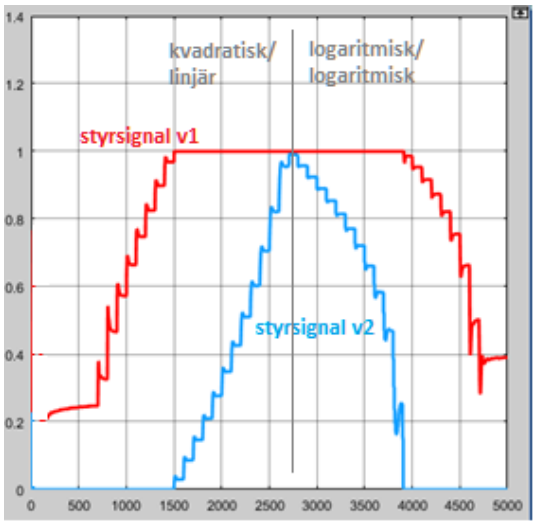


Figur 104: Ökande/minskande kylvattenflöde och resulterande FK-vattenflöde i en plattvärmeväxlare dimensionerad för 8-18/6-16 °C (till vänster). I det högra diagrammet visas den sekundära framledningstemperaturen som konstanthålls av en PID-regulator, och hur det resulterande FK-vattnets returtemperatur varierar beroende på last. FK-returen är lägst, 16°C som är den dimensionerande temperaturen, vid full last.

Figur 105 visar styrsignal från en regulator som styr två parallellkopplade styrventiler v1 och v2 såsom beskrivet i tidigare avsnitt. Styrsignalen ökar eller minskar vid varje steg i lastförändringen men förändringen är olika stor beroende på hur stor signalen/ventilens öppningsgrad är.

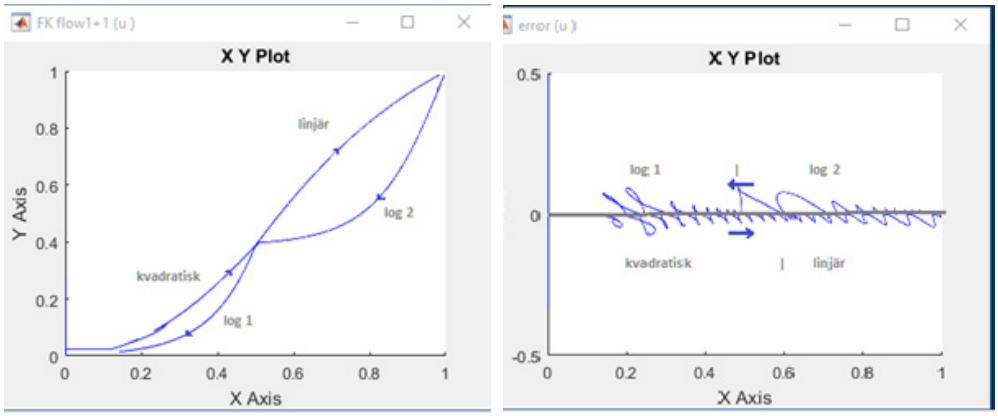
Varför det är så kan man förstå om man analyserar flödeskarakteristikor för de använda ventilerna, se Figur 106. Det framgår att ju flackare ventilkarakteristikan är desto större hopp måste regulatorn utföra i regleringen för att åstadkomma samma effektförändring. Detta syns särskilt tydligt på högra delen av styrsignal v2 i Figur 105 när den logaritmiska ventilen stänger – de sista två effektstegen kräver nästan lika stor signalförändring som de övriga 10 steg, vilket är en kraftig olinjäritet. Vidare, när effekten fortsätter att minska tar ventil v1 över och då uppstår det en diskontinuitet eftersom ventilens karakteristik är brant när den är

fullt öppen och små signalförändringar räcker för att åstadkomma nödvändiga flödesförändringar. Förloppet till vänster i Figur 105, där en kombination av en kvadratisk och en linjär ventil används, är betydligt mer linjärt tack vare jämnare flödeskarakteristikor.



Figur 105: Regulatorns styrsignal som tillgodoser lasten i värmeväxlaren enligt Figur 104 genom att sekvensstyra två parallellkopplade ventiler, kvadratisk och linjär (till vänster) alternativt två logaritmiska (till höger), se beskrivning i figuren. Ventilen v2 (blå linje) börjar öppna först när ventil v1 är helt öppen. Ventil v1 (röd linje) börjar stänga först när ventil v2 är helt stängd. Observera stor olinjäritet i regleringen då båda ventiler är logaritmiska.

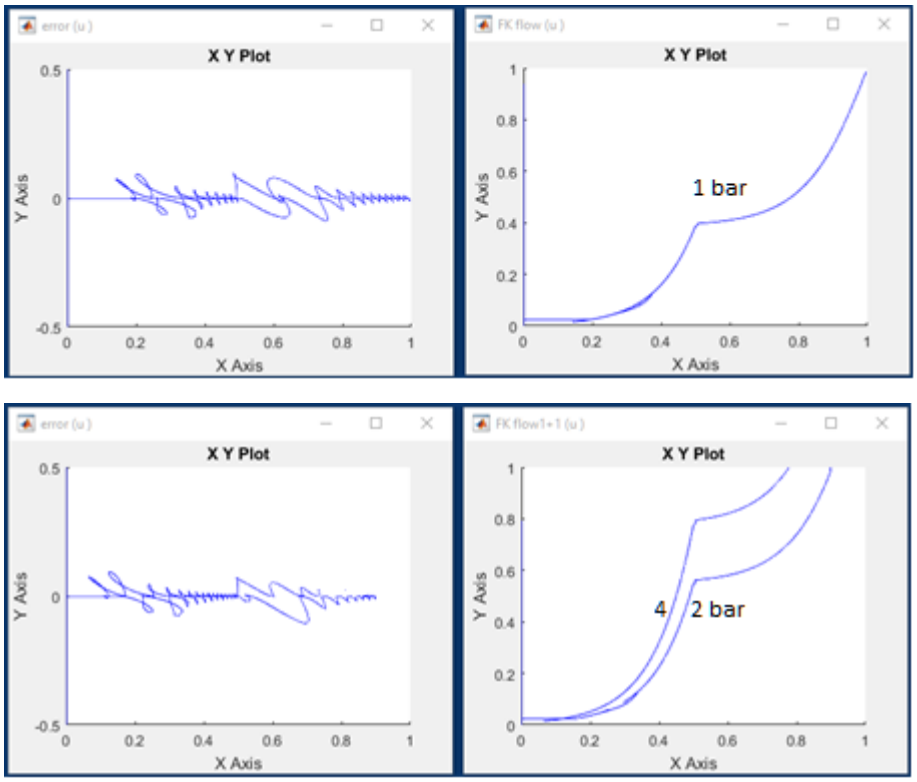
Till höger i Figur 106 visas avvikelser (reglerfelet) som uppkommer i styrningen. Man ser även här att regleringen är sämst på de ställen där respektive styrventil har en flack flödeskarakteristik (avvikelserna är störst).



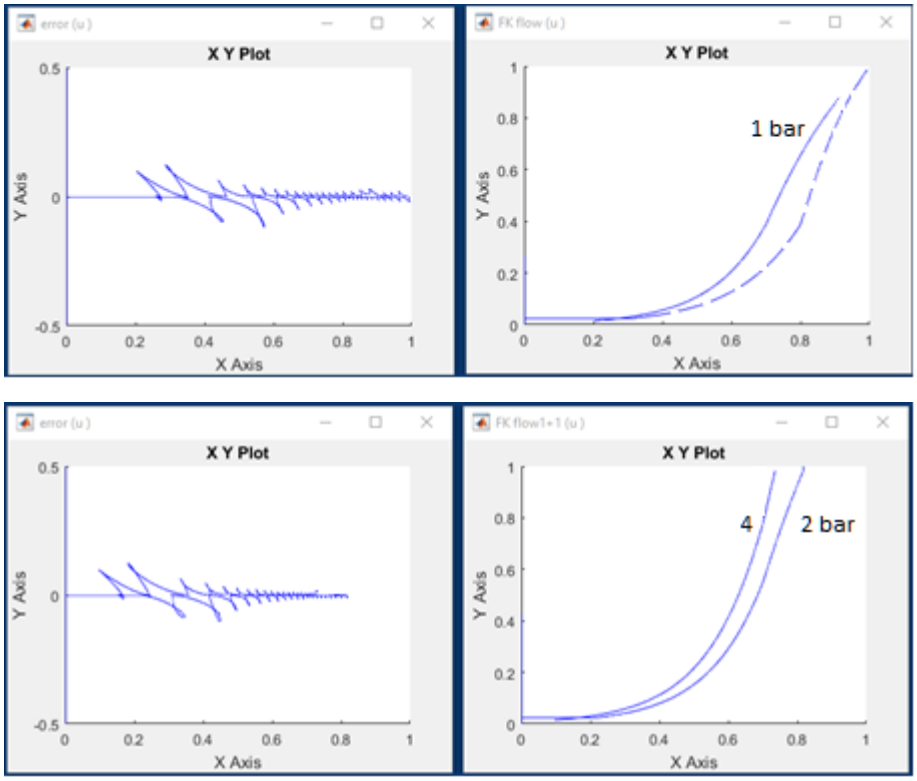
Figur 106: FK-flöde genom värmeväxlaren s f a regulatorns styrsignal (till vänster) och dynamisk reglerfel (till höger) vid stegvis ökande/minskande last. Regulatorn kaskadstyr två parallellkopplade ventiler, kvadratisk och linjär, alternativt två logaritmiska, vilket visas i samma figur.

Olika kombinationer av ventilkarakteristikor är möjliga. I följande fem figurer redovisas resultat av några simuleringar där även differenstrycket varieras mellan 1, 2 och 4 bar. Simuleringarna är gjorda för ventilstorlekförhållande 1:2.5 och vid ventilauktoritet 50%. Styrsignalens uppdelning mellan ventil v1 och v2 varierar

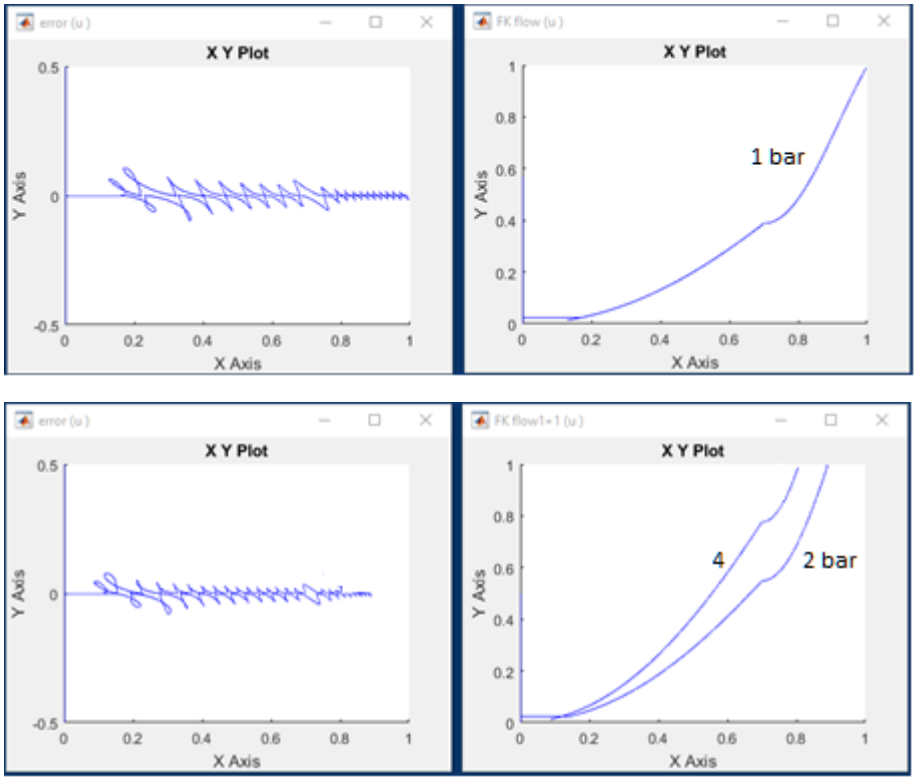
beroende på typ av flödeskarakteristik och ventilkombination. Regulatorns parametrar (PID) är samma för alla förlopp.



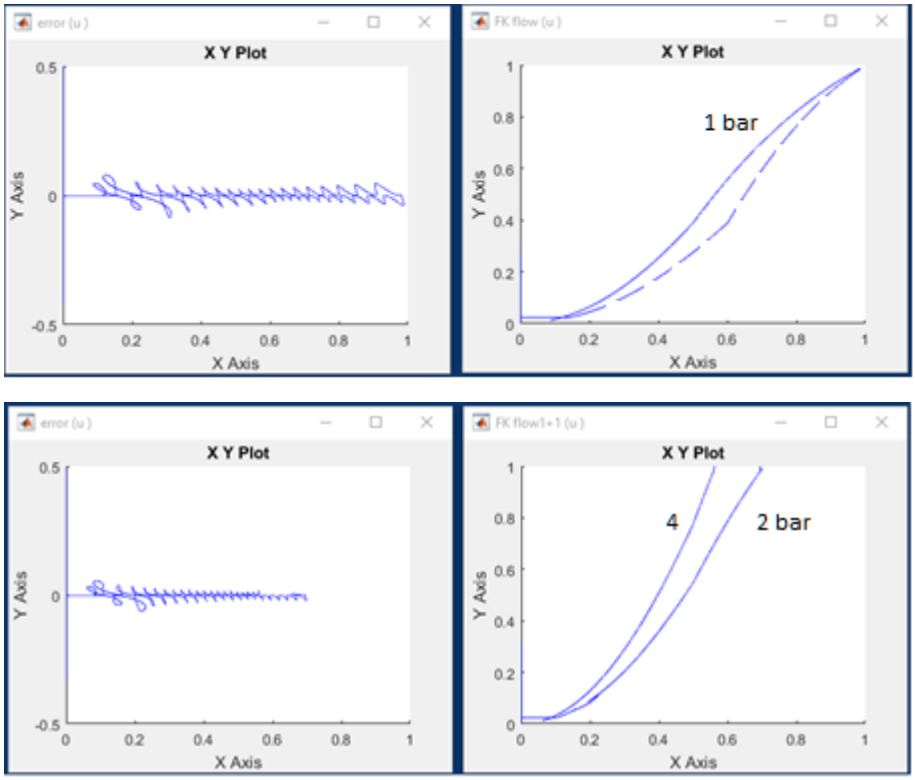
Figur 107: Två logaritmiska ventiler, storleksförhållande 1:2.5, signaluppdelning 50/50 %. Översväng uppstår när ventil v2arbetar nära stängt läge. Även ventil v1 arbetar svängigt nära stängt läge.



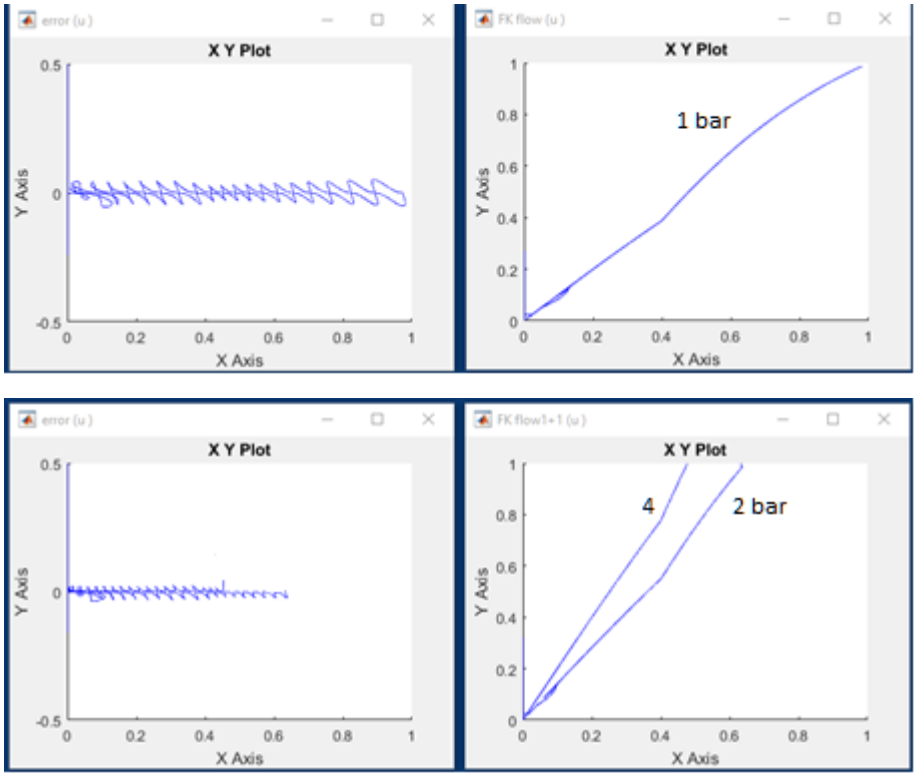
Figur 108: Kombination av en logaritmisk och en linjär ventil, storleksförhållande 1:2.5, signaluppdelning 70/30% (streckad linje vid differenstryck 1 bar – signaluppdelning 80/20 %). Översväng uppstår när ventil v1 arbetar nära stängt läge.



Figur 109: Två kvadratiska ventiler, storleksförhållande 1:2.5, signaluppdelning 70/30 %. Översväng uppstår när ventil v1 styr vid differenstryck 1 bar.



Figur 110: Kombination av en kvadratisk och en linjär ventil, storleksförhållande 1:2.5, signaluppdelning 50/50 % (streckad linje vid differenstryck 1 bar – signaluppdelning 60/40 %). Mindre översväng uppstår när ventil v1 arbetar nära stängt läge.



Figur 111: Två linjära ventiler, storleksförhållande 1:2.5, signaluppdelning 40/60%. Mindre översväng uppstår när ventil v2 arbetar nära helt öppet läge vid differensteryck 1 bar.

Simuleringarna ovan visar tydligt att

1. En diskontinuerlig ”skarv” i sammanlagd flödeskarakteristik för två parallellkopplade styrventiler försämrar regleringen och ökar risk för instabilitet. ”Skarven” och dess inverkan kan minskas betydligt genom anpassad uppdelning av regulatorns styrsignal mellan den första och den andra ventilen samt att den andra ventilen har företrädesvis linjär flödeskarakteristik.
2. Om den första styrventilen behöver ha logaritmisk flödeskarakteristik när det gäller laststyrning av plattvärmeväxlare är inte säkert. Simuleringarna visar att en kvadratisk flödeskarakteristik fungerar lika bra fast stabilare. Även helt linjär ventil kunde användas med reservation för att simuleringar inte är 100% tillförlitliga när det gäller mycket låga laster, där fenomen som tidsfördröjning och temperaturskiktning kring reglerkretsens temperaturgivare kan ha stor betydelse och kräva sänkt kretsförstärkning, vilket kvadratisk/logaritmisk flödeskarakteristik ger vid små öppningsgrader. Här kunde branschen ta initiativ till laboratorie- och fältförsök för att säkerställa vad som är bäst.

6.2 FÖRBÄTTRAD REGLERING MED HJÄLP AV FRAMKOPPLING MM

6.2.1 Problemställning

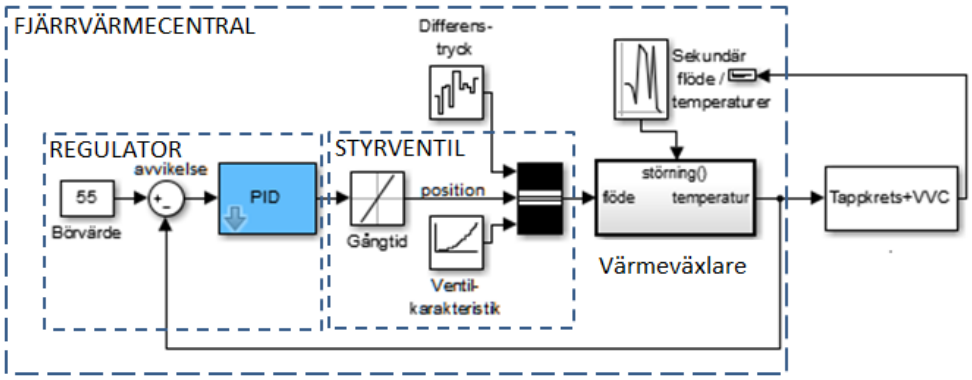
I mindre fjärrkylsystem och system under uppbyggnad har en viss känslighet och instabilitet i regleringen registrerats (55). Detta exempelvis när det finns inslag av stora moderna kontorsfastigheter med stora glasfasader. Man skulle kunna säga att fastigheterna beter sig nästan som solfångare. När solen är framme är behovet av komfortkyla högt och när solen går i moln upphör dessa behov. Laständringarna är inte lika snabbt som tappvarmvattenberedning men betydligt snabbare än komfortvärmelastförändringarna vintertid. Ställtider på fjärrkylventiler är relativt långsamma men kortare gångtider som på tappvarmvattensidan. Det faktum att näten i aktuella fallet är små innebär differenstrycken i fjärrkylenäten, vilket försvårar regleringen i fjärrkylecentralerna. Om avkylningsgraden är lägre än designdata blir flödena oproportionellt höga som då adderar instabiliteten. Vi har i detta avsnitt studerat alternativ till förbättrad reglering.

6.2.2 Lösningar för förslag till bättrad reglering

Den mest vanliga reglerprincipen inom reglerteknik är s k återkoppling. Det innebär att man mäter en storhet som man önskar hålla konstant, jämför med ett börvärde och om det uppstår en avvikelse då använder man avvikelsens storlek och andra egenskaper för att bestämma hur den skall styras bort. Avvikelser uppstår p g a ”störningar” som anses vara okända för regulatorn.

Som exempel på en ”störning” kan vi ta ökat tappvarmvattenflöde i en värmeväxlare. Detta resulterar i temperaturfall i växlaren, vilket registreras av regulatorn som en temperaturavvikelse som skall styras bort. Temperaturfallet är alltså störningens konsekvens som oftast registreras med en viss fördröjning.

Figur 112 visar schematiskt ovanbeskrivna förlopp och de berörda komponenterna. Den understa heldragna linjen som sammankopplar värmeväxlarens utlopp med regulatorns ingång är återkoppling från tappvarmvattnets uppmätta temperatur. Följande händer om en avvikelse från börvärde uppstår: Regulatorn skickar en styrsignal till styrventilens ställdon som, med en viss begränsad hastighet ändrar ventilens läge. Den resulterande ändringen av primärflöde beror på ventilens flödeskarakteristik och rådande differenstryck. Differenstrycket beror på systemets differenstryck och på ventilens auktoritet. Ändrat primärflöde resulterar i ändrad sekundär framledningstemperatur och reglering fortsätter tills stationärt tillstånd har uppnåtts.



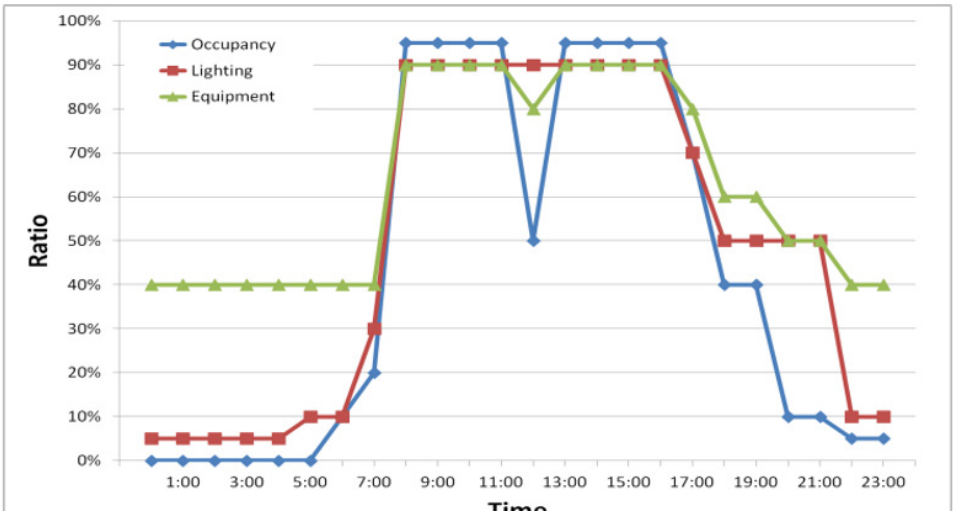
Figur 112: Reglering av sekundär temperatur i en värmeväxlare med hjälp av primär styrventil. Återkopplad princip.

Ett annat exempel på en störning är när utomhustemperaturen ändrar sig och ändrar därmed, med en viss fördröjning, uppvärmningsbehov i en byggnad. Reglering här har som mål att hålla inomhustemperaturen konstant men den mest vanliga styrprincipen är annorlunda. Genom att mäta utomhustemperaturen (egentligen temperaturdifferensen mellan önskad inomhustemperatur och utomhustemperatur) bedömer man hur mycket värme som behöver tillföras byggnaden och styr radiatorernas medeltemperatur efter det. Förfarandet fungerar tack vare att utomhustemperaturen är relativt lätt att mäta och att det genomsnittliga uppvärmningsbehovet är direkt proportionellt mot temperaturdifferensen enligt ovan. Principen kallas för ”framkoppling”, vilket inom reglertekniken innebär att en känd störning i en process kopplas fram direkt till en regulator som på så sätt får veta i förväg att en förändring är på väg. Här är det viktigt att veta hur snabbt den yttre störningen börjar påverka processen. I fallet uppvärmning är det viktigt att dämpa den framkopplade signalen med en dämpningsfaktor som motsvarar byggnadens termiska massa, så att man undviker överkompensering. Det är därför byggnadens tidskonstant skall anges i värmeregulatorn i en fjärrvärmecentral.

Framkoppling används även vid tappvarmvattenberedning i mindre fjärrvärmecentraler i byggnader/småhus utan tappvarmvattencirkulation. I det fallet framkopplar man från tappvarmvattenflödet så att den primära styrventilen öppnar så fort en tappning uppstår och stänger så fort tappningen upphör. På samma sätt som vid uppvärmning av byggnader finns i en enkel variant av en sådan regulator ingen återkoppling från temperaturen, varför regleringen inte blir exakt rätt. Framkoppling kan dock kombineras med återkoppling. I kombination med en termostat kan tappvarmvattnets temperatur bli finjusterad. De första regulatorerna av den typen vanliga på den skandinaviska marknaden tillverkades av Redan och sedan Danfoss (AVTQ). Radiatortermostater har samma funktion när det gäller uppvärmning av byggnader.

Kan framkoppling vara användbar i fjärrkylacentraler? Som sagt, framkoppling snabbar upp reglering. Frågan är därför om reglering i fjärrkylacentraler behöver vara snabbare. Reglering av uppvärmningssystem anses kunna vara ganska trög med tanke på att utetemperaturens variationer är rätt så långsamma samt på

grund av ovannämnda värmetröghet i värmesystem och byggnader. Kyllasten å andra sidan är i mycket högre grad beroende av beteende (interna värmetillskott) och solinstrålning och därför varierar mycket snabbare än värmelasten, se exempel i Figur 113. Som det framgår av figuren kan den sammantagna lasten öka från c:a 15% till 90 % under knappt två timmar och sjunker till den ursprungliga nivån något långsammare efter arbetsdagens slut. Detta är snabbt i förhållande till hur uppvärmningsbehovet varierar men är det för snabbt för reglerutrustningen som används idag?



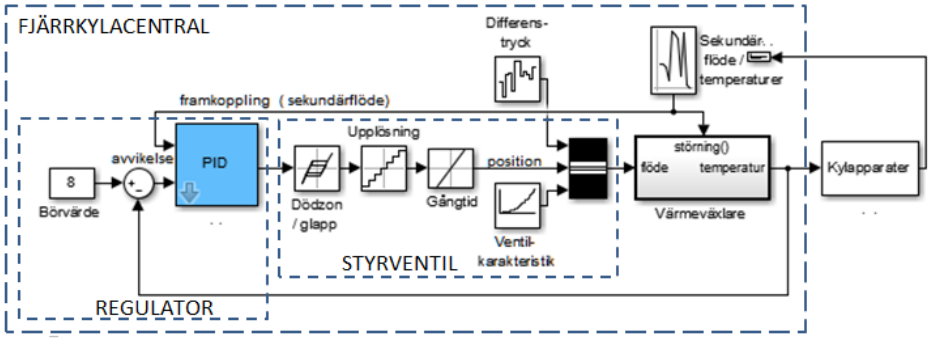
Figur 113: Kyllastens variation under ett genomsnittligt dygn (använt vid simulering). [http://ibpsa.org/proceedings/asim2014/101_AsimB5-29-323.pdf].

Snabbheten vid reglering begränsas av tidskonstanter/tidsfördröjningar som finns i systemet. Själva reglerförloppen kan i vissa fall snabbas upp utan att bli instabila med hjälp av algoritmer mer avancerade än den klassiska PID-regleringen. Men ingen reglering kan bli snabbare än vad som bestäms av gångtiden hos ställdon som verkställer regleringen, i vårt fall styrventilernas ställdon. De ställdon som rutinmässigt används idag har gångtid 15-30 sekunder, vilket innebär att en ventil kan öppnas helt eller stängas helt inom högst detta tidsintervall. Denna utveckling har drivits fram av att tappvarmvattenreglering kräver snabba ställdon. I äldre uppvärmningskretsar i fjärrvärmecentraler användes ställdon med gångtid 300 sekunder och många moderna ställdon kan faktiskt ställas om till att vara långsamma (styrning med öka/minska pulser) för kompatibilitetens skull. Men inget hindrar att uppvärmnings- eller kylkretsar styrs av ställdon med korta gångtider.

Behöver reglering av kyllast vara så snabb som tappvarmvattenreglering? Det förefaller inte så om man beaktar förlopp i Figur 113. En 100 procentig lastförändring tar över en timme d v s minst 3600 sekunder, vilket är två tiopotenser mer än gångtid för en snabb styrventil och en tiopotens mer än en långsam styrventil. Även om dubbla styrventiler används, vilket kräver dubbla ställdon med varsin gångtid, 300 s, så blir styrhastigheten drygt 5 ggr högre än lastförändringens hastighet, vilket är tillräcklig marginal för att följa lastförändringarna.

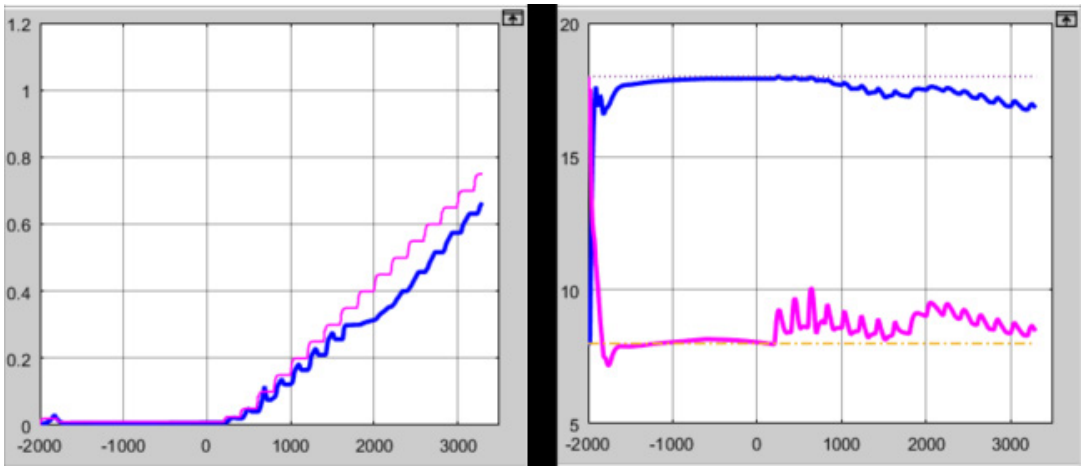
Det finns dessutom en anledning att undvika alltför snabb reglering. Fjärrkylenät kan vara relativt små (jämfört med fjärrvärmenät) och betjäna ett fåtal kunder. Samtidigt är flöden ofta stora. Det finns en uppenbar risk att tryckstötar kan uppstå i nätet om stora ventiler i FK-centraler tillåts stänga snabbt. Alltför snabb/instabil reglering bör därför undvikas. Man ska även beakta är att regulatorns styrsignal inte får ändras snabbare än ställdonets hastighet är eftersom det annars kan uppstå s k uppvridning av regulatorns integraldel, med svängningar som konsekvens. I moderna digitala regulatorer brukar man kunna ange ställdonets gångtid och därmed är problemet med uppvridning löst (förutsatt att rätt konstant uppges!).

Betyder resonemanget ovan att framkoppling inte kan vara till nytta vid temperaturreglering i fjärrkylecentraler? Vi får först se hur den sekundära framledningstemperaturen regleras när en stor lastförändring sker. En dynamisk simuleringsmodell med principiellt utseende enligt Figur 114 har använts för ändamålet. Utöver traditionell återkoppling från temperaturen är modellen utrustad i framkoppling proportionell mot kvadratroten ur sekundärflödet. Modellen kan även ta hänsyn till praktiska fenomen som dödzon, glapp samt ställdonets gångtid och upplösning vid positionering.



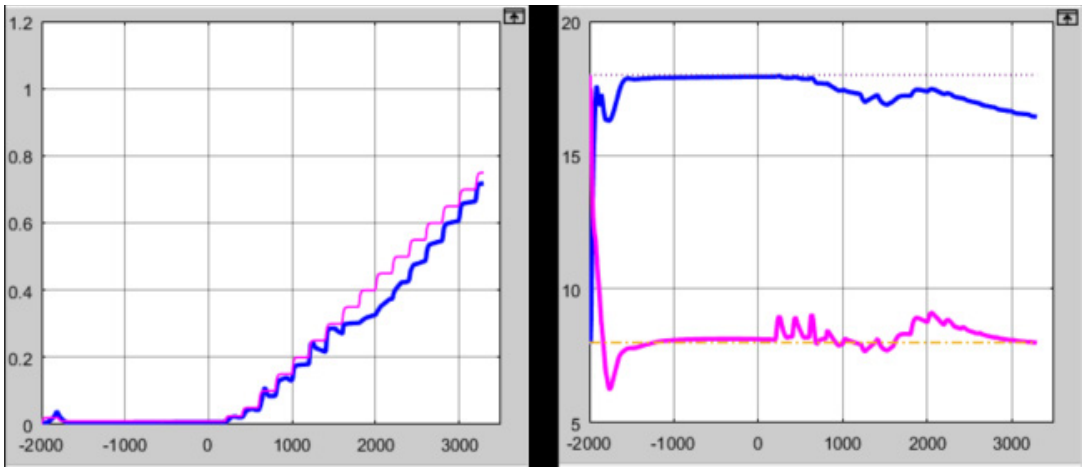
Figur 114: Återkopplad reglering av sekundär temperatur i en värmeväxlare med hjälp av primär styrventil. Regulatorn är även framkopplad från sekundärflöde.

Figur 115 visar resultat av en simulering då lasten ökar från 1 till 100 % i en FK-central. Tidsförlopp fram till tidpunkt ”0” är modellens insvängning vid mycket låg last, 1% flöde. Lasten (rosa linje i diagrammet till vänster) ökar under en timmes tid, och ställdonet är snabbt (gångtid 30 sekunder). Regulatorn är dock inställd konservativt d v s med god stabilitetsmarginal (förstärkning 50% av den kritiska förstärkningen och integrationstid 300 s, ingen derivering och ingen framkoppling). Vi ser att under hela tiden då lasten ökar är den sekundära framledningstemperaturen (röd linje i diagrammet till höger) något högre än börvärdet, 8°C. Den faktiska framledningstemperaturen är i medel 8,7°C. Detta innebär att, om vi förutsätter att den sekundära temperaturökningen i värmeväxlaren bör vara 10 K då är den minst 7% sämre under minst en timme under dygnets höglastperiod. Sekundärflöde blir därmed högre i motsvarande grad eller mer, beroende på hur den sekundära returtemperaturen påverkas av sänkt framledningstemperatur. Sjunker den sekundära returtemperaturen då påverkas även den primära returtemperaturen och flödet negativt.



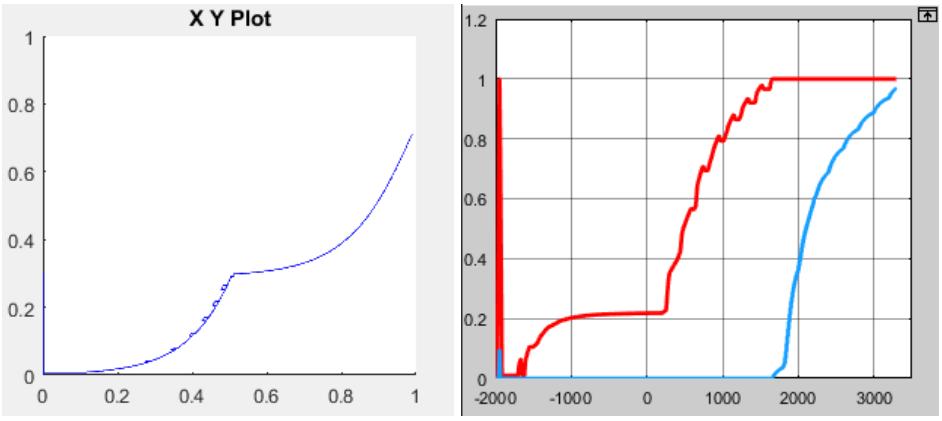
Figur 115: Simulerad lastökning i en FK-central. Sekundärflöde (rosa) och resulterande primärflöde (blå) visas till vänster. Primär returtemperatur (blå) och sekundär framledningstemperatur (rosa) visas till höger. Observera signifikant skillnad mellan framledningens börvärde (8 °C) och ärvärde. Två standardkopplade styrventiler, storleksförhållande 1:2,5 . Differenstryck 100 kPa, ventilauktoritet 50%.

Själva fenomenet är känt i reglertekniken och beror på att det tar tid att integrera bort reglerfelet varför ett övergående stationärt fel (här 0,7 K i medel) uppstår så länge en störning ökar kontinuerligt. Här kan framkoppling vara till nytta. I Figur 116 visas resultat av en simulering där en framkoppling har aktiverats. Regulatorns styrsignal ökas av framkoppling här, vilket kan ses av att primärflödet ökar fortare (den blåa kurvan i det vänstra diagrammet). Följden blir att felet som uppstår medan lasten ökar reduceras. I vårt exempel minskar medelfelet från 0,7 till 0,3 K.



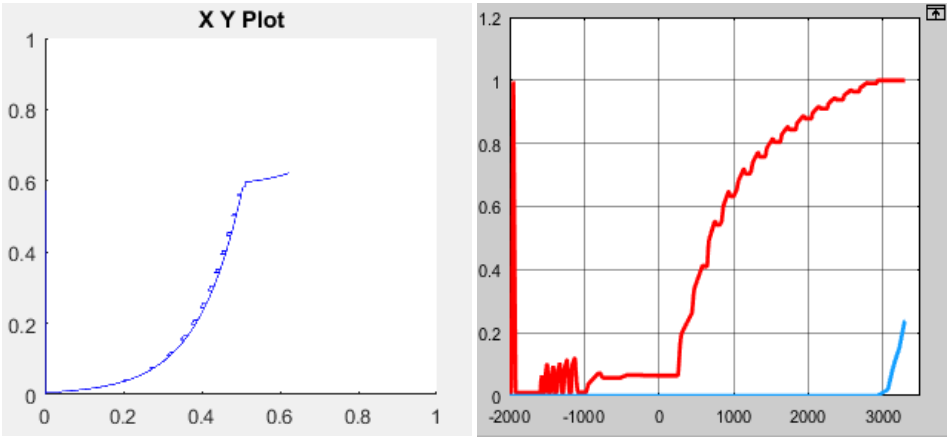
Figur 116: Simulerad lastökning i en FK-central. Samma konfiguration och förlopp som i Figur 115 förutom att regulatorn har kompletterats med framkoppling från flödesmätare som mäter sekundärflödet. Medelfelet i konstanthållning av den sekundära framledningstemperaturen har minskat från 0,7 till 0,3 K.

Primärflödet i modellen styrs av två standardkopplade logaritmiska styrventiler. Den sammanlagda flödeskarakteristikan och ventillägen när ventilerna öppnas i tur och ordning visas i Figur 117, från vänster till höger.



Figur 117: Sammanlagd flödeskarakteristik (till vänster) och ventillägen (till höger) under simuleringens gång. Differenstryck 100 kPa. Temperaturfel 0,7 K.

Vid simuleringarna ovan har differenstrycket varit 1 bar. Vad händer om differenstrycket ökar? Figur 118 visar flödeskarakteristikan och ventillägen för differenstryck 400 kPa. Vi ser att den styrventilen som öppnar senare i sekvensen behöver inte öppna särskilt mycket för att fullt flöde skall uppnås (diagram till vänster). Den första ventilen måste nu styra vid högre kretsförstärkning och mindre öppningsgrad varför tendens till instabilitet uppstår inledningsvis. Det är därför regulatorns förstärkning behövde ställas in med säkerhetsmarginal 50%.

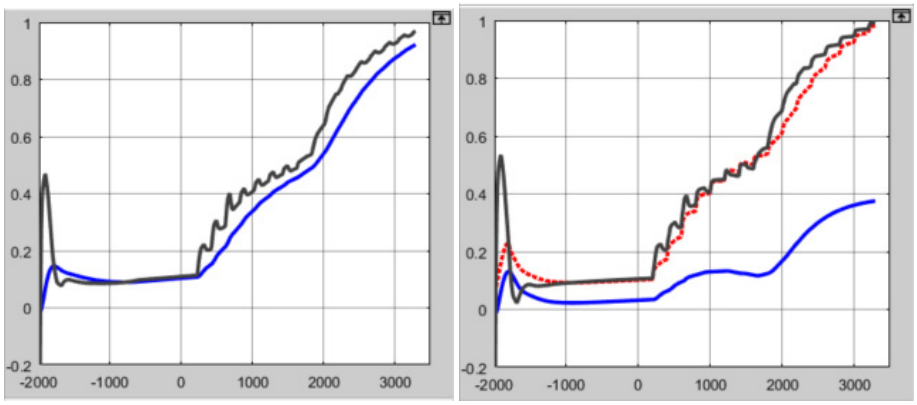


Figur 118: Sammanlagd flödeskarakteristik (till vänster) och ventillägen (till höger) vid differenstryck 400 kPa. Temperaturfel 0,5 K utan framkoppling och 0.2 K med framkoppling.

Varför blir regleringen bättre om framkoppling används? Figur 119 visar regulatorns styrsignal uppdelad i sina beståndsdelar kumulativt: först integraldelen (blå linje), sedan summa av integral- och eventuell framkoppling (röda linjen) och sist den totala signalen (mörkgrå linje) som innefattar även proportionaldelen. I det vänstra diagrammet finns det ingen framkoppling. Vi ser att vid ett stationärt förlopp, med början vid tiden -1000 sekunder och fram till c:a 200 sekunder, styrsignalen domineras helt av integraldelen. När lasten börjar öka reagerar den proportionella delen omedelbart (det svängiga förloppet) medan integraldelen börjar öka kontinuerligt. Avståndet mellan den gråa och den blåa

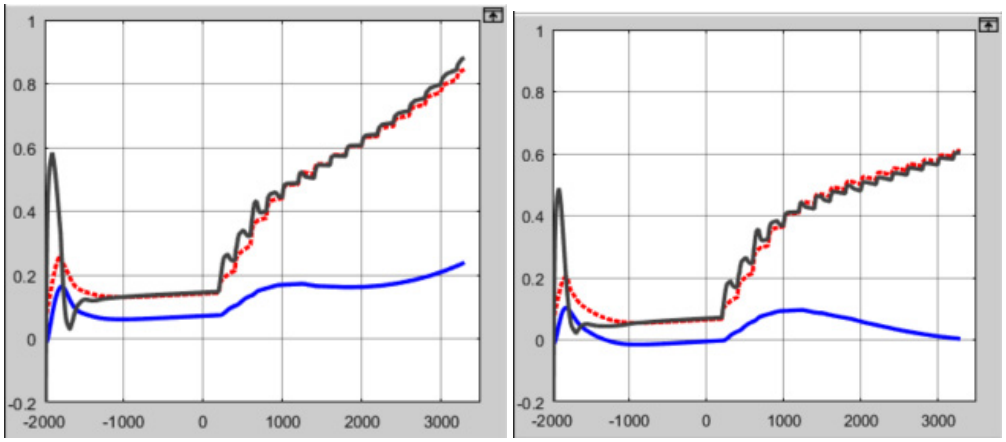
linjen motsvarar den proportionella regleringens bidrag och avspeglar storleksordningen på det tillfälliga felet som uppstår.

Det högra diagrammet i Figur 119 visar styrsignalen då framkoppling är aktiverad. Vi ser att när förloppet är stationärt då är det framkopplingen (den rödstreckade linjen) som nästan helt dominerar styrsignalen medan integraldelen är nära noll. När lasten börjar öka står framkopplingen för den största delen av styrsignalens förändring medan integraldelen enbart korrigerar för det faktum att framkopplingen inte är perfekt. Även andelen av proportionell reglering minskar (se avstånd mellan den röda och den gråa linjen) och därför minskar det tillfälliga felet.



Figur 119: Styrsinalens kumulativa sammansättning utan framkoppling (till vänster) och med framkoppling (till höger).

Som syns utgör framkopplingssignalen inte någon perfekt beskrivning över hur störningen skall kompenseras. Men ju bättre anpassad den är desto bättre blir regleringen (reglerfelet minskar). En av anledningarna att vår framkopplingssignal inte är perfekt är att den inte ”känner till” att vi använder två mindre sekvenskopplade logaritmiska ventiler istället för en enda stor ventil. Vad händer om ventilernas sammanlagda flödeskarakteristik förbättras? Figur 120 visar styrsinalens sammansättning när en mindre logaritmisk och on större linjär styrventil används (storleksförhållande 1:4, styrsignalens fördelnig 50%/50%). Här reduceras brytpunkten i flödeskarakteristikan (och styrsignalen) betydligt och, när framkopplingssignalen bättre motsvarar regulatorns inverkan på processen, regleringen blir ännu bättre. Regleravvikelsen blir nu 0,2 K vid 100 kPa differenstryck (diagrammet till vänster) och 0,15 K vid 400 kPa (diagrammet till höger).



Figur 120: Styrsinalens sammansättning vid framkoppling när en mindre logaritmisk och en större linjär styrventil används, storleksförhållande 1:4 och styrsignalens fördelning 50%/50%. Differenstryck 100 kPa (till vänster) respektive 400 kPa (till höger). Reglerfelet 0,2 respektive 0,15 K.

6.2.3 Diskussion och slutsatser

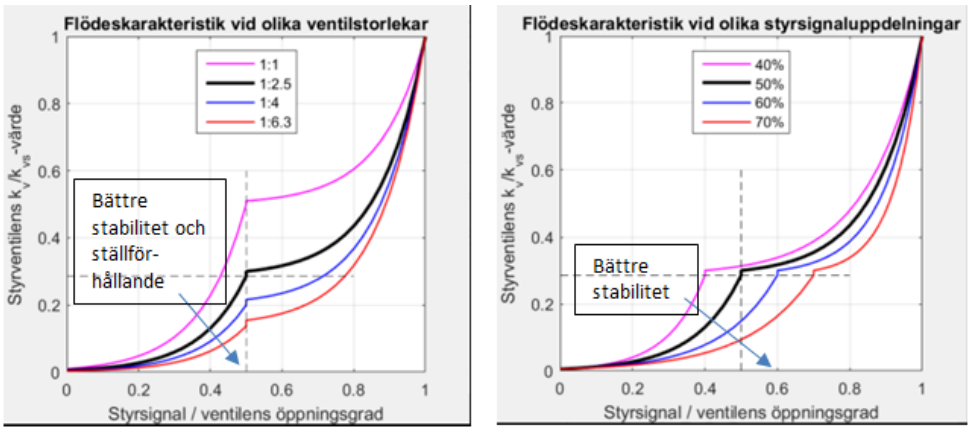
En simuleringsmodell som inte verifierats experimentellt i den avsedda applikationer kan ge värdefulla generella ledtrådar gällande hur den studerade processen beteer sig i olika diftfall men kan inte ge svar på mer specifika problem som kan uppstå i enskilda system. Exempelvis kan innverkan av glapp och hysteres eller felaktigt inställda reglerparametrar inte simuleras utan att alla dessa faktorer är kända. På samma sätt måste lasten som systemet utsätts för vara känd med hög tidsupplösning, vilket sällan är fallet i praktiken. Därför är det angeläget om denna undersökning kunde kompletteras med mätförsök på objekt som upplevs som problematiska/har stabilitetsproblem, med efterföljande modellanpassning och fler simuleringar.

Följande slutsatser kan man dock dra redan nu:

1. Stora lastvariationer som förekommer i fjärrkylesystem leder till att den sekundära framledningstemperaturen avviker från börvärde så länge lasten förändras kontinuerligt åt samma håll. Fenomenet kan motverkas genom anpassning av styrventilernas sammanlagda flödeskarakteristik och även genom användning av framkoppling från sekundärt flöde om högupplöst mätsignal är tillgänglig. Se diskussion i tidigare avsnitt.
2. Stabilitetsproblem vid små ventilöppningsgrader har rapporterats [e.on]. Genomförda simuleringar ger vid handen att regulatorförstärkning som är lämplig inom ett brett lastområde kan ge instabilitet vid små ventilöppningsgrader. Detta kan bero på ökande tidsfördröjning i reglerkretsen, som uppstår när flödeshastigheter är låga. Kretsförstärkning blir då för hög vid alltför brant stigande flödeskarakteristik i ventiler, särskilt vid höga differenstryck.
   Att byta ut den styrventilen som öppnar först mot en mindre eller att öka andelen av styrsignal som är dedicerad för ventilen kan avhjälpa problemet. Man skall även beakta möjligheten att ventilens ställförhållande är för litet i förhållande till hur pass små laster kan styras och vilka differenstryck som förekommer. Instabilitet orsakad av för höga differenstryck kan avhjälpas genom differenstryckreglering som kan ske på olika sätt, t ex genom att en

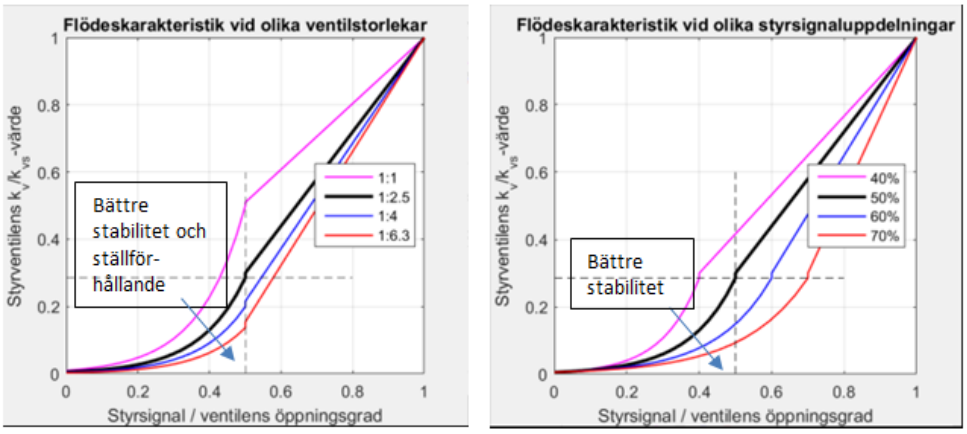
differenstryckkompenserad ventil (PICV) används.
Man skall även beakta möjligheten att temperaturgivaren som används för reglering av den sekundära framledningstemperaturen är placerad för långt från värmeväxlarens utlopp eller råkar ut för temperaturskiktning.
Temperaturgivare av utanpåliggande typ skall undvikas.

För att förstå inverkan av åtgärderna enligt ovan gällande styrventiler se Figur 121 och Figur 122 nedan. Figurerna visar hur storleksförhållande mellan två parallellkopplade ventiler (till vänster) respektive uppdelning av regulatorns styrsignal mellan den första och den andra ventilen (tilll höger) påverkar kretsförstärkning (stabilitet) och ställförhållande. Figur 121 visar flödeskarakteristikor för två parallellkopplade logaritmiska ventiler medan Figur 122, för en logaritmisk och en linjär ventil. Ventilerna till vänster har standard uppdelning av styrsignalen mellan respektive ventil, 50%/50%. Det som varieras är ventilernas storleksförhållande. Ventilerna till höger har standard storleksförhållande,1:2,5 , medan uppdelning av styrsignalen varieras.



Figur 121: Inverkan av ökat storleksförhållande (till vänster) och uppdelning av styrsignal (till höger) mellan två parallellkopplade styrventiler på reglerstabilitet vid låga flöden. Gäller logaritmiska styrventiler.

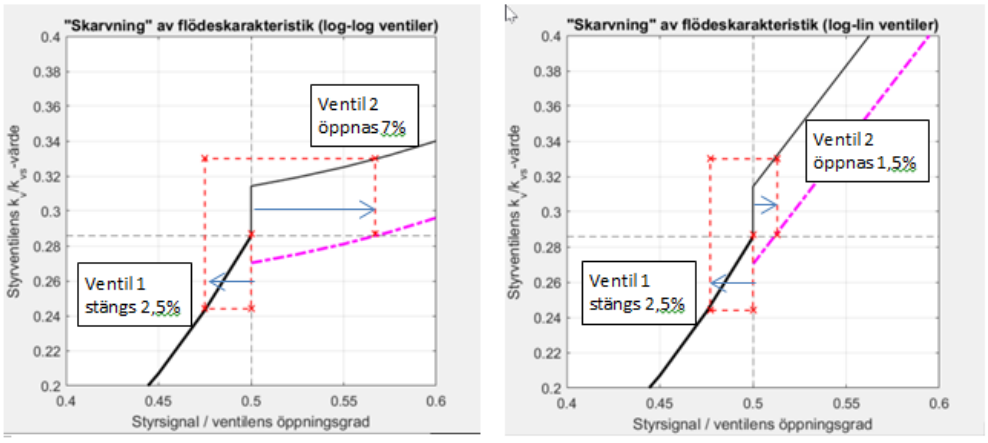
Man kan se att ökat storleksförhållande ger flackare karakteristik vid små laster och mindre skarv i flödeskarakteristik vid övergång mellan den första och den andra ventilen. Det sammanlagda storleksförhållandet blir bättre när den första ventilen får lägre k_{vs}-värde, vilket framgår även av formeln $R_{1+2}=R_1/(1+kvs_2/kvs_1)$. När kombination av logaritmisk och linjärventil används blir skarven obefintlig vid högre storleksförhållanden. Samma effekt får man när uppdelning av styrsignalen ändras så att större del av styrsignalen ägnas åt att öppna den första styrventilen, här inom intervallet 40-70%. Ställförhållandet påverkas dock inte i det fallet.



Figur 122: Inverkan av ökat storleksförhållande (till vänster) och uppdelning av styrsignal (till höger) mellan två parallellkopplade styrventiler på reglerstabilitet vid låga flöden. Gäller en logaritmisk och en linjär styrventil.

I diagram Figur 122 kan man tydligt se inverkan av ställförhållande på den sammanlagda flödeskarakteristiken, som en kort vertikal sträcka i ”skarven” mellan den första och den andra styrventilen. Man ser även att olinjäriteten blir mindre ju bättre anpassning av karakteristikorna till varandra är, se t ex karakteristikan för ventilkombination ”log-lin” och styrsignalupppdelning ”70% / 30%” i Figur 108. Man får tillägga att ställförhållandet för kurvurna som visas i figuren är avsiktligt lågt, 1:50, för synlighetens skull.

I förekommande fall, vid låga ställförhållanden och/eller då höga differenstryck förekommer, behöver man ta hand om skarvens olinjäritet genom smart styrning så att man får stabil reglering. Ett exempel på en sådan åtgärd visas i Figur 123, med ”log-log” styrventiler till vänster och ”log-lin”, till höger.



Figur 123 Styrstrategi för att uppnå stabil reglering när den andra av två parallellkopplade styrventiler börjar öppna eller stänger, här vid styrsignal 50%. Den första ventilen stängs något då den andra ventilen öppnar, för att kompensera för flödessprång som orsakas av ventilens begränsade ställförhållande. Förlopp för ”log-log”-ventilkombination till vänster och ”log-lin”-kombination till höger.

Strategin här är att när styrsignalen uppnår sitt fulla värde för ventil 1, här 50%, då börjar styrventil 2 öppna. Men för att förhindra ett ”hopp” i flödeskarakteristikan

orsakad av ventilens ställförhållande ”backar” man styrventil 1 något, här 2,5% av styrsignalen. Det är även lämpligt att öppna ventil 2 litet mer än vad som krävs, så att den får spelrum för insvängning vid reglering. Den sammantagna effekten blir att flödeskurvan för ventil 2 förskjuts neråt så att en överlappning med flödeskurvan för ventil 1 uppstår. Skulle lasten minska så pass mycket att styrventil 2 behöver stängas då utförs övergången omvänt, d v s när styrsignalen minskar till 50% då stängs styrventil 2 helt medan styrventil 1 öppnar något för att kompensera för det momentana flödesbortfallet.

6.3 PICV (PRESSURE INDEPENDENT CONTROL VALVE)

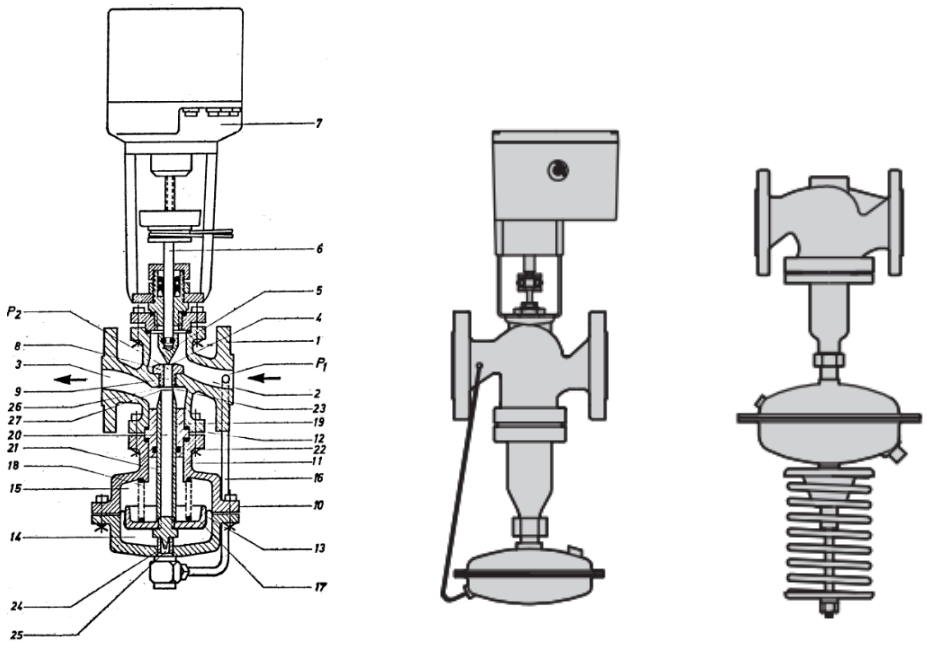
6.3.1 Inledning

Differenstryckreglering av hydrauliska system är ett effektivt sätt att säkerställa att systemets komponenter får rätt kapacitet och goda förutsättningar för stabil kapacitetsreglering, även vid dellast. Differenstryckreglering är även energibesparande eftersom man eliminerar överflöden som kan uppstå när differenstrycket är för högt i delar av systemet. Differentrycksreglering bör i första hand, där det är möjligt, ske genom varvtalsreglering av cirkulationspumpar så att onödigt höga tryckdifferenser undviks. Nästa steg är användning av differenstryckregulatorer för valda delar av ett system, typiskt där komponenternas flödesdynamik är någorlunda homogen. I fjärrvärmenät i Tyskland och Danmark är det vanligt att det finns en differenstryckregulator i varje kundcentral i fjärrvärmenät medan i Sverige gör man så enbart vid behov. I system där flödesbehovet kraftigt varierar mellan dess olika komponenter kan styrventiler med inbyggd differenstryckreglering (Pressure Independent Control Valve, PICV) vara en bra lösning.

Nyttan med PICV märks särskilt i system där man förlitar sig på hydraulisk injustering av systemets grenar för effektfördelning och där eventuell dynamisk reglering hanteras av proportionella (självverkande) regulatorer. Ett typiskt exempel är radiatorbaserade värmesystem med injusterade stammar och termostatventiler.

6.3.2 Olika typer av PICV

Styrventiler av typ PICV har funnits länge egentligen. Oftast handlade det om en konventionell differenstryckregulator utrustad med fast eller justerbar strypning, vilket möjliggjorde flödesbegränsning. Den justerbara strypningen kunde vara kopplad till ett ställdon, vilket gav en PICV. Dessa ventiler var ganska skrymmande och dyra och ansågs vara snarare industristandard. Se t ex bild från ursprungligt patent av Bälz samt tillverkarens Samson bilder i Figur 124:



Figur 124: Konventionellt utförande av PICV, med inre eller yttre fjäder i den differenstryckreglerande delen. Källa: Samson.

Mindre PICV i interna värmesystem var oftast avsedda för sekundära kretsar och projekterade för högst 250-400 kPa differenstryck.

På senare tid har PICV utvecklats av de flesta tillverkare av styrventiler. Önskemålet är då att åstadkomma en PICCV (Pressure Independent Characterised Control Valve), dvs. en ventil som behåller sin flödeskarakteristik oavsett tryckvariationer och vald flödeskapacitet. Nedan systematiseras och beskrivs kort de befintliga lösningarna med inriktning på produkter vanliga på den skandinaviska marknaden.

Generellt gäller att en självverkande differenstryckregulator innehåller någon form av fjäderbelastad membran. Fjädern balanserar kraften som är effekt av det rådande differenstrycket. Fjädern har en viss inspänning som motsvarar regulatorns börvärde för differenstryck (inklusive s k P-band) och så länge membrankraften är lägre än fjäderns inspänning förblir regulatorns ventilkägla helt öppen. Först då differenstrycket börjar närma sig dess börvärde börjar ventilen reglera (stänga och därmed hålla differenstrycket närapå konstant). M a o, en differenstryckregulator kan inte ”förstärka” trycket, utan enbart reducera det till ett inställt börvärde.

Ovannämnda lägsta tryck behövs således för att PICV ska kunna fungera normalt och ligger typiskt runt 20-40 kPa, beroende på ventilens kapacitet. Det finns även högsta acceptabla differenstryck för varje ventil, ett tryck då regulatorn inte längre kan strypa flödet eftersom membranen har hamnat i sitt andra ändläge. Vid differenstryck högre än det maximala fungerar differenstryckregulatorn som en fast strypning. När det gäller PICV så innebär ett sådant driftläge att

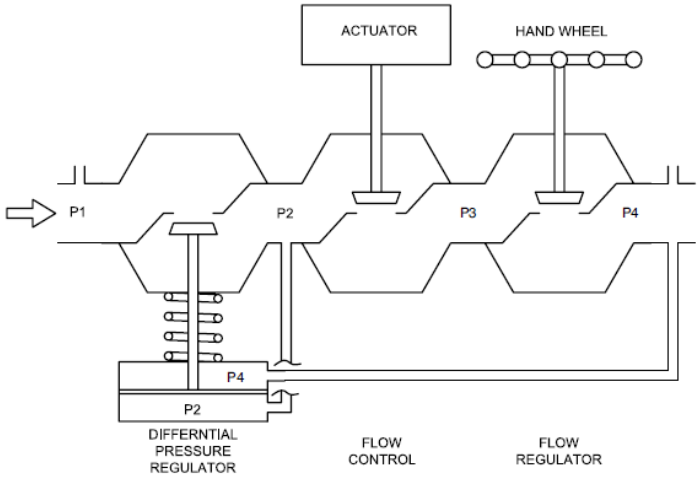
differenstrycket över styrventildelen inte längre är konstant och ventilen fungerar som en vanlig styrventil med inbyggd förstrypning.

Slutligen gäller det att komma ihåg att en självverkande differenstryckregulator är en P (proportionell) regulator d v s är behäftad med stationärt fel som är störst vid hög belastning. Följaktligen kan konstanthållning av trycket variera något, 5-10% avvikelse vid de största flöden, beroende på det yttre differenstryck som råder. Dessutom brukar ett hysteresfel uppstå, 5-10% skillnad beroende på om det reglerade trycket ökar eller minskar. De resulterande avvikelser i ventilens k_v-värde är relativt små, 10-procentig avvikelse i differenstryck innebär knappt 5-procentig avvikelse i flöde, vilket tas hand om av PI-regulatorn som kontrollerar flödet genom styrventilen.

Det finns olika varianter av PICV med flödesbegränsning (variabelt k_{vs}-värde):

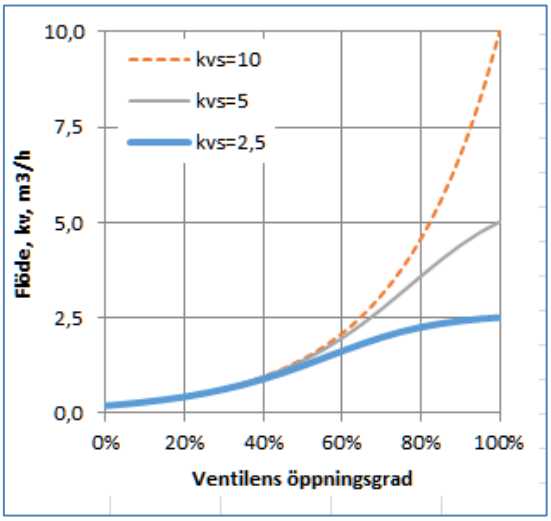
PICV med seriekopplad inställbar strypning

Detta är som sagt en gammal beprövad lösning, se schematisk framställning i Figur 125.



Figur 125: Konventionell PCIV med inställbart kvs-värde. Kvs-värdet ställs in med justerbar strypning som är kopplad i serie med styrventilen. Källa: Bilden är hämtad från *The Definitive Guide to Pressure Independent Control Valves, Technical Manual,* Fratelli Pettinaroli.

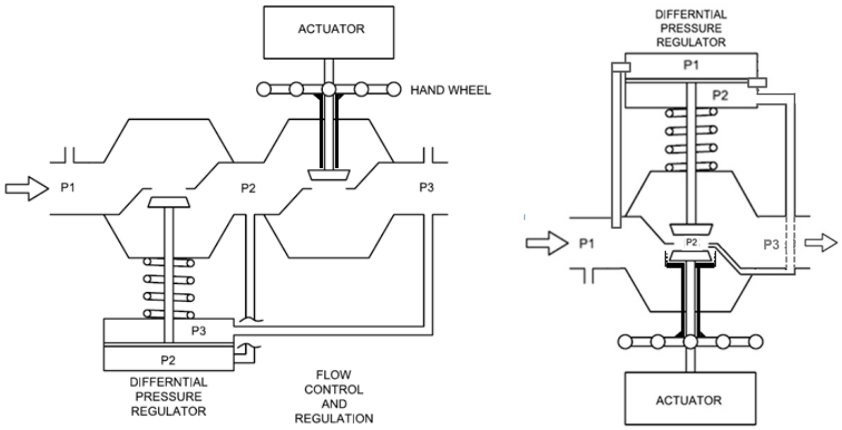
Dess nackdel är att ventilauktoritet sjunker drastiskt med minskande k_{vs}-värde, vid halverat k_{vs} ligger man på c:a 20% auktoritet, vilket är i det minsta laget för en bra reglerfunktion. Ventilkarakteristikan blir förvanskad med minskande ventilauktoritet och ventilens regleromräde minskar, se Figur 126.



Figur 126: Förvanskning av ventilkarakteristikan vid olika inställda k_{vs}-värden då PIC-ventilens kapacitet ställs in med en seriekopplad strypventil.

PICV med kapacitetsinställning genom mekanisk eller elektronisk slaglängdsbegränsning.

Principen för denna lösning visas i Figur 127. Den är enkel och som ett sätt att minska kapacitet hos överdimensionerade styrventiler förslogs tidigare bl. a av Wollerstrand (56). De flesta moderna ställdon har förmåga att känna av den anslutna styrventilens faktiska slaglängd så att den mekaniska begränsningen av ventilens öppning används då enbart för automatisk kalibrering av ställdonets arbetsområde vid dess initialisering. Detta innebär en viktig anpassning så att regulatorns maximala styrsignal alltid kommer motsvara ventilens maximala inställda slaglängd.



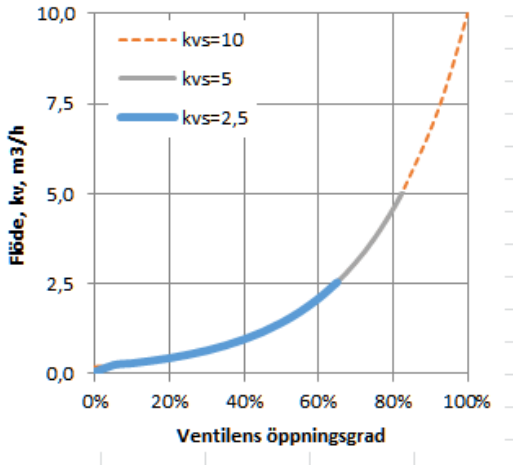
Figur 127: Inställning av styrventilens k_{vs}-värde genom mekanisk begränsning av ventilspindelns slaglängd. Traditionell lösning till vänster och kompakt till höger i figuren. Ett intelligent ställdon kan känna av det inställda arbetsområdet och anpassa det internt till signalen från regulatorn (t ex 0-10 V styrsignal motsvarar då 0-100% inställd slaglängd). Källa: Grundbilder är baserade på *The Definitive Guide to Pressure Independent Control Valves, Technical Manual,* Fratelli Pettinaroli.

Vill man ändra styrventilens inställda k_{vs}-värde senare då får ställdonet initialiseras på nytt vilket är ett enkelt ingrepp. Har man tillgång till mer

”intelligens” i ställdonen då kan slaglängden/arbetsområdet ställas in helt mjukvarumässigt.

Lösningen innebär 100% ventilauktoritet oavsett ventilläge, vilket är en klar förbättring jämfört med ”strypning”-alternativet. Ställprecisionen och framförallt ställförhållandet, $k_{vs}/k_{v,min}$, sjunker dock med minskande k_{vs} i och med att $k_{v,min}$ förblir detsamma hela tiden. T ex en minskning av k_{vs}-värde med 75% innebär att ventilens ställområde minskar till 25% av det ursprungliga (gäller logaritmisk flödeskarakteristik). För en ventil med ursprungligt ställområde 1:100 skulle det innebära minskning till 1:25, vilket man måste ha i åtanke, beroende på applikation. Ställprecisionen är något mindre problematisk. Flödesbegränsning ovan kräver, vid samma flödeskarakteristik, c:a 35-procentig begränsning av slaglängden, vilket betyder att precisionen minskar till 65%. Här får man tänka på att precisionen bestäms huvudsakligen av hysteres orsakad av glapp och friktion som är oförändrat stora oberoende av slaglängdbegränsning och får därmed större relativa inverkan med minskande slaglängd. Själva positioneringsförmågan hos ventilens ställdon brukar vara mycket hög, t ex över 300 unika lägen per mm slaglängd (enligt info från företaget Schneider-Electric) varför det är inverkan av hysteres som dominerar. Om man bortser från ändrat ställförhållande är ventilkarakteristikan oförvanskad, se Figur 128.

Det förekommer lösningar där styrventilens karakteristika är linjär och den logaritmiska karakteristikan uppnås genom omvandling i ventilens ställdon. I det fallet minskar både ställförhållandet och precisionen i samma grad som k_{vs}-värde reducerats. Det bör dock tilläggas att linjära ventiler kan ha ett mycket stort ställförhållande, upp till 1:1000 (t ex AB-QM, Danfoss A/S). Till kategorin under denna punkt hör även lösningar utan mekanisk differenstryckregulator där en styrventil är seriekopplad med en flödesmätare och kan därmed ställa in/begränsa önskat flöde (t ex Dynamx-system från MMA eller ePIV-ventilen från Belimo).



Figur 128: Ventilkarakteristikans utseende vid olika inställda k_{vs}-värden då PIC-ventilens kapacitet ställs in genom mekanisk eller elektronisk begränsning av ventilens slaglängd.

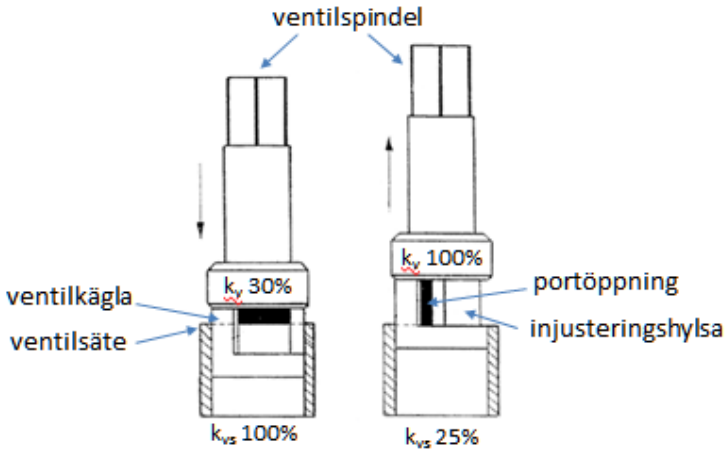
PICV med kapacitetsinställning genom inställbar ventilportgeometri

Detta är en av de nya utvecklingstrenderna vad gäller PICCV. Föregångaren till tekniken har varit en tryckstyrd styrventil för tappvarmvattenberedare ursprungligen tillverkad av danska Redan A/S och vidareutvecklad av Danfoss A/S under namnet PM-regulator, Figur 129, där man ändrar portarea genom att rotera ett hylsformat säte (se en vred för kapacitetsinställning till höger i bilden i).



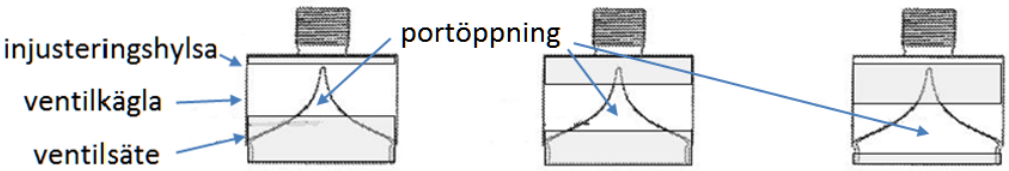
Figur 129: PM-regulator, en tryckstyrd styrventil för mindre tappvarmvattenberedare från Danfoss A/S (ursprungligen konstruerad av Redan A/S). Kapacitetsreglering erhålls genom vridning av ett hylsformat ventilsäte. Källa: Danfoss.

Svårigheten vid denna tillvägagångssätt är att erhålla oförvanskad logaritmisk ventilkarakteristik vid olika inställningar samtidigt som man behåller full slaglängd. En lösning som används av Frese A/S är att välja en linjär ventilkarakteristik varvid portgeometrin är mycket lättare att justera och, vid behov, åstadkomma en annan karakteristik, t ex kvadratisk eller logaritmisk, med hjälp av ett lämpligt ställdon, se Figur 130.



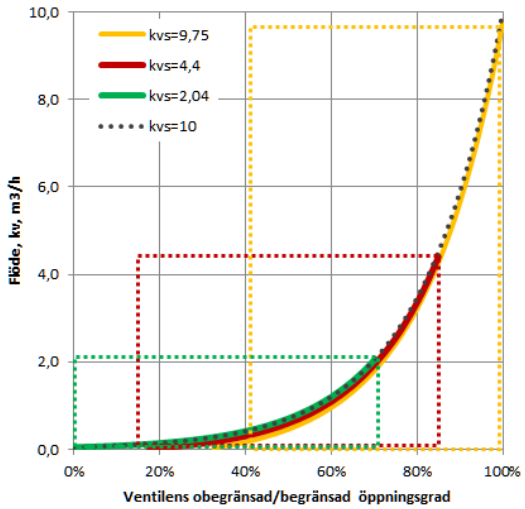
Figur 130: Inställning av kvs-värde i en proportionell styrventil med hjälp av en roterande hylsa. Till vänster visas ventilens portarea vid maximalt k_{vs}–värde och 30-procentig öppningsgrad. Till höger visas portarea då k_{vs}–värdet begränsats radiellt till c:a 25% och ventilen är helt öppen. Portarean är ungefär lika stor i de båda fallen men ventilen till höger har uppnått full flödeskapacitet medan den till vänster kan öppnas mer. Käglans utseende enligt patentskrift US 8 469 052, Frese A/S.

En renodlat mekanisk lösning finns dock framtagen av TA Hydronics (numera IMI), där axiell förskjutning av en hylsa över en profilerad ventilkolv innebär att olika delar av en logaritmisk karakteristik, med olika kvs-värden, kan väljas, se Figur 131.



Figur 131: Ventilportens utseende vid olika k_{vs} inställningar. Lägst k_{vs}–värde till vänster och störst till höger i figuren. Käglans utseende enligt patentskrift SE 535 490 C, Tour & Andersson AB.

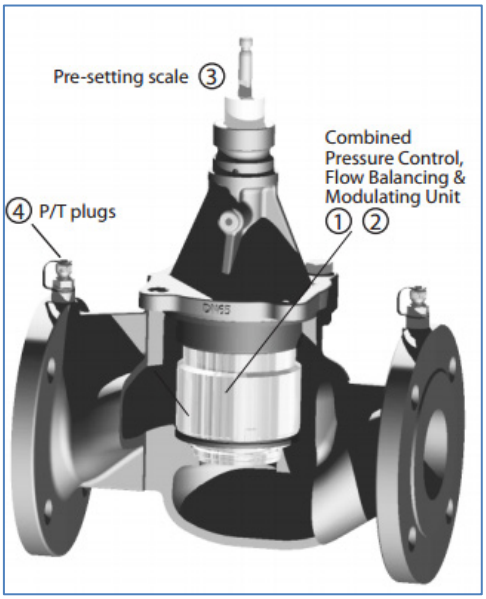
Av bilden framgår att man hela tiden använder någon del av profilerad portöppning hos en kägla som har flödeskapacitet något större än den man projekterat ventilen för. De resulterande flödeskarakteristikor blir ungefär som i Figur 132. Här förutsätter vi att c:a 30% av käglans port är alltid övertäckt, vilket vid ställförhållande 1:200 gör att k_{vs}–värdet kan steglöst ställas in mellan 2-10 m^3/h.



Figur 132: Flödeskarakteristikor vid olika inställda k_{vs}-värden i en PICCV framtagen av TA Hydronics AB.

För ordningens skull får man påpeka att den på så sätt erhållna ventilkarakteristikan inte är 100% logaritmisk vid små flöden som blir något lägre än i det perfekta fallet, vilket kan skönjas i Figur 132. Perfekta karakteristikor finns dock inte i verkligheten och fenomenet gör att ventilens ställförhållande blir bättre, vilket är väsentligt.

I de nyutvecklade konstruktionerna kan differenstryckregulatorn vara helt integrerad med ventilkäglan vilket ger en väldigt kompakt och läckagesäker produkt, se exempel i Figur 133.



Figur 133: Kompakt PICCV-ventil med differenstryckregulator, flödesbegränsning och flödesstyrning i samma ventilhus (datablad från Frese A/S, produkten finns även hos MMA och Siemens).

PICV med kapacitetsinställning genom inställbart differenstryck över styrventilen

Istället för att ändra den tillgängliga portarean, vilket är en teknisk komplikation, kunde man justera styrventilens kapacitet genom att ändra på differenstrycket som råder över styrventilen och som hålls konstant av differenstryckregulatorn. Det gäller ju att $k_v = k_{vs}\sqrt{\Delta p}$. Detta känns enkelt och smidigt och används faktiskt i viss utsträckning eftersom man oftast kan beställa en PICV i s k high flow eller low flow utförande, varvid high flow utförandet har högre krav på lägsta tillgängliga differenstryck än low flow. Det handlar typiskt om flödesökning 30-60% beroende på ventilstorlek vilket motsvarar ”en storlek större” ventil. Problemet uppstår om k_{vs}-värdet skall varieras inom ett större område, t ex 25-100% av $k_{vs,max}$-värde i en ventil. Om vi utgår ifrån att en styrventil inte får orsaka större tryckfall än 50 kPa i systemet då får det internt konstanthållna differenstrycket inte vara större än så vid $k_{vs,max}$. Vill vi halvera ventilens k_{vs}-värde då får vi sänka differenstryckinställningen fyra gånger, till 12,5 kPa. Och vill vi halvera flödet en gång till (25% av $k_{vs,max}$) då får vi sänka differenstrycket till 3 kPa. Utan att gå på konstruktionsdetaljer i självverkande differenstryckregulatorer, hur en given fjäder med dess fjäderkonstant matchar en membran med given area och hur en förändring av ställkraft påverkar regulatorns P-band och hysteres, får vi inse att frågan är komplex. Det finns således tekniska orsaker till att justering av differenstryck inte används för inställning av k_{vs}-värden i PICV.

6.3.3 Konkreta nyttan med PICV

Som redan sagt är användning av PICV ett effektivt sätt att säkerställa rätt kapacitet och stabila egenskaper hos systemets komponenter oberoende av differenstrycksvariationer i systemet. Detta tack vare hög auktoritet, oftast 100%, och konstant k_{vs}-värde oberoende av tryck. Valet av ventilstorleken underlättas eftersom man väljer ventilen efter det verkliga flödesbehovet utan hänsyn tagen till

var i systemet den skall placeras. Dessutom kan k_{vs}-värdet ofta efterjusteras, varvid tillverkarna eftersträvar tekniska lösningar där efterjustering skall kunna göras utan specialverktyg och utan att ställdon behöver demonteras

Användning av PICV i stammar/grenar av ett system ger långtidsstabil injustering och är kraftigt tidsbesparande vid installation och underhåll av ett system samt då man byter komponenter eller utökar/begränsar systemet.

I system med stora differenstryck ska man inte glömma att PICV är mindre känsliga för kavitation eftersom strypning av strömmande media sker i två steg, och tryckfallet över själva styrventildelen är relativt litet. PICV eliminerar även överflöden, vilket är stabiliserande och energisparande.

7 Innovativa lösningar i fastighetssystem

7.1 FASTIGHETSSYSTEM

Det är viktigt att energibolagen beaktar fastigheters interna distributionssystem, speciellt inom kyla. Leverantörers nya lösningar optimeras ofta för ökande återvinning, internt i fastigheterna, utan tanke på påverkan för leveranser av fjärrvärme eller fjärrkyla. Möjligheten för utomstående att genomskåda funktionen hos de interna distributionssystemen försvåras av att komponenterna blir mer sammankopplade i dagens lösningar. Ventilation, värmeåtervinning, värmning och kylning integreras i en gemensam krets, innehållande värme-/kylbatterier, pumpar, ventiler, rörsystem, isolering, tilluftsdon och styreneheter etc. Luftbehandlingsaggregat inriktas på att ta tillvara möjlighet att kombinera drift för värme och kyla internt i fastigheterna genom energiåtervinningsmöjligheter med mera. Detta projekt försöker se hur en försörjningslösning med fjärrvärme och fjärrkyla skall kunna matcha de fastighetslösningar som är aktuella idag och imorgon. Som kommer framgå finns det ingen självklar trend utan olika aktörer följer olika styrparameterar för sina val.

7.1.1 Ventilation - val mellan CAV eller VAV

Ventilationssystem för lokaler är antingen dimensionerade för att förse byggnaden med det luftflöde som krävs av hygienskäl eller så dimensioneras systemet för att även fungera som bärare av kyla och ibland värme. Att cirkulera stora mängder luft är dock kostsamt och för att hålla nere och behovsanpassa luftflöden kan ett VAV-system installeras.

Ett VAV-system har en fläkt som kan variera flödena ut i byggnaden och tilluftsdonen eller spjäll i kanalerna har motorer som låter tilluftsflödena till rummen variera. Syftet är att använda luften där den behövs och i exakt de mängder som behövs för att tillgodose behovet av kyla, värme och ren luft. Detta är ett system med tre funktioner där givare, motorstyrda spjäll och ett styrsystem samverkar. Traditionellt är dimensionerande luftmängd dubbelt så stor i ventilationssystem som bär kyla jämfört med dimensionerande luftmängd för enbart hygienbehov. Akademiska Hus har valt denna typ av lösning i de stora utvecklingsprojekt som genomförts på senare år.

System för konstanta flöden, CAV-system, kan användas för att bära ut kyla men dimensioneras då efter sommarfallet och innebär onödigt stora luftmängder resten av året då kylbehovet inte är så stort. Lokaler med ventilationssystem som är dimensionerade för de luftflöden som krävs av hygienskäl har separata systemen för värme och kyla. Systemet har relativt konstanta behov av luft och bara tilluftsdon i möteslokaler där persontätheten varierar stort har motoriserade spjäll. I övrigt saknar systemet motorer och rörliga delar. Fläkten varvtalsregleras, men flödet är relativt konstant. Investeringskostnaden för ett vattenbaserat system för värme och kyla tillsammans med CAV-system för hygienluftflöde är högre än att utöka ett redan nödvändigt ventilationssystem.

Det ovanbeskrivna systemet består av tre separata delsystem som alla har enkel uppbyggnad och möjlighet finns att styra alla tre individuellt. Skanska har valt att installera robusta CAV-system i sina kontorshus. Man har valt att hålla konstanta luftmängder för att säkerställa hög tillgänglighet hos klimatsystemet och begränsa underhållskostnaderna, samt säkerställa ett bra inneklimat och goda generella luftmängder. Klimatiseringen sker separat via kylbafflar och radiatorer. Kontorsrum och öppna kontors landskap har konstanta ventilationsflöden. Mötesrummen har ett lågt grundflöde med möjlighet till forcering av ventilationen. För att hålla nere energianvändningen läggs resurser på få, stora och eleffektiva luftbehandlingsaggregat och låga tryckfall i systemet

Den stora skillnaden mellan CAV- och VAV-system är således antalet rörliga komponenter. VAV-system har möjlighet att hålla lägre flöden än CAV men innehåller många rörliga delar. Komplexiteten hos systemet gör att det åldras fortare och är svårare att sköta.

För lokalbyggnader, där ventilationen endast behövs under delar av dygnet, medför luftvärme att ventilationen måste vara igång hela tiden, vilket ger en stor ökning av elanvändningen för fläktdrift. Detta är ett motiv för att använda vattenburen värme och kyla för kontorshusen.

Sammantaget kan konstateras att behovsstyrd ventilation i form av VAV har en stark drivkraft med att ersätta gamla ventilationslösningar med konstantflöde, CAV. Rätt stora energibesparingar kan därmed göras, 60-70%, varvid fläkteffektbesparing dominerar.

Både Akademiska Hus och Wihlborgs har redovisat goda erfarenheter från installationer med behovsstyrd ventilation med tilluftdon från Lindinvent. Akademiska Hus har exempelvis för lokaler med laboratorieverksamhet tagit initiativ som bidragit till utvecklingen. I laboratoriemiljö, särskilt med inslag av dragskåp, återfinns stora varierande ventilationsbehov.



Figur 134: Exempel på tilluftdon IDCC. Källa: Lindinvent

Exempel på lösningar från Lindinvent är motoriserade don, IDCC (Intelligent Diffuser for Climate Control) Figur 134 donen är försedda med aktiva inbyggda givare, vilket leder till relativt enkla installationer. Reglerområdet är mycket stort, med 2 storlekar på donen finns med reglerbara luftmängder 2-50 respektive 4-100 l/s. Inblåstemperaturer på 15°C synes fungera utan att det upplevs som drag. Med CAV lösningar brukar man inte kunna gå under 18-19°C som inblåstemperatur utan att problem med dragupplevelse inträffar.

IDCC lösningarna behöver tillgång på extra kylning av tilluften när utetemperaturen är över 15°C.

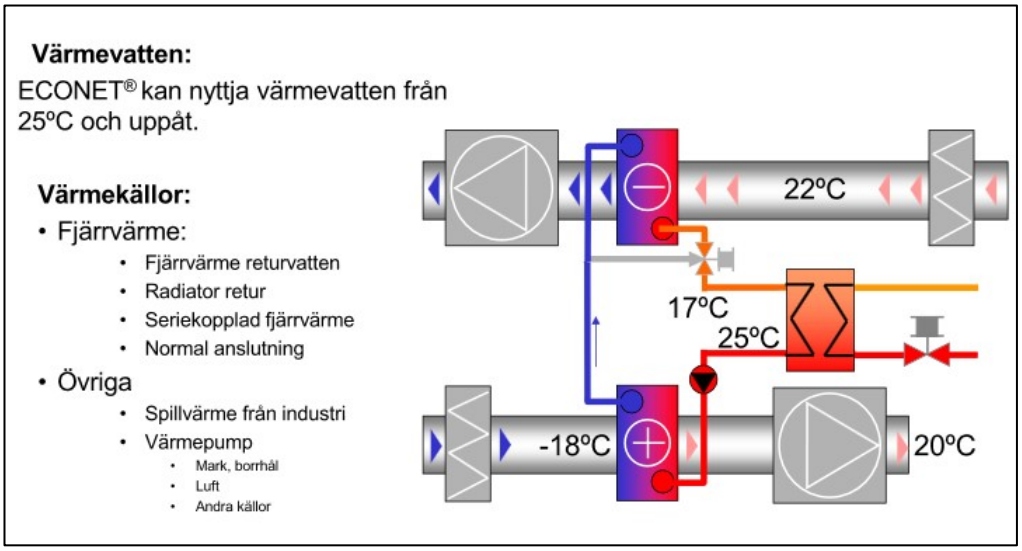
7.1.2 Luftbehandlingsaggregat samt återvinning

I ett behagligt inomhusklimat ligger temperaturen ungefär mellan 19°C och 24°C. Luftbehandlingsaggregatet värmer antingen upp eller kyler ner utomhusluften till den önskade inomhustemperaturen. Detta görs med hjälp av värmebatterier eller kylbatterier. Luftens fuktighet kan också kontrolleras. När den är för låg kan fuktare anvandas for att tillföra vatten till luften. Då den är för hög kan till exempel en kylare användas for att kondensera ut fukten och reducera luftfuktigheten. Traditionellt dimensioneras temperaturen i ett värmesystem till 55/35°C. Dagens tekniklösningar är så kallade lågtemperatursystem vilket gör att det går att använda värmevatten med en temperatur på 25-35ºC. Det innebär att det i större utsträckning finns möjlighet att utnyttja värmevatten som tidigare har ansetts vara obrukbart. Värmekällor som kan var lämpliga kan vara returvatten från fjärrvärme, spill-/kondensorvärme eller returvatten från radiatorsystem.

Moderna system klarar av att kyla en anläggning med helt andra kylvatten temperaturer än traditionella system. Cirka 10-14 ºC kylvatten räcker i de flesta fall som framledningstemperatur medan kylvattnets returtemperatur kan bli så hög som 22-24ºC.

Det som är viktigt att komma ihåg är att ju högre kylvattentemperatur en kylkompressor producerar desto bättre blir driftsekonomin. Det innebär att denna typ av teknikutveckling försvagar fjärrvärmens och fjärrkylans konkurrenskraft gentemot kylkompressorer.

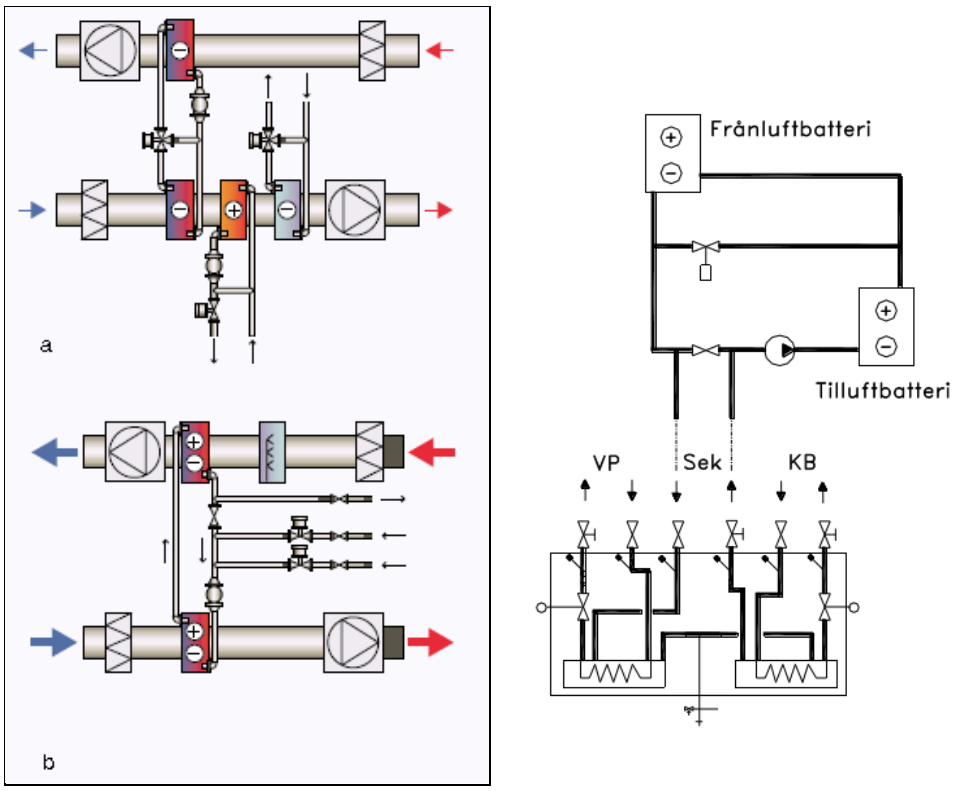
Figur 135 visar en princip skiss av Fläkt Woods återvinningslösning som de kallar Econet. Här har man samlat batterier för att återvinna värme och kyla i en och samma enhet.



Figur 135: Ventilationslösning EcoNet. Källa: Fläkt Woods.

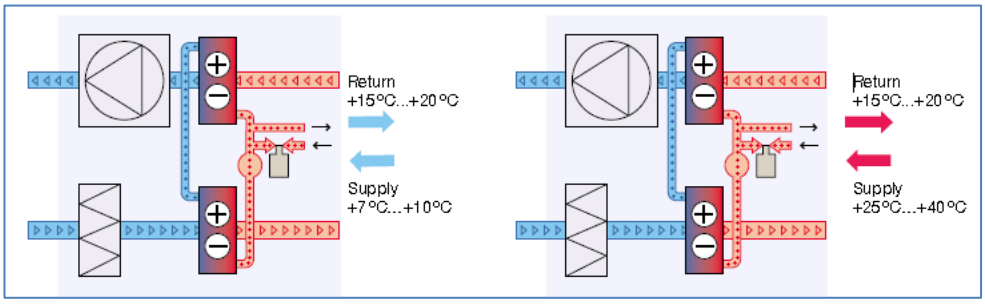
Vi känner den delvis igen som en lösning ”ThermoNet” som lanserades redan för c:a 15 år sedan, dock i EcoNet med intressant påbyggnad. ThermoNet blev ingen kommersiell framgång, men det har EcoNet enligt uppgift blivit, särskilt i anläggningar inom sjukhus. Vi vet inte i vilken omfattning den kan ha kommit till användning för fjärrvärme och fjärrkyla.

ThermoNet utvecklades av ABB Fläkt Oy i Finland under 90-talet. Lösningen byggde på att integrera produktion av kyla samt distributionen av kyla i byggnader, vilket på den tiden inte var vanligt.



Figur 136: Konventionell lösning (a) med separata batterier för värme och kyla samt Thermonet (b). Källa: ABB Fläkt Oy. Till höger: indirekt anslutning av kyla resp värme. Källa: Prema AB.

Den övre figuren (a) i Figur 136 visar på traditionell lösning med separata batterier för värme alternativt kyla i tilluftskanalen. Den nedre figuren (b) visar på ThermoNet lösningen med inkoppling av kallt och varmt vatten. Till höger visas exempel på indirekt anslutning av värme rep kyla till batterierna. Temperaturnivåerna är låga, vilket medger lägre temperatur på matande fjärrvärme. Även reducerade energiförbrukningar åstadkommes. Figur 137 visar på typiska drifttemperaturer under kyl- resp uppvärmningssäsongen:



Figur 137: Typiska drifttemperaturer värme resp kyla med ThermoNet. Källa: ABB Fläkt Oy.

Demonstrationsprojekt inom det tidigare EU-Thermiprogrammet kallat DEMLOCS genomfördes i Helsingfors, Finland, med absortionskylmaskiner som källa för kylalstringen respektive i Herning, Danmark, med ejektorkyla. Utvecklingen skedde under perioden 1995-2000. Efterföljande projekt har identifierats i:

- Sibelius hallen (konsert och kongress anläggning) i Lahtis
- Alto Alvari simhall i Jyväskylä sports center

Fördelarna med Thermonet kan summeras enligt:

A) Fördelar för slutanvändaren:

- Minskade kostnader för el och fjärrvärme
- Lägre energiförbrukning
- Minskad elanvändning (lägre primär energi)
- Möjlighet till ökad avsättning för spillvärme från avfall mm (när fjärrvärme ersätter el)
- Färre komponenter i ventilationssystem, rörledningar, el-och kontrollsystem
- Effektivt ytutnyttjande
- Möjlighet att använda fjärrkyla

B) Fördelar för energiproducent/leverantör:

- Mindre primärenergi (bränsleförbrukningen för elproduktion)
- lägre flöden i fjärrvärmenäten, frigör ledig kapacitet till nya kunder
- Lägre fjärrvärmetemperaturer primärt, ger minskade värmeförluster
- Reducerade toppbelastningar i produktionen till följd av förbättrade systemegenskaper och mekaniska förbättringar
- Om flaskhalsar i fjärrvärmenät byggs bort så minskar investeringsbehovet
- Förbättrad konkurrenskraft för fjärrvärme

C) Samhälls- och miljönytta:

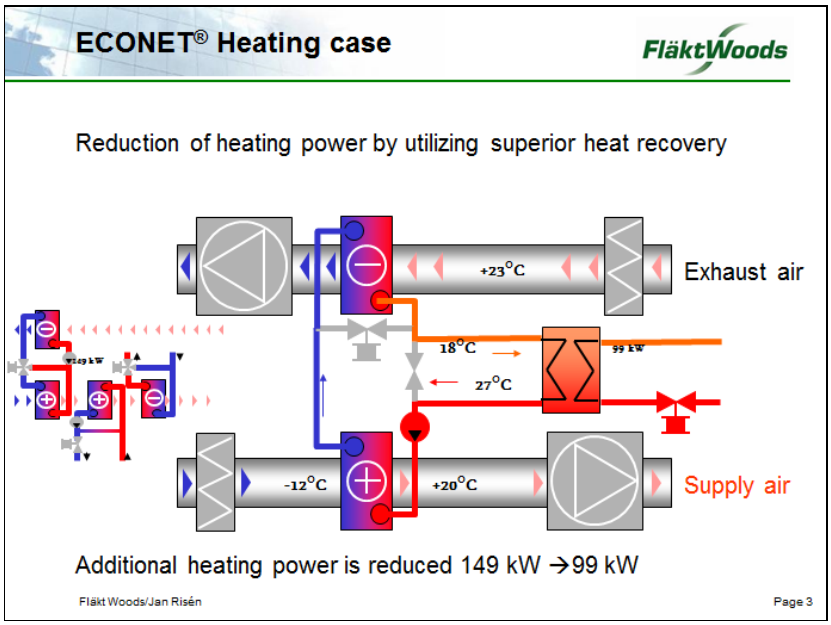
- Effektivare global energiförsörjning
- Utsläppsminskningar
- Ökad möjlighet att utnyttja spillvärme och andra förnybara energikällor
- Minskad användning av köldmedier

ThermoNet som varumärke för denna lågtemperaturlösning upphörde 2002. Den marknadsförs som redan nämnts numera som EcoNet av FläktWoods.

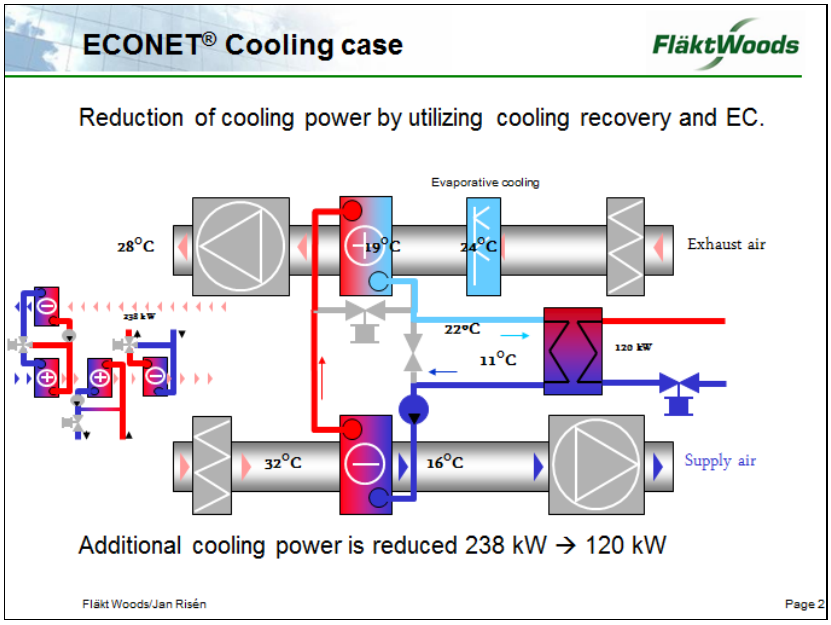
Den grundläggande idén är att man tillför värme eller kyla till ett tilluftssystem inte direkt i ett värme/kylbatteri utan via en vätskekrets som överför värme mellan tilluft och återluft i syfte att återvinna kyla eller värme. I konventionella lösningar (som i Figur 138 och Figur 139 antyds med ett litet kopplingsschema) möter luften först återvinningsaggretat, sedan ett värmebatteri (i funktion på vintern) och sedan ett kylbatteri (på sommaren). Dessa båda batterier slopar man alltså med ThermoNet/EcoNet.

Pricinpen att värmeåtervinna med en vätskekrets i stället för en roterande värmeväxlare (utan påkopplad värme- eller kyltillförsel utifrån) är välkänd. Den är bättre ur hygienisk synpunkt då man undvikar att ett litet, oundvikligt flöde läcker över till tilluften från frånluften. Hygienproblematiken har man med värmedriven, sorptiv kylning enligt Pennington-cykeln, den vanliga typen av sorptiv kylning där man har både direkt och indirekt evaporativ kylning. Detta ger EcoNet en fördel inom sjukhussektorn. Enligt FläktWoods säljs många EcoNet-installationer till bl.a. sjukhus. Huruvida dessa är med tillämpning fjärrvärme/fjärrkyla är inte verifierat.

Hygienproblemen med den rena Penningtoncykeln är något som vi tagit fasta på att undvika med den innovativa sporptiva hybriden. Driftfallen med EcoNet vid värme- respektive kyldrift framgår av Figur 138 och Figur 139.



Figur 138: EcoNet vid fallet värmedrift. Källa: Fläkt Woods.



Figur 139: EcoNet vid fallet kyldrift. Källa: Fläkt Woods.

Det nya med EcoNet jämfört med ThermoNet är att man i sommarfallet bygger på med dysor för att tillföra vatten i återluftkanalen, dvs man utnyttjar evaporativ kylning då förångningen medför att lufttemperaturen sjunker. Kyltillskottet som är ”gratis” tillgodogörs med kylåtervinnigen, dvs. mer kyla kan tas ut ur tilluften utan att den tillförda kylan, från t.ex. ett fjärrkylenät, ökar.

Vid utnyttjande av EcoNet för fjärrvärme och fjärrkyla har man en nackdel jämfört med konventionella lösningar med värme- och kylbatterier, att returtemperaturen blir högre i värmefallet och lägre i kylfallet.

7.1.3 Vattenbaserade värme- och kylsystem

Skanska har på senare tid infört ett system för självreglerande kyla. Här används en större värmeöverförande flänsyta i kylbafflarna och därmed elimineras behovet av rumsstyrning med bibehållet inneklimat. Ju större ytorna är som avger kylan desto mindre temperaturskillnad behövs mellan den varma inneluften och den kylande ytan i kylbaffeln. Med ett traditionellt system är köldbärartemperaturen kring 15°C och varje kylbaffel kräver en motoriserad styrventil som stänger när rummet blivit tillräckligt nerkylt. Självreglerande kyla innebär en köldbärartemperatur på omkring 20°C. På så sätt kan rummet aldrig bli för kallt och styrsystem med givare och tillhörande matningsnät kan helt utgå. Dessutom kan kylvatten tas direkt ur till exempel borrhål utan hjälp av kylmaskin/värmepump.

En del av de identifierade distributionslösningarna innebär rätt stora ingrepp eller ombyggnationer. Det finns exempel på lösningar som i stort sett är en integrerad del av byggnaden. Lösningarna går då steget längre än att bara omfatta en installation. Investeringen går vanligen oftast endast att motivera om den görs i samband med nybyggnation. En alternativ investering i en del av byggnadsstommen eller ytskiktet kan då undvikas.

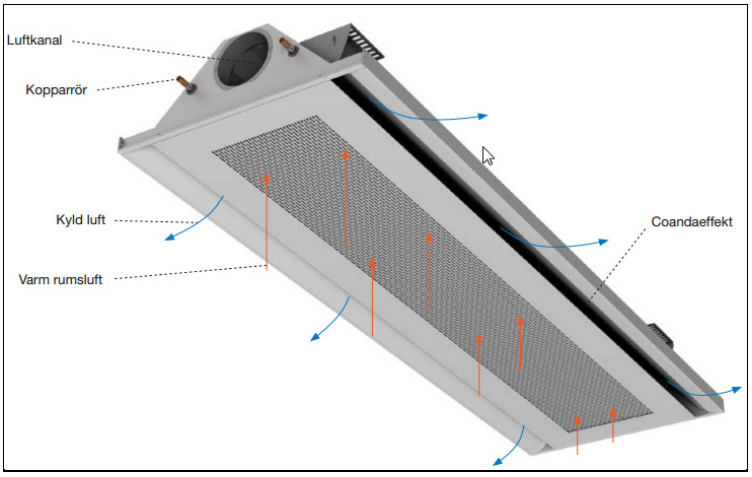
Det kan även finnas en ytterligare möjlighet om fastigheten står inför en omfattande ombyggnad, där del av byggnadens ytskikt ändå skall ersättas. Dvs än en gång installationen av distributionslösningen ersätter en alternativ investering.

Tillämpningen för de lösningar som här identifierats blir därför begränsat. Men naturligtvis inte ointressant. Dock så är den högsta prioriteten lösningar tillämpbara i befintlig byggnadsstocken. Nybyggnation eller fastigheter med omfattande ombyggnad är trots allt begränsat jämfört med den övriga marknaden.

7.1.4 Fläktkonvektorer, bafflar och fläktradiatorer

Vi har tidigare berört möjligheten att utnyttja samma värmeöverföring för värme och kyla med ett ventilationssystem. Man kan även diskutera tillämpning av principen på värmeöverföringsytor placerade i de kylda utrymmena i vattenburna kylsystem.

Under 2013 lanserade Lindab kylbaffeln, Solo, av induktiv typ, Figur 140. Baffeln kan användas för både värme och kyla och är projekterat för liten temperaturdifferens mellan rumsluften och kyl/värmevattnet, se Tabell 3.



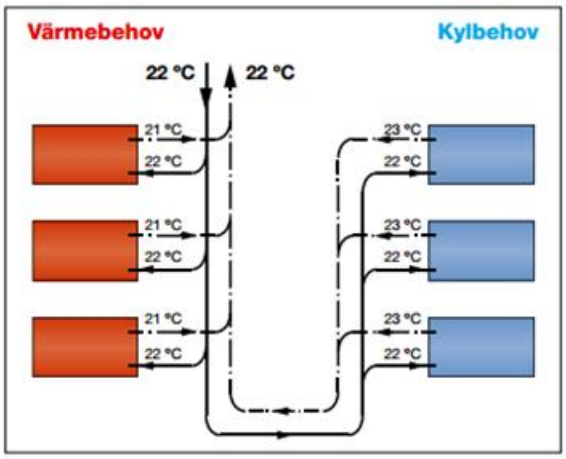
Figur 140: Induktiv kylbaffel Solo. Källa: Lindab.

	Sommar	Vinter
Rumstemp:	25 °C	21 °C
Vattentemp:	20-23 °C	23-22 °C
Vattenmedeltemp:	21,5 °C	22,5 °C
Temperaturdiff:	3,5 K	2 K
Inkommande lufttemp:	20 °C	23 °C

Tabell 3: Dimensionerande temperaturer för baffeln Solo: Källa Lindab.

Baffeln ingår även i ett värme/kyla koncept kallat för Solo-system. Systemet baseras på konstantflödesprincipen för både ventilationsluften och det cirkulerande vattnet. Ingen reglerutrustning används utöver statiska injusteringsventiler och central reglering av inkommande vattentemperaturen som varierar mellan 20-23°C mellan sommar respektive vintersäsongen. Lindab kallar konceptet för högtemperaturkyla och lågtemperaturvärme.

En extra finess med konceptet är att kyl/värmeytans medeltemperatur skiljer sig mycket litet från rumsluftens temperatur. Därför ska Solo-systemet kunna utjämna effektbehovet då samtidig värme- och kylbehov uppstår i en fastighet under vår och höst, seFigur 141. Detta förutsatt att man accepterar att rumstemperaturen blir lägre i rummen med värmebehov, 20°C, jämfört med rummen som har kylbehov, 24°C. I exemplet i Figur 141 ser vi ett idealfall där ingen extra värme/kyla behövs eftersom värmebehovet i den kalla delen av huset tillgodoses med värmeöverskottet från husets varma del.



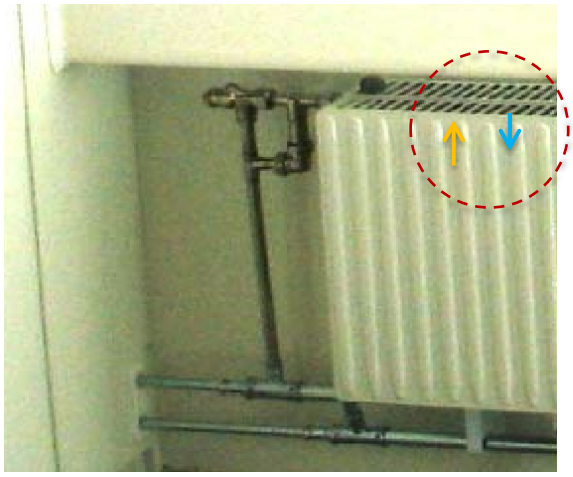
Figur 141: Utjämningseffekt vid 50% kyllast och 50% värmelast i Solo-systemet (vår/höst).

Tack vare hög framledningstemperatur är lösningen mycket lämpligt för frikyla/värmepumpar och för att ge hög returtemperatur i fjärrkylesystem. Både fläktkonvektorer och kylbafflar kan användas.

Mindre vanligt är att utnyttja radiatorer för kylning på sommaren. Det används i en kontorsfastighet som finns i Stenungsund och som ägs av Akzo Nobel AB. Principen har studerats teoretiskt och experimentellt av LTH i ett Fjärrsynprojekt (1), Svensk Fjärrvärme. Genom att förse radiatorerna med fläktar som ersätter naturlig konvektion med påtvingad konvektion kan man öka värmeövergången. Idén har av Samson AB exempelvis testats i en fastighet i Hamburg, vid Haferweg 38, som utgör Samsons kontor och lager, se *Figur 142*. Där har hela fastigheten fjärrvärme men bara bottenvåningen har fått fjärrkyla.



Figur 142: Exempel på radiatorinstallation för kombination värme/kyla från Hamburg. Källa: Samson.



Figur 143: Radiator för värme och kyla försedd med kombikoppel. Källa: Ref. (1)

Figur 143 visar en radiator försedd med koppel för alternativ värme eller kylförsörjning. Kopplet förbikopplar termostatventilen vid kyldrift då kylvattnet pumpas i omvänd riktning genom radiatorn. Det är även tänkbart att kombinera radiatorer för kyla med användning av fläktkonvektorer, *Figur 144*, som är försedda med möjlighet att leda bort kondensat. Detta möjliggör en sänkning av inomhusluftens fukthalt vilket i sin tur skulle kunna medge att man sänker den lägsta yttemperaturen på de radiatorer som finns i samma rum, med mindre recirkulerat vattenflöde och därmed högre ΔT, vilket i sin tur kommer att möjliggöra högre ΔT på fjärrkylesidan.



Figur 144: Fläktradiator för värme och kyla. Kondensattråg med avrinning finns som standardtillbehör. Källa: Eveco.

7.1.5 Golvvärme och golvkyla

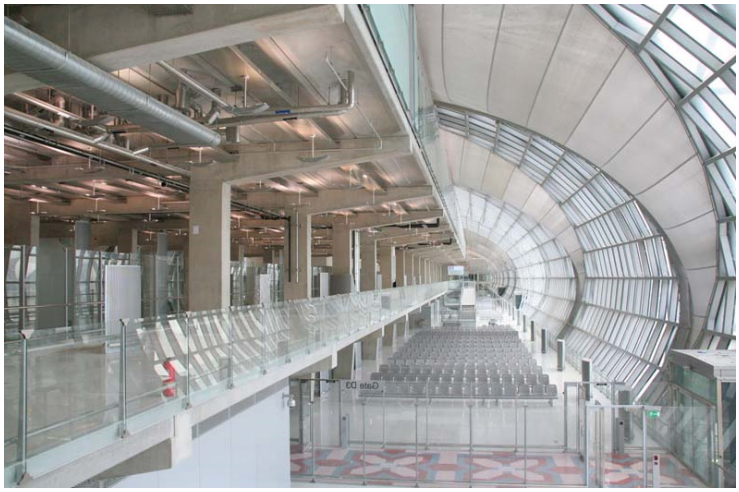
Ytterligare en möjlighet är att använda golvvärmesystem för kylning på sommaren. Även detta berörs i den tidigare nämnda LTH-rapporten (1), där det visas en amerikansk tillämpning. Världens troligen största system med golvkyla

finns i Bangkoks flygplats Suvarnabhumi Airport där det togs i drift 2006 och används för baskyla, se *Figur 145* och *Figur 146*.

I Bangkok hindrar golvkylan att volymen i golven inte blir ett värmelager. Tack vare att golvkylan ligger som baskyla kan man tillföra en mindre volym kall ventilationsluft.



Figur 145: Kylgolv under installation vid Bankoks flygterminalhall.

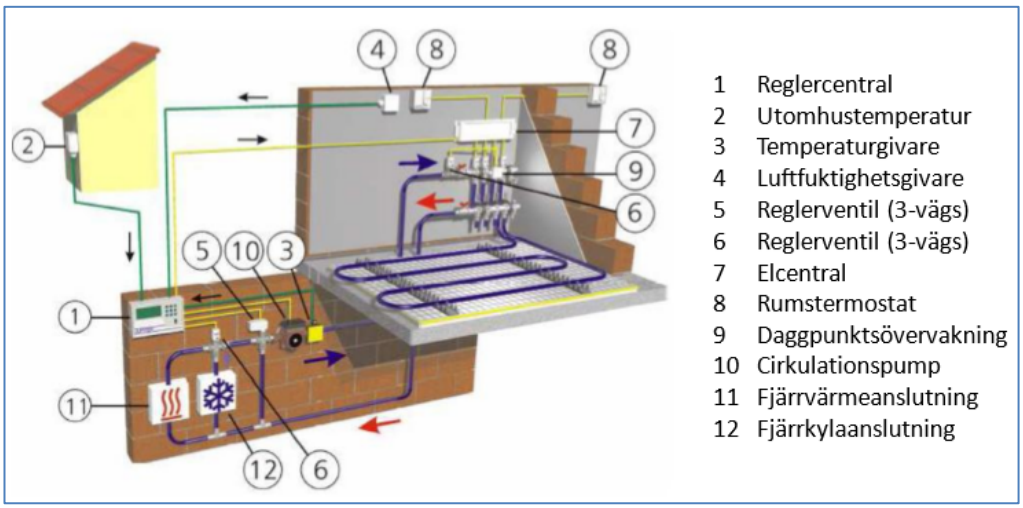


Figur 146: Bangkoks flygplats terminal efter installation.

Systemet har installerats av JEC Thailand och försörjer en yta på 381 000 m². Golvsystemet består av 600 km polyeten korslänkade rör. I terminalen håller man 24°C med 60 % luftfuktighet.

Konventionella lösningar med luftkonditioneringssystem bygger på att ventilationsluft med en temperatur på 12-15°C inblåses. När detta sker i lokaler med mycket stora byggnadsvolymer och framförallt högt till tak krävs mycket

stora luftvolymer. System enligt *Figur 147* är väl lämpat för kontorsmiljö där det är lågt till tak. Med innovativ golvkyla kan man istället kombinera med deplacerande ventilation, i vilken den varmluften trycks upp genom att kall ventilationsluft tillförs på ca 2-3 meters höjd. AC-zonen behöver då endast vara ca 2,5 m över golvet. Stora luftzoner under tak, som inte utgör vistelsezoner behöver inte kylas.



Figur 147: Installationsexempel med kombinerad golvvärme och golvkyla. Källa: Jupiter, "Control Heating and Cooling".

Idén har provats i en bostadsfastighet i Västra hamnen i Malmö, med dåligt resultat (uppgift av Per Rosén, E.ON Värme). Bl.a. upplevde några av de boende det som väldigt kallt om fötterna. Huvudskälet till dålig komfort var skiktbildning (kall luft är tyngre än varm luft) i lägenheterna vilket ledde till låg temperatur vid golvytan. De boende behövde ha tofflor på under sommaren samtidigt som skiktbildningen ledde till höga temperaturer vid huvudhöjd, vilket upplevs som obehagligt. Dessutom fanns skilda uppfattningar mellan de boende kring exakt när fjärrkylan alternativt fjärrvärmen skulle skiftas på våren och på hösten mot golvslingorna, vilket också ledde till svåra konflikter. Detta måste lösas om man planerar ett gemensamt vattenburet golvsystem för värme och kyla i en fastighet. Troligen skulle acceptansen vara större i kommersiella fastigheter där personer i allmänhet inte färdas barfota. Å andra sidan är det i Sverige inte vanligt med golvvärme i kommersiella fastigheter, varför golvkyla inte omedelbart framstår som särskilt intressant ur svensk synpunkt. Vill man använda golvkyla i fastigheter med ventilationssystem, bör den kopplas i serie (och nedströms) kylbatteriet, för att öka ΔT, och därmed med liten skillnad mellan rums- och golvtemperatur.

7.1.6 Väggkyla

En annan möjlighet är att använda (rätt ovanlig än så länge) väggkyla för kyla på sommaren. I Energi & Miljö, (57) redovisades en notis, vattenkylning på japanskt vis:

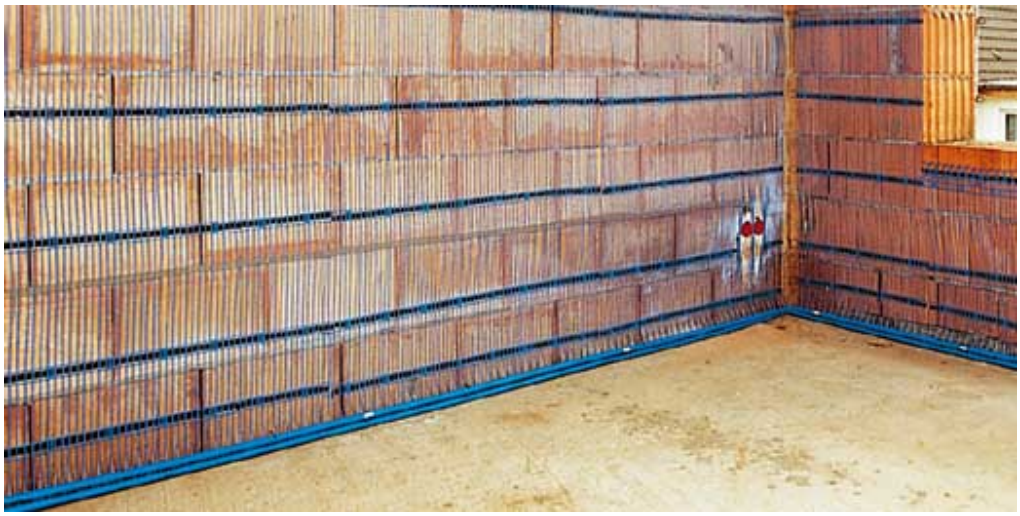
> *Japans elförsörjning är mycket beroende av import av bränslen för elproduktion. Efter kärnkrafthaveriet i Fukushima är åtgärder för att*

reducera elanvändning ett högprioriterat område. Den höga användningen av AC i Japan medför att toppbelastningar på elsystemet är under den varmaste perioden. Att kyla utan att belasta elnätet är därför högintressant i Japan. En ny metod presenterades på Clima 2013 (NOTE): Källvattenkyla med kylvägg. Tekniken går ut på att kyla genom att kunna utnyttja grundvatten från egen brunn.

NOTE: CLIMA 2013 är en internationell konferens kring "Indoor Air Quality" och gick av stapeln i Prag, Tjeckien i juni 16-19, 2013.

Grundvattentemperaturen är vanligen ca 18-19 °C på sommaren, vilket är tillräckligt för att kunna kyla. Man måste dock undvika att få kondens på kylpaneler. Man har provat att förkyla tilluften. Luften tas in genom en värmeväxlare i form av en fan-coil där grundvattnet kyler ned den. Sedan släpps luften in i rummet. Temperaturen på vattnet från värmeväxlaren ökar med cirka 2°C, och leds därefter vidare till en kylvägg, dvs vatten strömmar längs med en vägg med rörledningar där vattnet cirkuleras. Genom strålning från väggen kyls rummet ytterligare. Enligt uppgift minskar elanvändningen med nästan 80 % jämfört med en konventionell kylmaskin.

Ett möjligt utförande för en kyl- eller värmevägg visas i *Figur 148*.



Figur 148: Väggkyla (eller väggvärme) med kapillärrör. Källa: BEKA (http://www.beka-klima.de).

7.1.7 Takkyla och takvärme

Kapillärrörsmattor för distribution av värme och kyla kan spännas i taket, *Figur 149*. Lämpar sig bäst i stora lokaler och helst utan störande inslag av installationer och utrustning, ventilation, belysning och sprinkler.

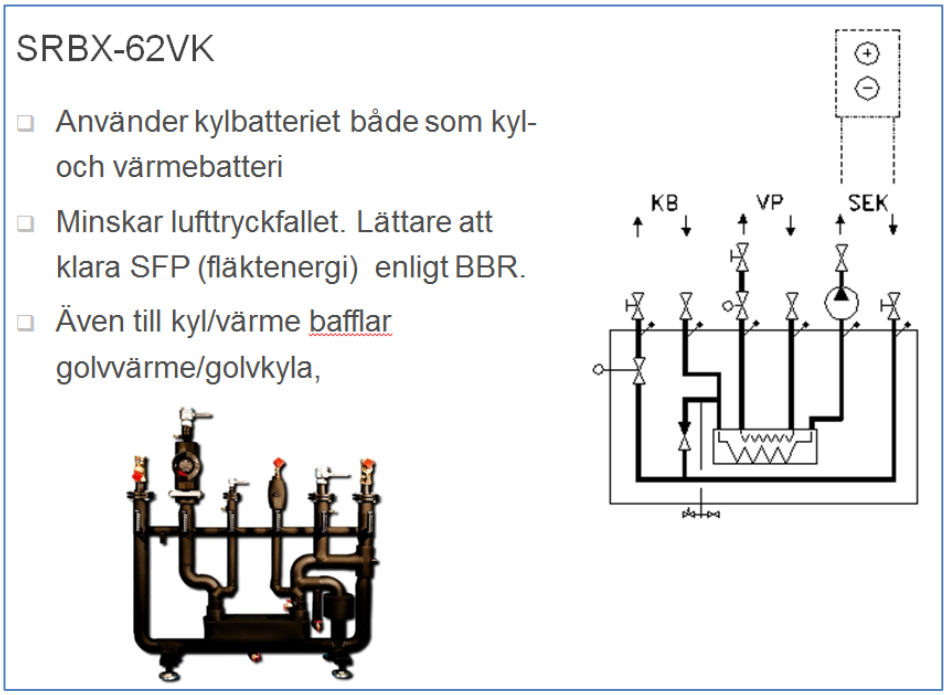


Figur 149: Installation av kappilörrörsmatta för vattenburet kyla/värme i tak. Källa: BEKA (http://www.beka-klima.de/en/cooling-ceiling.html).

7.1.8 Shuntgrupper för omkoppling värme – kyla

Driftförutsättningarna för att mata konvektorer, bafflar och batterier med varmt respektive kallt vatten i olika driftsituationer medför i princip omvända flödesförhållanden/driftförhållanden. Termostater på radiatorer och konvektorer har till uppgift att när en för hög temperatur registreras strypa flödet. Om systemet i stället matas med kallt vatten för att kyla så kommer termostatventilen att motverka detta genom att strypa flödet när det blir för varmt i rummet. Termostatventilen behöver således förbikopplas.

Vidare krävs det omkoppling för att skifta mellan leverans från fjärrkylenät och fjärrvärmenät i fjärrkylecentralen. Några företag som levererar utrustning för omkoppling som möjliggör principen för dubbelt utnyttjande är Prema AB, Shuntab Sverige AB och TTM Energiprodukter AB. *Figur 150* visar ett exempel av shuntgrupp med värmeväxlare från Prema. Fördelen med en sådan shuntgrupp är hydraulisk separering av kretsar vilket möjliggör olika tryckklasser och olika strömmande medier i de olika kretsarna och förhindrar oavsiktlig sammankoppling. Jämför tidigare visad indirekt anslutning av EcoNet, Figur 135.



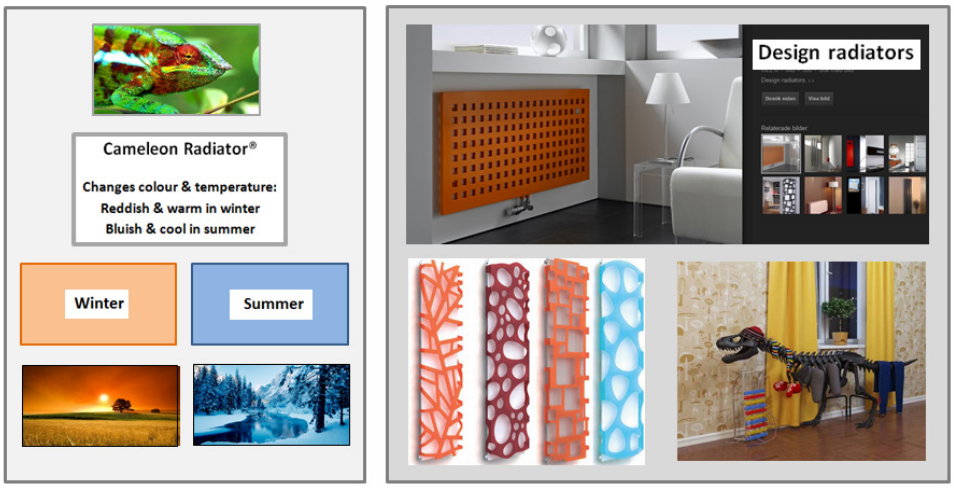
Figur 150: Shuntgrupp för kombinerad värme och kyla. Källa: Prema.

7.1.9 Styra och avgränsa behov

Möjligheter att avgränsa var i byggnaden man har ett kylbehov är en viktig fråga som diskuterats med fler i projektets intressentgrupp. Framförallt när man har ett stort behov sommartid är det värdefullt att kunna avgränsa behovet av avkylning och luftkonditionering.

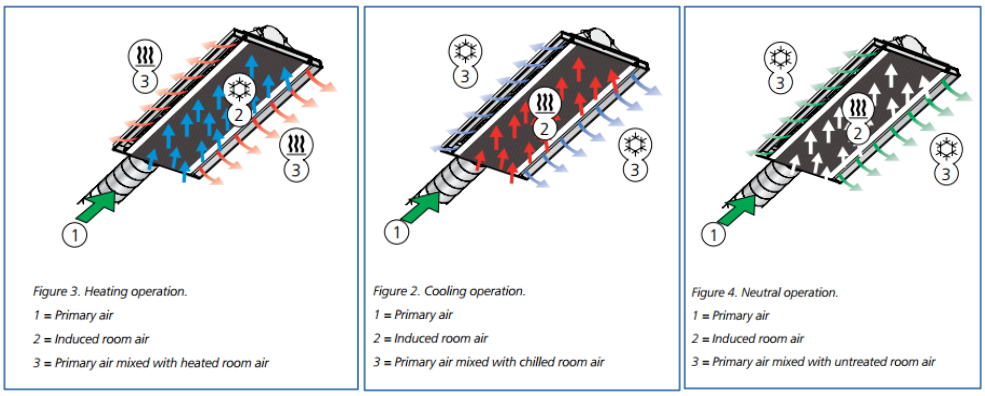
7.2 KAMELEONTRADIATORER

I forskningsrapporten ”Kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla” (1) visade vi en idé som går ut på att radiatorer som används för kylning på sommaren, och för värmning på vintern, jämte andra typer av element som omväxlande används för värmning och kylning vinter/sommar, skulle kunna växla färg. Vi kallar det ”Kameleontradiatorer”, se Figur 151 till vänster.



Figur 151: Till vänster: Kameleontradiator, med enformig, årstidsväxlande färg på hela ytan eller med omväxlande bilder. Till höger: Exempel på ”design radiators”. Källa: Google Images.

Bilderna till höger i *Figur 151* är exempel på ”design radiators” som finns i en mängd olika stilar - det diskret smakfulla, det konstnärligt vilda, det smaklöst-”häftiga” (skelett o.d.), etc. De radiatorer som många annars föredrar syns så lite som möjligt, lyfts i stället fram som avancerade designprodukter för vilka en del är beredda att betala ganska mycket, precis som för annat som bidrar till att lyfte kvalitén på huset och dess inredning. Motsvarande gäller även en del ägare av lokaler, särskilt kontorsbyggnader (som kan vara anslutna till fjärrvärme och fjärrkyla)m där ägaren är mån om att de fysiska förutsättningarna för arbetet ska vara så bra som möjligt.



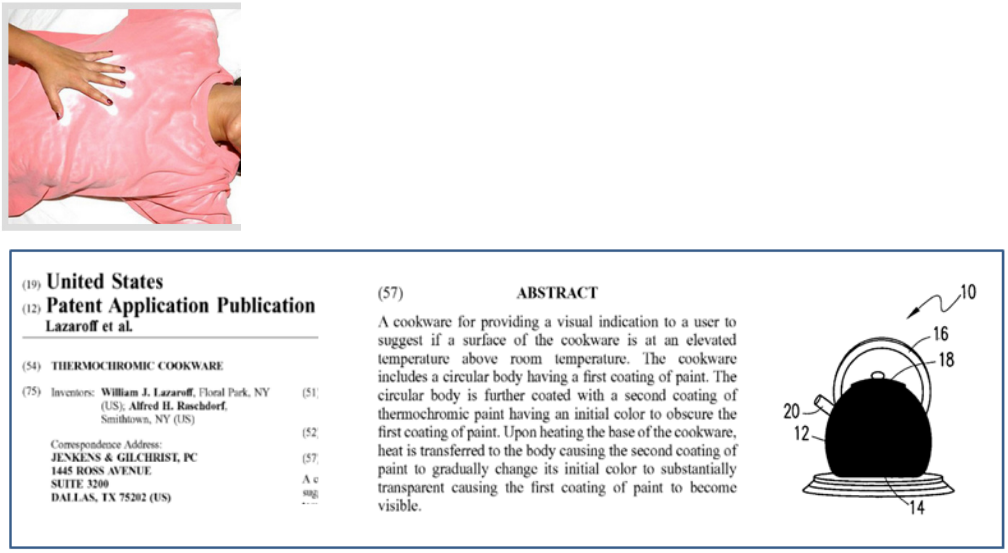
Figur 152: Takbafflarav typ ”Pacific” som kan fungera valfritt för värmning, kylning eller ventilation enbart. Källa: Swegon.

Att använda radiatorer för kylning är ovanligt, men möjligt och intressant, inte minst i byggnader som ska kunna både kylas och värmes, men som inte har någon ventilation. Kylbafflar som kan byta funkion mellan sommar och vinter är inte ovanliga, se *Figur 152*.

Det är svårt att veta med säkerhet, men antagligen kommer det för många att upplevas positivt om man har rätt temperatur både vinter och sommar, och det

som åstadkommer detta har en varm färg på vintern och en kall på sommaren. Kanske kan en blå yta, som man känner ger kyla, hjälpa till att stå ut med en tillfällig topp i inomhustemperaturen på sommaren? Ett välkänt exempel på att man spelar på psykologin är en artificiell brasa med lågor som skapas med ett datorprogram.

Det har på senare år skett en betydande utveckling inom s k termokroma material, även om många av tillämpningarna än så länge är åt det kuriösa hållet som t.ex. tröjan till vänster och tekannans ”mössa” till höger i *Figur 153*. Det finns ett flertal tekniker för att åstadkomma att en ytas färg skifter med temperaturen, bl.a. termokroma målarfärger.



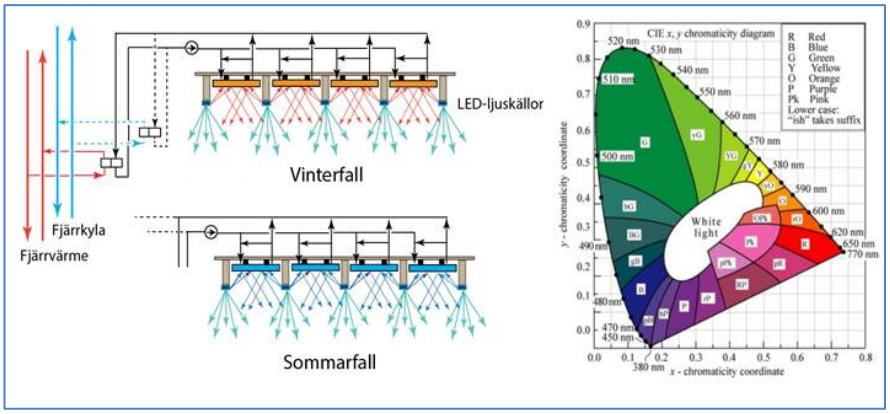
Figur 153: Två exempel på användning av termokroma textilier. Källa: Google Images och Espacenet.



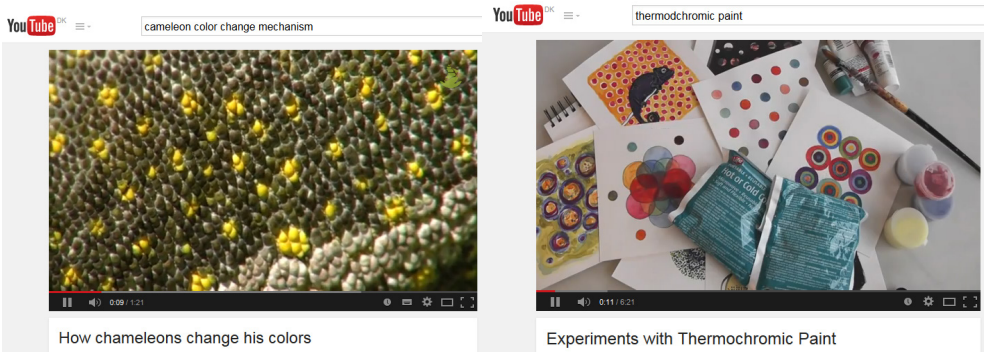
Figur 154: Vänster: Termokroma tegelsten som på vinterne har en mörk, värmeabsorberande färg och på sommaren en ljus, värmereflekterande färg. Höger: Tapet som har ett mönster som dyker upp och försvinnar i takt med temperaturförändringar. Källa: Google Images.

Konstnären som tagit fram tapeten till höger i *Figur 154* frågar retoriskt på sin hemsida: Varför inte låta även radiatorn ändra färg? Ett problem med termokron målarfärg kan vara osäkehet kring dess livslängd.

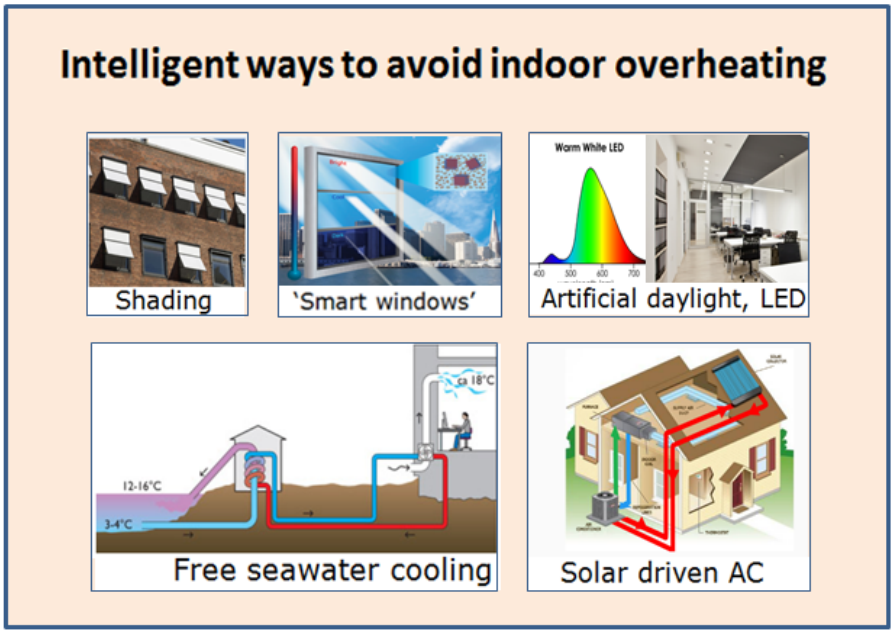
Figur 155. visar en variant av kameleontprincipen tillämpad på takelement som kan växla färg. Med modern LED-teknik kan man i dag styra färgsättning med ljus inom vida ramar med en kostnad som inte behöver vara hög. Exempel på termokroma färger visas i *Figur 156*.



Figur 155: Kameleontprincipen tillämpad på takelement som kan växla färg. Källa höger bild: Gage et al. 1997.

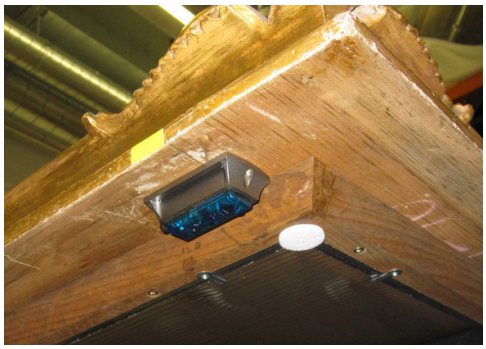


Figur 156: Exempel på termokroma färger. Urval av film på YOUTUBE.



Figur 157: Olika intelligenta sätt att undvika för höga temperaturer inomhus på sommaren.

Figur 157 är en bild ett energiföretag eller t.ex. Svensk Fjärrvärme skulle kunna visa tillsammans med tidigare visade *Figur 151*. Det demonstrerar att högt ställda anspråk på den inre miljön i vid mening (termiskt, belysningsmässigt mm) inte behöver stå i något motsatsförhållande till resurshushållning och värnande om den yttre miljön, och att man är öppen för teknisk utveckling på många fronter. Fjärrvärme och fjärrkyla framstår som en naturlig kombination.



Figur 158: Datalogger på tavelram för individuell övervakning av den termiska miljön som tavlan utsätts för. Källa: Data Loggers MSR

Museer har strikta krav till både temperatur och luftfuktighet ska hållas inom snäva band. Ibland övervakar man den termiska miljon individuellt för enskilda föremål, t.ex. med en mikrodatalogger som fästs på baksidan av en tavla, för att kunna registrera alla tillstånd den utsätts för, upphängd, under transport eller magasinerad.

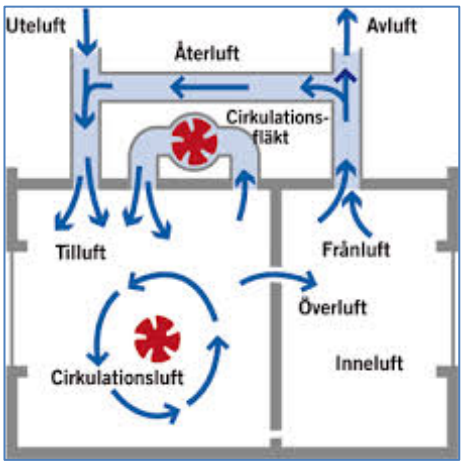
8 Återcirkulation av frånluft

8.1 RESURSHUSHÅLLNING MED ÅTERCIRKULATION

Med utgångspunkt från resurshushållning kan det vara viktigt att återigen titta på lösningar som existerat, men av någon anledning lagts åt sidan. Det i Sverige finns anledning att ompröva inställningen till är inblandning av återluft i tilluften, som är en omdiskuterad teknik för värmeåtervinning. Vissa har velat totalförbjuda återluft, medan andra tycker det är utmärkt att använda redan uppvärmd luft igen. Denna typ av lösning kan även vara intressant för att återvinna kyla från frånluften. Innovationshöjden för användning av återluft är naturligtvis inte lika hög som för den sorptiva hybriden. Men vi anser att nyttan med ett effektivt nyttjande av returluft har en så pass stor och ofta bortglömt värde att vi vill lyfta fram denna lösning. Med modern styr och reglerteknik anser via att luftkvaliten kan säkerställas på ett betryggande sätt.

Återluft betyder att tilluften (den luft som tillförs lokalen) är en mix mellan uteluft och frånluft (den luft som bortförs från lokalen). Vanligtvis styrs andelen uteluft efter en CO_2–nivå. Genom att använda återluft återvinns inte enbart luftens värmeinnehåll utan även luftens fuktinnehåll i den del luft som återförs. Kylbehovets effektbehov beror förutom på temperaturen även på luftens fuktinnehåll och ökar med ökande lufttemperatur och luftfuktighet.

Behovet är speciellt intressant under mer extrema driftsfall där komfortkraven skapar kapacitetsbrist. Vid sådana falla skulle det med återcirkulation vara möjligt att kunna hålla ner den installerade effekten (och därmed också investeringsnivåerna) och kanske undvika behov av att komplettera det luftburna kylsystemet. *Figur 159* visar en principbild över olika typer av luftflöden i en byggnad.



Figur 159: Principbild redovisande olika typer av luftflöden. Källa: Arbetsmiljöverket (58).

Metodik idag gör det möjligt att återcirkulera frånluft. Dagens byggnader (exklusive bostäder) behöver inte hantera problem med cigarettrök och ofta är

köksfläktar etcetera separerade från huvudventilationssystemet. Det finns även filtertekniker som kan neutralisera eventuella oönskade lukter.

8.2 HYGIENKRAV OCH ARBETSMILJÖKRAV

Ventilationens uppgift är att upprätthålla en god luftkvalité inomhus genom att effektivt ta bort föroreningar från byggnaden. Alstrandet av föroreningar i en byggnad kan delas upp i två delar, en del kopplad till människor och en del kopplad det som finns inne i byggnaden (inredning, byggnadsmaterial m.m.). Luftkvaliteten i en byggnad beror på hur frisk luften är som kommer in lokalerna, hur effektiv ventilationen är och vilka föroreningar som avges till inomhusluften.

Att använda behovsanpassad ventilation betyder att luftflödet anpassas till det verkliga behovet i en byggnad. Typiska ventilationssystem har konstant flöde oberoende av behovet av luftflöde. Vanligtvis varierar behovet av luftflöde över tiden och ventilationsflödet kan då matchas mot behovet. Exempel på lokaler med varierande behov av ventilationsflöde är kontor och butikslokaler där antalet människor i lokalerna varierar kraftigt över dagen. Genom att styra ventilationen så att ventilationsflödet regleras mot luftkvalitén i ett utrymme, det vill säga luftflödet varierar beroende av föroreningshalt eller föroreningslasten, sparas energi utan att luftkvalitén i utrymmet försämras.

Användandet av återluft måste ske på ett sådant sätt att en god kvalité på inomhusluften kan säkerhetsställas. Det finns lagar och krav som fastställer att en god inomhusmiljö ska upprätthållas, det vill säga att föroreningshalter i luften ej får överstiga vissa gränsvärden. Föroreningar som uppkommer internt i byggnaden, till exempel föroreningar alstrade från människor, byggnadsmaterial, möbler m.m., måste kompenseras för vilket vanligtvis görs genom uteluftintaget. Vanligtvis styrs andelen uteluft efter en CO_2-nivå. CO_2-styrning tar dock inte hänsyn till lukter och föroreningar som uppkommer i internt i byggnaden eller till föroreningar som tillförs från uteluften. Det finns alltså ett behov att vidare undersöka om CO_2-halten korrelerar mot de föroreningskällor som finns på ett kontor eller butikslokal för att bestämma vilken typ av givare som behövs.

8.3 LAGAR OCH REGLER ANGÅENDE VENTILATION OCH LUFTKVALITÉ

De lagar och föreskrifter i Sverige som reglerar krav på ventilation och luftkvalitet sammanfattas kort nedan:

Arbetsmiljölagen (1977:1160), AML, som bland annat skall förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet. Arbetsgivaren ansvarar för att personalen inte tar skada av exempelvis inomhusmiljön. I AFS 2009:2. Arbetsplatsens utformning, ingår bland annat detaljerade föreskrifter och allmänna råd om luftkvalitet och ventilation i arbetslokaler och personalutrymmen samt om underhåll och funktionskontroll av ventilationssystem. Det handlar om kontroll av till exempel uteluft och uteluftsintag, renhet på tilluft och drag, frånluft och återluft.

I Plan- och bygglagen (2010:900), PBL, föreskrivs att byggnader skall uppvisa tekniska egenskaper som är väsentliga i fråga om bland annat skydd med hänsyn till hygien, hälsa och miljö samt energihushållning och värmeisolering. Av PBL

framgår att syftet med funktionskontroll av ventilationssystem är att säkerställa ett tillfredsställande inomhusklimat i byggnader.

I PBF, plan och byggförordningen (2011:338) stipuleras krav att återkommande besiktningar skall säkerställa att ventilationssystemets funktion och egenskaper i huvudsak överensstämmer med de föreskrifter som gällde när systemet togs i bruk samt att det ska undersökas vilka åtgärder som kan vidtas för att förbättra energihushållningen i ventilationssystemet utan att det medför ett försämrat inomhusklimat. Detta benämns obligatorisk ventilations kontroll, OVK. Kravet på OVK har varit formulerat under många år i Boverkets byggregler, BBR, men sedan maj 2011 behandlas OVK i PBL och i PBF.

I BBR, kap 6, anges att ventilationssystem ska utformas så att erforderligt uteluftsflöde kan tillföras byggnaden. De ska också kunna föra bort hälsofarliga ämnen, fukt, besvärande lukt, utsöndringsprodukter från personer och byggmaterial samt föroreningar från verksamheter i byggnaden. Ventilationssystem ska utformas för ett lägsta uteluftsflöde motsvarande 0,35 l/s per m2 golvarea. Återluft till rum ska ha så god luftkvalitet att negativa hälsoeffekter undviks och besvärande lukt inte sprids.

8.4 MINSKNING AV EXPONERINGEN MOT MARKNÄRA OZON

I USA har man börjat utfärda riktlinjer om att begränsa tillförseln av uteluft om det är höga halter av marknära ozon och av små partiklar. SMHI har planer om att föra in ozon i varningssystemet för värmeböljor.

Några frågor som skulle behöva utredas mer för att verkligen kunna utvärdera möjligheterna för återcirkulation i Sverige är följande:

- Finns det formella regler/praxis i Sverige på motsvarande sätt som i USA? Har Sverige börjat ta ställning till ozon och partiklar inomhus som resultat av höga halter utomhus?
- Med aktivt kolfilter kan man reducera tillförd koncentration av ozon. Fungerar denna teknik, är den kostnadsmässigt acceptabel som standardlösning?
- Hur ser det ut med motsvarande frågor för de mycket fina partiklarna?

Förmodligen är problemet med marknära ozon större i USA än i Sverige, men återcirkulation är ett relativt enkelt sätt att spara resurser i det befintliga fastighetsbeståndet. Både kapacitet och energi kan sparas med bibehållen komfort.

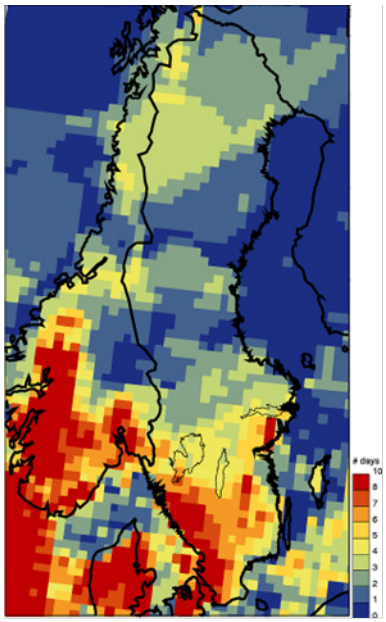
Ozon finns både nära marken och i de högre luftlagren (stratosfären). Beroende på var ozonet finns har det helt olika påverkan på miljön.

Källa: Marknära ozon bildas genom kemiska reaktioner mellan kväveoxider och kolväten under inverkan av solljus. Ozonhalterna är högre under vår och sommar samt på eftermiddagar då reaktionen påskyndas av höga temperaturer. Genom utsläppen av kvävedioxid är trafiken en källa till bildningen av marknära ozon men import av smutsiga luftmassor från angränsande regioner spelar också stor roll. Effekter: Höga zonhalter påverkar luftvägarna och kan förvärra astmabesvär. Särskilt barn och äldre är känsliga. Höga ozonhalter ökar antal sjukhusinläggningar och ger ökad dödlighet. Ozon påskyndar växternas åldrande

vilket ger mindre skördar. Ozon bryter också ner material som papper, plast, gummi och textilier.

Åtgärd: Då höga halter av marknära ozon till stor del beror på import av luftföroreningar måste stora minskningar av kväveoxid- och kolväteutsläpp ske i hela Europa. Dessutom måste trafiken minska då den bidrar till ozonbildningen.

Figur 160 visar en karta över Sverige med redovisning av en beräkning av ozonhalten redoviss. För spridningsberäkningen har SMHIs spridningsmodell använts. Högsta ozonhalten uppträder i syd och väst Sverige. Som regel är halterna högst under perioden april till juli.



Figuren visar det antal dagar då halterna av marknära ozon överskrider EUs gränsvärde som ska gälla från år 2020. Beräkningarna gäller år 2008 och är gjorda med SMHIs spridningsmodell MATCH kombinerat med observationer.

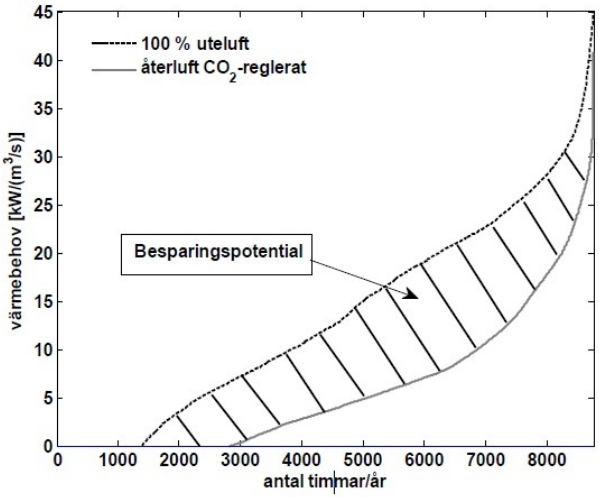
Med hjälp av spridningsmodeller kan forskarna slå fast att marknära ozon i Sverige framförallt orsakas av utsläpp i kontinentala Europa. I en ny analys detaljstuderades bland annat förhållandena i Stockholmsområdet. Slutsatserna bekräftar att det inte är lokala utsläpp som ligger bakom förhöjda halter ozon i Stockholmsområdet

Figur 160: Beräkning av antal dagar per år där höga halter av marknära ozon i Sverige kan förväntas. Källa: (59)

8.5 EXEMPEL PÅ EFFEKTIVISERING

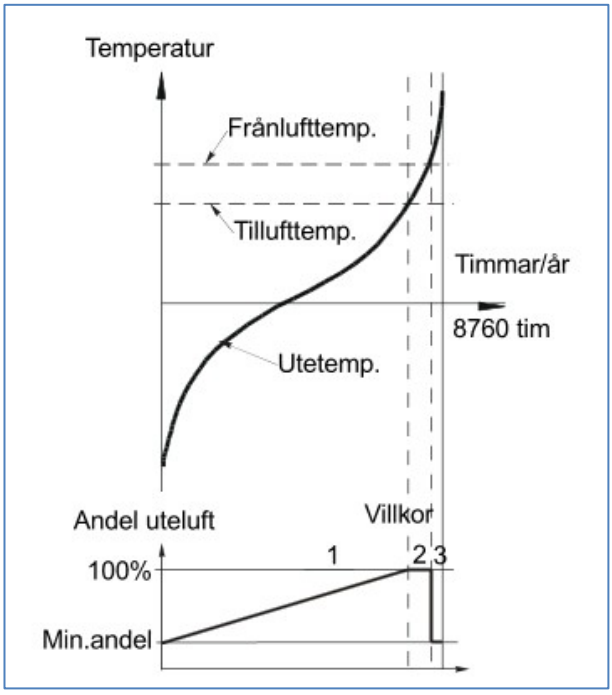
Det finns en stor energibesparingspotential i att använda ventilationssystem med återluft i butikslokaler, kontor och offentliga byggnader. Studier har visat en energibesparing på 66 % för värme, 36 % för komfortkyla i bland annat butikslokaler återluft jämfört med enbart uteluft (60).

Energi för att värma luften från utetemperatur till tilluftstemperatur är 83 MWh/år/(m3/s) och vid användandet av återluft sjunker energibehovet till 28 MWh/år/(m3/s), vilket är en besparingspotential på 66 %. *Figur 161* visar varaktighetsdiagrammet med besparingspotentialen för användandet av återluft, markerad för behovsstyrt ventilationsflöde.



Figur 161: Besparingspotential för värmebehovet med återluftanvändning. Endast dagtid har beaktats. Behovet av luftmängd regleras genom CO_2 mätning. Källa: Belivs (60).

Den totala energibesparingspotentialen gällande komfortkyla i luftbehandlingsaggregatet har beräknats till 36 % vid jämförelsen mellan återluft och 100 % uteluft. Energibehovet för att kyla luften i luftbehandlingsaggregatet uppgår till 18 MWh/år/(m3/s) för 100 % uteluftintag och till 11 MWh/år/(m3/s) vid återluft.



Figur 162: Schematisk illustration av styrvillkor för återluft för att minimera värme- och kylenergianvändning. Källa: Effektiv (61).

Figur 162 visar schematiskt styrvillkor för återluft för att minimera värme- och kylenergianvändning. Figuren beskrivs så här i källan (61):

"Övre delen av figur (här: Figur 162) visar uteluftens varaktighet med temperaturlinjer för frånluften respektive tilluften. Figuren är en förenkling av hur dessa temperaturer förhåller sig till varandra i verkligheten, men avsikten är att schematiskt visa de olika villkoren som beskrivs nedan.

Det första villkoret gäller då utetemperaturen är lägre än tillufttemperaturen. I det läget skall blandningen ske så att temperaturen efter blandningspunkten blir sådan att inställd tilluftstemperatur direkt erhålls, det vill säga att temperaturen efter blandningspunkten inte behöver justeras med värmebatteriet. På så sätt minimeras värmeenergibehovet i luftvärmaren.

Det andra villkoret inträder då utelufttemperaturen ligger mellan tillufttemperaturen och aktuell rumstemperatur. Normalt antas att frånlufttemperaturen är lika med rumstemperaturen i en byggnad. I det läget skall återluftfunktionen vara avstängd, det vill säga att tilluften består av 100 % uteluft.

Det tredje villkoret gäller då utetemperaturen är högre än rumstemperaturen/ frånlufttemperaturen. I det läget bör återluften vara maximal, det vill säga uteluftandelen bör ligga på minimumnivån. Det gemensamma målet med villkor 2 respektive 3 är att luften efter blandningspunkten skall vara så sval som möjligt. Då erfordras ett minimum av kylenergi."

Ovanstående villkor med temperaturgränser är en förenklad bild hur det i praktiken ser ut i en byggnad. Eftersom fukthalten kommer skilja sig mellan uteluft och frånluft bör man även utgå från entalpigränser, det vill säga att både fukt och temperatur mäts och entalpin i de olika luftflödena sätts som gräns.

8.6 DAGS ATT OMPRÖVA DEN SKEPTISKA INSTÄLLNINGEN TILL CIRKULATION AV ÅTERLUFT?

I Sverige är man generellt skeptisk till återcirkulation av frånluften, men i USA är det nästan regel att ha recirkulation. Som exempel från den intensiva debatt i Sverige på 90-talet, kan nämnas en motion till Riksdagen 1994, där det framfördes krav på ett totalförbud mot återluft i utrymmen där levande varelser vistas, (62). Motionen avslogs dock. Debatten och status kring användning har under åren pendlat. Exempelvis förbjöds återluft av Boverket 1994 efter en intensiv debatt. Förbudet har dock uppluckrats och från 1999 tillät Boverkets byggregler BBR på nytt återluft i sovrum under vissa förutsättningar, (63).

Vi har tom funnit exempel (se *Figur 163*) där återluft används i en specialoperationsklinik i Berlin. Genom en installation av en 3,2x3,2 m filterinstallation från Camfil FARR uppfylls den tyska normen DIN EN 1946-4 för ventilationssystem i sjukhus (64). Modern filterteknologi och reglersystem öppnar således möjligheter för användning av återluft, som inte var möjligt under åren på 90-talet när debatten var intensiv. Många har dock oreflekterat kvar den inställning som rådde på 1990-talet.



Figur 163: Återluft användning i specialklinik i Berlin, med en CamHOSP filter installation. Källa: Camfil FARR.

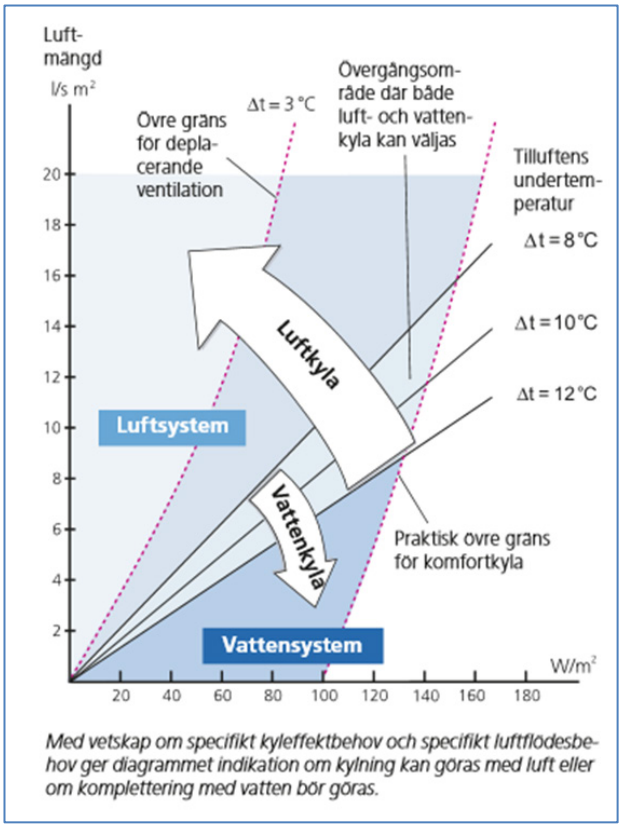
Troligen finns det fysiska förutsättningar att använda recirkulation av frånluft i många fastigheter i Sverige idag. Hur vanligt det är att det används i praktiken idag är dock oklart. Vid extrema värme- eller kylaster under längre tid borde möjligheten finnas att spara resurser med hjälp av denna teknik. I samband med energikriserna på 1970-talet blev det mer eller mindre obligatoriskt med recirkulation, av energisparskäl. Sedan kom frågan om luftkvalitet inomhus i fokus och det blev ovanligt med återcirkulation.

8.7 MINSKA KAPACITETS- OCH ENERGIBEHOV

En drivkraft för ökad användning av återluft är att minska kapacitetsbehovet för kyla och därmed reducera maximalt effektbehov. Däremot är det svårt att förbättra det luftburna systemets förmåga att distribuera den effekt som krävs för att upprätthålla en bra klimatkomfort, det vill säga att undvika eventuellt behov för vattenburen kyla.

Figur 164 visar gränsen för när det räcker med luftburen kyla och när tillskott av luftburen kyla även behövs. En lösning för vattenburen kyla är kylbafflar i taket.

Som redovisats i avsnitt 8.2 ovan har även tester utförda av Belivs (Energimyndighetens beställargrupp Livsmedelslokaler) visat på stor potential att mer kontinuerligt optimera återluft för att minska energiförbrukningen.



Figur 164: Begränsning när endast luftburen kyla kan användas och när även vattenburen kyla krävs. Källa: Swegon (5).

8.8 INNOVATIV LÖSNING – SELEKTIV RECIRKULATION AV RETURLUFT

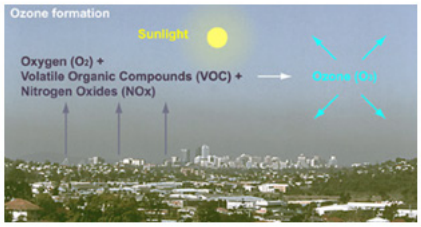
Vi har redan nämnt att det råder en skeptisk inställning till recirkulation av returluft i Sverige och att denna inställning borde förändras, se avsnitt 8.6. Under alla omständigheter bör man tillåta recirkulation under extrema förhållanden då uteluften har sämre kvalité än inomhusluften. Detta förutsätter anpassade styralgoritmer och eventuell komplettering av mätteknisk instrumentering av ventilationssystemets reglercentral.

Figur 165 visar vilka väderfenomen/tillstånd som hänsyn måste tas till i så fall: mycket hög temperatur vid värmebölja (1) eller pga värmeöeffekt (3), ökad bildning av marknära ozon soliga dagar (2) och ökad partikelkoncentration t ex pga inversion vintertid (4). En lämplig styralgoritm skall kunna väga temperatur, partikelinnehåll (PM) och ozonnivå (O_3) hos uteluften mot temperatur och CO_2-innehåll hos inneluften och bedöma om recirkulation skall tillämpas, se ett exempel på styralgoritmens flödesschema i *Figur 166*. Observera att algoritmen kan se annorlunda ut vid sommar- respektive vinterdrift.

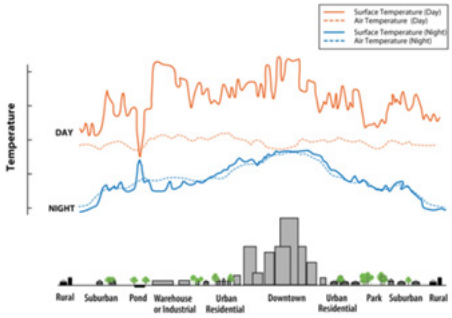


Figur 3. Min-(blå), medel-(grön) och maxtemperaturer(röd) under värmeböljor för stationerna Holma1975, Osby1994 och Eklången 2002.

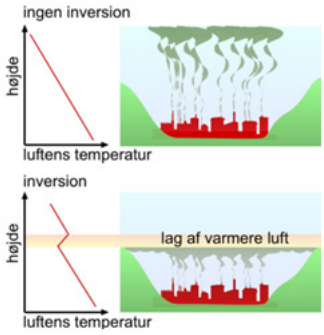
1. Värmebölja



2. Ökad bildning av marknära ozon på solrika dagar

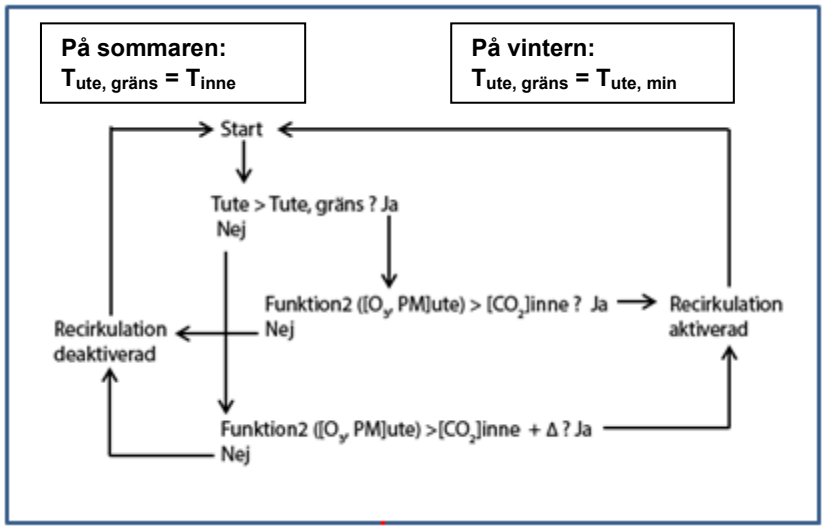


3. Värmeö, förhöjd temperatur, särskilt nattetid och inom stadskärnan

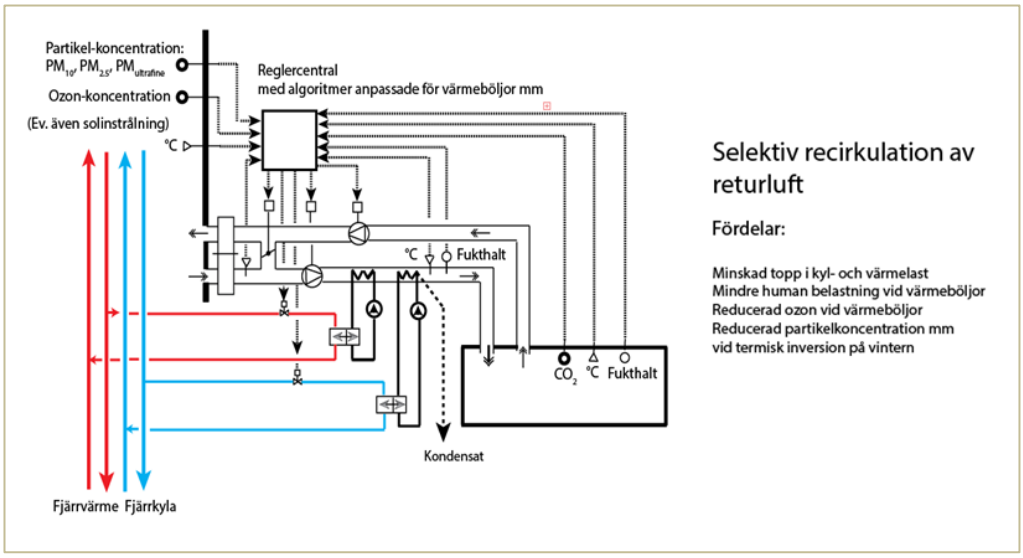


4. Inversion, kall vinterdag

Figur 165: Väderfenomen/lufttillstånd att ta hänsyn till vid selektiv recirkulation av returluft.



Figur 166: Exempel på styralgoritm för bestämning huruvuda recirculation skall tillämpas eller inte, sommar- resp vintertid.



Figur 167: Principschema för Innovativ lösning, Selektiv recirkulation av returluft.

Figur 167 visar instrumentering av en fjärrkylecentral där recirkulation av returluften skall kunna användas selektivt med hjälp av algoritm enligt ovan. Som det framgår av text i bilden kan recirkulation ge både komfortmässiga fördelar och kapa effekttoppar.

9 Kyldistribution inomhus för ict-teknik

9.1 KUNDCETRALER MED DATORER OCH ANNAN ICT-TEKNIK

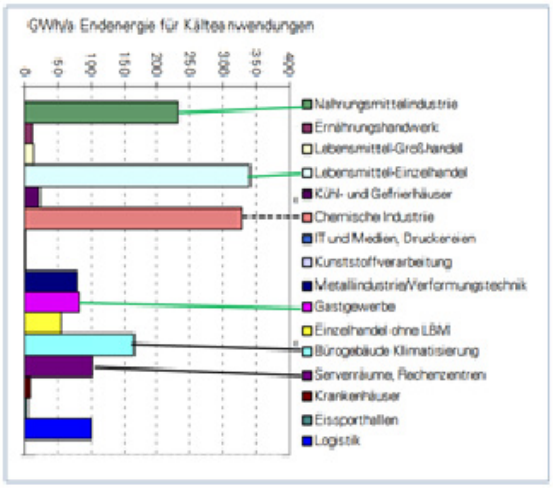
Datahantering i vid bemärkelse, ICT (Information and Computing Technology), är en verksamhetsgren i samhället vars energiförbrukning ökar kraftigt. Att hitta metoder för energihushållning vid datahantering är därför en angelägen uppgift. Det globala antalet servrar ökar kraftigt, och i synnerhet kylning av dessa, eller utnyttjandet av värmet, utgör en relativt nytillkommen och lovande affärsmöjlighet för fjärrvärmebolag. Ur enskilda städers synpunkt är det en intressant möjlighet att kunna attrahera den högteknologiska verksamhet som servrar utgör.

I den snabbt fortgående miniatyriseringen (nerskalningen) av chips i enlighet med Moore´s lag (fördubbling av antal halvledare per chip vart 2. år) börjar effektiviten hos kylningen av halvledarelementen bli en begränsande faktor. Dagens datorer är vanligen luftkylda. Vätskekylning, som i dag endast finns inom nischer av datortekniken, är föremål för intensiv utveckling och ses av många som den potentiellt generella lösningen på kylproblemet. Särskilt intressant är s k direkt vätskekylning där man etablerar mikrokanaler inom en chip, då detta ger den mest effektiva kylningen och kan göra det möjligt att kyla med väsentligt högre temperatur på det kylande mediet än när detta är luft. Det ökar möjligheterna att återvinna spillvärme från utrustningen, t.ex. i ett fjärrvärmenät. Även vid anslutning till fjärrkyla erbjuder det fördelar.

Vi kommer att presentera ett koncept för datorkylning med anslutning till fjärrvärme och fjärrkyla i kombination med värme- och kylbatterier där vi utnyttjar möjligheten att datorutrustningen kan fungera vid en relativt hög driftstemperatur. Med detta blir det möjligt att uppnå en hög returtemperatur för fjärrkylan, och den tillförda kyleffekten kan begränsas jämfört med konventionella lösningar.

Konceptet kan även kombineras med direkt personkylning, en möjlighet som kommer att behandlas i nästa avsnitt.

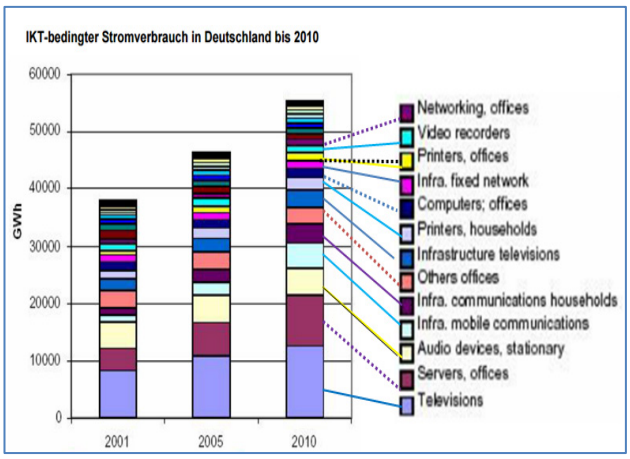
De följande sex figurerna Figur 168, Figur 169, Figur 170, Figur 171, Figur 172 och Figur 173 ger en samlad bild av ICT-teknikens marknadsutveckling. När det gällar användandet kan man se tre tydliga tendenser. Ökad mobilitet gör att vi numera överför tjänster från PC till, mobiler och ”plattor”. Med andra ord befintliga behov tillfredställs med annan utrustning. Den andra tendensen är att de nya teknikerna erbjuder nya tjänster, som tidigare kanske inte fanns behov av. I betydande omfattning flyttas lagringskapacitet över till molntjänster, vilket leder till stora kylbehov av serverhallar.



Figur 168: Kommersiella kylmarknaden (GWh/år) i Hamburg från 2010. Källa: (65).

Figur 168 visar resultatet av en detaljerad kartläggning av den kommersiella kylmarknaden i Hamburg 2010, fördelat på olika typer av verksamhetsgrenar. Bilden torde vara tämligen karakteristisk för de flesta moderna storstäder, frånsett omfattningen av kylbehovet inom kemisk industri, då detta i hög grad varierar mellan olika städer då den kemiska industrin är mycket olika representerat på olika håll och i många fall inte finns alls. Omfattningen av kontorsverksamhet är mycket mera likartad, kontorbyggnader finns överallt, och i t.ex. Sverige brukar dessa ha komfortkyla.

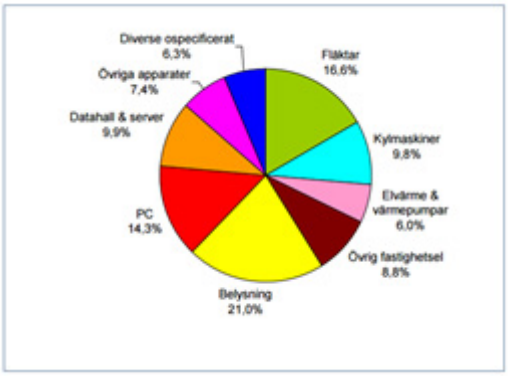
Om man då bortser från kemisk industri, kan man mycket grovt säga att kylbehoven i botten domineras av två typer av ”röda trådar”, livsmedelshantering och kontors- / kontorsliknande verksamhet. Det som bl.a. faller i ögonen är det stora kylbehovet för servrar mm.



Figur 169: Elförbrukningen i Tyskland från 2001 till 2010 för ICT (ICT på Tyska är IKT). Källa: (66).

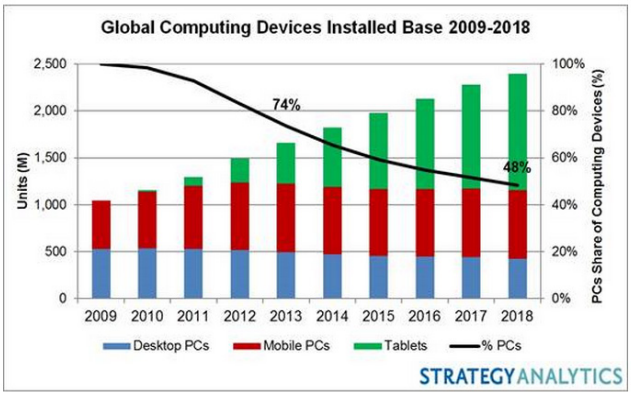
Figur 169 visar, för Tyskland totalt elenergiförbrukning, hur tilläxten inom ICT-sektor, privat användning medräknad, fördelar sig på en mängd teknologier, ordnat enligt storlek, med gammalkända TV i botten och ”servers, offices” som nr.

2. Kategoriindelningen är inte helt klar då det t.ex. längre upp finns ”computers, offices”; tillhör PC då den ena eller den andra kategorin? Som vi vet finns PC i stor omfattning både inom kontor och i privata hem. Överhuvudtaget blir det allt svårare att skilja på yrkesmässig och privat användning av ICT-teknik; t.ex. används en laptop av en kontorsanställd både som arbetsdator på arbetsplatsen och hemma för både arbete och för privata ändamål. *Figur 169* publicerades redan 2007, men stapeln för 2010 utgör troligen en tämligen säker prognos.



Figur 170: Elanvändningen inom kontors- och förvaltningsbyggnader från år 2007. Källa: (67).

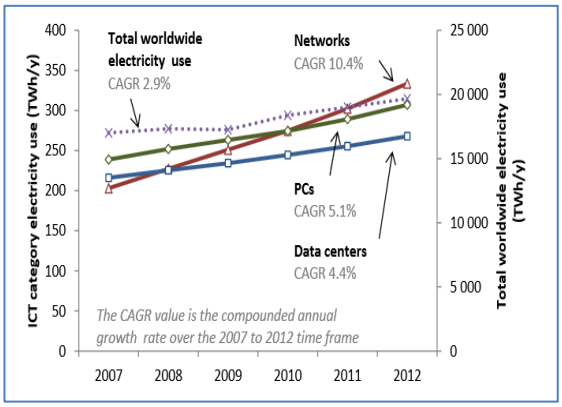
Även *Figur 170* är från 2007 och visar att belysning då var den enskild största elnergiposten inom kontors- och förvaltningsbyggnader; troligen har tillkomsten av energisparlampor, på senare år LED-lampor, medfört att belysning idag drar mindre el. PC och datahallar & servrar representerade redan 2007 den största elförbrukningen.



Figur 171: Försäljning av olika typer av ICT utrustningar, enhet millioner enheter (units). Källa: (68).

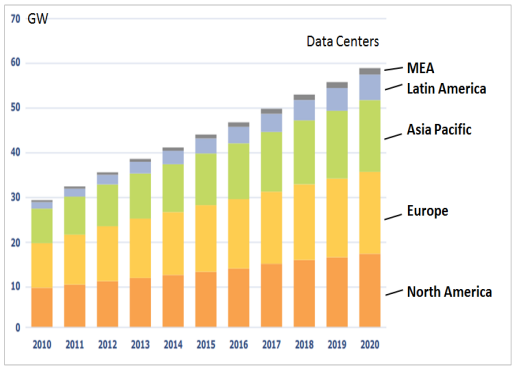
Figur 171, publicerad 2014, visar den historiska utvecklingen och en prognos för utvecklingen i försäljningen av mindre datorer. Desktop PC och laptop ligger någorlunda konstant, medan ”tablets” representerar en explosiv tillväxt. En tolkning är att tillväxten i användning av tablets främst täcker nya behov av ICT-tjänster, medan det finns kvar en marknad för traditionella PC med deras fördelar, särskilt inom tyngre professionell verksamhet, med krav på stora bildskärmar och kraftfulla datorer. En del av de lättare, traditionella funktionerna som sköts med

PC tas visserligen över av tablets, men samtidigt ökar mängden av ”traditionella” behov.



Figur 172: Globala elförbrukningen inom ICT (TWh per år). Källa: (69).

Figur 172, publicerad 2014, visar bl.a. att den globala elförbrukningen ICT-nätverk ökar kraftigare än den totala elförbrukningen. I motsats till den föregående figuren har vi här även en tillväxt för PC. Det bekräftar den nyss nämnde tolkningen. Den tredje kategorin är ”data centers”; i fortsättningen kommer vi för detta, med viss tveksamhet, använda den svenska översättningen ”dataservrar”. Även för denna kategori ökar elenergiförbrukningen.



Figur 173: Utveckling och prognos av elbehovet i GW för dataserverhallar. Källa: (70).

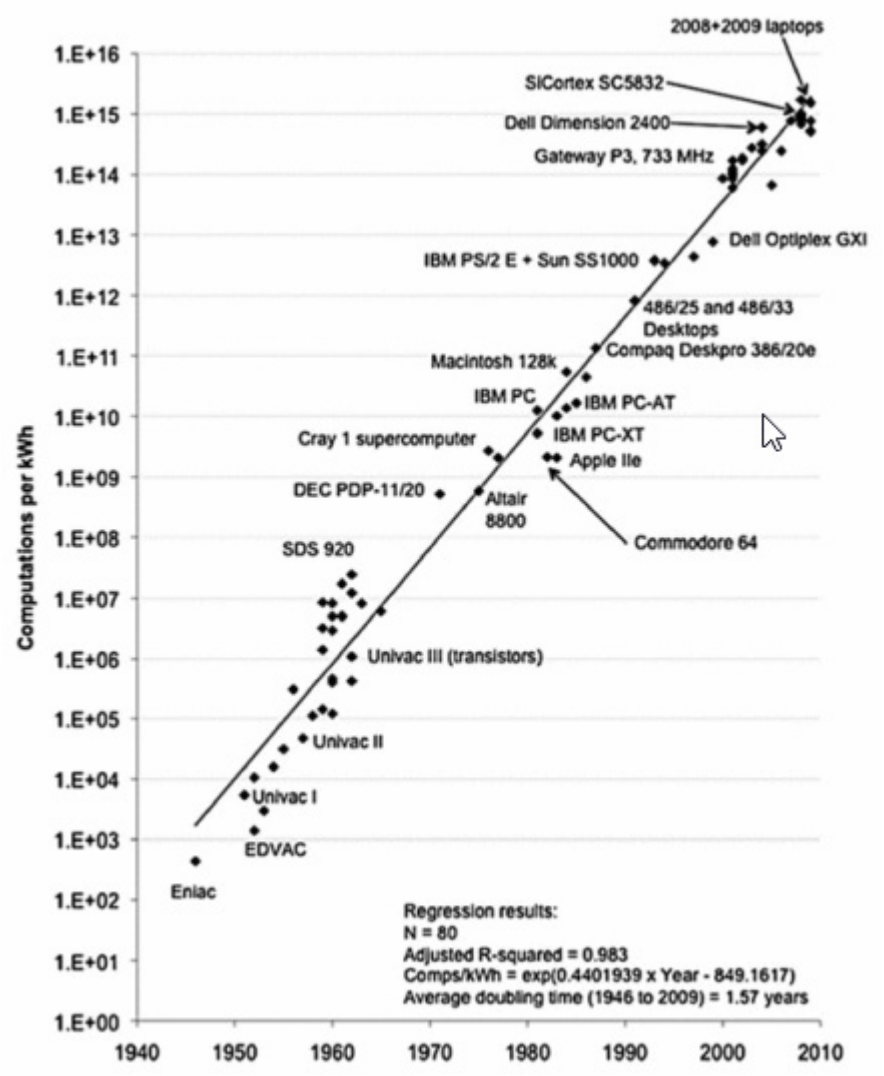
Figur 173, publicerad 2015, visar en konstant och kraftig (kraftigare än i det föregående diagrammet) ökning i det globala elenergibehovet för servrar, inom alla huvudregioner, prognosticerat fram till 2020.

Den snabba ökningen i energiförbrukningen för ICT-tjänster totalt väcker bekymmer på många håll, bl.a. därför att den är förknippad med ökade CO_2-emissioner.

Det finns emellertid en intressant aspekt av detta som är lätt att förbise, (71) och (72). Det ökade utbudet av ICT-tjänster kan utnyttjas för at åstadkomma energisparande som ibland kan vara avsevärt större än energibehovet för ICT. Ett exempel på miljövänlig utnyttjande av IPC är smarta elnät som t.ex. underlättar

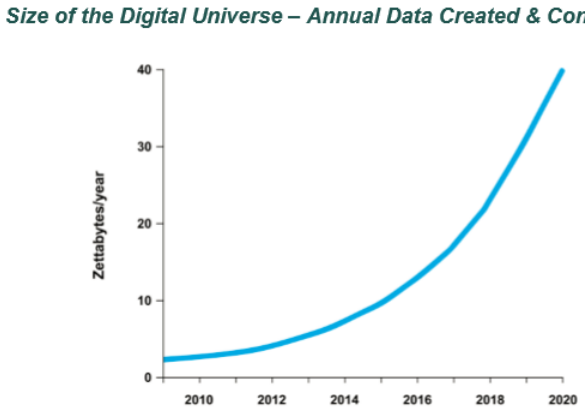
utnyttjande av vindkraft. Ett annat exempel är att E-mails, laptops mm har gjort det möjligt för allt fler att sköta delar av sitt arbete i hemmet. Därvid spar man transport och därmed i sin tur energi, och netto-CO_2 emssionerna som kan hänföras till ICT minskar. En annan fördel med möjligheten att personer kan arbete hemma är att det bidra till att centrala samhällsfunktioner kan fortgå under pandemier, då man vid hemarbete minskar smittorisken, se **Bilaga C** - Pandemier. Bl.a. sekretessaspekter sätter en gräns för hur långt man kan gå med hemarbete, men omfattningen kommer säkert att öka efterhand. Även det man med ett något föråldrat uttryck kallas ”videokonferenser” har möjliggjort en begränsning av resandet.

Denna betraktelse talar för att man ur energihushållnings- och miljösynpunkt inte i första hand bör inrikta sig på att hejda tillväxten inom ICT-sektorn, utan på att hitta sätt att göra ICT så energisnål och miljövänlig som möjligt.

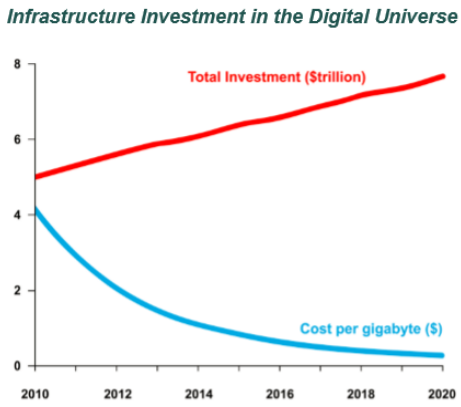


Figur 174: Koomey´s lag som visar fördubblingstakten av antalet ”computations” per kWh. Källa: (73)

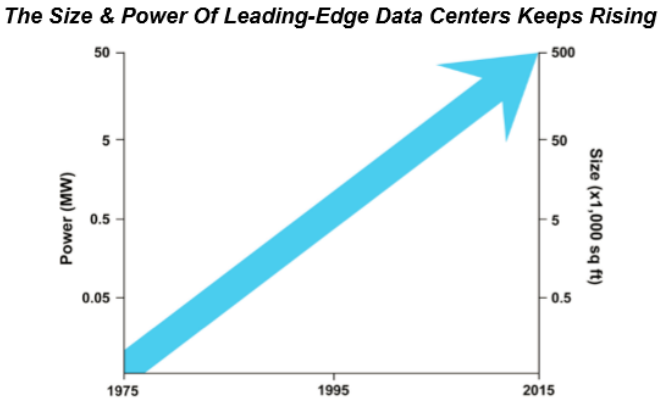
Figur 174 visar ”Koomey’s lag”: Antalet computations / kWh ökar med fördubbling ungefär varje 1.8 år. (Computations kan lämpligen läsas som kalkyleringar / beräkningar). Enligt den mer kände Moore’s lag ökar antalet transistorer per chip med en fördubbling vart 2 år. Då Koomey’s lag innebär snabb minskning av energiförbrukning per operationssteg, kunde man förvänta att även det totala energibehovet för datahantering efterhand skulle minska. Men som vi sett är detta inte fallet. Förklaringen är att användingen av ICT-teknologi ökar ännu snabbare. Både *Figur 175* och *Figur 177*, ref (74), visar exponentiell tillväxt. Se även ref (75).



Figur 175: Utvecklingstendenser när det gäller omfattningen av global expansion av ICT-kapacitet. Källa: ref (74).

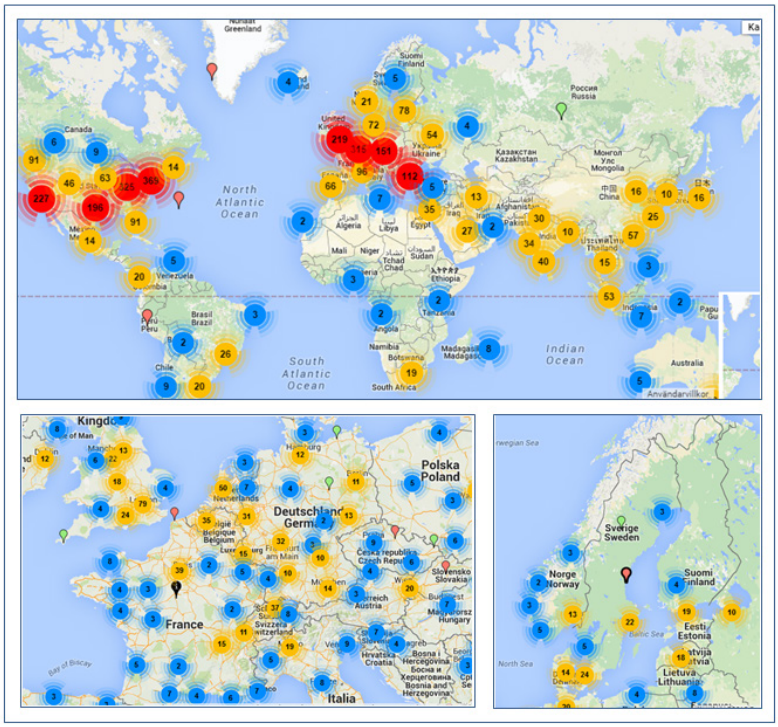


Figur 176: Utvecklingstendenser, i form av investeringar kostnad per GB, när det gäller omfattningen av global expansion av ICT-kapacitet. Källa: ref (74).



Figur 177: Utvecklingstendenser, storlek på dataservrar, när det gäller omfattningen av global expansion av ICT-kapacitet. (Obs log-skala på y-axeln). Källa: ref (74).

Även olika mått på den globala datakommuniktationsmängd och –kapacitet och investeringar för detta ändamål ökar konstant i hög takt. I t.ex. (73) hitter man aktuella och och långt historiskt perspektiv på energibehovet för ICT.



Figur 178: Fördelning av servrar som betecknas ”enterprise class co-location centers”. Det uppges att det finns 2500 st av denna typ, och att det därutöver finns ca. 9.000 ytterligare ”class data centers” som tillhör Google, Apple m.fl., jämte tusentals ”communication data centers”. Röd: Fler än 100 st, gul: 10-100 st, blå: 1-9 st. Källa: Ref. (76).

Figur 178 ger en geografisk överblick över en kategori av större servaranläggningar. Det som visas är endast en bråkdel av det totala antalet ”data centers” / servrar. Detta har uppskattats vara i storleksordningen 0.5 – 3 Mio (77) och (78) Enligt kartan ligger Sydostasien än så länge långt efter Norra Amerika och

Europa, trots starka tillverkare som t.ex. koreanska Samsung. I Europa är koncentrationen störst inom ”Bananen”, den ”banan”formade storregion som sträckar sig från södra England över Holland-Belgien och södra Tyskland till norra Italien, en storregion där befolkningskoncentrationen är stor, och som utgör ”motorn” i den europeiska ekonomin. Närhet till marknaden är ett viktigt kriterium för val av placering. Åtskilliga stora IT-koncerner äger ett flertal eller många av datahallar i olika länder. Ett exempel på detta är Interexion som äger 33 st i 11 länder, och som hävdar att mer än hälften av energiförbrukningen för detta är förnyelsebar. Ett av dessa centrer ligger i närheten av Stockholm där man kan utnyttja kallt sjövatten för effektiv och förnyelsebar kylning.

Ett annat exempel på förnyelsebar kylning är att Facebook valt att placera en ny stor serverhall i Luleå, där attraktionen främst varit möjligheten att under en stor del av året kunna utnyttja den relativt kalla uteluften för frikylning, jämte närhet till billig elkraftproduktion. Ett tredje exempel är Google som lagt en serverhall öster om Helsingfors, *Figur 179*, med tillgång till kallt kylvatten. Ibland väger tillgången till billig energi och billig kylning tyngre än vinsterna med närhet till kunderna. Inte minst Google har en mycket ”grön” profil, och alla typer av frikyla utgör attraktiva möjligheter inom ramen för detta.

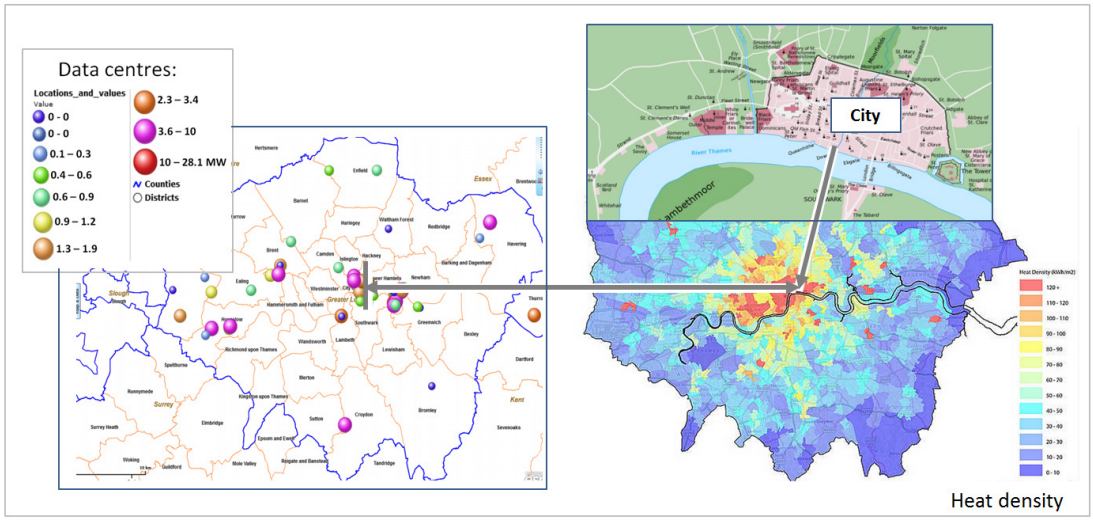


Figur 179: Googles serveranläggning öster om Helsingfors på kusten längs Bottniska Viken. Fotot till höger visar vattenpumpar med anslutande rörsystem. Anläggningen har kostat 1 miljard. USD. Källa: (78) och, längst till höger, (77).

Ett fjärde exempel är ”Green Mountain Data Centre” vid Rennesøy inom Stavanger-regionen i Norge, som utnyttjar kall fjorvatten för kylning. Alle dessa är mycket stora anläggningar som inte lagts i anknytning till fjärrvärme- eller fjärrkyleverksamhet. Det finns stor konkurrens bland städer i alla länder om att kunna attrahera de mycket stora investeringar i serverhallar som de globalt opererande stora ICT-företag fortgående etablerar, och där det finns många kriterier för vad som är attraktivt ur deras synpunkt.

Ett exempel på en stor dataserverhall som avses utnyttja möjligheten att återvinna spillvärme för fjärrvärmeändamål är en anläggning som Apple annocerat att man vill lägga i Viborg, Danmark, i kombination med mycket låga temperaturer i fjärrvärmenätet. När detta skrivs har avtal dock ännu i träffats p g a problem med hög beskattning av värmet, som hotar äventyra projektet.

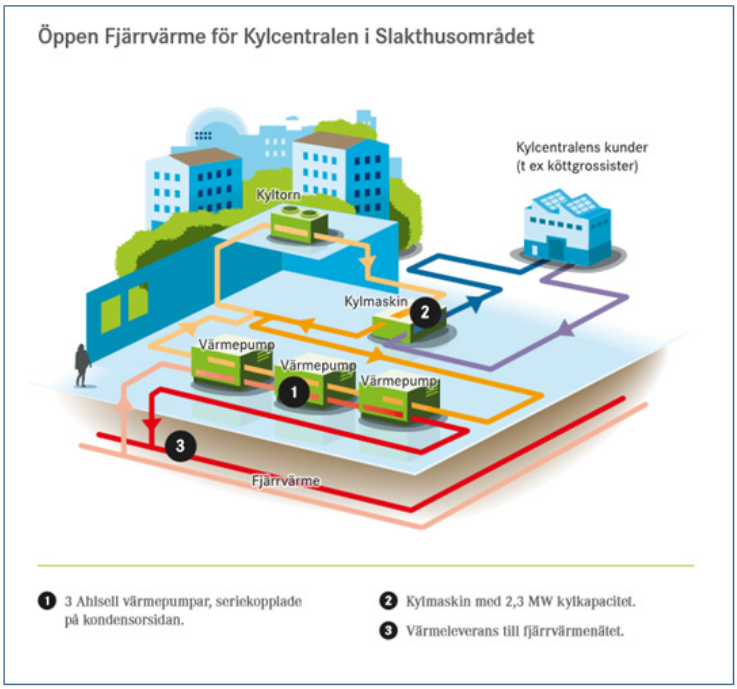
En utomordentligt viktig aspekt rörande lokalisering i olika länder av dataserverhallar är av politisk natur, i form av olika nivåer på nedsättning av elbeskattning för denna typ av verksamhet. Med detta så blir inte längre nivån på elpriset den dominerande styrande parametern.



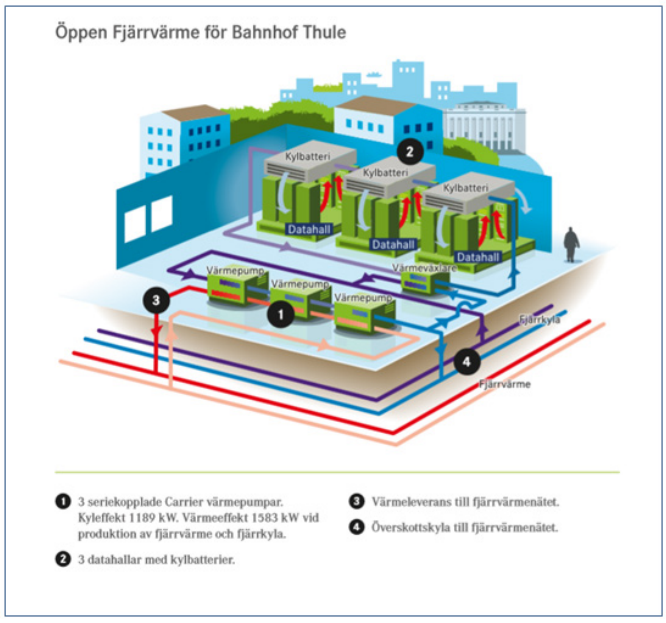
Figur 180: Jämförelse av karta över befintliga serveranläggningar av olika storlek i London med värmetäthetskarta. Vår sammanställning av figurer ur två olika publikationer. Källor: (79) och (80).

I London (som i England i allmänhet) har fjärrvärme och fjärrkyla endast små andelar av värme- och kylmarknaden, men det finns ambitiösa expansionsplaner. I detta ingår återvinning av spillvärme från dataservrar. *Figur 180* visar att det finns en koncentration av värmeavgivning från befintliga stora och mellanstora servrar inom det mest centala området, City of London, finanscentret, där värmetätheten är störst. I England har matchningen av temperaturkrav för servrar och fjärrvärmenät analyserats ingående, bl.a. i regi av den engelska vvs-tekniska föreningen CIBSE, se *Figur 180*.

Fortum AB har i Stockholm börjat tillämpa en ny affärsmodell för tillvaratagande av spillvärme med den kommersiella beteckningnen ”Öppen fjärrvärme”.Inom ramen för detta har avtal slutits med flera intressenter, bl.a. ägare av anläggningar för hantering av livsmedel, *Figur 181*, och ägare av serverhallar, *Figur 182*. Man bedömer att det finns möjligheter för anslutning av ett stort antal ytterligare serverhaller i framtiden, så pass mycket att det skulle kunna ”värma en tredjedel av Stockholm”, (81).



Figur 181: Koppling av livsmedelshandel (”Kylcentral Slakthuset”) i Stockholm till fjärrvärme. Källa: (81).



Figur 182: Datacenter (”Bahnhof Thule”) i Stockholm med anslutning till både ett fjärrvärme- och ett fjärrkylenät. Källa: (81).

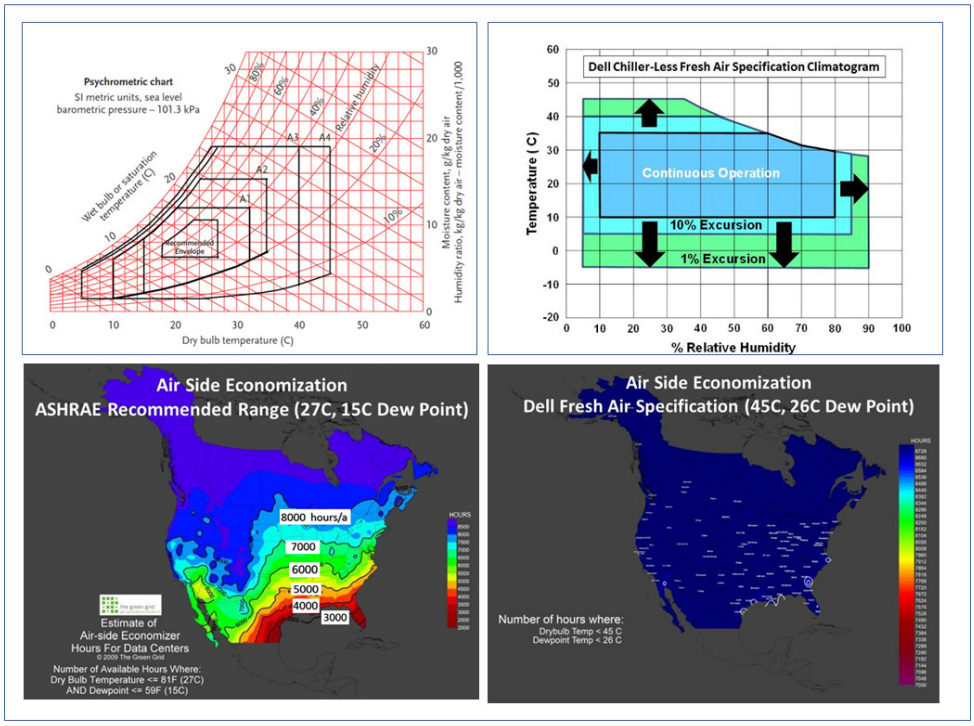
Den datahall som visas i *Figur 182* är kopplad till både fjärrvärme- och fjärrkylenätet. Om man betänker att en betydande del av fjärrkylan i Stockholm är baserad på frikyla i havs-/sjövattnet runt staden, kan man säga att det skapats en möjlighet att kyla datautrustning med en hög grad av förnyelsebar produktion,

t.ex. liknande det man uppnått i de tidigare nämnda anläggningarna ägda av Interexion och Google. Fjärrvärme- och fjärrkylenäten ökar möjligheterna att hitta lämplig geografisk placering. Ett ytterligare exempel är en annan datahall i Stockholm (”Bahnhof Pionen”) som placerats inom den centrala stadsdelen Kungsholmen i ett tidigare stort skyddsutrymme utsprängt i berget och långt under marknivån.

Nyligen har ägaren av dessa båda servarhaller annonserat att man besluttat bygga en ytterligare och avsevärt större (21 MW) anläggning inom stadsdelen Hjorthagen. En av fördelarna med den centrala placeringen (bl.a. närhet till Stockholms finanscentrum) uppges vara att man uppnår ”ultra-low latency” då ljusets resväg i fiberkablarna blir minimal (82).

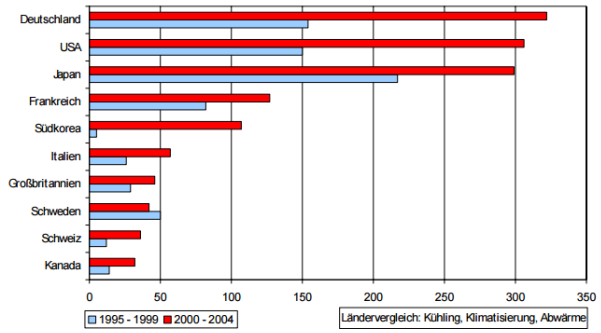
Ett annat svenskt fjärrvärmebolag som har en datahall som kund är Växjö Energi AB, som tidigt engagerade sig i etablering af bredband inom staden (83). Datahallen har döpts ”Green Data Center” som kyls med fjärrkylevatten efter att det värmts vid kylning av ett köpcenter. Som ett tredje steg pumpas detta vatten ut under fotbollsplanen på Myresjöhus arena där det värmer upp gräsmattan. Då blir spelsäsongen längre. Man karakteriserar detta som ett sätt att ”använda energin tre gånger”.De internationella datorföretagen, forskare mm (se t.ex. referenser (84), (85) och (86)) har lagt ner stora ansträngningar på att förbättre energieffektiviteten hos datoranläggningar. I USA har normer och standarder med krav på de temperaturer och fukthalter datorer får exponeras för diskuterats och reviderats ett flertal gånger. I detta arbete har certifiering enligt ”Energy Star” spelat en stor roll. Det är en internationell, av det amerikanska Environmental Protection Agency (den amerikanska energimyndigheten) bildad, standard för energisnåla produkter.

I *Figur 183* återges uppe till vänster från ASHRAE’s senaste standard olika Energy Star klasser definierade som områden inom det psykrometriska diagrammet, (84). Till höger om detta visas DELL´s specifikation för servrar baserad på detta i form av ett diagram med temperatur och relativ (ej specifik som i det förstnämnde) fukthalt på axlarna. Dell har länge haft som ett standardkrav att tilluften till et utrymme med en dator inte får vara varmare än 35°C. 2011 annonserade Intel (85) att i en ny generation av servrar så kommer gränstemperaturen att höjas till 45°C. Kartan nere till höger visar att detta medför att man överallt i USA under (nästan) hela året kan täcka kylbehovet med enbart frikyla, ”chiller-free cooling”.



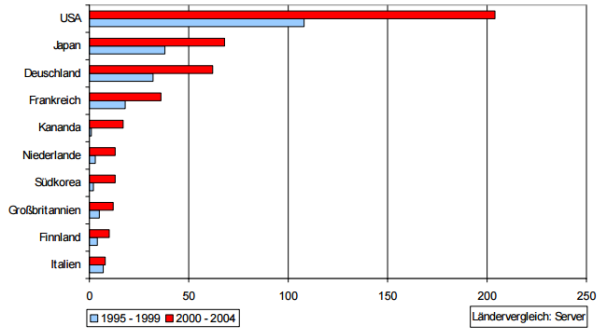
Figur 183: Uppe till vänster: Tillåtna variationer i tilluft till datoranläggningar enligt ASHRAE-standard 2011. Uppe till höger: Dells riktlinjer 2011 (87) i enlighet med ASHRAE's standard Källa: (88). Under, vänster till höger: Ändring i antal drifttimmar/år då kylning med uteluft (utan kylmaskiner) räcker.

Abbildung 15: Ländervergleich: Energieeffizienz-relevante Patentanmeldungen im Bereich Kühlung, Klimatisierung, Abwärmenutzung



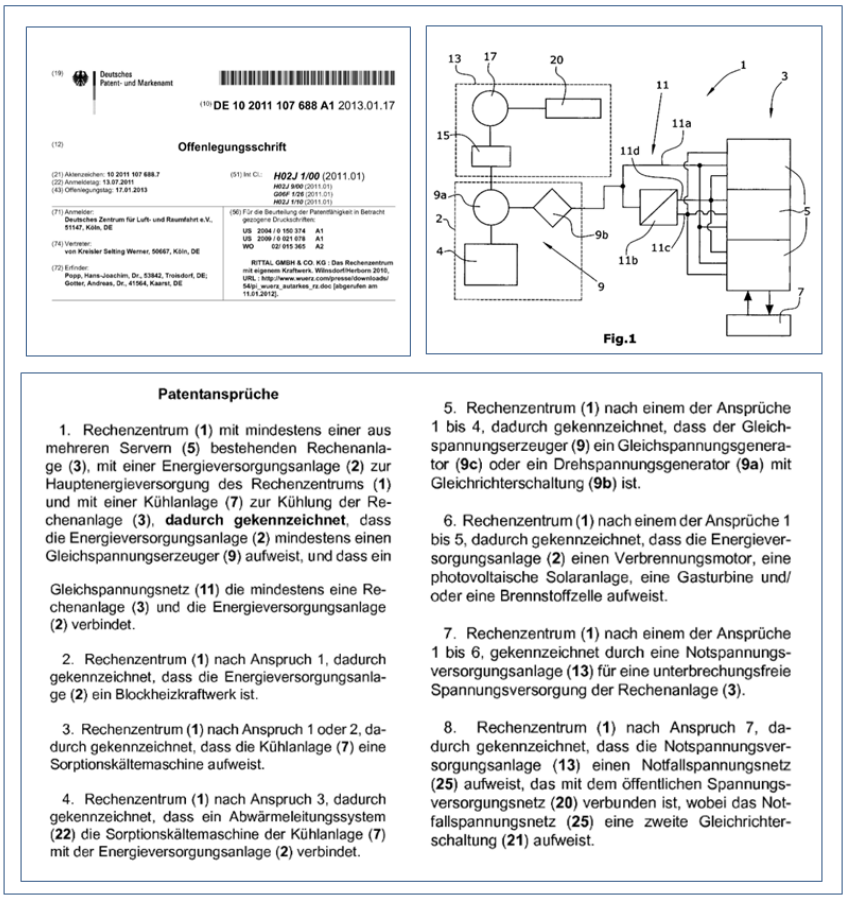
Quelle: Zusammenstellung Fichter auf Basis von Patentauswertungen des Fraunhofer ISI.

Abbildung 16: Ländervergleich: Energieeffizienz-relevante Patentanmeldungen im Bereich Server



Quelle: Zusammenstellung Fichter auf Basis von Patentauswertungen des Fraunhofer ISI.

Figur 184: Kartläggning av patenteringsaktivitet avseende servrar och energi. Övre diagrammet: Antal ansökningar avseende energieffektiv kylning, klimatisering och utnyttjande av spillvärme, uppdelat på länder och för två tidsintervall om vardera 5 år. Undre diagrammet: Samma för energihushållning generellt för servrar. Källa: (66).



(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2011 107 688 A1 2013.01.17

(12) Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2011 107 688.7
(22) Anmeldetag: 13.07.2011
(43) Offenlegungstag: 17.01.2013

(51) Int Cl.: H02J 1/00 (2011.01)
H02J 9/00 (2011.01)
G06F 1/26 (2011.01)
H02J 1/10 (2011.01)

(71) Anmelder:
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., 51147, Köln, DE

(74) Vertreter:
von Kreisler Selting Werner, 50667, Köln, DE

(72) Erfinder:
Popp, Hans-Joachim, Dr., 53842, Troisdorf, DE;
Gotter, Andreas, Dr., 41064, Kaarst, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
US 2004 / 0 150 374 A1
US 2009 / 0 021 078 A1
WO 02/ 015 365 A2

RITTAL GMBH & CO. KG : Das Rechenzentrum mit eigenem Kraftwerk. Wilnsdorf/Herborn 2010, URL : http://www.wuerz.com/presse/downloads/54pr_wuerz_autarkes_rz.doc [abgerufen am 11.01.2012].

Fig.1

Patentansprüche

1. Rechenzentrum (**1**) mit mindestens einer aus mehreren Servern (**5**) bestehenden Rechenanlage (**3**), mit einer Energieversorgungsanlage (**2**) zur Hauptenergieversorgung des Rechenzentrums (**1**) und mit einer Kühlanlage (**7**) zur Kühlung der Rechenanlage (**3**), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energieversorgungsanlage (**2**) mindestens einen Gleichspannungserzeuger (**9**) aufweist, und dass ein Gleichspannungsnetz (**11**) die mindestens eine Rechenanlage (**3**) und die Energieversorgungsanlage (**2**) verbindet.

2. Rechenzentrum (**1**) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieversorgungsanlage (**2**) ein Blockheizkraftwerk ist.

3. Rechenzentrum (**1**) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kühlanlage (**7**) eine Sorptionskältemaschine aufweist.

4. Rechenzentrum (**1**) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Abwärmeleitungssystem (**22**) die Sorptionskältemaschine der Kühlanlage (**7**) mit der Energieversorgungsanlage (**2**) verbindet.

5. Rechenzentrum (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Gleichspannungserzeuger (**9**) ein Gleichspannungsgenerator (**9c**) oder ein Drehspannungsgenerator (**9a**) mit Gleichrichterschaltung (**9b**) ist.

6. Rechenzentrum (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Energieversorgungsanlage (**2**) einen Verbrennungsmotor, eine photovoltaische Solaranlage, eine Gasturbine und/oder eine Brennstoffzelle aufweist.

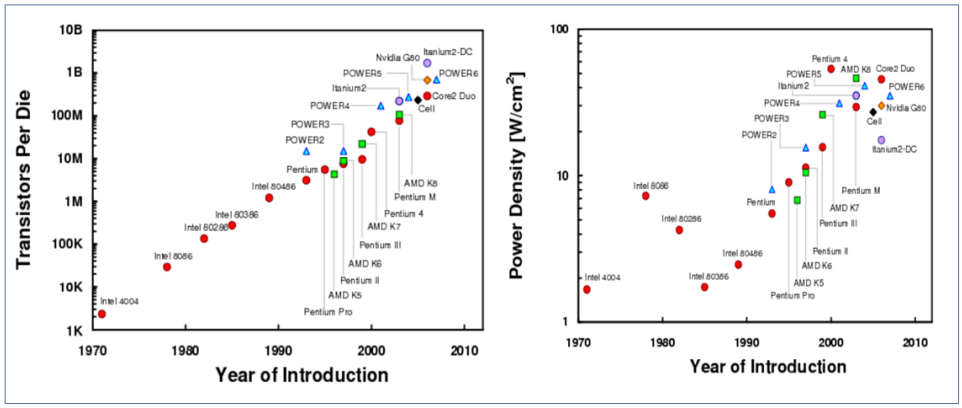
7. Rechenzentrum (**1**) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, gekennzeichnet durch eine Notspannungsversorgungsanlage (**13**) für eine unterbrechungsfreie Spannungsversorgung der Rechenanlage (**3**).

8. Rechenzentrum (**1**) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Notspannungsversorgungsanlage (**13**) einen Notfallspannungsnetz (**25**) aufweist, das mit dem öffentlichen Spannungsversorgungsnetz (**20**) verbunden ist, wobei das Notfallspannungsnetz (**25**) eine zweite Gleichrichterschaltung (**21**) aufweist.

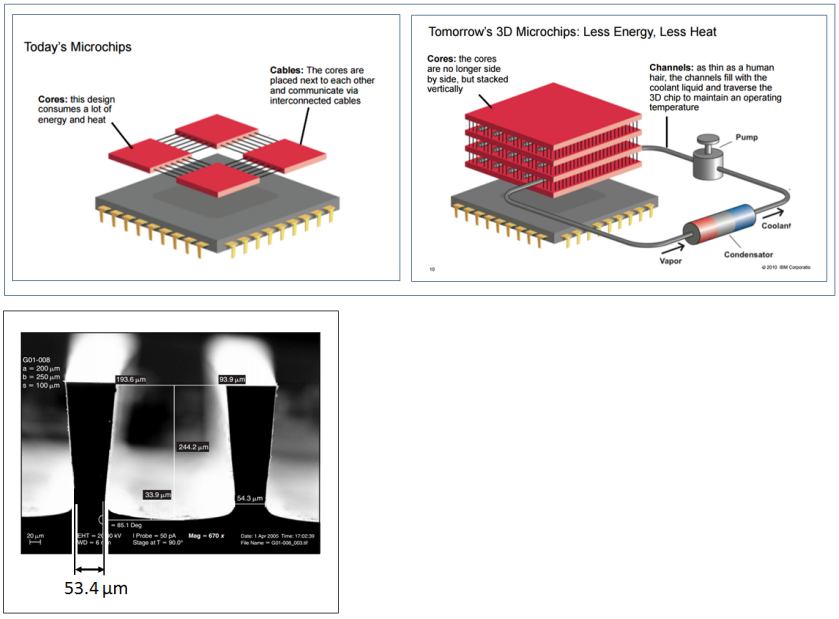
Figur 185: Ett exempel på en tysk offentliggjort patentansökan avseende energisnål dataanläggning. Anläggningen har egen elproduktion som driver en likspänningsgenerator (9) som försörjer datorn med ström. Man undviker med detta omvandling av el från växel- till likspänning, vilket är förknippad med en elenergiförlust. Källa: www.espacenet.com.

Som nämts fördubblas enligt Moore's lag antalet halvledare (transistorer) per chip vart 2. år. Då detta är en lite långsammare takt än Koomey´s lag, se tidigare visad *Figur 174* i vilken fördubblingstiden är ungefär 1,8 år, kunde man intuitivt tro att värmeutvecklingen per ytenhet sjunker långsamt.

Figur 186 visar att det i verkligheten närmast varit motsatt intuitionen. De mest kraftfulla datorer som idag finns "på ritbrädan" har en värmetäthet på 250W/cm^2 (89). Det är ungefär det samma som hos bränslestavar i en kärnkraftsreaktor.



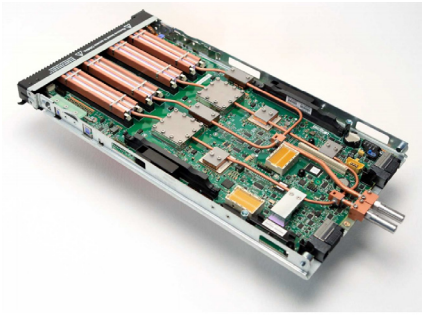
Figur 186: Vänster: Moore's lag med ett antal av de mest kända processorerna inlagda. Höger: Utveckling i effekttäthet för samma processorer som finns i diagrammet till vänster. Källa: (89).

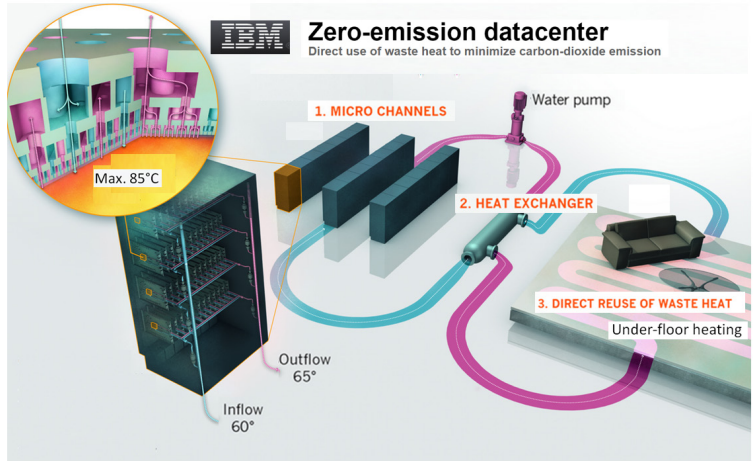


Figur 187: Övre två bilder: Åskådliggörande av utveckling av chips för vätskekylning med hög kylkapacitet. Källa: Ref. (90). Undre: Verkliga mikrokanaler i silicium, Ref (91).

En utvecklingstrend är att datorföretagen tillåter kylning på allt högre temperaturnivå. Processorer tål typiskt maximala driftstemperaturer om 70 - 80°C vilket innebär en stor potential för att i framtiden exempelvis kunna leverera värme direkt till ett fjärrvärmenät utan temperaturhöjning med en värmepump. Kylning med vatten på hög temperaturnivå har döpts: "Hot/warm water cooling". Lekmannen undrar hur man kan kyla med varmt vatten, som det formuleras ganska träffsäkert i en översiktsartikel i Scientific American (92). Den höga möjliga temperaturen på kylmediet underlättar utnyttjande av frikyla på ett enkelt sätt i form av uppvärmning av omgivande atmosfärisk luft. Detta minskar attraktionen med utnyttjande av fjärrkyla för att leda bort värmet från datautrustningen.

Figur 188 visar en extremt kraftfull, vattenkyld forskningsdator från vilken man utnyttjar värme för uppvärmning av en byggnad med golvvärme. Datorn bygger på en helt ny typ av chips som utvecklats för långtgående integration av halvledar- och kyltekniken. *Figur 189* visar ett patent som avser samma typ av teknologi. Flödet i den värmeupptagande kretsen, t.ex. ett fjärrvärmenät, regleras med hänsynstagande till temperatureen i ”hot spots” i processorerna.



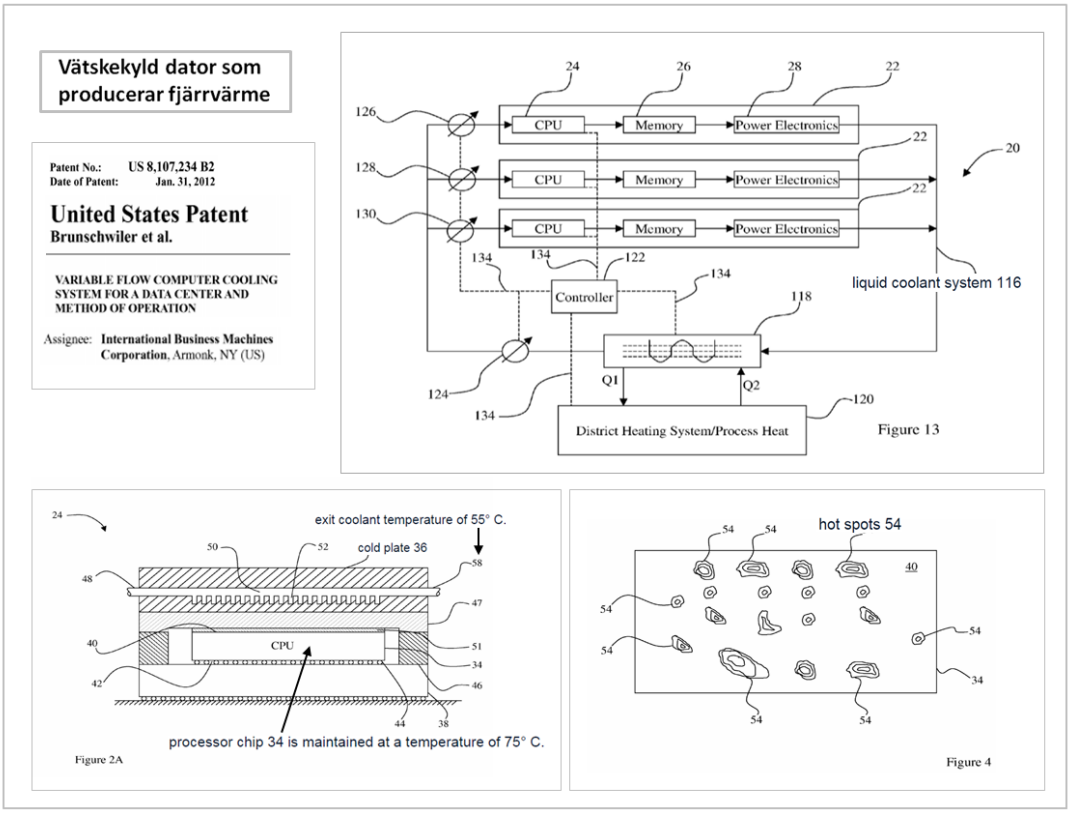


Figur 188: Mycket kraftfull dator med vätskekylning, utvecklad i ett samarbete mellan i IBM och ETH (Eidgenössiche Technische Hochschule) i Zürich, Schweiz. I fotot (överst) syns orangefärgade vattenslangar. Källor: Ref. (93) och (94). (Vi har förbättrat den grafiska tydligheten något i förhållande till original bilden).

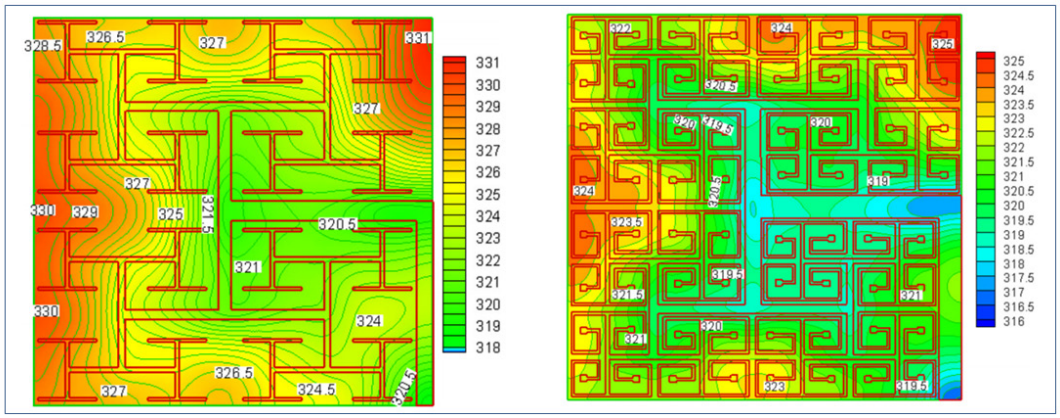
På senare år har det publicerats många vetenskapliga arbeten om värmeöverföring vid vattenkylning av processorer med vätskekylning i mikrokanaler som ofta har en dimension som väsentligt understiger 1 mm. En central fråga är hur hög den högsta materialtemperaturen (hot spot) i processorn blir, och hur man kan begränsa den mest möjligt. *Figur 190* visar ett exempel på detta. Man har ett meanderformat kanalsystem. Den mera finmaskade strukturen till höger medför en sänkning av den maximala temperaturen från 331K = 58°C till 326K = 53°C.

Tekniken baserad på vätskekylning innebär ett språng som ger en stor effektivisering av kylningen. Detta kan man bl.a. utnyttja för att höja kylmediets temperatur avsevärt. Det är möjligt att en fortsatt utveckling enligt Moore´s lag någon gång i framtiden kommer att medföra så pass höga specifika (W/cm^2) värmeflöden att man åter måste sänka nivån på kylvattentemperaturen, kanske

tills det kommer ett nytt tekniksprång. Det finns många bud på teknologier som skulle kunna möjliggöra en fortsatt snabb utveckling av miniatyriseringen ytterligare ett par decennier, t ex baserat på grafen-, nanotub- eller dna-molekyler. Det förefaller råda en betydande enighet bland insiktsfulla bedömare om att just värmeutvecklingen sannolikt kommer att bli en av de avgörande begränsande faktorerna, eller kanske rentav den mest begränsande faktorn i sammanhanget. Om man inte lyckas reducera energiförbrukningen per beräkning i takt med Koomey's lag, kommer det sannolikt att inträffa en accelererad ökning av den totala energiförbrukningen för ICT, då man kan förutse en fortsatt snabb ökning av efterfrågan på ICT-tjänster. Se ref. (95) och (96).

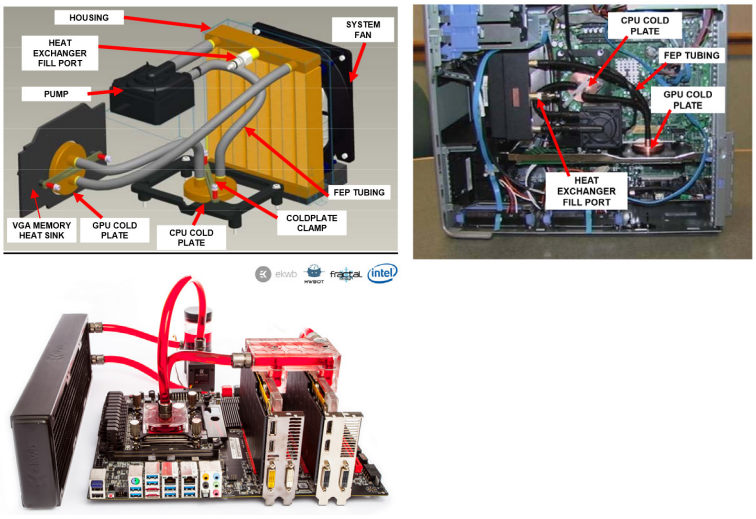


Figur 189: Patent avseende högtemperatur-vatten-kyld dator från vilken värme kan återvinnas, t.ex. i ett fjärrvärmenät. Uppe: Systemfigur. Under, vänster: Kyld processor sett från sidan. Under, höger: Kyld processor sett uppifrån med temperaturtoppar (hots spots) inritade (isotermer). Som ett exempel kan processorn arbeta vid en konstant temperatur 75°C, med 55°C utgående kylvattentemperatur. Källa: www.espacenet.com.



Figur 190: Exempel på beräkning av temperaturfördelning i en chip som kyls med en fluid som strömmar i mikrokanaler med en meanderformad struktur. Strukturen till höger är mer finmaskad och ger lägre maximal temperatur (hot spot). Källa: (97).

Detta understryker vikten av att det hålls konstant fokus på energihushållning för ICT-utrustning, och det pekar på att det kan öppna sig nya intressanta affärs-möjligheter for fjärrvärme- och fjärrkyletekniken. Dock måste man vara förberedd på överraskningar, t.ex. till följd av att datahanteringen blir allt mer mobil, vilket kan tänkas missgynna tunga, geografiskt bundna energidistributionssystem.



Figur 191: Ombyggnad av luftkyld PC till vattenkylning, bilderna till vänster och till höger avseende samma projekt Källa: (98), bilden längst ner ett annat projekt, med en utpräglad hobbyorienterad apparat (hämtad på Google Images där man hittar många bilder av detta slag).

Vattenkylning av stora datorer var vanlig för 20 år sedan, men kom sedan att ersättas av luftkylning som visade sig vara mera robust.

När det gäller PC har det länge funnits vattenkylning inom en liten del av marknaden, huvudsakligen datorer avsedda för spel. Det har även tillkommit enstaka mycket kraftfulla PC avsedda för bred användning, t ex inom kontor, med vätskekylning. En annan nischmarknad är modifiering av befintliga, luftkylda PC

för vattenkylning. Det finns färdiga kits för detta avsedda för mer eller mindre hobbybetonad användning, *Figur 191*. Systemet innebär att man via vattenslangar överför värmet till en större fläkt som på grund av låg aerodynamisk belastning kan göras mycket tyst. Figuren längst ner illustrerar hobby-aspekten; här har man valt att rödfärga vattnet för att uppnå en rolig visuell effekt. Modifiering från luft- till vattenkylning i en dator har även demonstrerats i en stor serveranläggning, (99).

Component	For standard server		For HPC Server	
	Proportion of total heat	Temperature (°C)	Proportion of total heat	Temperature (°C)
Microprocessors	30%	85°C	63%	85°C
DC/DC conversion	10%	50°C	13%	115°C
I/O processor	3%	40°C	10%	100°C
AC/DC conversion	25%	55°C		
Memory chips	11%	70°C	14%	40°C
Fans	9%	30°C		
Disk drives	6%	45°C		
Motherboard	3%	40°C		

Cooling system	Cooling medium	Waste heat source	Temperature range (°C)	Recovery Possible?
Remote air cooling	Air	Air	25-35	Yes
		Chilled water	10-20	Yes
Local air cooling	Air	Air	25-35	No
		Chilled water	10-20	Yes
Hybrid liquid/air cooling	30/40% Air	Air	25-35	Possibly
	60/70% Liquid	Liquid	50-60	Yes
All liquid cooling	Liquid	Liquid	50-60	Yes

Table 4
Summary of "typical" data center thermal loads and temperature limits.

Power loads

Component	Values
Processors	60–75 W each (2 per server)
DIMM	6 W each
Auxiliary power per server	150–250 W
Total power per server	300–400 W
Rack capacity	1 U servers, up to 42 per rack Blade servers at 10 U, up to 64 per rack
Total rack power	13–26 kW
Racks per data center	250
Total power per data center	3.2–6.5 MW

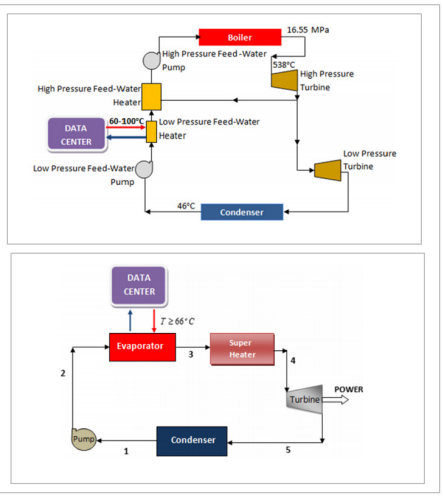
Temperature limits

Component	Values (°C)
Processor	85
DIMM	85
Disk drive	45

Figur 192: Maximalt tillåtna temperaturer inom olika delar av en server enligt två källor. I den vänstra-övre tabellen anges även den procentuella fördelningen av värme på olika temperaturnivåer. Källor: Ref (79) och (100).

Table 13
Suitability of each waste heat technology for data center applications.

Technology	Air cooled data center (waste heat 45 °C)	Water cooled data center (waste heat 60 °C)	Two phase cooled data center (waste heat 75 °C)
HVAC/domestic hot water	Yes	Yes	Yes
District heating	Yes, with booster	Yes	Yes
Boiler feedwater preheating	No	Yes	Yes
Absorption refrigeration	No	Yes	Yes
Organic rankine cycle	Yes, with booster	Yes	Yes
Piezoelectrics	Yes	No	No
Thermoelectrics	No	No	Yes
Desalination	No	Yes	Yes
Biomass processing	Yes	Yes	Yes

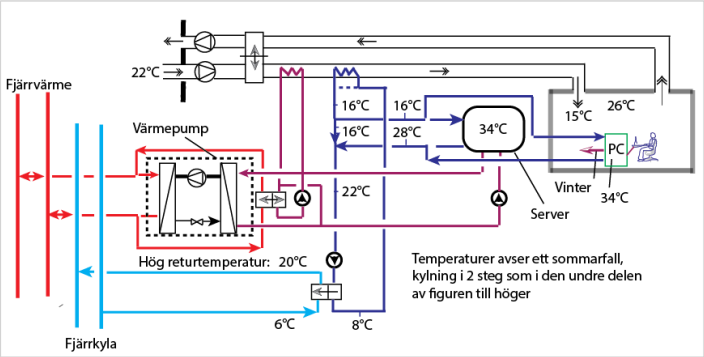


Figur 193: Olika sätt att utnyttja spillvärmet från en server, bl.a. två kraftverkscykler, en ångcykel där spillvärmet används för matarvattenförvärmning i en ångkraftprocess och som värme tillfört en Organisk Rankine Cykel. Källa: (100).

Det pågår undersökningar (101) och (102) av användning smält metall som värmeupptagande medium, bl.a. gallium, som har en mycket låg smältpunkt (30°C), och som kan transportera mer värme än vad vatten kan. Man kan pumpa metallen med hjälp av en elektromagnetisk princip som innebär att man inte har

några rörliga delar. Värmetransport med smälta metaller är bl.a. känd från fast-breeder kärnkraftsreaktor-forskningen med kylning med flytande natrium. Mht till risker att det vid läckage och kontakt mellan vatten och natrium uppstår kraftiga explosioner, så pågår forskning kring andra alternativ. Inom Electra-programmet är inriktningen att kyla 4:e generationens kärnkraftsreaktorer med flytande bly, referens (103).

Figur 194 visar ett system med en kundcentral innefattande batterier för kyla och värme samt tre objekt (ett eller två av dem kan utelämnas) som kyls med fjärrkyla på sommaren - en central server, PC och personer (via s k kylhandske). Servern och PCna är vätskekylda. Angivna temperatur avser ett sommarfall utan kylning med kylhandske. Värmepumpens närvaro förutsätter att värme återvinns från servern, via streckade, mörkröda ledningar.

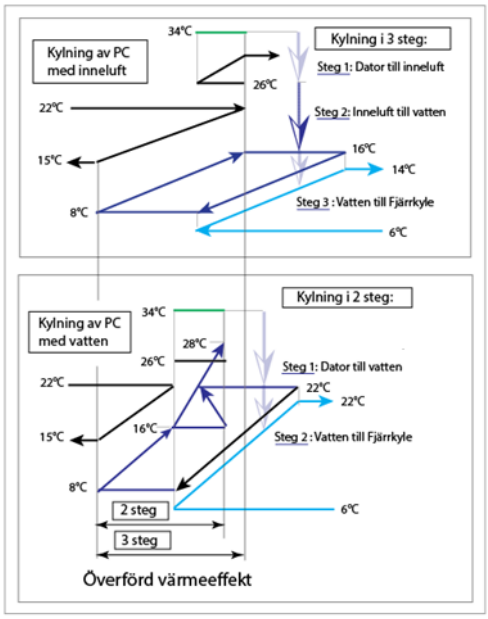


Figur 194: Innovativ kundcentral med ICT-utrustning (omfattar även senare redovisad Figur 196). Temperaturförlopp redovisas i Figur 195.

Via ett kyldistributionssystem inomhus kan PC på olika platser kylas på sommaren. På vintern tillförs värmen från PCn rummen som ”gratisvärme”. För värmet från servern finns tre valmöjligheter: Det kan kylas bort med fjärrkyla, det kan tillföras inkommande friskluft, eller det kan tillföras fjärrvärmenätet via en värmepump som lyfter temperaturnivån.

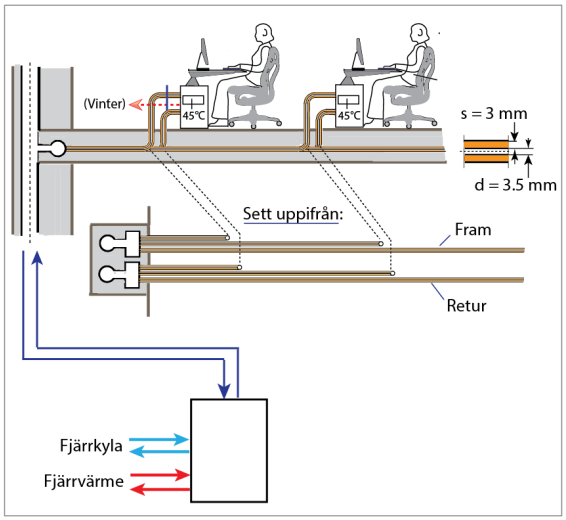
Servern och PCn är vattenkylda. Ändå kyls de vid en ganska måttligt hög temperatur. Detta kan dels möjliggöra användning av utrustning som inte från början varit vattenkyld, dels innebär det bättre möjligheter att utnyttja värme från alla delar av servern, i enlighet med tabellen i *Figur 192*. Å andra sidan kyls både servern och PCn med så pass hög temperaturnivå på kylvattnet att dessa kan kopplas i serie med kylbatteriet och därmed ge en hög returtemperatur för fjärrkylevattnet på sommaren. Om utrustningen tål högre driftstemperatur skulle man kunna komma upp i ännu högre temperaturnivå, särskilt om servern är stor i förhållande till kylbehovet hos servern.

Kylning av datorutrustning på relativt hög temperaturnivå kan även öppna för möjligheten att på vintern utnyttja värmet i ett radiatorsystem som kan delvist seriekopplas med ett värmebatteri för luftvärme, eller med ett golvvärmesystem på en låg temperaturnivå.



Figur 195: Temperatur-effektdiagram där det undre diagrammet avser kopplingen i Figur 194. Diagrammet ovanför avser en vanlig koppling med kylning av ett antal PC med en fläkt som tar in inneluft. I det undre fallet "by-passar" man inomhusluften, värmet går direkt till kylvattnet.

Figur 196 är en skiss av hur distributionssystemet för kyla till PCn kan vara uppbyggt. Ett vanligt förgrenat vattenrörsystem leder vattnet till ett eller flera ställen där man anslutit ett antal parallella, flexibla rör som leder vattnet fram till de enskilda PCn och kylhandskarna. Det finns redan i marknaden ett flertal system som möjliggör förläggning av kablar av olika slag (primärt el och data) inom ett kontor, kontorslantskap mm. med minimal mängd ledningar ovanför golvytan. *Figur 197* visar ett exempel på ett sådant system. Även ledningar i eller under taket kan vara en möjlig placering.



Figur 196: Distribution av varmt vattem inomhus för kylning av PC.



Figur 197: Bilder som illustrerar ett av marknadens modulariserade system för placering av kablar i golv i kontorsfastigheter mm. I ett sådant system skulle vattenledningar för kyla kunna inrymmas tillsammans med el- och signalkabler mm. Källa: FreeAxez.

För den icke oväsentliga investering som kyldistributionssystemet medför får man bl.a. delvis seriekoppling av kylning av ventilationsluft och datorer och därav följande hög fjärrkylereturtemperatur. Man kan uttrycka det så, att man bypassar inneluften som innebär flera värmetransmissionsmotstånd på vägen från PC/personer till fjärrkylenätet.

En annan intressant aspekt av den speciella typen av vattenburen kyla som ”by-passar” inomhusluften är att den i liten grad eller inte alls innebär risk för kondensation av fukt på kalla ytor. Därvid skiljer den sig från de flesta typerna av vattenburna kylsystem som fordrar att yttemperaturen på de kylöverförande elementen (kyltak, baffler mm) inte får bli lägre än, eller högsta enstaka °C lägre än daggpunktstemperaturen för luft med den aktuella fukthalten. Ifall luftbytet är större än det som behövs av hygieniska och komfortskäl, och uteluften är kallare än inneluften, blir förbrukningen av kyla mindre om en större del av den totala kyleffekten överförs direkt från varma källor till kylvattnet. På vintern kyls PCerna på vanligt sätt med luft och lämnar därmed nyttigt värme till rummen och minsker behovet av fjärrvärmeeffekt. De flexibla rören har (första utkast till dimensionering) en yttre diameter om 9 mm och en medierörsdiameter om 3.5 mm. Med dessa och flera antaganden (bl.a. längd 40 m) kan som ett illustrerande exempel följande beräknas, *Figur 198*.

Värmeeffekt = $\pi/4\ d^2\ \rho\ v\ c_p\ \Delta t = \pi/4$ x (0.0035m)^2 x10^{3}kg/m^3 x 0.5m/s x 4200J/kg°C x (28-16)°C = 220 W

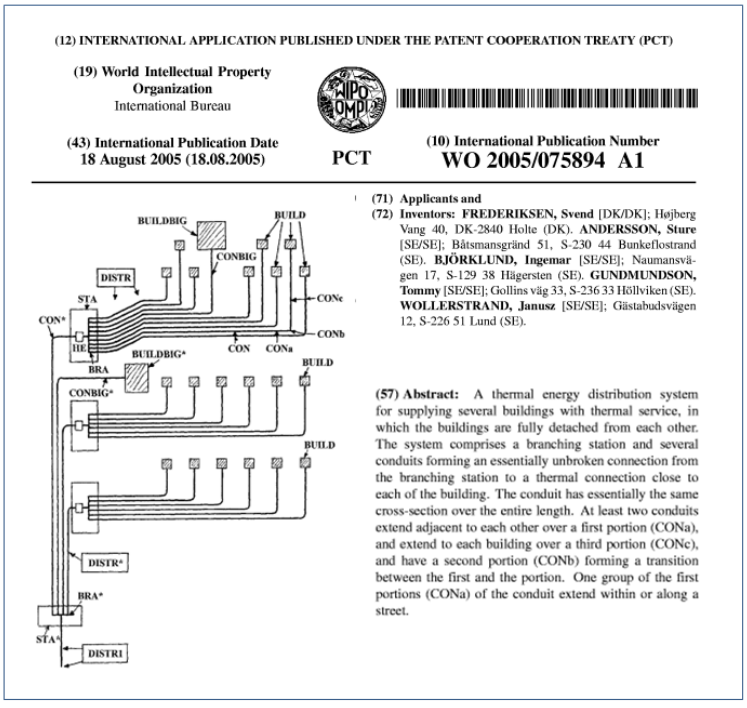
Värmeförlust = $\lambda'\ \Delta T\ f/s\ \pi\ d\ L$ = 0.025W/m°C x (26 - 16)°C x 0.5/0.0035m x π 0.005 x 40m = 23 W (f = formfaktor, grov skattning)

Tryckfall = $\lambda''\ L/d\ 0.5\ \rho\ v^2$ = 0.02 x 40m/0.0035m x 0.5 x10^{3}kg/m^3 x (0.5m/s)^2 = 20.000Pa = 0.3 bar

Figur 198: Beräkningsexempel

Förlusteffekten och tryckfallet är helt acceptabla. Om man, som i *Figur 195* antar fram- och returtemperaturer om 16 och 28°C, utgör den effekt som motsvarar uppvärmning av framledningsvattnet ingen förlust då den bidrar till kylningen av byggnaden. Returtemperaturen ligger nära inomhustemperaturen, varför värmeisolering av returledningarna skulle kunna undvaras. I verkligheten kommer parallellarrangemanget att innebära att förlusten från en ledning reduceras av inverkan från ledningar på sidan/sidorna av ledningen i fråga. Det är även tänkbart att minska isoleringen av framledningen, vilket kommer att underlätta inrymmandet av ledningarna i golvet.

Systemet utgör en tillämpning av en av våra egna gamla uppfinningar, se *Figur 199*. Genom att leda fjärrvärmevatten i parallella, flexibla ledningar undviker man ett stort antal skarvar. Detta kan utnyttjas för att snabba upp montaget. Den patentsökte uppfinningen förutser (som en av många varianter av utförande) även att reduktionen av antalet skarvar kan utnyttjas för att minska risken för läkage i framtida ledningar baserade på värmeisolering med vakuum. Tyvärr har uppfinningen (enligt vår kännedom) inte kommit till användning. Ur praktisk synpunkt finns den nackdel, att uppfinningen innebär en fundamental ändring av hela distributionssystemet. Den här föreslagna tillämpningen borde vara avsevärt lättare att introducera.



(12) INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau

(43) International Publication Date
18 August 2005 (18.08.2005)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2005/075894 A1

(71) Applicants and
(72) Inventors: **FREDERIKSEN, Svend** [DK/DK]; Højberg Vang 40, DK-2840 Holte (DK). **ANDERSSON, Sture** [SE/SE]; Båtsmansgränd 51, S-230 44 Bunkeflostrand (SE). **BJÖRKLUND, Ingemar** [SE/SE]; Naumansvägen 17, S-129 38 Hägersten (SE). **GUNDMUNDSON, Tommy** [SE/SE]; Gollins väg 33, S-236 33 Höllviken (SE). **WOLLERSTRAND, Janusz** [SE/SE]; Gästabudsvägen 12, S-226 51 Lund (SE).

(57) Abstract: A thermal energy distribution system for supplying several buildings with thermal service, in which the buildings are fully detached from each other. The system comprises a branching station and several conduits forming an essentially unbroken connection from the branching station to a thermal connection close to each of the building. The conduit has essentially the same cross-section over the entire length. At least two conduits extend adjacent to each other over a first portion (CONa), and extend to each building over a third portion (CONc), and have a second portion (CONb) forming a transition between the first and the portion. One group of the first portions (CONa) of the conduit extend within or along a street.

Figur 199: Uppfinning som utnyttjas i systemet som visas tidigare i Figur 196. Källa: www.espacenet.com

Den beskrivna lösningen utgår från stationära desktop-typ PC. Men det finns numera även laptops som är tillverkade för vätskekylning, ref. (104) och (105). Man kan föreställa sig lösningar där en laptop snabbt och enkelt kan kopplas på det beskrivna kyldistributionssystemet. För laptops som inte är vätskekylda skulle man kunna ha en platta på vilken man kan ställa laptoppen. Genom att vara

ansluten till kylsystemet och vara designat så att den kan absorbera värme, kunde plattan utgöra ett smidigt interface. Kanske går det att fånga upp värme även från tablets mm. Det skulle exempelvis kunna integreras med en dockningsstation.

9.2 PERSONLIGA KOMFORTSYSTEM

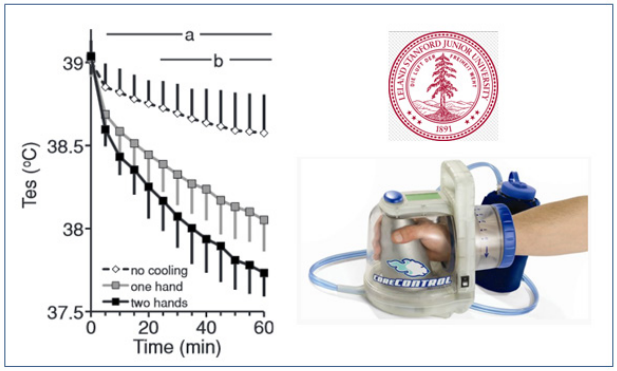
I vanliga behovsstyrda komfortsystem regleras komforten individuellt för varje rum i en byggnad, typiskt så att luftbytet i rummet anpassas till CO_2-halten. I personliga komfortsystem går man ett steg längre och anpassar komforten individuellt för varje person, i första hand genom att ha ventilationskanaler som leder fram luft till varje arbetsplats, i regel skrivbord. Ur komfort- och energihushållningssynpunkt är det en nära nog idealisk lösning, men den är kostsam att installera, enligt referens (106).

Eluppvärmda stolar är standardutrustning i moderna personbilar. Eldrivna fotvärmare säljs i viss omfattning, men knappast elvärmda kontorsstolar, även om de visats sig kunna ge en tydlig energispareffekt, då man kan sänka rumstemperaturen med bibehållen komfort. Det är en billigare lösning än personlig ventilation. Det har även experimenterats med kylda stolar, referens (107), fötter mm, vilket inte är lika enkelt att ordna som värmning som kan utföras med enkla värmetrådar. Referens (108) gör en genomgång av vetenskapliga undersökningar av et stort antal varianter av personliga komfortsystem.

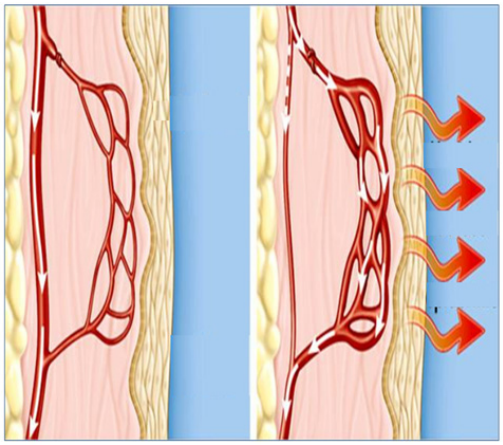
I fördjupningsavsnitt 19.3 ”Termisk stress” utvecklas hypotesen, att det termiska inneklimatet på arbetsplatser borde anpassas inte enbart till friska personer, utan även till personer som har olika sjukdomar som medför att de har försämrad tolerans för variationer i inneklimatet. Personliga komfortsystem är lämpade för detta.

Vid Stanford University i USA har det utvecklats en avancerad handkylare som säljs kommersiellt, främst till idrottsmän och för medicinsk och militär användning, *Figur 200*, dvs för relativt extrema förhållanden, ref (109) och (110). Se även patent, ref (111) och (112). Handkylaren har visats kunna förbättra idrottmäns prestationer avsevärt, ref (113). Diagrammet visar sänkningen av en mycket hög (inre) kroppstemperatur, även om man endast använder handsken för ena handen.

Inom fysiologin är det välkänd att handflatorna hos en människa har förmågan att överföra en mycket högre värmeeffekt per ytenhet än övriga delen av kroppsytan, och detta har utnyttjats, t ex för att snabba upp inställningen av kroppstemperaturen hos personer som under en operation varit nerkylda. Hos hundar är tungan inriktad på samma sätt. Problemet med konventionell kylning eller värmning av en människa via en hand är, att kylningen motverkas av kroppens reglersystem, se *Figur 201*: Om handen är kall drar blodkärlen ihop sig, och de ytligaste kärlen bypassas, varvid den värmeffekt som kan tas ut från kroppen blir mindre.



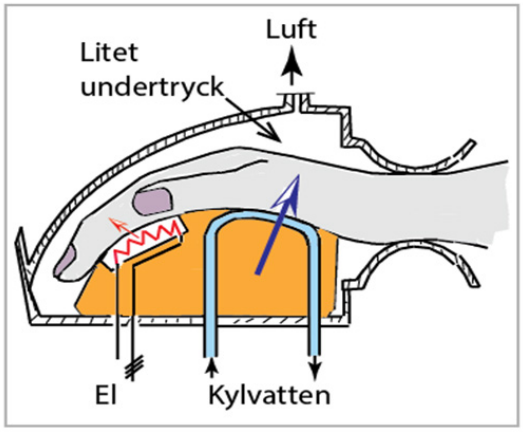
Figur 200: Kylhandske enlig Stanford university. Källor: (109) och www.avacore.com



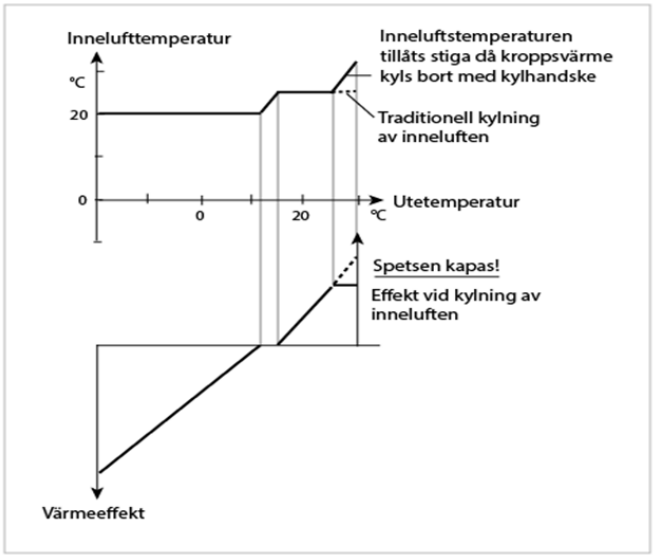
Figur 201: Vasodilatation/vasokonstriktion och anastomos, handflators sätt att reagera på kyla och värme. Källa: www.lookfordiagnosis.com

Uppfinningen bygger på den iakttagelse att ett svagt vakuum kring en hand upphäver denna kylreducerande verkan, varvid avkylningen av handen får större effekt. Kylan kommer från ett islager i en behållare från vilke flexibla rör leder vatten fram till handsken.

Vi känner inte till om uppfinningen utnyttjas på kontor eller i andra mindre extrema tillämpningar. Uppgifterna om handskens effektivitet pekar på att det borde vara möjligt. Om man endast behöver svalka sig då och då verkar det inte uteslutet att det t.ex. kan förenas med betjäning av tangentbord. Dock kan man tänka sig att det kan vara ett problem att avkylningen gör fingrarna stela. Ett sätt att hindra detta kunde vara att begränsa avkylningen till själva handflaten, eventuellt kombinerat med lite värmetillförsel till fingrarna, *Figur 202*.



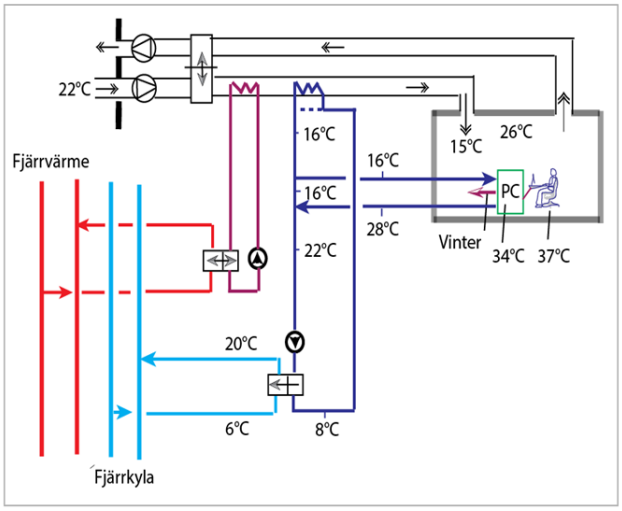
Figur 202: Kylhandske kompletterad med värmning av fingrar.



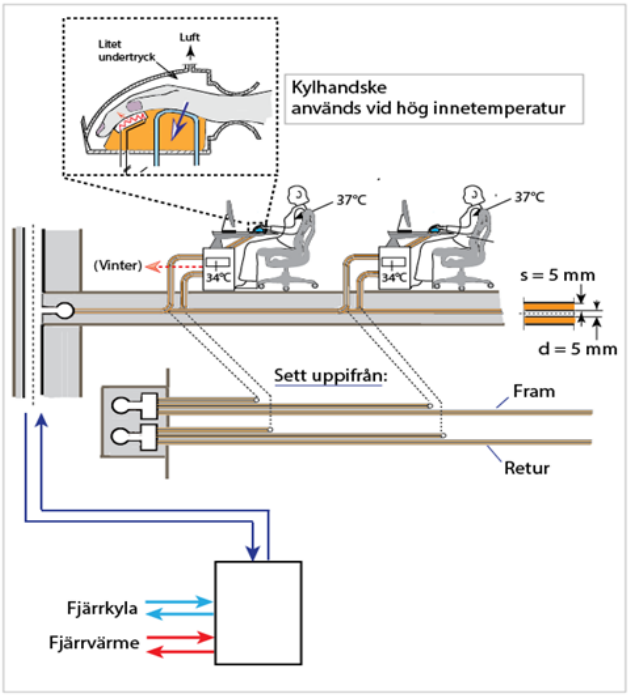
Figur 203: Variation av innelufttemperatur och värme/kyleffekt med utetemperaturt. Med kylhandskar kan man minska effektoppen med bibehållade av god termisk komfort.

Figur 203 visar variation av innelufttemperatur och värme/kyleffekt med utetemperatur. Med kylhandskar kan man minska effektoppen med bibehållen god termisk komfort.

Avkylning och uppvärmning av människor via handskar kan infogas i de tidigare visade kundcentralsystemen enligt *Figur 194* och *Figur 196*, såsom visas i *Figur 204* och *Figur 205*. Här har kroppskylning kombinerats med kylningen av PC. Detta minskar den relativa värmeförlusten / den skadliga uppvärmningen av vätskan i de klena rören, och det bidrar till att öka möjligheten att systemet kan förverkligas med en god totalekonomi.



Figur 204: Kundcentralsystem med vätskekylning av PC och av personer på sommaren via samma typ av kyldistributionssystem som visades i Figur 196.



Figur 205: Kundcentralsystem med vätskekylning av PC och av personer på sommaren via samma typ av kyldistributionssystem som visades i Figur 196.

Vid det beskrivna sättet att kyla personer ”by-passar” man inneluften, kylningen får man direkt från den kylande vätskan till personen i fråga, på samma sätt som visades för kylningen av PC, *Figur 194*. Därmed kan kylningen ske med en relativt hög vattentemperatur, vilket gör det möjligt att koppla personkylningen delvis eller helt i serie med kylbatteriet, vilket i sin tur bidrar till en hög fjärrkylereturtemperatur.

Det finns ett flertal varianter av kylande eller värmande handskar beskrivna i patentlitteraturen, t ex ref (114) och (115), många av dem avsedda för medicinska

ändamål. Några av konstruktionspriciperna kan tänkas komma till användning i det beskrivna systmet i stället för Stanford-handsken, om den av någon anledning befinnes vara mindre lämplig. Apple Inc. har ett patent (116) på en typ handske som, baserat på en kombination av värmeledande och värmeisolerande material minskar problem med kalla fingrar vid betjäning av I-phones vid kall väderlek; det påminner i vissa stycken om kylhandsken enligt *Figur 202*.

Patentskriften ref. (117) beskriver en avkylningsmetod som visas tillämpad på en kylande dräkt. I likhet med Stanford-uppfinningen vill man komma förbi den naturliga reaktionen hos kallt skin, dvs. undvika sammandragning av blodådrorna och därmed by-pass av de yttre kärlen. I den här skriften anvisas att man med en reglering som är baserad på feedback från noggrann mätning av hudytans temperatur, skapar en intermittent kylning genom att föreskriva att yttemperaturen ska variera inom intervallet 33 - 35°C. Användning av kylande dräkt inkräktar inte på vad händerna kan göra, hantera tastatur etc., men kan upplevas som mer besvärligt och mindre elegant, eller möjligen tvärtom ”cool”/”tuff”/”sporty”. Eventuellt ska det finnas möjlighet för olika personer att välja olika varianter av personlig kyla/värme.

Många ser säkert uppfinningen med kylhandske som lite utopisk och förmodligen även lite opraktisk. En nyttighet kan vara att en person upplever värme när alla andra i rummet upplever kyla. Med punktkylning av en del av kroppen, så uppfattar hjärnan att kroppen inte är för varm. Detta kan omvänt jämföras med att om man på vintern har flera lager av kläder men saknar huvudbonad, så fryser man ändå.

En utmaning är att med småskalig distribution av vatten finna ekonomi. En annan utmaning är förhållningsättet till det flexibla kontoret. När ett kontor byter användare vill fastighetsägaren snabbt kunna hyresgästanpassa lokalytan. Innerväggar och möbler vill man enkelt kunna flytta. Lösningar med vattensystem i golvet för anslutning till lokal ICT behöver man utveckla smarta anslutningsmöjligheter för.

10 Pandemikoppling

10.1 BAKGRUND OCH MÖJLIGHETER

Vi kommer i ett fördjupningsavsnitt 19.5 kallat ”Spridning av influensavirus” under fördjupningsavsnitten att redogöra för spridningen av virus och kopplingen till det värdeskapande som den föreslagna innovativa kopplingen ger.

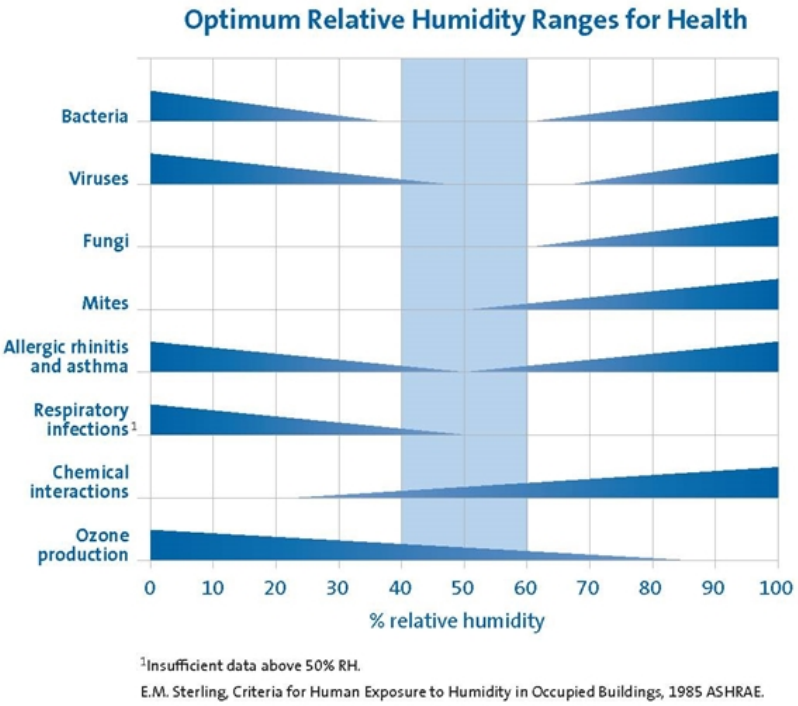
Vi anser att det är en så pass nyttigvunnen kunskap att lyfta fram. Därför har vi även lagt vikt vid en djupare beskrivning med ett avsnitt placerat i **Bilaga C ”Pandemier**”, som är en bred redogörelse för influensapandemier. Det sistnämnda argumenterar för att problemet är angeläget, medan det förra dokumenterar, att virusets förmåga att överleva och spridas är starkt beroende av temperatur och fukthalt, vilket gör det tekniskt möjligt att bidra till begränsning av smittspridning.

Någon säger kanske: ”Det är nog lite överdrivet med rädslan för pandemier”. **Bilaga C** visar, att detta är fel. Då säger man kanske: ”OK, men det är väl en medicinsk fråga, hör den hit?”. Svar ja: Vi har tur att det visar sig att viruset är starkt beroende av två parametrar som vi som energitekniker kan kontrollera, temperatur och luftfuktighet i vistelsezonen.

Influensa utgör den största risken för en allvarlig pandemi. Det finns starka indikationer på att risken för influensasmitta kan minskas genom att se till att luftbytet, lufttemperaturen och luftfuktigheten alla är höga. Beaktar man enbart influensavirus bör man välja extremt hög luftfuktighet. Men i en bedömning där alla faktorer vägs in, framstår en relativ fukthalt om 40-60% även som et bra riktmärke. Figur 206 visar Sterlings diagram från 1985 som ofta används, i lite olika varianter, för att åskådliggöra att det ur hälsosynpunkt finns ett optimalt intervall för luftfuktigheten inom vilket man i möjligaste mån minimerar problem som är förhärskande vid låg respektive hög fukthalt.

Vad kan då vår bransch erbjuda? Det finns här en chans att flytta positionerna mot ett värdeskapande av stora mått.

En del är kanske skeptiska till att man går in på pandemier i samband med energiförsörjning; det kan tyckas ligga lite väl långt från ämnet. Det kan därför vara på sin plats att nämna, att samma typ av skepsis fanns när problemet Legionella började uppmärksammas på mitten av 1980-talet. I dag är det en självklarhet att man med lämpliga varmvattentemperaturer mm ska förebygga tillväxt av Legionella-bakterier. Den svenska fjärrvärmebranschen visade den gången framsynhet och ansvarskännande genom att i ett tidigt skede stödja forskningsprojekt som bidrog till att bana vägen för hur man konkret ska hantera frågan.



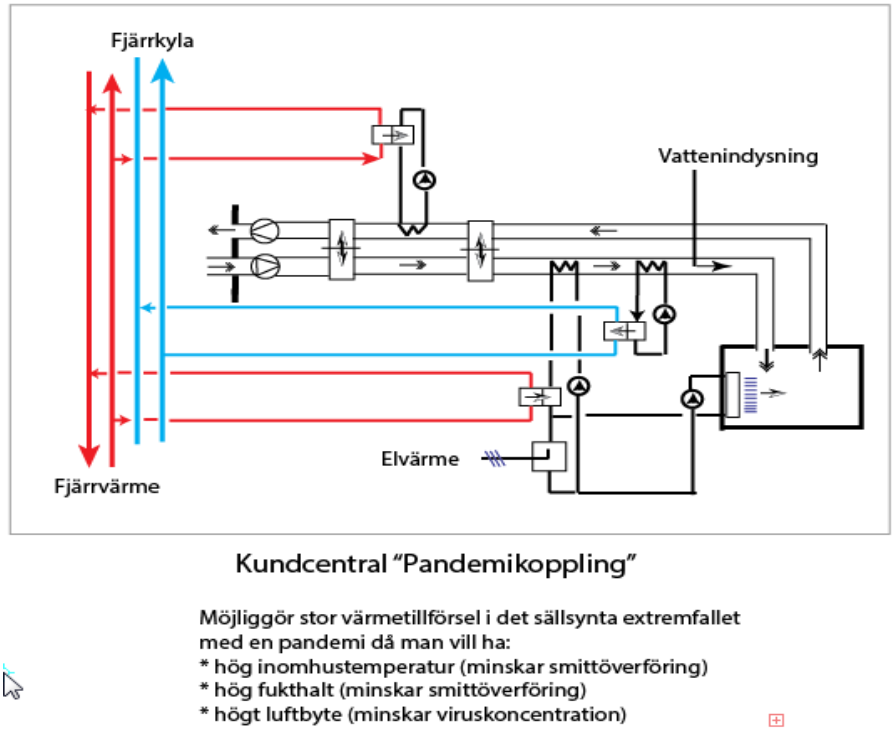
Figur 206: Sterlings diagram med optimalt intervall för luftfuktighet ur medicinsk synpunkt. Källa: (118).

10.2 INNOVATIV LÖSNING

De uppdaterade forskningsresultat som redovisats om influensasmittsamhet pekar på att det är bekymmersamt att luften är så pass torr på vintern inomhus i Sverige, i synnerhet inom landets norra delar. Tillsammans med bl.a. kunskapen om torr lufts tendens att förorsaka torra ögon, ger det ett starkt incitament att försöka hitta metoder att kunna uppfukta luft på vintern.

Om man utgår från att hypotesen om att högt luftbyte, hög lufttemperatur och hög luftfuktighet minskar risken för influensasmitta inomhus kan man rekommendera att man ställer in ett klimatiseringssystem i en byggnad för detta i händelse av en influensapandemi och eventuellt även vid säsongsinfluensa när den härjar som värst. Vid konkretiseringen av detta har man det problemet att alla tre åtgärder ökar värmeförbrukningen vintertid, och uttagen värmeeffekt är mer eller mindre begränsat. Tyvärr är det knappast möjligt att ge anvisningar på hur man ska prioritera.

Energisparande under uppvärmningssäsongen kommer här inte att prioriteras vid en pandemi. Då detta går stick i stäv med myndigheters rekommendationer under flera decennier fordrar det att de relevanta myndigheterna fokuserar på frågeställningen, och att andra aktörer (t.ex. Svensk Fjärrvärme) informerar på ett genomtänkt sätt.



Figur 207: Kundcentral med "pandemikoppling", se beskrivning i figuren.

För att minska prioriteringsproblemet kan man välja en "pandemikoppling" enligt Figur 207, där man har ett elvärmelement och en uppfuktare i tilloppet för ett ventilationssystem. I första hand är avsikten att elvärmen endast ska komma till användning under influensapandemier eller vid svår säsongsinfluensa. Då som nämnts pandemier inte är årstidsbundna, kan elvärmning bli aktuell även sommartid.

Figuren visar en typ av kundcentral med en reglering som bl.a. innebär att man på arbetsplatser i händelse av en svår pandemi nattetid avsevärt höjer både fukthalten och temperaturen, t ex till 30°C eller högre, och att man för att kunna åstadkomma detta även vid en låg utomhustemperatur har ett kraftigt elvärmebatteri som kan värma tilluften i ett ventilationssystem. För att minska värmestressen på personer kan man tänka sig att kombinera detta med användning av t.ex. kylhandske, se tidigare avsnitt 9.2.

Detta kan verka drastiskt, men en allvarlig pandemi är ett katastrofläge i vilket den omdelbara komfortupplevelsen kan få vika. Ett alternativ är: Undvik

energisparande och håll behaglig temperatur 23°C och 50% RF dygnet runt, för att åtminstone inte aktivt gynna viruset!

Vi förutser att många läsare kommer att ifrågasätta vår analys och uppfatta det tekniska lösningsförslaget som orealistiskt. Därför lämnar vi detaljerad information om bedömningen av hotets allvar och den vetenskapliga grunden för effekter av temperatur och fukthalt. Wikipedia ger en bra introduktion. Man kan t.ex. göra uppslag på: ”Pandemic”, ”1918 flu pandemic” och ”Influenza A virus subtype H5N1”.

11 Prosumers - Smart Grid

11.1 INLEDNING

Optimering inom fjärrvärmesystem har traditionellt fokuserat på produktion och distribution. På senare år har dock även värme och kylsystemen hos kunderna fått ett ökat och välförtjänt fokus. Idag finns på många håll en insikt om fördelarna att gå från att koncentrera sig på de enskilda komponenterna (lokal optimering), till att lägga minst lika mycket vikt på interaktionen mellan komponenterna (systemoptimering).

Man kan nog påstå att fjärrvärme och fjärrkyla hittills bara tagit sig an ”smart teknik” i rätt liten omfattning. Det är framförallt inom elnätsidan Smart Grid, eller Smarta nät, har varit en mera uppmärksammad teknik. Smart Grid-lösningar innebär att producerande enheter och användare står i konstant kontakt i ett nätverk av intelligenta mät- och styrpunkter. Det stora flödet av information gör det möjligt att ta till vara ett dynamiskt utbyte mellan levererande enheter och individuella kunder/förbrukare. Detta innebär förändringar på alla nivåer, från nätinnehavare till systemleverantörer och hela vägen till konsumenten. Konsumenten kan också vara en energiproducent, som ibland omnämns som en prosumer. Smarta nät är ett helhetsgrepp som möjliggör småskalig och intermittent energiproduktion.

Smarta termiska nät kommer att spela en viktig roll i framtidens energiinfrastruktur när vi skall forma nästa generations försörjningslösningar som i allt högre grad kommer att sammankoppla olika leverantörer och kunder i ett mer flexibelt och öppet energisystem. För att få en övergripande bild om vad som efterfrågas för att uppnå önskade förbättringspotential kan man skissa på följande övergripande egenskaper:

Flexibla: Snabbt kunna anpassa sig utifrån aktuellt utbud och efterfråga av värme och kyla. Detta kan exempelvis innebära att anpassa temperaturer i existerande system vid integrering av lokala system med andra temperaturnivåer.

Intelligens: Inbyggd förmåga att kontrollera och styra smart och effektivt samt göra det möjligt för användare med egna förutsättningar att producera och leverera in på nätet.

Integrera samt samverka mellan olika nyttigheter: Förutsättningar att uppnå en bred samverkan där aktörer kopplas samman i gemensamma nät som i sin tur kan synkroniseras med andra nätverk för kraft, vatten, fiber etc.

Effektivitet: Lösningar som skapar optimal övergripande effektivitet (systemperspektiv), där man kan ta vara på ekonomiska och miljöresurser.

Konkurrenskraft: Skapa en helhet som ger rätt incitament och drivkrafter till deltagande aktörer som bygger grunden för effektiv samverkan. Aktörerna skall kunna se att kostnaderna blir lägre samt att nödvändiga investeringar visar högre avkastning.

Skalbarhet: Lösningar som successivt byggs på för att nå kritisk storlek för att skapa maximal konkurrenskraft och ta vara på den lokala marknadspotentialen.

Leveranssäkerhet: Prioritera lösningar som tar till vara lokala förnyelsebara energikällor, minska beroendet av ”icke lokala energikällor” samt bygga en robust infrastruktur som ger önskad tillgänglighet.

Det är viktigt att successivt kunna utveckla affärsmodeller som kan ersätta dagens försäljningsintäkter från att leverera energi till andra erbjudanden som skapar värde hos kunden. Smarta nät öppnar möjligheterna att synliggöra samt agera på data som kan optimera och utveckla effektiviteten i det integrerade systemet.

Smarta nät integrerar på ett intelligent sätt alla slags energikällor, både storskaliga och småskaliga. Genom bättre kontroll och övervakning av energisystemet optimeras utnyttjandet av förnybara energikällor. Smarta nät möjliggör även för fastighetsägare, hushåll och verksamheter att bli mer aktiva på energimarknaden, bland annat genom att kunna sälja överskott av egen energiproduktion.

11.2 NULÄGE

I dagens fjärrvärme- eller fjärrkylesystem finns det ingen direkt driftinformation kopplad mellan leverantör och enskild kund. Systemen är helt och hållet efterfrågestyrda utifrån det aggregerade kundkollektivets behov. Samtidigt som den enskilde kundens behov enbart styrs av lokala styrparameterar, vilket oftast leder till relativt stora svängningar i uttagsmönster. En ”smart grid” lösning vänder upp och ned på detta förhållande och ger just förutsättningar att interaktivt i realtid styra och optimera för att nå bästa möjliga prestanda i ett systemperspektiv samt att samtidigt ge kunden den leveranskvalité som efterfrågas. Leverantörens fokus ligger oftast vid att optimera produktionen utifrån ett effektperspektiv, medan kundens fokus ligger i att effektivisera energibehovet. Idag pågår en diskussion om hur man kan stärka förtroendet och dialogen mellan leverantör och användare. Att kunna ha en interaktiv samverkan mellan parterna är något som är centralt för att upprätthålla förtroende för fjärrvärme och fjärrkyla. Hur ökas förutsättningarna att stärka relationen till kunderna med ökat samarbete och dialog vilket blir allt viktigare då konkurrensen från alternativa lösningar ökar?

Genom automatiserade analyser av fastigheter i kombination med intelligenta styrfunktioner kan en fjärrvärmeleverantör agera proaktivt för att hantera spetslast och optimera det operativa beteendet i värmebehovet.

Här finns absolut en rad olika möjligheter för att skapa en viktig mötesplats för leverantörer och kunder där det finns värden för båda. Från både ett kund- och leverantörsperspektiv är det värdefullt att kunna hushålla med både ekonomiska och miljöresurser. En tydligare koppling mellan leverantör och kund kommer att vara en viktig komponent för att lyckas med den strategiska utvecklingen i framtiden för svenska energiföretag (fjärrvärme- och fjärrkyleleverantörer) och smarta nät är ett verktyg för att uppnå detta. De första erfarenheter som man ser i marknaden idag kan ge en leverantör en möjlighet att tillsammans sina 20 största kundanläggningar skapa driftoptimeringar där man kan undvika dyrare bränslen

samt optimera kraftvärmeproduktion som visar avkastningsnivåer som är mer en dubbelt så höga som att bygga en fysisk ackumulator.

11.3 HUR FUNGERAR DET

Redan på 1970-talet byggdes det upp ett kunnande om resurs och energihushållning baserad på att byggnader kan fungera som värmelager, men lägre energipriser gjorde frågan mindre intressant. I och med att hållbarhetsfrågorna fått allt mer uppmärksamhet är resurs/energihushållning återigen en viktig fråga.

Det är viktigt att skilja på passiv och (termo)aktiv värmelagring. Oftast diskuteras passiv värmelagring, men även aktiv värmelagring där energiuttaget flyttas mellan olika rum eller mellan leverantör och kund har fått ett stort intresse.

För en producent som praktiskt vill kunna utnyttja laststyrning genom att styra individuella kunders uttagsprofiler behövs en teknik för att styra konsumtionen vid enskilda fjärrvärmecentraler, vidare behöver man upprätta dubbelriktad kommunikationsmöjlighet mellan fjärrvärmecentralerna och övervakningsnoden. För att kunna anpassa sig efter situationer för de enskilda fjärrvärmecentralernas aktuella värmebehov krävs det ett överordnat styrsystem som sköter detta automatiskt och dynamiskt då komplexiteten är för stor för att detta skall göras manuellt eller via fördefinierade statiska laststyrningsmodeller.

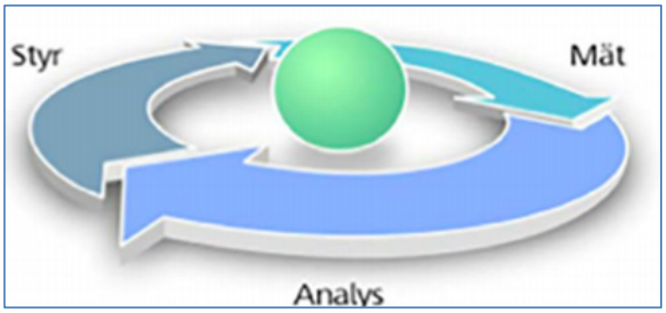
11.4 INVERKAN AV INSTALLATION OCH DRIFT

Idag finns det exempel på olika typer av styrsystemlösningar allt ifrån traditionella styrsystem som exempelvis styr inomhustemperaturen utifrån, till nya innovativa styr- och reglersystem som använder den tunga fastighetsstommens egenskaper. Styrsystemet påverkar byggnadens värme- och kylbehov.

En fastighets inomhusklimat är viktig, och i takt med att det byggs allt mer energieffektivare hus minskar uppvärmningsbehovet, men det kan också resultera i högre inomhustemperaturer när exempelvis solen värmer. Till detta kommer klimatförändringen att potentiellt leda till ett ökat kylbehov om medeltemperaturerna stiger.

11.5 ENERGI- OCH EFFEKTBEHOV

Idag ligger fokus ofta på energibehovet och möjlighet att effektivisera med avseende på mängden energi som används. Dock är det mycket viktigt att inte glömma effektbehovet. Idag blir alltmer effekttoppar (för både värme och kyla) som dimensionerande på användarsidan. Vad händer om vi begränsar tillgänglig effekt? För att spara resurser är det viktigt att fundera på vilka vinster som kan finnas vid minskning av effekttoppar, Figur 208. I många fall är det spetslastproduktion som används vid toppar under kortare perioder och denna är ofta kostsam när det gäller både ekonomiska resurser och naturresurser.



Figur 208: Bygga plattformen för att påverka och därmed skapa resultat. Källa: Noda IS AB.

Värmelagrande byggnader minskar dess effektbehov. Då minskar också marginal-användningen av ofta dyrare topplast utrustning. Värmelagringen i en byggnad med tung stomme ger lägre och mindre varierande effektbehov, mer komfortabelt inomhusklimat, minskad sårbarhet samt lägre energiförbrukning. Det är viktigt att hitta en balans mellan nyttan att göra energibesparingar och fördelar med att effektivisera kapacitetsbehovet. De allra flesta byggnader i de nordiska länderna är värme- och kyla tröga till sin natur, vilket innebär att stommen har en självreglerande förmåga att hålla rätt temperatur. Detta utnyttjas till väldigt liten utsträckning idag.

De flesta traditionella styr- och reglersystem som används idag är till stor del uppbyggda för att omedelbart kunna kompensera för minsta avvikelse. En viktig fråga är om det behovet finns i verkligheten.

11.6 KONVENTIONELLA STYR- OCH REGLERSYSTEM

Transmissions- och ventilationsförlusterna är direkt proportionella mot ute-temperaturen, vilket har styrt ingenjörer i VVS-branschen till att utveckla ett reglersystem som bygger på detta. Systemet är uppbyggt på så sätt att den söker en konstant innetemperatur baserad på utetemperaturen, men byggnadens värme- och kylatröghet gör dock att installationssystemet ofta ligger ur fas. Många befintliga styr- och reglersystem är dessutom onödigt komplicerade vilket kan leda till att de motverkar de värmedynamiska förloppen. I värsta fall värms och kyls fastigheten samtidigt.

Ett mått på ett hus värmetröghet är tidkonstanten, vilken i sin tur påverkas av värmelagringen och förluster. Andra saker som spelar in är värmekapacitet, det vill säga termisk massa och transmissionsförluster, alltså isoleringsgrad och köldbryggor, värmeförluster på grund av luftläckage i klimatskalet och slutligen ventilationsförluster (där även återvinning ingår). Med traditionella styr- och reglersystem försvinner stora delar av nyttan med värme och kylatröghet vilket tyder på att det finns potential att utveckla förbättrade styrsystem.

Det finns ett ökande utbud av installationssystem som kan utnyttja den värme/kylalagrande egenskapen. En översikt av den svenska marknaden visar att dessa system är inriktade på:

- Prognosstyrning
- Styrning på enbart innetemperatur
- Rumstemperatur- och prognosstyrning
- Behovsstyrd fjärrvärmecentral
- Last- och prognosstyrning

Viktiga utgångspunkter för förbättringar är att innetemperaturen borde vara styrbar samtidigt som styrningen av värme- och kylbalansen sker dynamiskt, då det är irrelevant att styra utetemperaturen. Huvudfokus bör ligga på att skapa incitament för styrning och optimering med hänsyn till effekt.

Ett typiskt exempel på detta är att det uppstår effekttoppar i fjärrvärmenät då det börjar regna. Luftens temperatur sjunker snabbt, oftast med flera grader och ett ökat behov av att värma den inkommande ventilationsluften uppstår.

Tillfällig automatisk sänkning av ventilationsflöde vid 100% luftfuktighet skulle kunna förebygga den typen av spetslast. Detta gäller även fjärrkylesystem.

11.7 OLIKA TILLÄMPNINGSOMRÅDEN

Det finns olika tillämpningsområden som kan var intressanta, exempelvis möjligheten att studera hur man aktivt kan nyttja väderprognoser för att skapa lokala lastprognoser. Dessa lastprognoser ligger sedan till grund för att planera och aktivt styra systemet optimalt med hänseende på miljö, komfort och ekonomi. Man kan även tänka sig att man studerar tredjeparts tillträde i fjärrvärmesystem där grupper av fastighetsägare går samman för att förhandla om energipriser om de garanterar att inte överstiga vissa effekttak. Man kan även tänka sig att analysera samspelet mellan tappvarmvattenlast och effektbegränsning på radiatorsidan. En teori är att tappvarmvattenprioritering inte behövs överhuvudtaget då man kör agentbaserad laststyrning.

11.8 OPTIMERAD KRAFTVÄRME

Att optimera kraftvärme handlar normalt sett om att samordna värmelasten med höga spot-priser på kraftmarknaden. Genom att använda NODA Smart Heat Grid är det möjligt att optimera detta beteende och samtidigt behålla en hög leveranskvalitet gentemot kunder i nätet. NODA tillhandahåller system för hela processen från prognostisering och optimering till operativ laststyrning.

11.9 MINSKAD SPETSLAST GER MINSKADE PRODUKTIONSKOSTNADER

Genom att hantera behovet i fjärrvärmenätet eller fjärrkylenätet är det möjligt att minska spetsbehoven, vilket minskar användningen av dyr och Systemet skapar stora möjligheter till operativ optimering för en leverantör. Fördelen är att få tillgång på smart service utifrån laststyrning och att få tillgång till ett system som utgör en plattform för energitjänster. Alla mindre miljövänlig spetslastproduktion.

parter är intresserade av tydlig information och uppföljning samt möjlighet att göra sin resurseffektivisering påverkbar och synlig

11.10 BEHOVSBALANSERING

I de flesta fall gynnas baslasten i ett fjärrvärmesystem eller fjärrkylesystem av en jämnare behovsprofil och av låga resp. höga returtemperaturer. NODA Smart Grid agerar som ett virtuellt lager som hjälper leverantörer att uppnå dessa mål.

11.11 KOMMERSIELLA TILLVÄGAGÅNGSSÄTT – SAMVERKAN MELLAN LEVERANTÖR OCH KUND

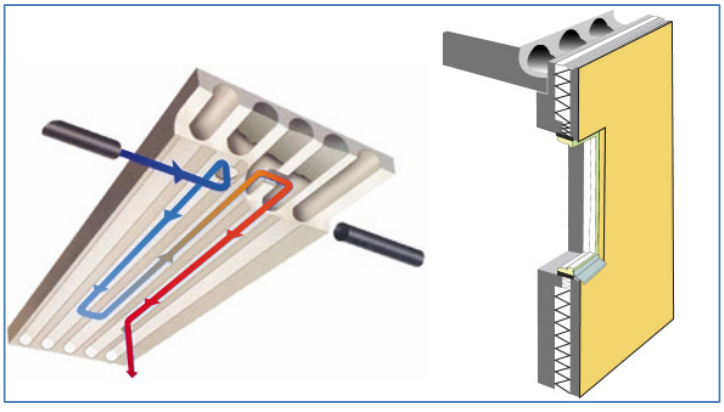
Det som borde eftersträvas är att hitta tekniska lösningar och ekonomiska incitament där kund och leverantör utnyttjar resurser på ett effektivt sätt och gör att även kapacitetsresurser blir viktiga faktorer.

Detta kan exempelvis innebära att leverantören har möjlighet att över tid styra uttagsprofilen jämtemot den enskilda fastighetsägaren om det finns utrymme att minska uttaget utan att äventyra det upplevda klimatet i fastigheten. Vilket till exempel kan innebära att låta innetemperaturen variera under kontrollerade former.

Genom en konstant mätning och verifiering av komforten kan produktionen optimeras inom de ramar och gränsvärden som sätts upp tillsammans med kunderna. För både leverantör och kund är fördelarna framförallt utjämnade effektuttag vilket leder till flera vinster. Leverantören kan minska dyr spetslastproduktion, vilket ökar möjlighet att framöver ansluta fler kunder utan att öka produktionskapaciteten samt att de kan producera energi mer kostnadseffektivt.

Exempel på olika tillvägagångssätt är:

- Aktiv värmelagring. Att låta fastigheternas stomme vara en del av värme/kylsystemet. Se Figur 209
- Optimera konstruktionslösningar.
- Materialoptimering. Förbättra värme/kyla lagring och ledning. Figur 210



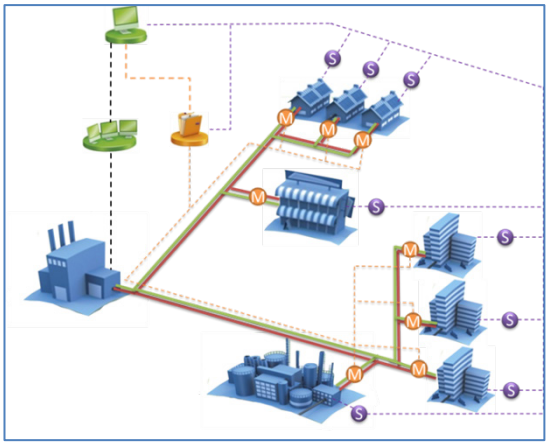
Figur 209: Värmelagring i fastigheters stomme med TermoDeck®. Källa: Strängbetong (119).



Figur 210: Värme-/kyllagrande fasändringsmaterial i form av PCM-takskivor jämnar ut effektbehov. Källa: Knauf (120).

11.12 EXEMPEL: SYSTEM FÖR VÄRMELAGRING I BYGGNADER

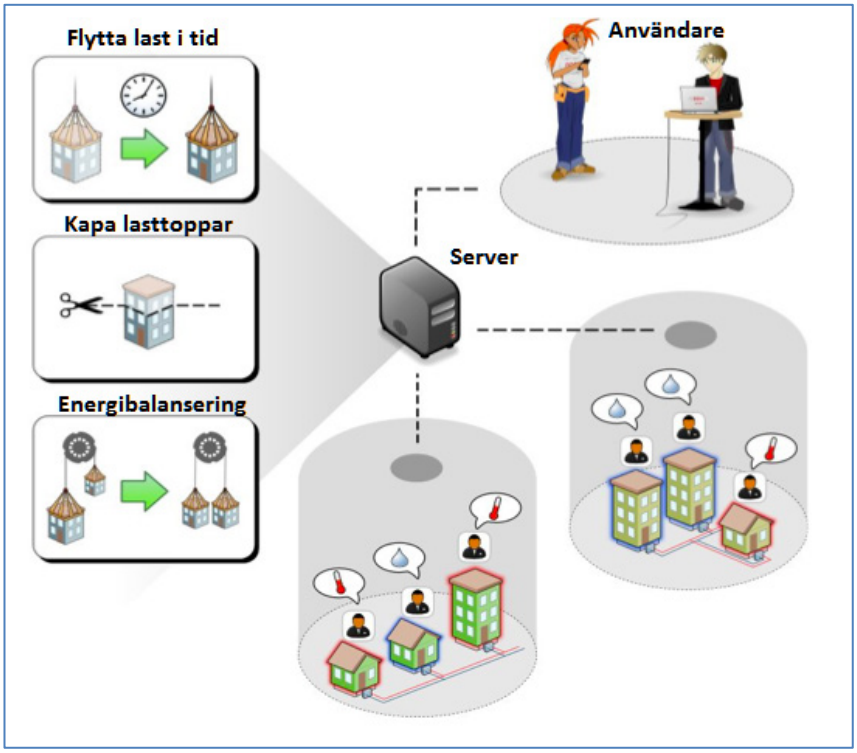
Ett exempel för smart styrning av värme- eller kylbehov för att på så sätt använda byggnader som en typ av energilager är det system som NODA Intelligent System har utvecklat. Deras lösning bygger på vetenskaplig forskning av intelligenta system för optimering av fjärrvärme resp. fjärrkyla, Figur 211. Såväl befintliga byggnader som nybyggda kan ha nytta av lösningen.



Figur 211: Realtidstyrning genom att kunna behovsstyra på anläggningsnivå. Källa: Noda IS AB.

NODAs system för värme bygger på att utomhustemperaturen, som är reglersignal för fjärrvärmecentralen, manipuleras. När det är önskvärt att undvika att starta en dyrare produktionsenhet modefieras utomhustemperatursensorns temperaturavläsning uppåt. Konsekvensen blir ett minskat flöde på fjärrvärmesidan i värmeväxlaren vilket resulterar i att radiatorkretsen får en lägre framledningstemperatur än vad den egentligen skulle haft och byggnaden kyls då ner. På det sättet kan byggnaden styra sin effekt- och energiefterfrågan. NODAs system beräknar vilken energibuffert huset har genom att använda sig av information baserad på byggnadens utformning, tidskonstant, tidigare effektstyrningar samt information från sensorer som mäter radiatorkretsens framlednings- och returledningstemperatur, Figur 212. Denna åtgärd där exempelvis 50% effekt kan avvaras under fyra timmar, skapar inte konsekvenser på det upplevda inomhusklimatet och innebär inte att vanliga rumstermostater

reagerar då temperaturen inte skiftar nämnvärt. Det har byggts upp relativt mycket erfarenhet kring denna tekniklösning i fjärrvärmenät där vinster för både leverantör och användare har kunnat uppvisas, både vad det gäller att spara effekt och energi och därmed minska totala kostandsmassan i systemet. Denna typ av win-win modell borde även kunna tillämpas på fjärrkyla där nyttan att kunna trimma behov av kapacitet skulle vara värd mycket.



Figur 212: Med kännedom om vilka byggnader kan låna ut värme kan man på ett kontrollerat sätt skjuta upp effektuttag med flera timmar både lokalt och i ett helt fjärrvärmenät. Det smarta styrsystemet avgör själv var det är lämpligt att låna effekt och ser till att lån ”lämnas tillbaka” i tid. Källa: Noda IS AB (121).

11.13 EXEMPEL: INTRESSE FÖR ETT MER INTEGRERAT ENERGISYSTEM

Fortum Värme har utvecklat ett nytt affärskoncept för Norra Djurgårdsstaden som kallas ”Smart värme”, där tanken är att demonstrera hur beprövad teknik kan användas på nya sätt genom att på ett intelligent sätt koppla ihop städers fjärrvärmesystem med kundernas fastigheter, elsystem, avfallsystem och transportsystem. Syftet är att demonstrera hur nytänkande kring energilagring av el, värme och kyla kan göra det möjligt att uppnå ett bättre utnyttjande av resurser.

11.13.1 Öppen fjärrvärme

Fortum har även lanserat affärsmodellen öppen fjärrvärme som innebär att Fortum Värme utsätter sin egen värmeproduktion för konkurrens. Om det finns ”kunder” som har tillgång till egen lokal värmeproduktion som kvalitativt är lika bra och kostar mindre än den egna värmeproduktionen som Fortum har tillgång till i sina egna anläggningar är det intressant att ”öppna upp” för konkurrens. Rest- och spillvärme får ett tydligt värde och leverantören får ta del av det värdet.

Kunderna uppskattar mötet som partners. Syftet skall vara att det är smartare att återvinna värmen i fjärrvärmenäten, d.v.s. i urban skala, i stället för att alla ska utveckla och begränsa sig och ”stänga in sig” i sina egna lokala lösningar. En stads fjärrvärme- och fjärrkylenät ett ganska småskaligt energisystem som ändå gör det möjligt för tiotusenals energianvändare att dela på anläggningstillgångar på bästa möjliga sätt.

Trenden visar att många fastighetsaktörer i olika omfattning vill ha ökad rådighet över sin energitillförsel. En värmepump eller solceller på taket skapar känslan av oberoende, och detta gäller både på fastighetsnivå och på kvartersnivå.

Fortum erbjuder kunder som kan producera billigare än Fortum att leverera in energi i nätet, dvs Fortum kan köpa energi billigare än de kunnat producera själva.

Öppen fjärrvärme har haft flera tekniska utmaningar, ofta har dessa handlat om att företaget lovar sina kunder minst 65 grader på fjärrvärmeleveransen. Vid kalla dagar upp till 100 grader, medan leverantörernas värmepumpar är begränsade till leveranser strax under 70 grader.

En annan utmaning är trycket i fjärrvärmesystemet som varierar och där flödet kan byta riktning beroende på vilka anläggningar som är i drift.

Möjligheten till värmeåtervinning i framtiden beror på hur attraktiv vi och politikerna lyckas göra marknaden. I dagsläget genererar datahallar i Stockholm cirka 500 gigawattimmar spillvärme per år, denna energimängd motsvarar uppvärmning och varmvatten till cirka 57 000 lägenheter per år.

11.13.2 EON i Malmö

I stadsdelen Hyllie i Malmö utvecklar E.ON med stöd av Energimyndigheten ett hållbart energisystem med förhoppningen att det ska kunna fungera som ett internationellt referensprojekt. Tanken är att med hjälp av smarta nät få ett helhetsgrepp på energisystemet genom att integrera befintliga system för energi, vatten, fjärrvärme, energilagring etc.

Projektet smarta nät för ett hållbart energisystem i Hyllie arbetar för att optimera energianvändningen i Hyllie och göra det möjligt för boende och verksamma i Hyllie att bli aktiva i sin energianvändning. Hållbarhet inom transporter, avfallshantering och återvinning är andra viktiga byggstenar. Inom projektet utvecklades ett integrerat infrastruktursystem i Hyllie för el, gas, värme och kyla, vilket fokuserar på ett optimerat samspel mellan central och lokal produktion med hjälp av smarta nät. En viktig del i detta är att byggnaderna i Hyllie ska kunna utnyttja de möjligheter som denna infrastruktur kan erbjuda i ett smart samspel där det skall gå att mäta, se och styra sin förbrukning.

11.14 FÖRÄNDRADE AFFÄRSMODELLER

Smarta nät som kan nyttja samspelet mellan aktörer som levererar och konsumerar värme, kyla och el utgör en viktig utvecklingskraft för att forma morgondagens energimarknad. Digitaliseringen ger möjligheter att bygga en ny spelplan för olika typer av aktörer. Utgår man från ett kundperspektiv skall affärsmodellen kunna

presentera en win-win situation mellan leverantör och kund både vad gäller kostnadsbesparing samt miljöhänsyn. Gränsdragningen och rollfördelning mellan leverantör och användare omformas och nya sätt att skapa värden som kan effektivisera grundbehoven för värme, kyla och el i fastigheten växer fram.

Karlshamn Energi har tillsammans med NODA byggt upp ett smart fjärrvärmenät som optimerar både produktionen och förbrukningen i ett fjärrvärmenät med avseende på miljö och ekonomi. Systemet samlar in data om inomhustemperaturer och analyserar hur de påverkas av väder, vind och fastighetens egenskaper. Med information om det verkliga behovet kan fastighetens energikostnader minskas kraftigt.

11.15 INTRESSANTA FRÅGESTÄLLNINGAR FÖR FRAMTIDEN

Något som skulle vara intressant att titta närmare på i framtiden är om liknande system som till värmelaststyrning kan användas för att styra kyllast och hur en sådan styrning skulle kunna fungera. Ett första steg skulle då kunna vara att titta på hur systemet skulle fungera i en enskild fastighet. Optimalt sker laststyrning i större grupper med fastigheter, fördelen med laststyrning är framförallt effektbesparing.

I ett Smart Heat Grid system genereras enorma mängder data som kan användas för att skapa information och kunskap som i sin tur kan förmedlas till driftspersonal och kunder. Detta måste automatiseras till en mycket högre grad än vad som nu görs. Just dataanalys är något som kommer vara en mycket central och kritisk del för framtidens Smart Heat Grid, detta gäller inte endast energibolaget, men även för slutkunden. Genom att automatisera dessa system med hjälp av modern IT-teknik går det att nå en helt annan mängd kunder.

Ett annat hinder som man vet alltid dyker upp vid förändringar är de mänskliga och organisatoriska faktorer som ger svårigheten för olika branscher med olika intressen och mål att samarbeta. En god dialog krävs för att få till stånd integrationen. Det är viktigt att ta fram affärsmodeller där båda parter ser en vinst i samarbetet och där ingen känner sig förfördelad.

Man kan även se trenden där man i större utsträckning har mer interaktion mellan olika energislag. Ju mer intermittent och väderberoende energi man använder i elsystem, desto smartare och robustare behöver systemet bli för att hantera snabba förändringar. Genom att använda den termiska trögheten i exempelvis fjärrvärmenät eller grupper av värmepumpar går det att erbjuda flexibilitet till elmarknaden. Denna hopkoppling närmare elsystemen kommer framöver att ställa allt högre krav på robust IT-teknik.

De nya generationerna fjärrvärme resp. fjärrkyla handlar om att kunna få ner resp. upp systemtemperaturerna. Det handlar också om att knyta olika typer av energibärare tillsammans. Mycket av de här innovativa lösningarna bygger på tillgången till mer intelligent styrning och automatiserad övervakning. Smart Grid ger just detta, och det finns därmed anledning att man satsar mycket på den typen av system.

Värmesystemen ska alltid fungera i våra fastigheter, samtidigt vill man spara energi och kunna medverka till att energisystemet som en helhet fungerar bättre och bättre. Man ser då nästa steg då man kopplar samman Smarta Hem/fastighet med Smart Nät. I praktiken använder man smarta radiatorventiler som styr i förhållande till klimatzoner på lägenhetsnivå och uppåt ut i fjärrvärmenätet. Man kan säga att en radiatorventil vet om och agerar på när en spetslastpanna ute i fjärrvärmenätet går igång.

Att optimera kraftvärme är något som är ganska intressant, inte minst på grund av att den mesta nya kapacitet som byggs inom fjärrvärme använder kraftvärme. Genom att använda Smart Heat Grid som en virtuell ackumulator går det att optimera kraftvärmen gentemot spotpriser på elmarknaden, utan att behöva investera i stora tankar. I normalfallet kan man även kombinera fysiska tankar med virtuella tankar för att uppnå fördelar från båda världarna

Självklart är det intressant att tillverka på att jobba med kraftigt sänkta system-temperaturer i fjärrvärmenät. Detta skulle innebära att man till en mycket högre grad kan använda lågvärdiga energikällor som spillvärme eller olika typer av biobränsle. En viktig del är hur man kan styra fjärrvärmecentraler smartare för att trycka ner temperaturbehovet i värmesystemet utan att tumma på leveranskvaliteten. Man kan även använda Smart Heat Grid för att samordna laststyrning hos många fastigheter för att på så sätt minska systemtemperaturerna (vid en laststyrning sänks tillfälligt returtemperaturen från fjärrvärmecentralen).

11.16 SYNERGIN MED SÄSONGSLAGRING

Vi har i avsnitt 11.12 beskrivit lösningar med smart-grid i form av utnyttjande av en sammanslutning av byggnader där huskroppens värmetröghet utnyttjas, dvs en ackumulering i byggnaden. Det är innovativ lösning där värden skapas genom att effekttoppar kapas. Detta i sig är en ackumulering som reducerar insatsen av primärenergi och ökar möjligheten att använda mer bottenlast i stället för topplast. I och med att vi behandlar denna variant av ackumulering så är det på sin plats att även beröra ackumulering lite bredare. Vi behandlar dock inte djupare produktionsrelaterade frågeställningar. I fjärrvärmesystem är den konventionella lösningen lagring av varmt vatten i vattencisterner. I fjärrkylsystem är de konventionella lagerlösningarna vattencisterner eller islager. Vi behandlar inte dessa konventionella ackumuleringslösningar i denna rapport.

I projektet Heat Roadmap 2050 (122) redovisas visioner och scenarier för utvecklingen av fjärrvärme inom EU27. Det konstateras att det 2009 endast utnyttjades 0,004% av den för fjärrvärme tillgängliga geoenergin. Geoenergin förutsås växa till att bli minst lika eller betydligt mer intressant för fjärrvärme inom EU27 än solvärmen. I studien har analyseras befolkningstäthet och information av geotermiska temperaturer på 60-200°C. Exempelvis förutspås borrdjup på 2 km. Som ett komplement eller alternativ till denna lösning ser vi intressanta lösningar att integrera geotermiska säsongslager med borrdjup på 200-250 m där spetsenergi kan lagras från baslastproduktionen.

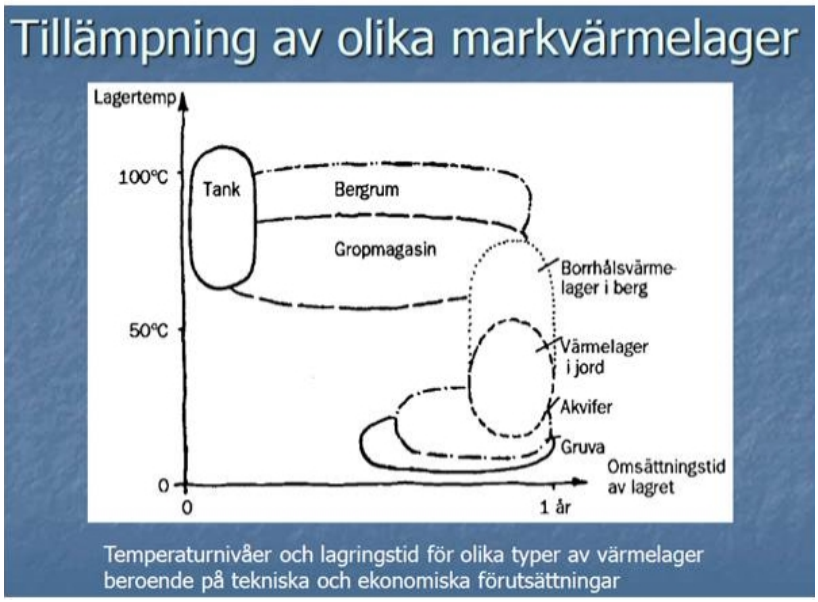
På värme- och kylmarknaden ökar antalet geoenergilösningar som ett alternativ till fjärrvärme och fjärrkyla. Vanligast är att lösningarna anpassas till enskilda

byggnaders värme och kylbehov. Men även ”campus system” förekommer. Exempelvis vid universitet, där flera byggnader försörjs med geoenergiteknologi. Men vanligtvis är det en och samma kund, till skillnad från större fjärrvärme- och fjärrkylsystem.

I media framförs mer och mer frekvent en debatt med geoenergiförespråkarna på ena sidan och på andra sidan energiföretagen som säljer fjärrvärme och fjärrkyla. Dagens byggregler driver mot att reducera köpt energi, och inte teknikneutrala lösningar där behovet av primärenergi skall reduceras.

I stället för ovan nämnda motsattsförhållande mellan geoenergi och fjärrvärme / fjärrkyla ser vi det som intressant att utnyttja synergierna med teknikerna. Detta leder in på utvecklingen av säsongslager med geoenergi tillämpad i system med fjärrvärme/fjärrkyla.

Värdet med ackumulering mellan byggnader eller i större energisystem blir i förlängningen att andelen primärenergi kan sänkas. Vilket även åstadkoms med innovativa lösningar inne i fastigheterna som leder till ökade ΔT, och för exempelvis fjärrkyla en ökad möjlighet att använda mer frikyla. Vi tar i detta avsnitt upp frågeställningar kring främst säsongslagring då de i förlängningen ger nyttigheten att reducera CO_2. Vilket även kan sägas gälla för innovativa kundcentraler som genererar större möjlighet att öka andelen frikyla. Figur 213 visar en princip över när olika typer av lager förekommer.



Figur 213: Olika typer av lagringsteknik med omsättningstiden i lagret och lagertemperaturen. Källa: (123).

Det finns en rätt naturlig ekonomisk förklaring till kopplingen mellan typ av lager och lagringstid. De angivna lagertemperaturnivåerna i Figur 213 är mer en följd av omständigheterna och tillämpningen. En tank (vattencistern) kan som bekant användas för både fjärrvärme och fjärrkyla i applikationen dygnslager.

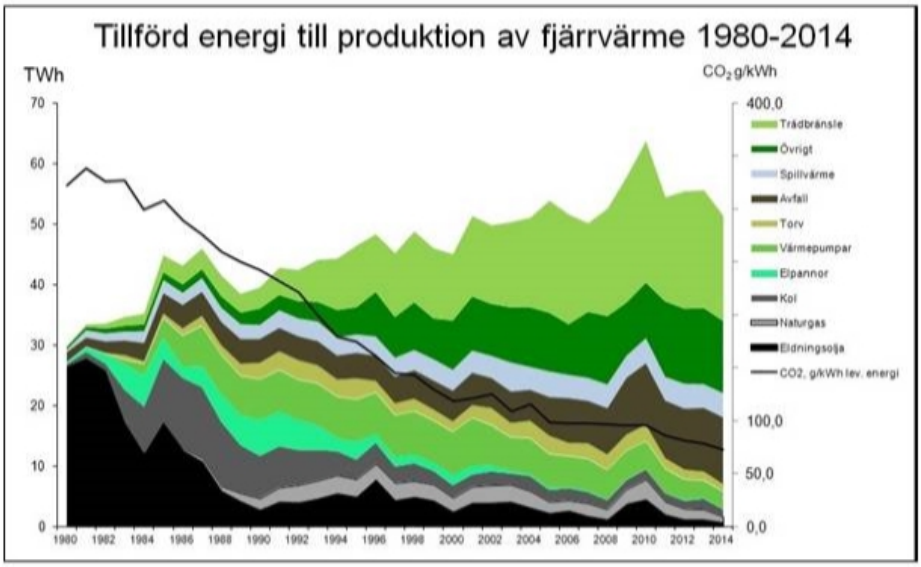
Med en viss reservation till grundläggningsförhållandens inverkan så är specifika kostnaden för en atmosfärisk tank på 5 000 – 30 000 m^3 ca 1000-1200 kr/m^3 vattenekvivalent. Vilket naturligt gör att endast korttidslagring är aktuellt.

Bergrumslager med lagringsvolymer på 100 000-200 000 m^3 har en specifik kostnadsnivå på 400-600 kr/m^3 vattenekvivalent. Detta gör det till alltför dyrt för att använda till säsongslagring.

Borrhålslagringstekniken för ekvivalenta vattenvolymer på 40 000 – 150 000 m^3 har en specifik kostnadsnivå på ca 100 kr/m^3 specifik vattenvolym. Detta gör borrhålstekniken intressant för säsongslagring.

Ackumulering inom fjärrkyla är ofta förekommande i form av vattencisterner, bergrumsmagasin eller islager. Volymerna på lagren begränsas av investeringsskäl till att bli dygnslager eller upp till 3-dygnslager. Även för fjärrvärme är det naturligtvis mycket vanligt med vattencisterner. Nyttan är att kunna driva bottenlastpannor effektivare och undvika spetslastpannor med dyrare bränslen. Även här blir nyttigheten att andelen förnyelsebart ökar.

Fjärrvärme i Sveriges har varit den verksamhet som stått för den största nyttan vad gäller våra låga CO_2-utsläpp. 1980 såldes 26 TWh fjärrvärme och fossilandelen (mest olja) i produktionen var 91 %, vilket medförde ca 350 g CO_2/kWh. Fjärrvärmen 2014 (varmt år) levererades 44 TWh med en andel olja på 8 %, och CO_2 påverkan ca 70 g/kWh.

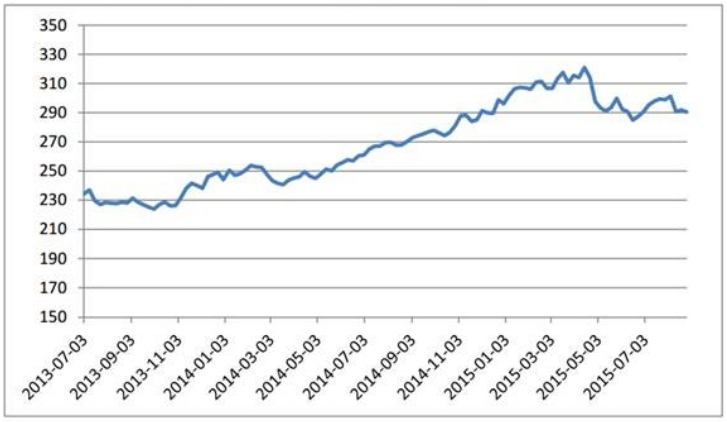


Figur 214: Utvecklingen av fjärrvärmen i Sverige (TWh/år) 1990-2014, samt Co2 utsläppen (g(kWh levererad energi). Källa: Svensk Fjärrvärme.

Nu går det inte att slå sig till ro med detta, utmaningen ligger i att nya förbättringar måste eftersträvas. Exempel på detta är när kunder i sina miljörapporter pekar på den negativa CO_2-andel som återstår från fjärrvärmens spets/reserv. Vid miljöklassning av byggnader kan man genom att välja inköp av förnyelsebar el undvika CO_2-utsläpp från en värmepump. Man tar då inte hänsyn

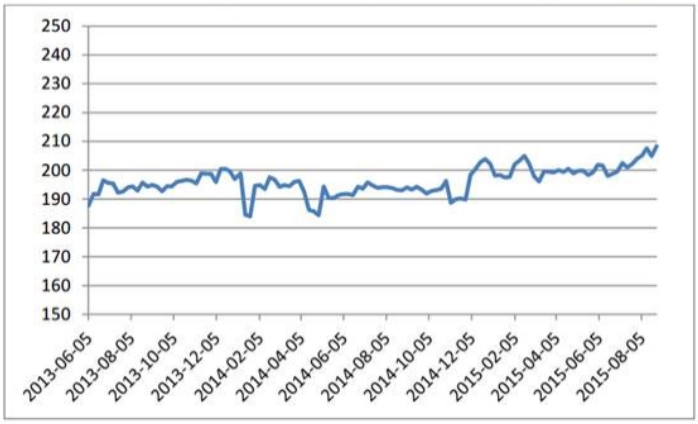
till marginaleffekten av elproduktion vid konvertering från fjärrvärme till värmepump. Inte heller reduktionen av kraftvärmeunderlaget tas in i resonemanget.

Vi ser även att vissa energibolag i Sverige nu uttalar visioner av att bli helt fossilfria. Som en åtgärd ligger naturligtvis att helt bygga bort oljespetsen. Vanligt kan vara att ersätta oljan med förädlade träbränslen, vanligen pellets. Det är rätt okomplicerat, men förädlade träbränslen har enligt Energimyndighetens Energimarknadsrapport biobränslen 2015 (124) ett pris på ca 300 kr/MWh, Figur 215. Prisnivån på flis ligger idag på ca 210 kr/MWh, Figur 216. Det betyder att exempelvis pelletspriset är drygt 40% högre än flispriset.



Källa: Argus Media 2015.

Figur 215: Pelletspris enligt cif ARA (kr/MWh): Källa: Energimyndigheten (124).



Källa: Argus Media 2015.

Figur 216: Flisspris enligt cif för Norra Europa (kr/MWh): Källa: Energimyndigheten (124).

Ett alternativ till pellets är även vegetabiliska biooljor. Här bör man se till att det inte rör sig om alternativ som palmoljor och andra importerade produkter som har en alternativ lokal användning. Restoljor bestående av raps-soja-solros har ett pris som är betydligt högre än pellettspriset men klart lägre än fossiloljepriset.

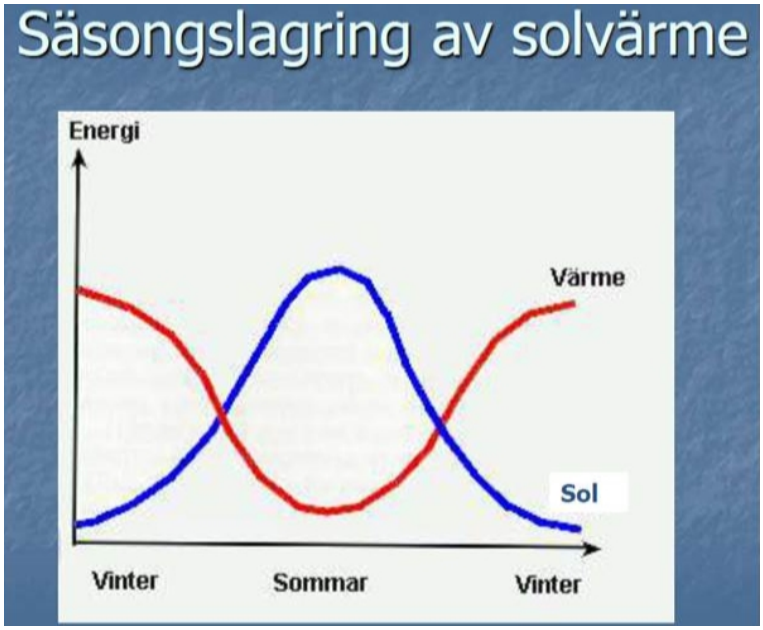
Prisnivån för biooljan bedöms ligga på en nivå av 160 % över flispriset, på nivån ca 550 kr/MWh.

Det finns således starka ekonomiska drivkrafter att finna andra lösningar för oljespetsen än att använda biooljor eller pelletts, om man skall bli helt fossilfri i värmeproduktion.

På värmemarknaden ser vi exempel på kunder som väljer geoenergilösningar i stället för fjärrvärme. Det är en växande marknad med flera olika engagerade geoteknikbolag. Vi redovisar senare i denna rapport ett exempel med en synergilösning rörande vattenförsörjning och geoenergi, Figur 237.

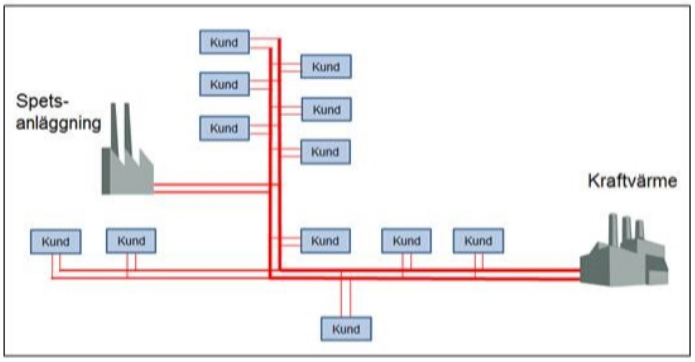
Geotermi och bergvärme använder värmen i marken berget som har en låg temperatur och med värmepump lyfts till en användbar nivå. Som sedan avspeglas i en ekonomi styrd av bl a COP på 3-4. Men med geoteknik kan man i stället använda andra värmekällor av högre temperaturnivåer och ladda ned i marken, som när man tar upp dem ger högre COP. Eller om temperaturen är tillräcklig använda som primärvärmekälla. Naturligtvis blir det föremål för värmeförlusternas påverkan. Ett lager i en akvifär betingar större vattenflöden horisontellt och förluster. Ett lager i berg (utan stora sprickbildningar) och lera betingar mindre vattenflöden horisontellt och mindre förluster till omgivande mark.

Låt oss därför i stället nu se geoenergin som en konkurrent och i stället se hur geotekniken skulle kunna tillämpas med fjärrvärme. Vi har målat upp bilden av de stora prisskillnaderna mellan bränslen samt betydelsen av att kunna ersätta oljespetsen med fossilfritt. Det finns en unik konkurrensfördel med fjärrvärmen, vilket är storskaligheten. Genom att frikoppla en byggnads energibehov från lokala källor, så kan många olika energikällor få en plattform. Vill man utnyttja solvärme så är man inte begränsad till en byggnads tillgängliga tak och det samtida värmebehovet osv. Skall solvärme komma till sin rätt måste man sträva efter att integrera den med årstidslager.

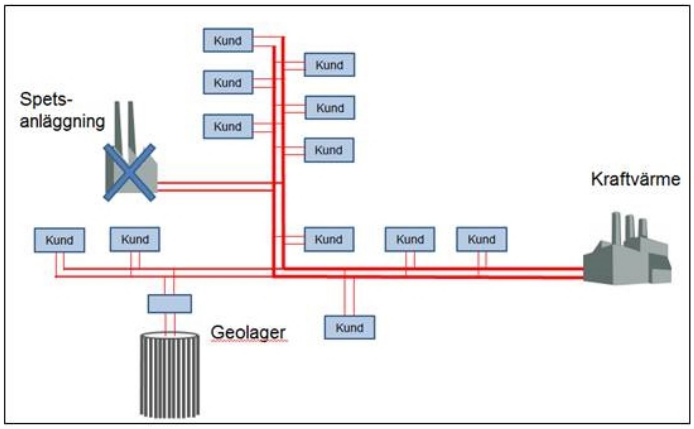


Figur 217: Värmebehovet kontra tillskottet av solenergi under året. Källa: (123).

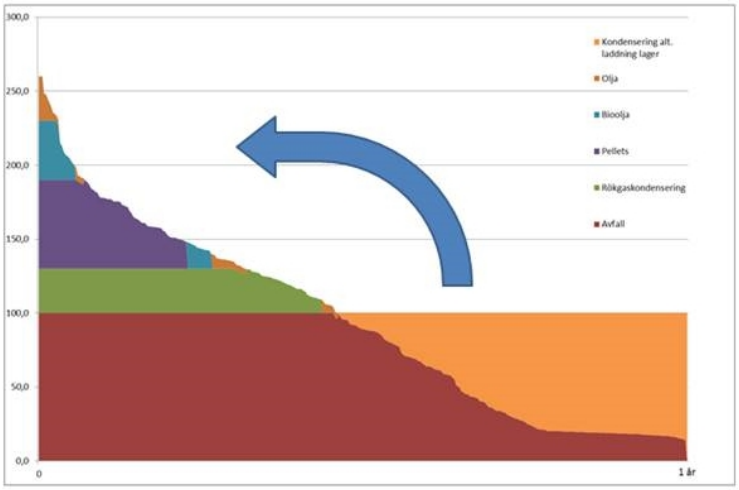
En nyckelfråga för att få fjärrvärme fossilfri och med en samtida ekonomisk positiv inverkan ligger i att kunna nyttja resurser som annars skulle gå förlorade. Spillvärme utnyttjande, avfallsförbränning, ökat kraftvärmeutnyttjande, användande av solvärme behöver integreras med säsongslagring. Samt den andra redan nämnda drivkraften att kunna använda billigare träbränslen eller andra återvinningsbränslen i stället för bioolja eller pelletts för spetslasten. Med denna typ av uppbyggnad skulle branschen kunna gå från lösningen enligt Figur 218 till lösningen med säsongslager med geoenergiteknik enligt Figur 219.



Figur 218: Dagens systemuppbyggnad med spetsanläggning och kraftvärme i ett fjärrvärmesystem. Källa: Capital Cooling.



Figur 219: Fjärrvärmesystem där behovet av spetsanläggningen ersatts med ett geoenergilager. Källa: Capital Cooling.



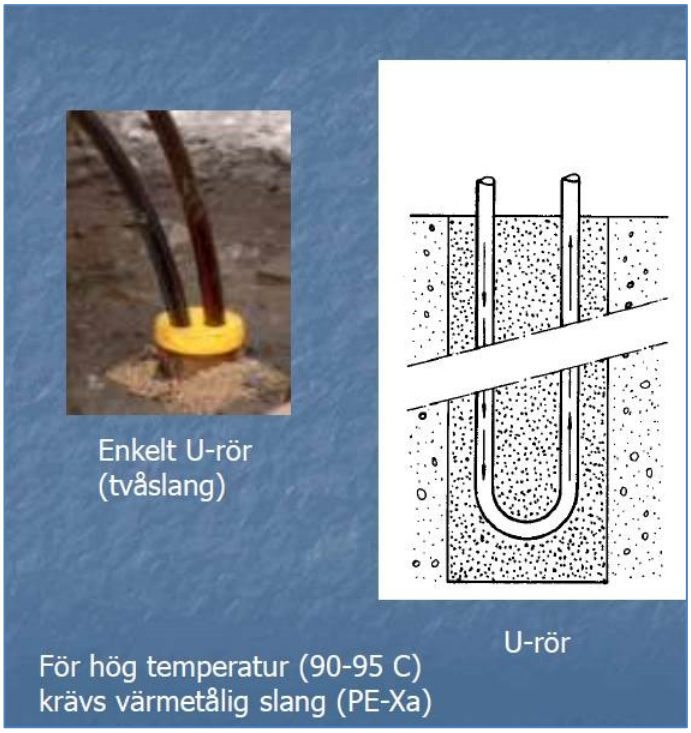
Figur 220: Typexempel där lagringspotentialen visar på ett 260 MW fjärrvärmesystem och vilka värmelaster som kan ersättas. Källa: Capital Cooling.

Figur 220 visar ett exempel med ett fjärrvärmesystem som har en stor avfalls-förbränningsanläggning i botten. I stället för att kyla bort eller inte ta emot avfall så kan om det orange området inkluderande rökaskondensering ersätta hela mellanlasten och spetsen. Ett annat exempel på rapport inom detta område är även rapporten ”Ökad resurseffektivitet i kraftvärmesystem genom säsongslagring av värme” från Linköpings universitet (125). Detta examensarbete har gjort beräkningar på ett lager kopplat till Tekniska Verkens fjärrvärmesystem med 1500 borrhål, ca 200-250 m djupa och placerade i ett område på ca 100 m omkrets. Typiska avstånd mellan borrhålen är 4m.

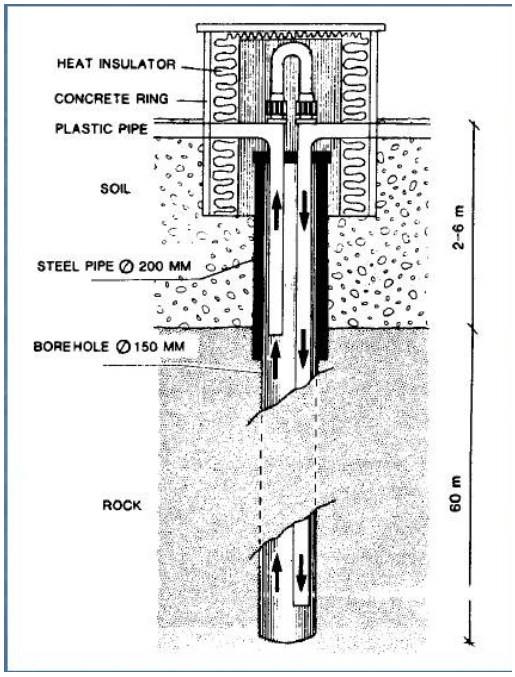
När det gäller borrhålslager teknik finns det några nyckelfrågor att hantera. Baskunskapen kring lämpliga marktyper är naturligtvis en grundläggande förutsättning. Att bedöma berggrundens lämplighet och verifiera designförutsättningar hanteras lämpligen genom att utföra provborrningar som

utvärderas. Vidare behöver man åstadkomma lösningar där värmeförlusterna minimeras.

Figur 221 visar den vanligt förekommande lösningen med ett D_y 110 mm borrhål och s.k. U-rör för fram och returledning. Figur 222 visar en lösning med ett öppet koaxialborrhålslager.



Figur 221: Borrhålslösning med U-rör i borrhålslagret. Källa: (123).



Figur 222: Borrhålslösning med öppet koaxialrör. Källa: Göran Hellström Luleå Tekniska Universitet. (123)

Figur 223 visar en ny typ av koaxiallösning av borrhålsteknik, sk BHE teknik (Borrhålsvärmeväxlare). Framledningen från borrhålet placeras i mitten och returledningen placeras i ytterröret (längs manteln). Därmed exponeras framledningen mindre av värmeförluster till omgivningen. Vänster del av figuren visar skarven i botten av borrhålsvärmeväxlaren. Högra delen av figuren visar kopplingen på toppen av borrhålsvärnmeväxlaren, där innerröret är försett med svällande gumipackning (blå ring).



Figur 223: Borrhålsvärmeväxlare (BHE) från Pemtec AB. Källa: Bo Norell m. fl. (126).

Vänster del av figuren visar skarven i botten av borrhålsvärmeväxlaren. Högra delen av figuren visar kopplingen på toppen av borrhålsvärnmeväxlaren, där innerröret är försett med svällande gumipackning (blå ring).

I Emamboda har ett borrhålslager etablerats, Figur 224 visar etableringsområdet av lagret under byggnaden. I systement lagras spillvärme från Xylems fabrik för pumptillverkning. Spillvärme ca 3 600 MWh lagras in i lagret och 2 500 MWh skall kunna återvinnas till värmesäsongen. Temperaturnivån är ett 60/40^{o}C system. Utnyttjad lagervolym är 300 000 m^{3}.

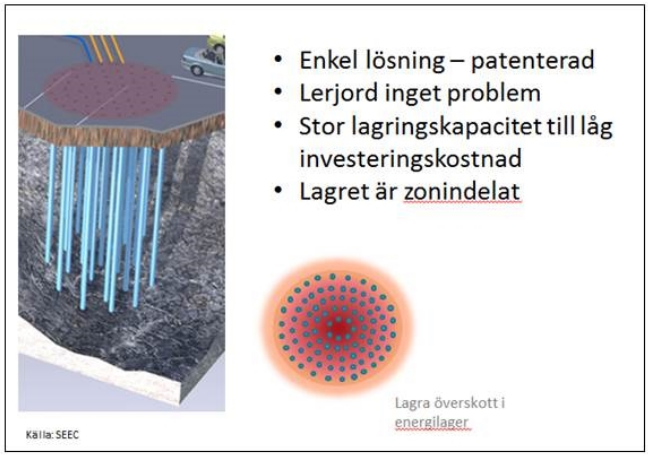


Figur 224: Etablering av borrhålslager i Emmaboda. Källa: (126).

Som redan nämnts är för utnyttjande av säsongslager för fjärrvärmesystem lagerförluster och temperaturnivåer designparameterar om behöver studeras närmare. Detta om lagren skall kunna lokaliseras ute i näten. Vid behov att lyfta framtemperaturen krävs värmepumpar eller andra spetsanläggningar. (Vilket var

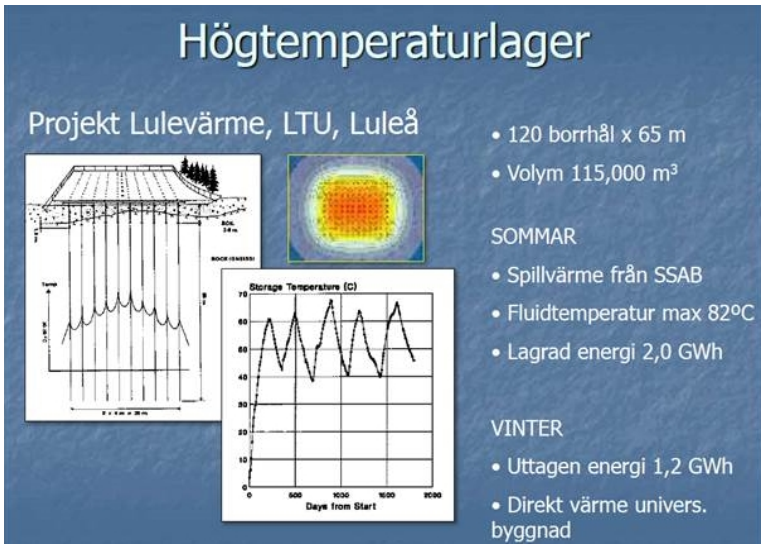
ambitionen att undvika behovet av.) I dessa fall är det mer troligt att lagret måste etableras i anslutning till en huvudproduktionsanläggning.

En innovativ lösning för geoenergilager kommer från SEEC, Figur 225. Här används en styrning av flödena i borrhålen så att värmen centreras i lagret och de yttre delarna av lagret exponeras mot omgivande berg eller lerjord.



Figur 225: Geoenergilager från SEEC med en styrning av flödet så att varma delarna koncentreras till centrum av lagret.

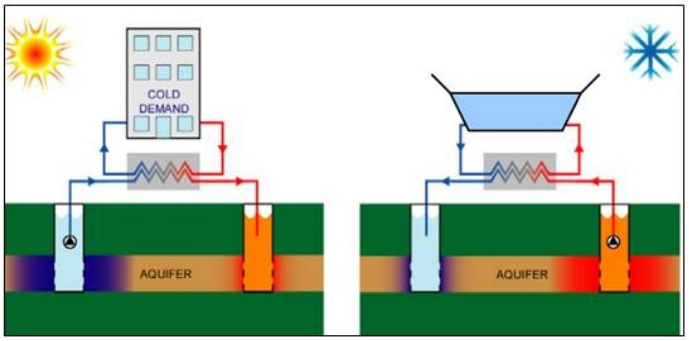
Figur 226 visar på ett högtemperaturlager från Luleå där pillvärme från SSAB lagras ned vid en temperatur av 82°C. Vid uttag kan värmen direkt tillföras fastigheterna i universitetet.



Figur 226: Högtemperatur säsongslager från studie i Luleå. Källa: Göran Hellström (123).

Om marken är en akvifär så används lager lösningar med separerade kalla och varma öppna brunnar. Figur 227 visar principen hur lagret körs under varma och kalla säsongen. Den kalla brunnen i detta system arbetar med 6-7°C och den varma

brunnen med 16-17°C. Integrerat i fastigheten ingår värmepump för att lyfta värmen till önskad temperaturnivå.



Figur 227: Akvifärlager princip med varm resp kall brunn. Källa: Capital Cooling.

Vad vi kort ville visa med detta avsnitt, kopplat till det tidigare om värmelagring i byggnader, är att geoenergilagring kan vara en intressant lösning även ute i fjärrvärme- och eller fjärrkylsystem. Det är möjligt att utnyttja synergierna mellan goeoenergi och fjärrvärme/fjärrkyla.

12 Exempel av innovativa distributionslösningar

Vi har med de olika varianterna på sorptiv hybrid redovisat ett antal lösningar där det på sekundärsidan ingår en gemensam returledning för värme eller kyldrift. Men primärsidan består av konventionella två-rörssystem för fram- och returledning på primärsidan. Nya typer av isoleringsteknik behandlas inte.

Grundtesen i denna rapport är att de behandlade lösningarna skall vara möjliga att tillämpa på befintliga distributionssystem. Naturligtvis kan man i ett avskärmat delområde försörja nybyggnation med högre framledningstemperatur men globalt är detta inte möjligt i ett befintligt system, då alla befintliga kunders fastighetssystem sätter vilken temperaturnivå som krävs.

12.1 MIX AV PRODUKTION VID FJÄRRKYLA

En grundsten för design av fjärrvärme och fjärrkyla är att ta tillvara energiflöden som annars går förlorade och att kunna nyttiggöra energiresurser som annars inte utnyttjas.

Vid systemdesign styr tillgången under året på frikyla från sjöar, hav och floder eller annan spillkyla designförutsättningarna. Då tillräckligt låg temperatur på frikylan inte kan säkerställas behövs temperatursäkring vilket sker med eldrivna kylmaskiner.

Utöver de nämnda produktionslösningarna förekommer även värmepumpar, där både varma och kalla sidan på värmepumpen kan tas tillvara, och absorptionskylmaskiner. Med absorptionskylmaskiner kan avsättning för värme utökas utöver vad som finns avsättning för fjärrvärme. För att driva absorptionskylmaskiner krävs tillgång på billig värmeproduktion, med spillvärme från avfallsförbränning eller kraftvärme med ett tillräckligt högt elpris. Utöver elpriset ger elcertifikaten för ny elproduktion baserad på biobränslen en möjlighet att använda absorptionskylmaskiner.

Med hänsyn till den nämnda möjliga produktionsmixen avseende fjärrkyla blir den naturliga lösningen ett primärt nät för distribution av fjärrkyla. Detta skapar en flexibel, robust och långsiktig förutsättning för fjärrkyla. Tillgången på ett distributionsnät för distribution av kyla ökar flexibiliteten att oavsett framtida energipriser, skatter kunna ställa om till en mer optimal mix på tillförselsidan. Det möjliggör även energiåtervinning, som inte är begränsad till en fastighets kyl/värmebehov.

För fjärrvärme systemdesign gäller i princip samma förutsättningar som för fjärrkyla. En mix av olika produktionstekniker blir aktuella. Värmen distribueras ut via ett primärt distributionssystem. Distributionsteknik samt olika produktionstekniker för en fjärrvärmemix behandlas inte i denna rapport.

12.2 DISTRIBUERADE KYLLÖSNINGAR

Det förekommer även lösningar med lokala absorptionskylmaskiner hos kunderna. En fördel är att man då inte behöver ett separat primärt distributionsnät för fjärrkyla. Försörjningen sker istället med fjärrvärmenätet till maskiner hos kunden för produktion av kylan. Detta förutsätter att man analyserar påverkan på flöden i fjärrvärmenätet. Risk för att flaskhalsar uppstår kan inte uteslutas. Den stora nackdelen, förutom rent tekniska begränsningar, med lokala absorptionskylmaskiner är att merparten av försäljningsargumenten för fjärrkyla förloras.

- Enkelhet
- Köldmedier i fastigheten undviks men hantering av saltlösning krävs
- Servicekontrakt avseende kylmaskiner behövs
- Ljudproblem med kylmaskiner, nu med att pumpa runt saltlösningen där kristaller orsakar ljud
- Kyltorn krävs, normalt finns annat vatten att kyla med inte tillgängligt
- Legionellarisk med kyltorn, kemikaliehantering
- Ytkrävande, jämfört med VVX
- Reservmaskiner hos kund
- Mer kunskapskrävande drift, ökad personalkostnad

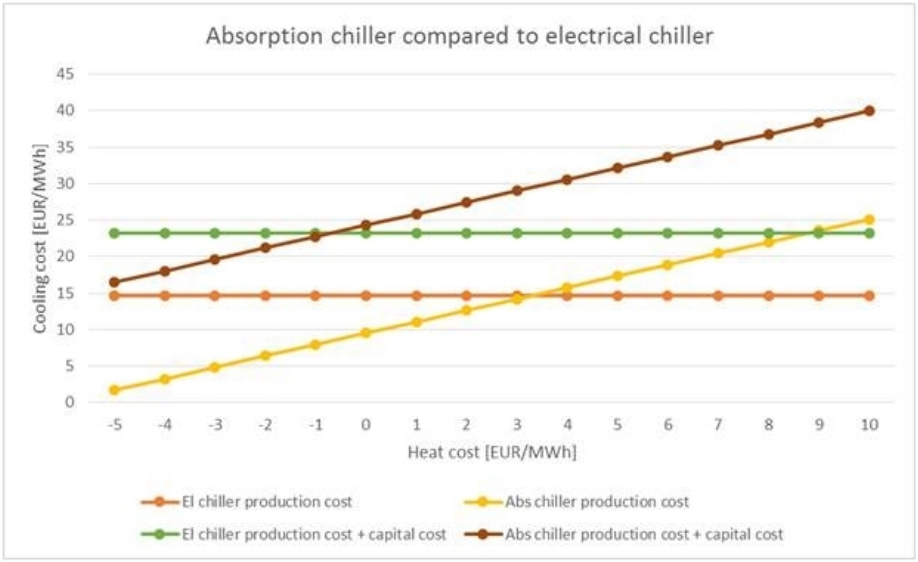
Detta gör att det ofta är svårt att utveckla en lönsam fjärrkyleaffär baserad på lokala absorptionskylmaskiner. Lösningen kan endast utgöra ett komplement till konventionell fjärrkyla för ett fåtal kunder som inte kan nås med ett distributionsnät för fjärrkyla. Av dessa skäl är inte specifika förutsättningar för lokala absorptionskylmaskiner prioriterade i vårt projekt.

Det finns ett antal rapporter om distribuerade absorptionslösningar från tidigare forskning. Det är egentligen en konventionellt tillgänglig teknik. Standard absorptionskylmaskiner är egentligen dimensionerade för högre drivtemperaturer än de som förekommer ute i fjärrvärmenäten. Speciellet under sommartid då kylbehoven är högst. Då finns inget eller lågt värmebehov. Fjärrvärmen behövs i stort sett bara för att producera tappvarmvatten med marginal att undvika Legionella. Energibolagen vill under sommartid använda spillvärme under sommartid. För detta är det gynnsamt med låga framtemperaturer i näten. Det har för detta ändamål lagts ned FoU på att ta fram lågtemperaturdrivna absorptionskylmaskiner.

Det positiva med att använda lokala värmedrivna absorptionskylmaskiner är att man inte behöver bygga fjärrkylledningar till kunderna. Men vad många glömmer att beakta är de flödesökningar som åstadkoms i fjärrvärmenäten. En standard absorptionskylmaskin har vanligen ett ΔT på 10 grader. Det finns exempel på flerstegs absorptionskylmaskiner. Då kan ett ΔT på 20 grader erhållas. Även detta får en negativ effekt på fjärrvärmesystemet. Det försämrar driften med spillvärme och även kraftvärme, där vi för att optimera elproduktionen vill kyla mot så låg kondenseringstemperatur som möjligt. En flerstegs absorptionskylmaskin har naturligtvis även en högre investeringskostnad än standardlösningen. Redan är absorptionskylmaskin har ca 30 % högre investering än en kompressorkylmaskin.

Det finns inget system där man kan uppvisa ekonomi med en kylaffär baserad på lokal absorption. Man behöver en huvudaffär i botten, baserad på fjärrkyla med ett distributionsnät för kyla. Det ger möjlighet till en produktionsmix. Att använda lokala absorptionskylmaskiner kan utgöra ett komplement till baskylaffären. Om det finns kunder på alltför stora avstånd till fjärrkylnäten så kan lokal absorption vara ett alternativ. Affären bör då ställas i relation till synergin att säkerställa att kunden får både fjärrvärme och kyla. Risken är dock att kylleveransen inte står på egna meriter utan fjärrvärmen måste normalt täcka förluster från kylan.

I Figur 228 följer en jämförelse från ett kylprojekt med Europanivå på kostnadsstrukturen. (Kalkylperiod 25 år WACC (Genomsnittlig vägd kapitalkostnad) på 5,5 % och elpris 95 EUR/MWh.



Figur 228: Jämförelse på Europanivå mellan absorptionskyla och kompressorkyla där värmepriset (EUR/MWh) visar break-even på x-axeln: Källa: Capital Cooling

Under givna förutsättningar, där man även inkluderar kapitalkostnaden framgår att absorptionskylmaskin (brun linje) bara är lönsam om värmepriset är ”negativt” -1 EUR/MWh jämfört med konventionell eldriven kompressorkylmaskin (grön linje). Man kan även dra slutsatsen att det under svenska förhållanden så finns ingen lönsamhet för absorptionskylmaskiner under delar av året när exempelvis biobränsle utgör huvudbränslet i ett fjärrvärmesystem.

Det finns även exempel med en innovativ inte kommersiellt tillämpad lösning för att distribuera fjärrenergi. I princip skulle lågtempererad värme (exempelvis returvatten från ett fjärrvärmesystem) kunna distribueras ut i ett sekundart system. Det sekundära systemet används till att driva värmepumpar i fastigheterna. Bättre COP än med geoenergi går att åstadkomma. Lösningen blir knappast tillämpbar annat än för ett geografiskt avgränsat område där varken konventionell fjärrvärme eller fjärrkyla finns etablerad. Skulle även kunna vara ett alternativför institutionella leveranser. Med detta avses den typ av ”fjärrkyla” som är vanligast i USA. En annan benämning är ”Campus-system”. Leveransen sker då vanligen till en enda stor kund, sjukhus, universitet eller militärbas. Men finns redan

konventionell fjärrvärme- eller fjärkylenät så är förutsättningarna att etablera parallella lågtemperatur försörjningssystem begränsade.

12.3 INDIREKT ELLER DIREKT ANSLUTNING

När det gäller anslutning av fjärrkyla och fjärrvärme kan detta ske via indirekt eller med direkt anslutning, dvs en avskiljning av systemen med eller utan värmeväxlare, Tabell 4.

Tabell 4: För- och nackdelar med indirekt resp direktanslutning till FK-system

	Indirekt anslutning – med VVX	**Direkt anslutning – utan VVX**
Temperatur förlust vid växling	-	+
Mer spillvärme eller frikyla kan nyttjas (minimerad temp-förlust)	-	+
Begränsningar trycknivåer	+	-
Risker fylla fastigheter med stora mängder vatten vid ett läckage	+	-
Vattenkvalitet säkerställande	+	-
Risk få in luft i systemet (när kunder bygger om)	+	-
Läckage i en fastighet kan störa leverans till andra kunder på FK-systemet	+	-

Generellt framgår att den enda fördelen med att undvika temperaturväxling då VVX inte ingår knappast överväger riskerna och driftproblemen det innebär. Detta gör att vi inte ser någon anledning till att ompröva den rådande dominerande tekniklösningen med att VVX ingår i kundinstallationen.

Fokus i projektet ligger därför i huvudsak på att identifiera och anlysera innovativa lösningar i fastigheternas interna värme- och kylsystem. Lösningar gällande produktionstekniker ingår inte inom projektets ram.

12.4 TRE-RÖRS DISTRIBUTIONSTEKNIK MED GEMENSAM RETURLEDNING

Ytterligare en okonventionell lösning där fokus inte ligger på åtgärder inne i fastigheten finns. Lösningen bygger på att reducera kostnaderna för distributions-system, genom att integrera fjärrvärme och fjärrkyla med en gemensam returledning. Detta har behandlats i FOU 2001:59 *Analys av trerörsystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla* (127), där några typfall analyserades, Figur 229.

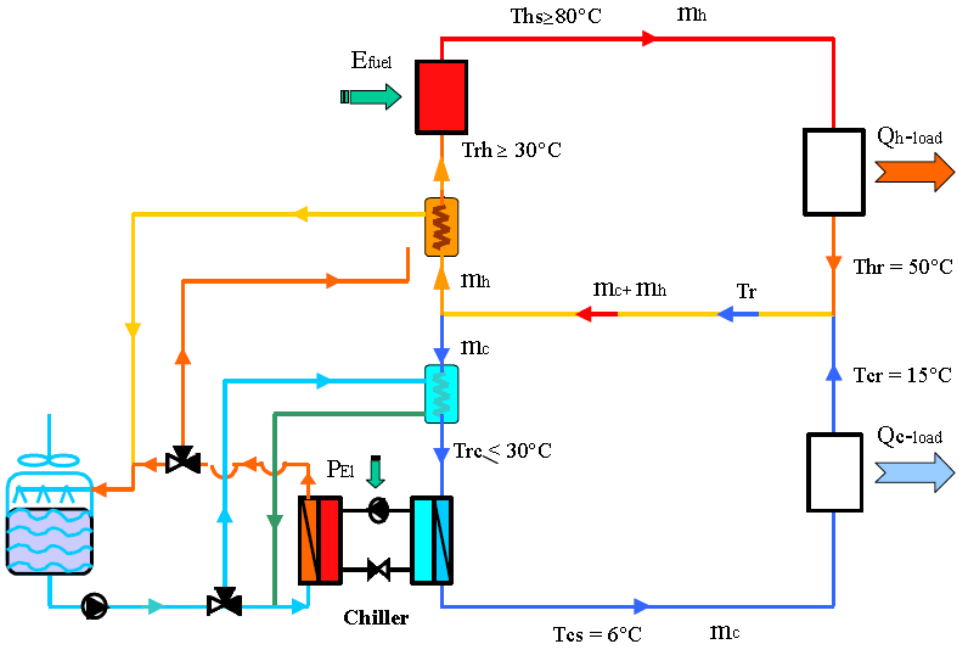


Figure 6.2: Basic scheme for three-pipe system, 3P-Model 1.

Figur 229: Principschema för 3-rörsystem, för returen är gemensam. Källa: Svensk Fjärrvärme.

Rapporten kom till slutsatsen att den lägre investeringen för distributionsnät inte kompenserades av en dyrare produktion föranledd av den mixade temperaturen på returledningen. Naturligtvis blir produktionskostnaden styrd av varje systems specifika produktionsmix. Varje system är unikt och för system med en annan produktionsmix behöver andra enskilda analyser genomföras. Fördelningen mellan värmebehov och kylbehov under tiden kräver även djupare analyser. Det blir en rätt så komplicerad analys där variationer i flöden och temperaturer under alla delar av året måste analyseras.

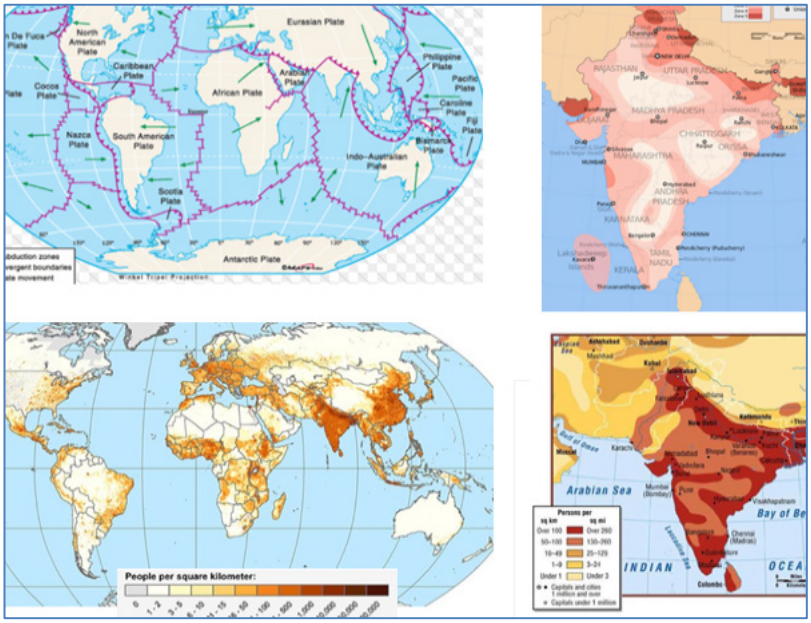
- Konventionell fjärrvärme dimensioneras för ΔT på 50 grader och fjärrkyla för ΔT på 10 grader.
- Beroende på vald framledningstemperatur på primära värmen och kylan så behöver ΔT kyl- resp värmedrift säkerställas med variationen av returtemperaturen i olika lastfall.
- De primära temperaturerna är dessutom direktkopplade till vilka returer kyl – och värmesystemen designats för i fastigheterna.

Det återfinns inte några referenser av värde med genomförda projekt där 3-rörsteknik för fjärrvärme och fjärrkyla tillämpas. Så som situationen ser ut i Sverige och i andra jämförbara länder så finns det så gott som alltid ett redan utbyggt fjärrvärmenät. De potentiella fjärrkylkunderna har då redan an anslutning med fjärrvärme. Det blir då naturligt att ansluta fjärrkyla på konventionellt med 2 rör. 3-rörs teknik blir bara teoretiskt möjligt för ett rent nybyggnadsområde och ett därmed avskilt system.

13 Lösningar med synergier till annan tillförsel

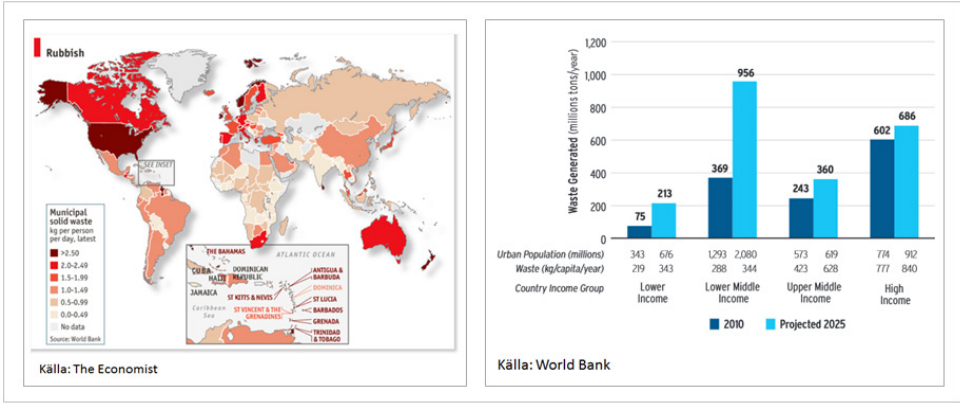
I detta avsnitt redovisas några exempel där tillförsel av fjärrkyla utnyttjar synergier med annan tillförsel.

Figur 230, visar var det på jordklotet finns generella förutsättningar för att utnyttja geotermisk energi bäst inom regionerna längs gränser mellan tektoniska plattor, där större delen av den vulkaniska (tektoniska) aktiviteten äger rum. Om man jämför den globala kartan med de tektoniska gränslinjerna med befolkningsfördelningskartan undertill, ser man en tendens att stor befolkningstäthet och gränserna mellan de tektoniska linjerna följs åt. Särskilt tydligt är detta i fallet Indien, de båda kartorna till höger i Figur 230.



Figur 230: Kartor indikerar korrelation mellan tektonisk aktivitet och möjligheter att utnyttja geotermisk energi och befolkningstäthet. Källa: Google Images.

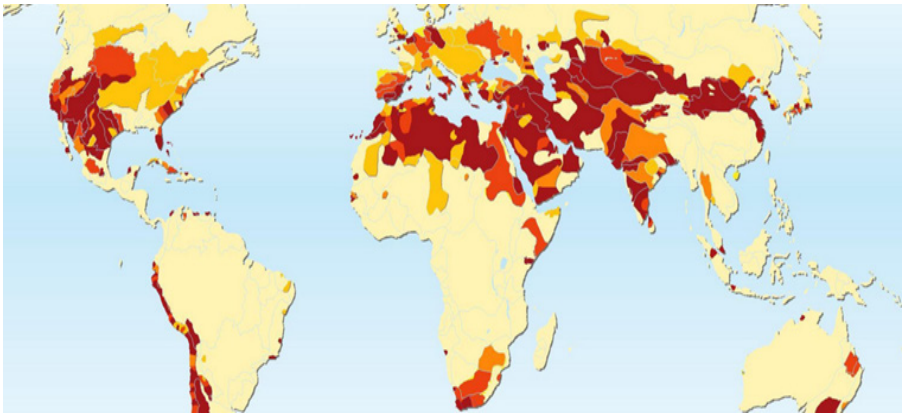
Avfall ur vilket både värme- och kylenergi för fjärrvärme respektive fjärrkyla kan utvinnas kommer att finnas i allt större mängder inom alla städer i världen med en ökande levnadsstandard, se Figur 231. Därutöver finns möjligheter att utnyttja geotermisk energi eller frikyla i hav, floder och sjöar mm, men i mycket olika grad på olika platser.



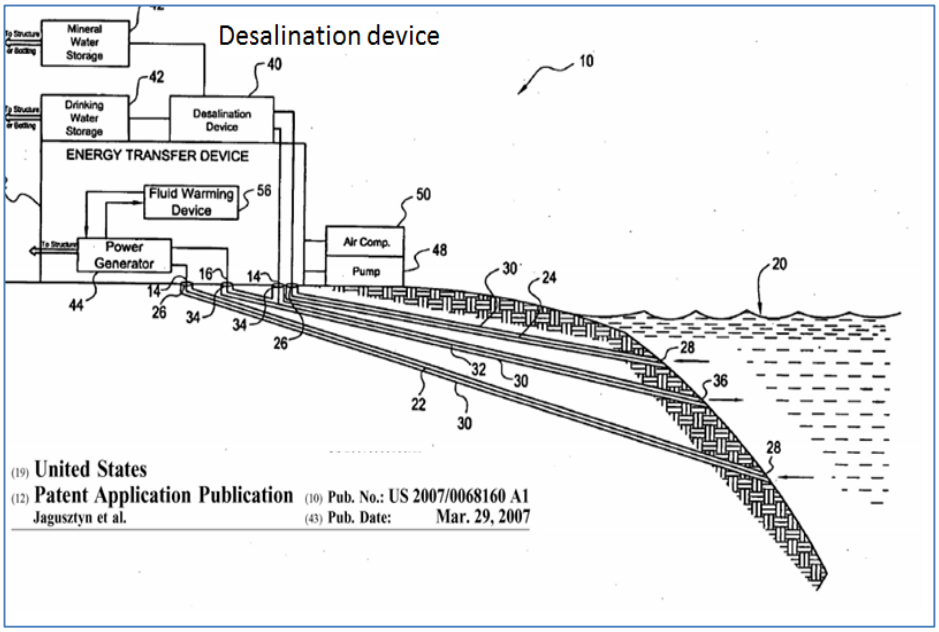
Figur 231: Avfallsproduktion per individ inom olika globala regioner.

En annan global frågeställning är dricksvattenbrist, se Figur 232,. I Mellersta östern, där det råder stor brist på dricksvatten, men riklig tillgång på energi, har man satsat på avsaltning som är en mycket energiintensiv teknik. Den har länge varit på agendan på andra håll i världen, bl.a. i Kalifornien där dricksvattensituationen har blivit kritisk. Det samma gäller i östra Kina.

Framsteg inom avsaltningstekniken har lett till kostnadssänkningar som medfört att avsaltningsprojekt har blivit mer realistiska på ställen där man inte har tillgång till billig energi. Fjärrkyla kan kombineras med avsaltning av havsvatten, se Figur 233. Dricksvattenproduktion baserat på riklig tillgång på geotermisk energi kan kombineras med fjärrkyla.



Figur 232: Dricksvattenstress i olika delar av världen. Mörkare färg representerar större vattenbrist.

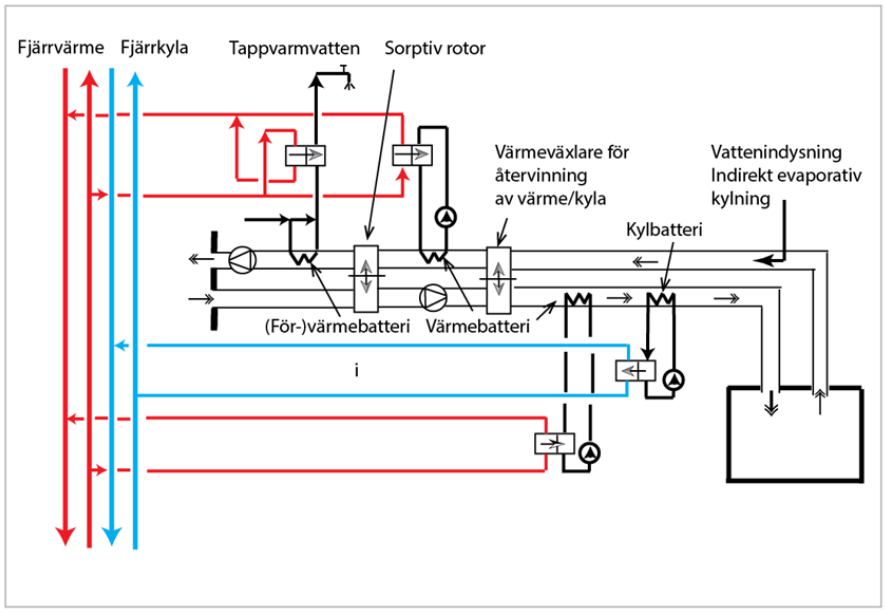


Figur 233: Koncept för kombinerad fjärrkyla och avsaltning av havsvatten. Källa: Espacenet.

I Köpenhamnregionen är frågan om tillgängliga vattenresurser visserligen inte lika akut som i Kalifornien och östra Kina, men det är ändå så att man tar ut dubbelt så mycket vatten ur grundvattenresursen som tillåts om man vill hålla grundvattnets nivå konstant, vilket ökar risken att föroreningar i marken ska läcka in i dricksvattenproduktionen. Med inspiration från Toronto´s kombinerade fjärrkyle / dricksvattensystem, har Svend Frederiksen utarbetat ett koncept som innebär att Köpenhamn kopplas på det skånska systemet med dricksvatten från sjön Bolmen, kombinerat med att man utnyttjar dricksvattnet för kylning. Konceptet har diskuterats med Sydvatten AB som äger och driver den regionala dricksvattenförsörjningen i Skåne och har tagits emot med intresse.

I alla dessa koncept för kombination av dricksvattenförsörjning och fjärrkyla ökar möjligheterna för att realisera dem med acceptabel ekonomi om byggnadernas kylning kan åstadkommas med en förhållandevis hög framledningstemperatur, och returtemperaturen kan bli förhållandevis hög.

Om fjärrkylenäten ska kunna bli mycket större än dagens system på de flesta hållen måste, som tidigare nämnts, investeringskostnaderna för näten pressas så mycket som möjligt.



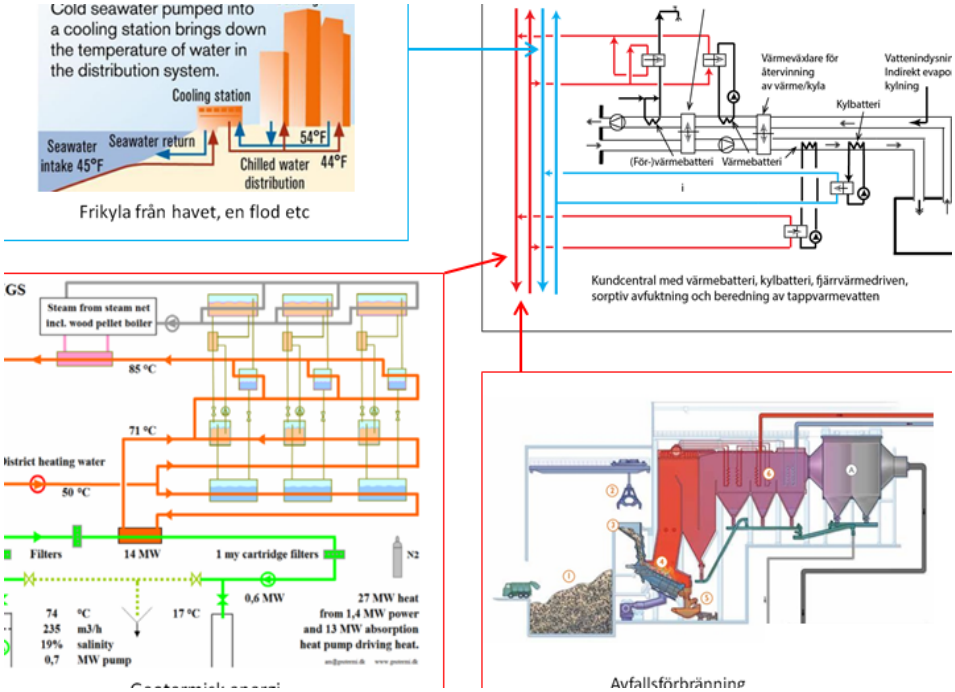
Figur 234: Kundcentral med värmebatteri, kylbatteri, beredning av tappvarmvatten och fjärrvärmedriven sorptiv avfuktning.

Den innovativa kundcentrallösning som visas i Figur 234 har ett flertal kvaliteter som underlättar utnyttjande av de förnyelsebara resurserna: Man kan operera fjärrkylenätet med en relativt hög framledningstemperatur. Detta ökar chanserna att det ska kunna finnas frikyla på tillräckligt nära håll. Det kan även förbättra effektiviteten i kylproduktionen, t.ex. i form av effektfaktorn för kylmaskiner, eller att öka andelen frikyla där denna finns till hands. Returtemperaturen i fjärrkylenätet kan bli hög, vilket bidrar till möjligheterna att begränsa rördiametrar i nätet.

Den sorptiva avfuktningen är en förutsättning för dessa möjligheter. Vi har sett att typiska befintliga fjärrkylesystem har både låg framlednings- och returtemperatur, vilket bl.a. sammanhänger med krav om effektiv avfuktning. Genom att dela upp uppgifterna att avkyla och avfukta på var sin källa eliminerar man detta tvång.

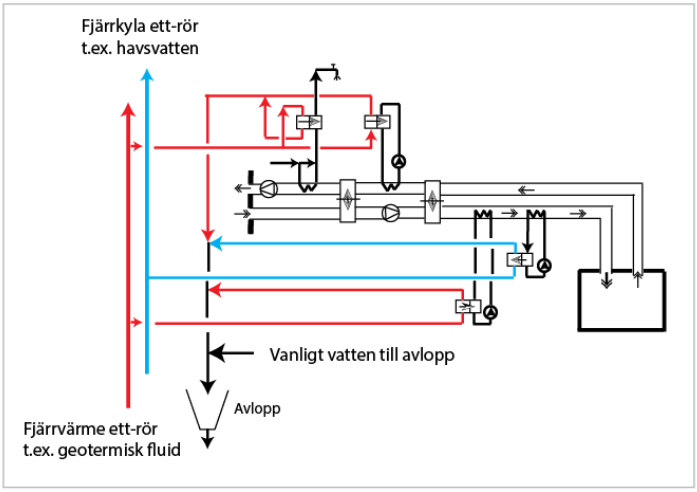
Lösningen främjar möjligheterna att utnyttja tillgängligt värme på platser där uppvärmningsbehovet är relativt litet, med maximal kapacitet för leverans av kyla: kyla tillförs byggnaderna, både från fjärrkylenätet och indirekt via fjärrvärmenätet. Då fjärrvärme utnyttjas för avfuktning är tappvarmvattenförsörjningen inte den enda användningen av värme som måste finansiera att det byggs ett fjärrvärmenät, även på platser där värmebehovet för uppvärmning är litet eller t o m helt obefintligt.

Lösningen diskuteras mera i detalj i avsnitt 4.2.3.



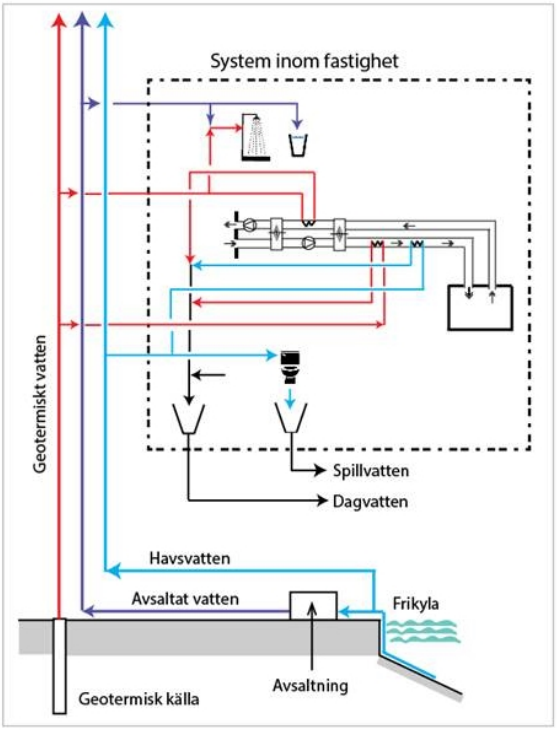
Figur 235: Helt eller nästan helt förnyelsebar produktion av fjärrvärme och fjärrkyla. Källa: Capital Cooling och (128).

Figur 235 är en vision av ett förnyelsebart koncept där t.ex. den nyss visade typen av kundcentral kan utnyttjas. Beroende på lokala förhållanden kan det tänkas realiserat helt eller delvis. Geotermi finns inte överallt, men potentialen för värmeproduktion ur avfall är universell som vi sett. En variant är att geotermiskt värme eller värme från sopförbränning driver en absorptionskylmaskin som producerar all fjärrkyla, eller en del av, om frikyla finns till hands men inte är tillräckligt kall för att kunna täcka hela kylbehovet.



Figur 236: Kundcentral för två ett-rörsystem som kan reducera ledningskostnader.

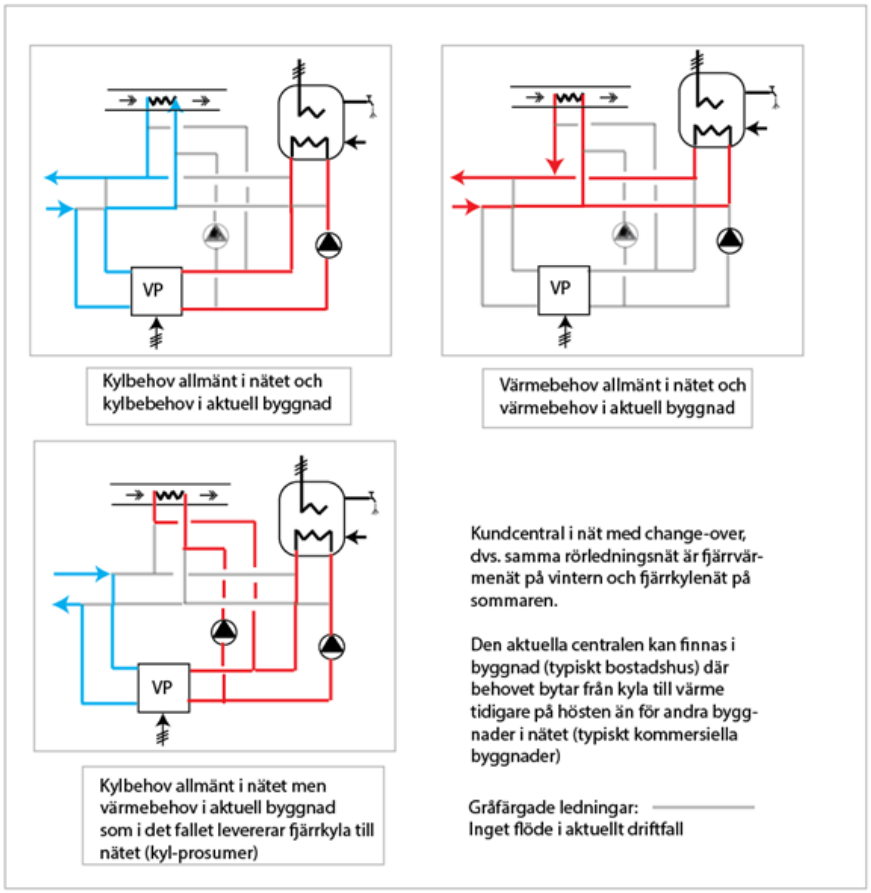
Figur 236 visar en kundcentral i ett system som syftar till at minimera kostnaderna för distributionssystemen: Ett-rörsystem för kyla, där havsvatten (eller flodvatten etc.) leds ända ut till kundcentralerna, och ett-rörsystem för värme, där t.ex. en geotermisk fluid (vatten eller ånga) leds ända ut till kundcentralerna (det sistnämnde finns på Island). I båda fallen dumpas vatten i avloppet, avkylt fjärrvärmevatten och uppvärmt fjärrkylevatten. Systemet förutsätter ett rikligt dimensionerat avloppssystem. Detta måste vägas mot förenklingen av värme- och kyldistributionen. Kemiska och materialtekniska frågor måste undersökas men borde i det flesta fallen vara lösbara. Självfallet måste man för material i värmeväxlare och armatur ta hänsyn till krav föranledda av att sjö/havsvatten transporteras i öppna rörsystem som är syresatta samt till nivå på salthalt och förekomst av partiklar/bakterier mm.



Figur 237: Systemlösning med utnyttjande av geotermisk källa, frikyla och avsaltning av havsvatten.

Figur 237 visar ett systemkoncept där kundcentralen som tidigare visades i Figur 236 ingår. Konceptet är avsett för regioner där det råder vattenbrist. Vatten från havet utnyttjas för tre ändamål: Fjärrkyla, sekunda kallvatten och dricksvatten. Det sistnämnda vattnet produceras i en avsaltningsanläggning. Genom att låta bli använda dricksvatten för toalett reducerar man förbrukning av avsaltat vatten, och därmed energiförbrukning för i sig ett känt koncept. Detta kombineras med att det icke avsaltade havsvatten används för två syften, med direktanslutning av batterier för kyla och värme och med ett öppet ett-rörsystem för värmning, avfuktning och tillförsel av tappvarmvatten.

Beroende på varifrån energin som behövs för avsaltning hämtas, kan konceptet vara delvis eller helt förnyelsebart. Ytterligare fördelar har beskrivits vid presentationen av kundcentralen enligt Figur 237.



Figur 238: Kundcentral kopplad till att termiskt distributionssystem som fungerar som fjärrvärmenät på vintern och som fjärrkylenät på sommaren. VP = värmepump.

Figur 238 visar en annan variant av en kundcentral som ingår i ytterligare ett koncept som syftar till att minimera investeringskostnaderna för ett kombinerat fjärrvärme- och fjärrkylesystem: Switch-over, det distribueras antingen kallt eller varmt vatten i tvåledarnätet. Olika byggnader följs inte åt fullständigt när det finns behov av värme eller kyla. Den visade kopplingen är aktuell för en byggnad med ett förhållandevis större värmebehov än kylbehov: På hösten bytts för denna byggnad kylbehovet med ett värmebehov. Då produceras detta värme i en värmepump som hämtar värme från distributionsnätet, dvs. denna byggnad fungerar då som en ”prosumer” av fjärrkyla. Elvärme finns som komplement.

Vi försöker hitta tekniska lösningar som ska göra det möjligt att bygga ut fjärrvärme och fjärrkyla i stor skala. Fjärrvärmen är väletablerad i t ex de nordiska länderna. F.n. pågår en snabb och storskalig utbyggnad av fjärrvärme framförallt i Kina. Vad beträffar fjärrkyla återstår det att se om den på motsvarande sätt ska kunna växa, så att den ska kunna täcka mer är några promille av den explosiva expansionen av behovet av byggnadskyla. Se vidare Figur 350 i *Fördjupningsavsnitt*

18. De flesta fjärrkylesystem i världen är än så länge små och koncentrerade till City centers med hög bebyggelsetäthet. Hög bebyggelsetät främjar möjligheterna att göra tunga investeringar i distributionsnät lönsamma under förutsättning att platsproblem inte blir oöverstigliga. Singapore är ett extremt exempel: hela landområdet täckts redan av tät bebyggelse, lokaliserad längskusten. Fortsatt utbyggnad av landet/staden fordrar att man återvinner land från havsområden till ny mark, vilket skett i betydande omfattning.

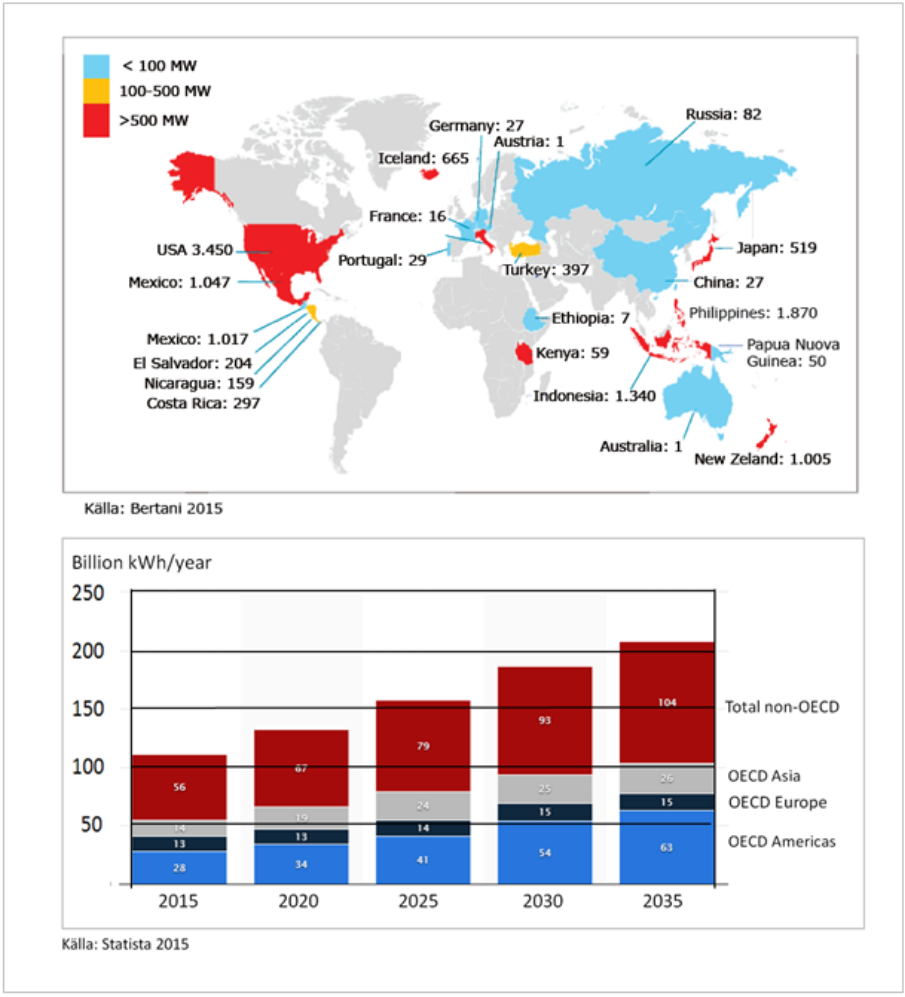
Chanserna för framgång är mycket större när det gäller exploatering av nya områden, jämfört med områden med befintlig bebyggelse. Särskilt i det senare fallet kan lösningar som förenklar kundcentraler och som möjliggör kompakta rörsystem vara en förutsättning för att lönsamma storskaliga system kan skapas.

I anslutning till Figur 350 i *Fördjupningsavsnitt* 18 kommer vi att redovisa att det stora, potentiella globala behovet av byggnadskyla finns i utvecklingsländer och i ”emerging economies”. Tyvärr präglas utbygganden av städer i dessa länder ofta av planlös expansion, som fotot till höger i Figur 239 illustrerar. Detta är en hämmande faktor i relation till fjärrvärme och fjärrkyla som fordrar noggrann och långsiktig planering av nätutbyggnad.





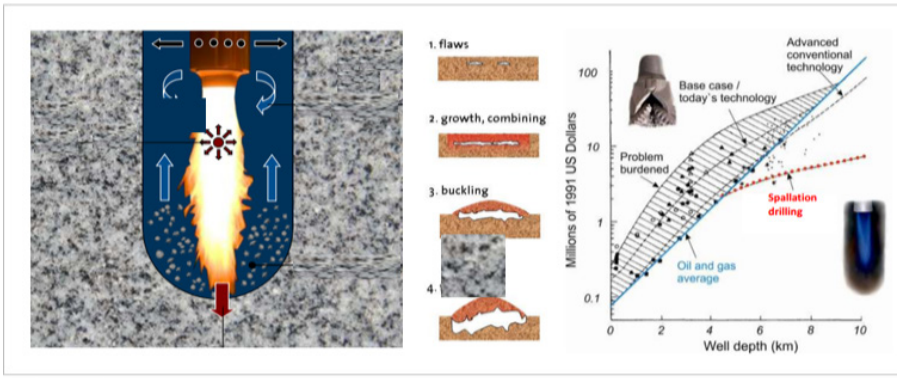
Figur 239: Downtown city district i Chicago (vänster) och typiskt exempel hämtat från Asiens kaotiska struktur (höger). Källa: Google Images.



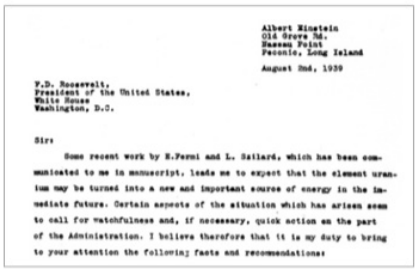
Figur 240: Befintlig global status för utbyggnad av geotermisk elproduktion (siffrorna är MW el land för land), jämte en prognos för den fortsatta utbyggnaden.

Figur 240 visar, dels hur långt geotermin utvecklats i olika länder, dels en prognos för expansionen framgent. Indonesien är, efter USA, det land som kommit näst längst. På ön Bali är befolkningstätheten dessutom extremt hög, så där borde förutsättningarna för utbyggnad av geotermin vara goda. Då havsvattnet är varmt året runt är möjligheterna att utnyttja frikyla begränsade.

Den övre delen av Figur 241 illustrerar en intressant teknik för exploatering av geotermisk energi som är under utveckling, spallation. Den innebär att man genom att skapa en hög temperatur kan få ett berg att spricka. Det hävdas att man med denna teknik ska kunna reducera kostnaderna, så att man inte får en exponentiell ökning av kostnaderna med djupet. Man kan se det som en analogi till exploateringen av skiffergas som på senare år accelererats av ett tekniksprång när det gäller borrtekniken.



Källa: Schuler et al. ETH



Albert Einstein
Old Grove Rd.
Nassau Point
Peconic, Long Island

August 2nd, 1939

F.D. Roosevelt,
President of the United States,
White House
Washington, D.C.

Sir:

Some recent work by E.Fermi and L. Szilard, which has been communicated to me in manuscript, leads me to expect that the element uranium may be turned into a new and important source of energy in the immediate future. Certain aspects of the situation which has arisen seem to call for watchfulness and, if necessary, quick action on the part of the Administration. I believe therefore that it is my duty to bring to your attention the following facts and recommendations:



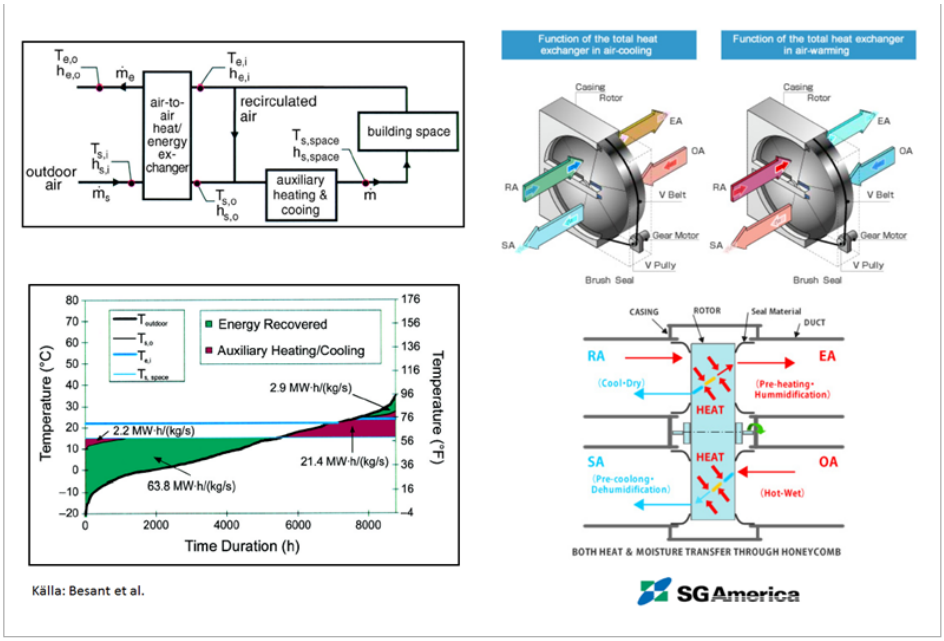
Figur 241: Utnyttjande av geotermisk energi från stora djup med spallation-teknik och det historiska exemplet med utveckling av atombomben. Källa (de understa bilder): (129).

Erfarenheten visar att utveckling och implementering av ny teknologi är svår att forcera. Å andra sidan, om incitamenten är tillräckligt stora kan man lyckas. Utvecklingen av atombomben, Figur 241 (nedre delen), är ett extremt exempel på detta. Figuren längst nere till vänster visar inledningen av Einsteins berömda brev till president Roosevelt med uppmaningen att inleda denna utveckling inför hotet att Tyskland skulle komma först med ett atomvapen. (Brevet var undertecknat av Einstein men författat av Leó Szilárd.) Det finns många som förutser katastrofala konsekvenser den globala uppvärmningen. Om dessa farhågor efterhand skulle visa sig vara befogade är det tänkbart med en kraftsamling likt den som ägde rum beträffande utveckling av atombomben.

Vi har skissat på ett koncept som ska möjliggöra en kraftig global expansion av fjärrvärme och fjärrkyla med en hög grad av förnyelsebar produktion. De lösningar som visats, inklusive kundcentraler, är dock inte begränsade till förnyelsebar produktion av värme och kyla.

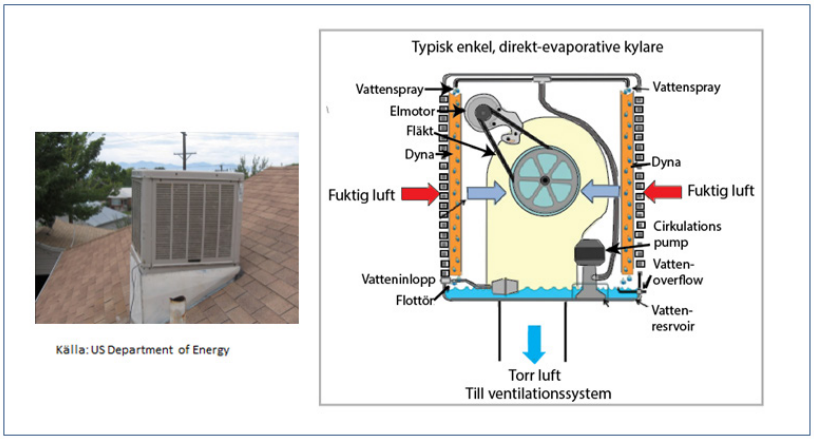
Med hänsyn till svenska företags möjligheter att exportera teknik för fjärrvärme och fjärrkyla finns den intressanta aspekten att just en hög grad av förnyelsebar produktion främjar möjligheten till att finansiera projekt med bidrag av medel från internationella finansiella institutioner som har förnyelsebar produktion på sin agenda.

Vad kan svensk fjärrvärme- och fjärrkyleverksamhet lära av utländska erfarenheter och tekniska lösningar för kundcentraler? Ett svar på detta är att det på många håll skett en utveckling av soldriven kyla, med absorptions- eller (sorptiv) adsorptionsteknik, som kan utnyttjas för fjärrvärme/kyla, se avsnitt 4.2.4 .



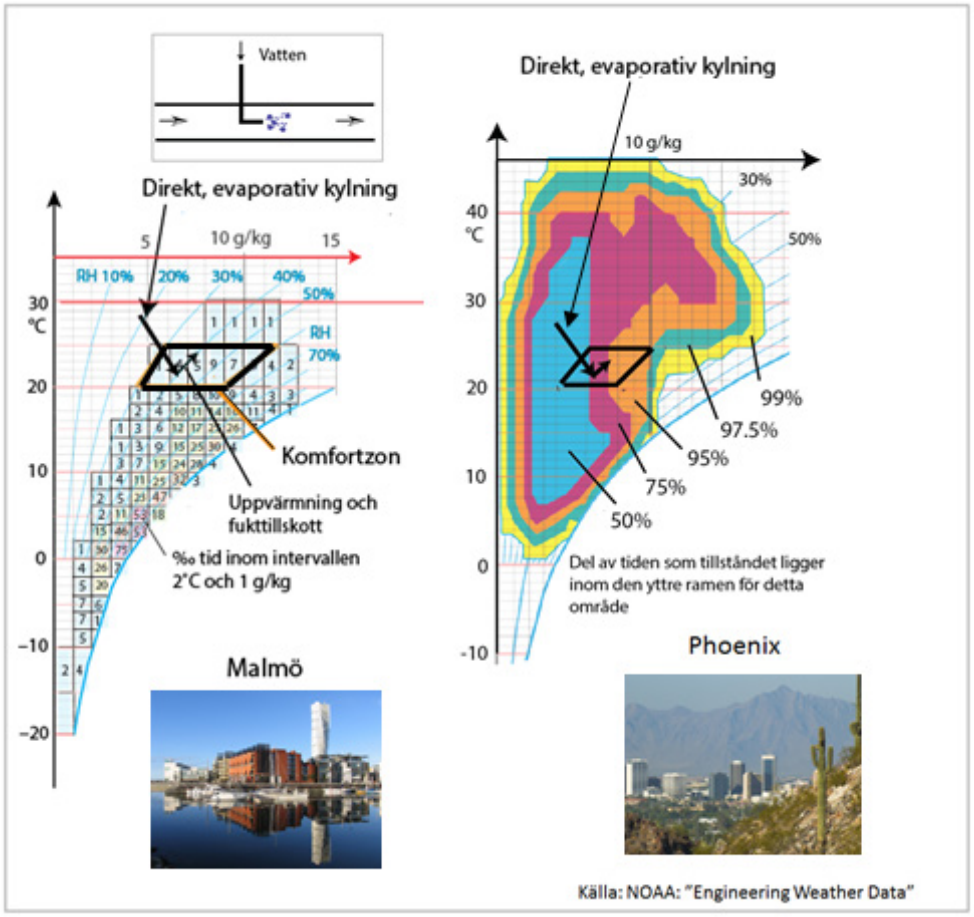
Figur 242: Återvinning av energi eller ”energi + fukt” vintertid.

Figur 242 visar ett annat exempel: Användning av sorptivt hjul för uppfuktning på vintern och avfuktning på sommaren. Denna metod tillämpar vi i lösningar för fjärrvärme och fjärrkyla. Referensen härrör från Canada där inomhusklimatet kan bli mycket torrt på vintern, som i Sverige. Se analysen av denna frågeställning i avsnitt 14.4 och 15.2.16 .



Figur 243: Direkt, evaporativ kylning, aktuell i Phoenix, Arizona.

Figur 243 visar användning av direkt evaporativ kylning, något som är vanligt i sydvästliga USA, där temperaturen kan bli mycket hög och den relativa fukthalten bli mycket liten (även om den specifika fukthalten kan vara ganska stor).



Figur 244: Mollierdiagram med direkt, evaporativ kylning.

I svenskt sommarklimat är denna teknik inte relevant som man ser av Mollierdiagrammet, Figur 244. För att slutpunkten ska hamna inom komfortzonen eller något till vänster om denna, måste man utgå från ett tillstånd som råder endast vid mycket sällsynta tillfällen. Indirekt, evaporativ kylning, som finns med kundcentralen vi tidigare redovisade med Figur 234, är emellertid intressant även i ett svenskt perspektiv.

I Figur 244 har Mollierdiagrammet för Phoenix ritats med utgångspunkt i det psykrometriska diagrammet för Phoenix, utgivet av ASHRAE och tillgänglig på nätet.

14 Värdeskapande

14.1 INLEDNING OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

I ansökan använde vi rubriken, som är rätt lång, ”*Optimal och innovativ teknik för kombinerad fjärrkyla - och fjärrvärmeanslutning - kundcentraler och distribution i fastigheter*”. I ordet optimal kan man lägga in tolkningar som funktionsförbättring och förbättrad prestanda. Ett nyckeluttryck som vi använde var ”Högvärdig prestanda”. Det som uppfyller definitionen ”Högvärdig prestanda” har kontinuerligt beaktats i projektet. Vilket omfattar: Termiska driftkarakteristika, Komfortkrav och Värdekrav.

Genomgående har vi vid valet av tekniklösningar hanterat termiska driftkarakteristika genom att se möjligheter med hjälp av Mollierdiagram för fuktig luft.

Den största nyttan med de föreslagna innovativa lösningarna är att komfortkrav för kunder kan tillfredställas både energieffektivt och betydligt bättre än vad som genomgående råder i dagens fastighetsbestånd. Det inomhusklimat som vi idag i Sverige har under en betydande del av året i ligger utanför ramen av den s. k. komfortzonen, med exempelvis alltför torr luft vintertid. Vi gör bedömningen att detta snart kommer att bli föremål för nya och hårdare ställda krav. Våra identifierade innovativa lösningar kommer här att öppna möjlighet för energiföretagens strategiska positionering.

För att förbättrade prestanda för olika lösningar ska kunna få genomslag på marknaden, fordras att de är ekonomiskt bärkraftiga. Här behöver två nyttigheter uppfyllas, påverkan med lägre kostnader för energibolaget samt för kunden en ekonomisk nytta. Hur detta avspeglas beror på hur prismodellen fjärrkyla är uppbyggd och om den har en god transparens med kostnadsstrukturen.

I grunden förutsätts att en design av ett fjärrkylsystem föregåtts av affärsanalyser som gjorts under förstudie och projektgenomförandet vid systemetableringen. Det kan inte nog understrykas att det finns en grundläggande skillnad mellan fjärrkyla och fjärrvärme. Båda systemen bygger tekniskt på att pumpa vatten i rörsystem. Men fjärrkyla (i Europa) har som huvudmålgrupp fastighetsförvaltare av kommersiella lokaler. Fastighetsförvaltning har en direkt koppling till att skapa affärsvärden. Detta syns tidligt i årsrapporter och miljörapporter från fastighetsförvaltande kommersiella bolag.

Ett vanligt misstag under etableringen är att man tidigt låst fast sig med en produktionstekniklösning. För att lyckas med fjärrkyla måste man hantera flera frågor, se Figur 245.



Figur 245: Affärsprocessens byggstenar för fjärrkyleprojekt. Källa: Capital Cooling

Grundstenar för en lyckad affär med fjärrkyla ligger inte i att tidigt låsa sig vid produktionsteknik. Det är essentiellt att det allokeras resurser för ekonomi/ finansiering, marknad och en dedikerad organisation. Till detta kommer även att ha en risk management process. Har man en fjärrkylaffär med röda siffror så är det viktigt att göra en affärsanalys för att identifiera vilka åtgärder som skall vidtas. Ett sådant arbete ligger inte inom ramen för detta FoU-projekt att beskriva. Men intressant är naturligtvis i vad mån rapportens forskningstekniska innehåll kan användas i avseende att förbättra och utveckla fjärrkylaffären. Att snabbt vända en negativ trend med FoU är inte möjligt. FoU har en mer långsiktig påverkan. Tillämpning kommer främst vid nyanslutningar och ersättning av uttjänta installationer. Det betyder naturligtvis påverkan på merparten av den befintliga kundstockens drift inte kommer att påverkas.

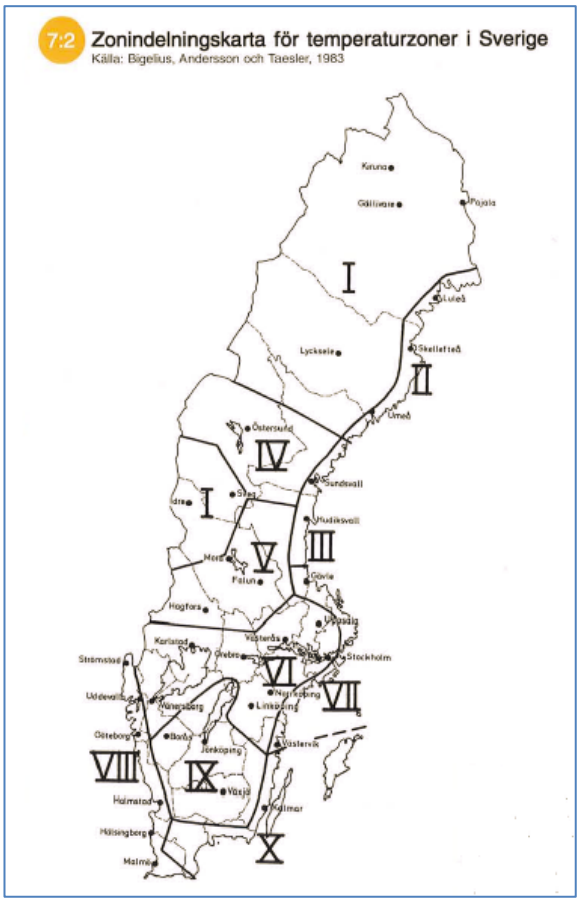
En viktig grundtanke med fjärrkyla är att kunna utnyttja resurser som annars skulle gå förlorade. Det betyder att en nyckelfråga är att identifiera och omsätta maximalt med tillgänglig frikyla. Ett fjärrkylsystem med hög andel kylmaskiner har svårt att konkurrera med kundens alternativ, lokal kylmaskiner. Fjärrkylan betingas av höga investeringar i ledningsnätet. God driftekonomi förutsätter i många fall att det finns billigare produktion med tillräckligt hög andel frikyla.

Tillgången på frikyla är naturligtvis lokalt betingad. Varje stad och därmed fjärrkylsystem har unika lokala aspekter att ta i beaktande. Andelen frikyla kan ökas i ett system genom att påverka fjärrkylas primära returtemperatur. Vid högre returtemperatur kan mer frikyla utnyttjas. Vi kommer i avsnittet som följer hantera detta med tillämpningsexempel för att se hur mycket returtemperaturen för en installation kan förbättras på årsbasis. Den tekniklösning vi analyserar i värdebeskrivningen är huvudspåret den sorptiva hybriden.

På den svenska marknaden har vi länge sett en skarp konkurrens från framförallt bergvärmepumpar och annan geoenergi. Att utnyttja synergier med kombinaerad fjärrvärme och fjärrkyla kan vara ett kraftfullt sätt att bemöta denna konkurrens. Ett exempel på detta är att kunder ofta fordrar tillgång till fjärrkyla för att stanna kvar som fjärrvärmekunder. I sådana fall kan leverans av fjärrkyla för leverantör vara eknomisk motiverat även om fjärrkyleleveransen isolerat sett skulle vara en mindre lönsam affär.

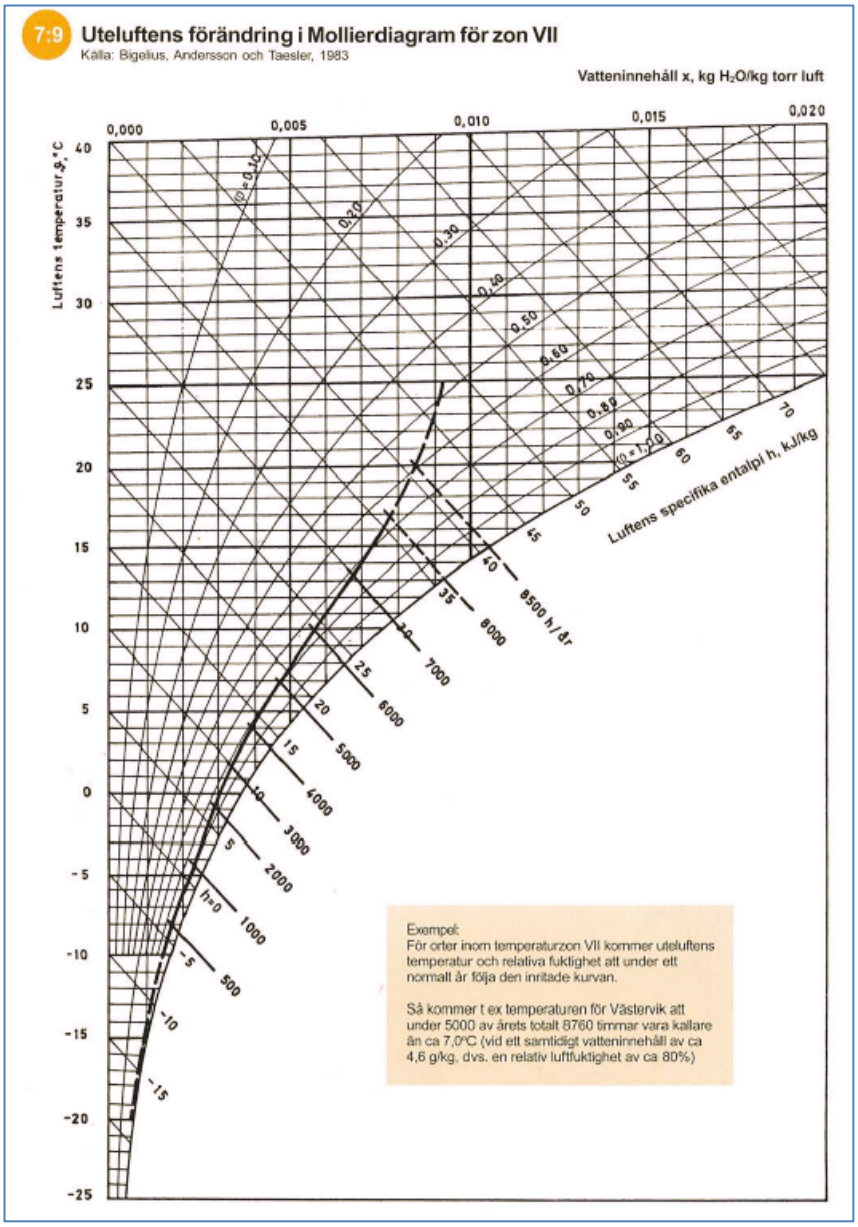
14.2 KLIMATOLOGISKA FÖRUTSÄTTNINGAR

En generell aspekt är naturligtvis att förutsättningarna varierar beroende på det geografiska läget. Figur 246 från VVS 2000 - Tabeller och diagram (130) visar klimatzonerna i Sverige.



Figur 246: Zonindelning Sverige. Källa: VVS 2000 Tabeller och diagram

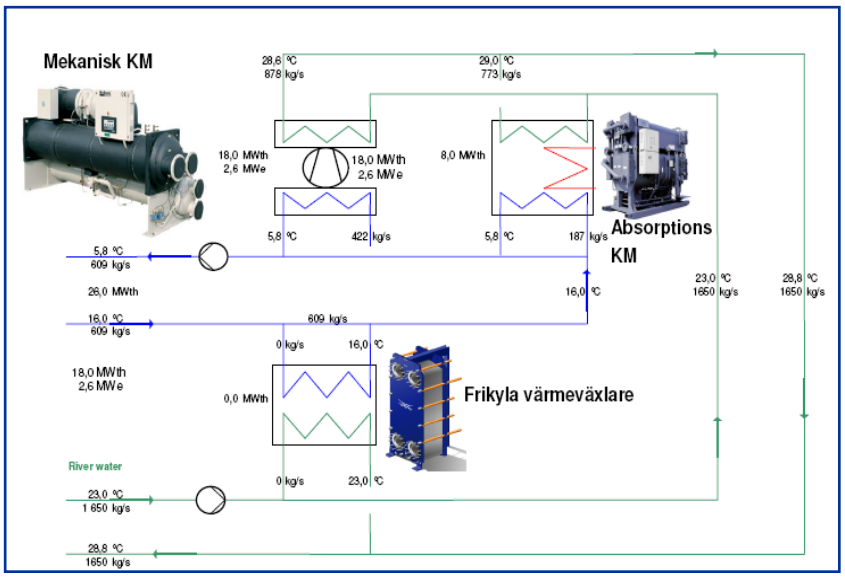
Stockholm ligger exempelvis i zon VII, med varaktighet för uteluftens temperatur och fukthalt enligt Figur 247.



Figur 247: Varaktighet för uteluftens tillstånd inritad i ett Mollierdiagram för Zon VII. Källa: (130)

14.3 ÅRSTIDSVARIATIONEN

Figur 247 visade en varaktighet för uteluftttillståndet i Stockholm. För tillämpning i värderingsmodell räcker denna information inte. Bakgrunden till detta är att fjärrkylsystemen har en design med en varierande produktionsmix under året. Varje system är som vi beskrivit tidigare unikt. Viss systemdesign förutsätts i grunden vara baserad på en optimering med en energibalans, som har som en byggsten den lokala tillgången på frikyla.

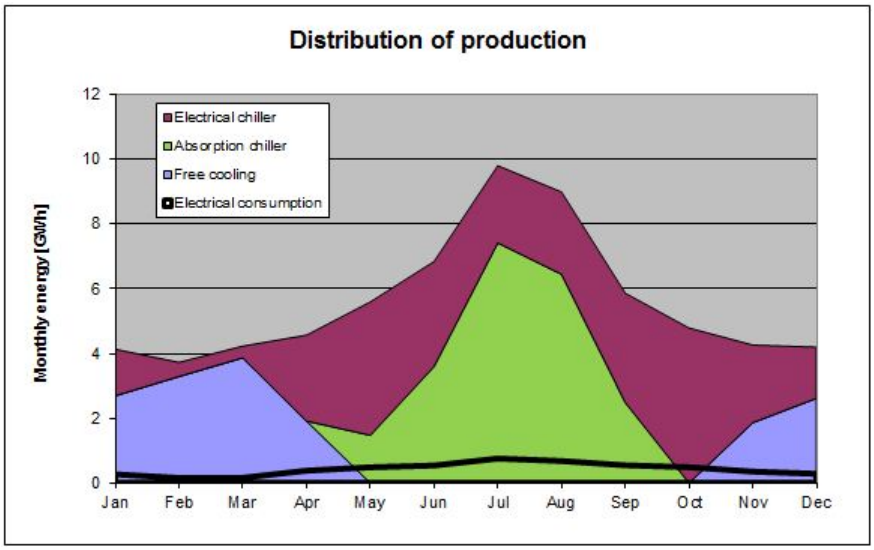


Figur 248: Systemkoppling för systemoptimering med Capital Coolings grundmodell för energibalans.

Vid systemdesign används villkor för möjliga produktionssätt enligt systemschemat Figur 248. Viktiga ingående parametrar är:

- Utelufttillstånd för staden
- Temperatur och volymer för lokala tillgångar på frikyla
- Ekonomiska parametrar
- Marknad – kundinformation
- Kylbehov
- Databaser för investeringar och kostnader

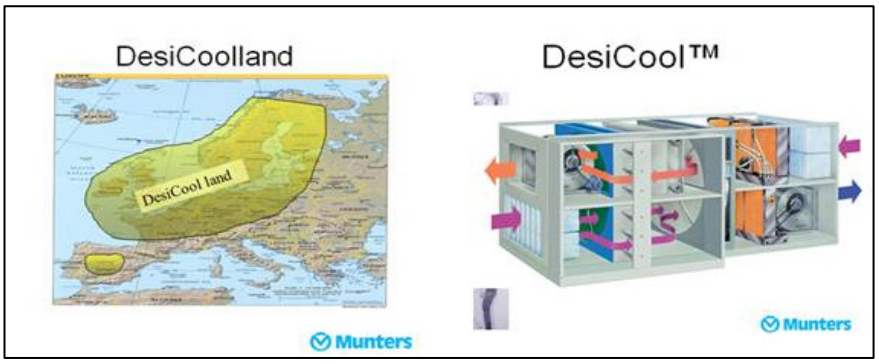
Figur 249 visar på ett exempel av en systemoptimering av att vanligt förekommande fjärrkylsystem. Tillgången på frikyla från en sjö eller en flod har temperatur-begränsningar och kan bara användas under vår/höst och vinter. Under sommaren är vattentemperaturen för hög. Det finns tillgång till billig spillvärme som gör det möjligt att nyttja absorption under delar av sommaren. Peakbehovet och för temperatursäkring används eldrivna kompressorkylmaskiner.



Figur 249: Energimix i ett vanligt förekommande standard fjärrkylesystem med europeiska förhållanden på systemnivå. Källa Capital Cooling.

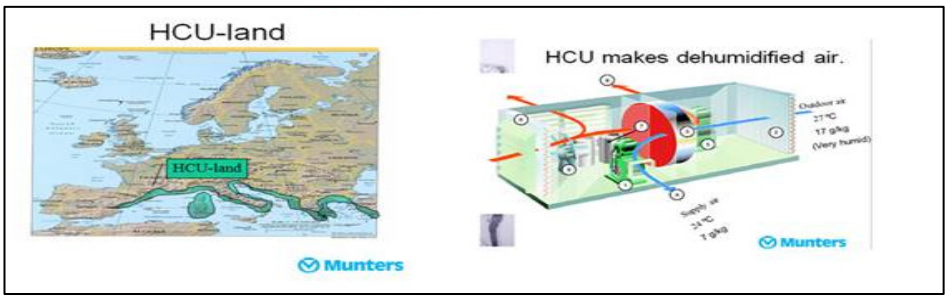
14.4 STORA VARIATIONER AV UTOMHUSTEMPERATUR OCH LUFTFUKTIGHET

I avsnittet med tekniklösningarna har vi vid redovisning av de termodynamiska förhållanden i Mollierdiagram mm genomgående begränsat oss till dimensionerande driftfall, vintertid med låg utetemperatur och låg fukthalt, och sommartid med hög utetemperatur och hög fukthalt. Hur intressant en teknik energimässigt är beror på aktuella klimatförhållanden under hela året. Intuitivt föranleds man att tro att det är mest ekonomiskt intressant med de sorptiva teknikerna i klimat med långa perioder av hög luftfuktighet såsom i Singapore och Shanghai. Men vid en energimässig utvärdering måste man beakta alla driftfall under året. Det finns gränser för hur mycket fukt som kan överföras i ett sorptivt hjul. Detta medför att värmedriven, sorptiv kyla (Penningtoncykeln) har svårigheter att fungera på mycket fuktiga platser, t ex Singapore. Figur 250 och Figur 251 visar de geografiska områdena i Europa där sorptiv kyla kontra sorptiv avfuktning är energieffektiva fungerande alternativ.



Figur 250: Områden inom Europa där Sorptiv kyla är lämplig. Källa: Munters.

Däremot ökar förutsättningarna för att använda avfuktning i södra jämfört med norra Europa, Penningtoncykeln (”DesiCool” är Munters´ kommersiella produkt) och Hybriden (”HCU” = Humidity Control Unit).



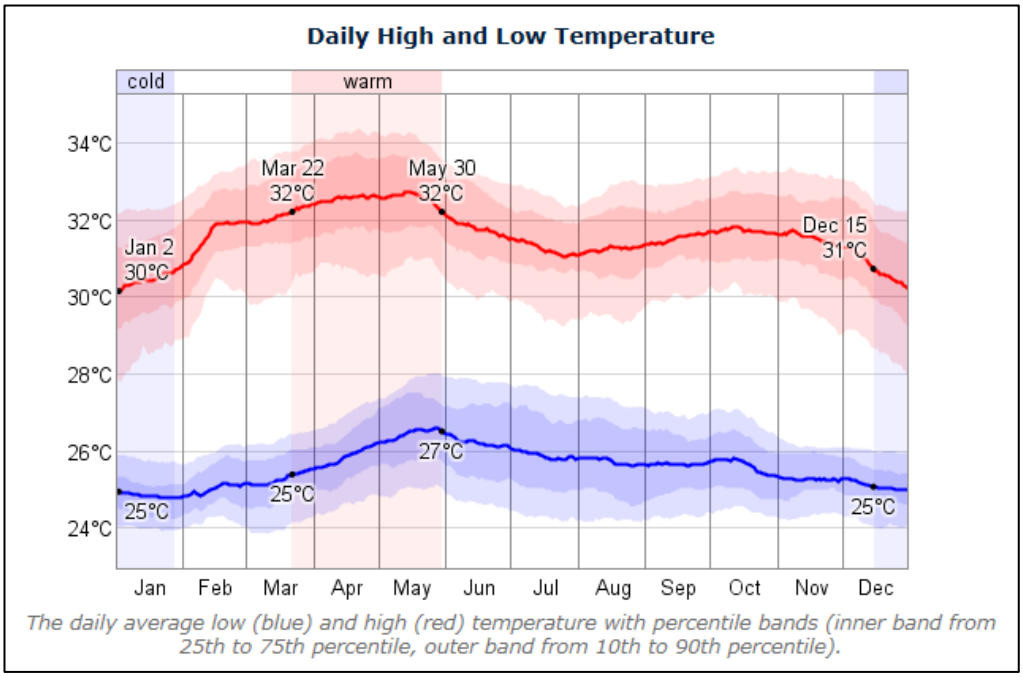
Figur 251: Områden inom Europa där sorptiv avfuktning är lämplig. Källa: Munters.

Utöver de rent ekonomiska aspekterna med utnyttjande av bl a sorptiva tekniker så finns även en hygienisk aspekt. Obehag i form av luftfuktighetens inverkan kan reduceras. Möjlighet till uppfuktning under vintertid och att kunna avfukta under sommartid är en möjlighet som öppnas upp med sorptiva varianter av hybridlösningar. Att kvantifiera dessa komfortförbättringar i monetära värdringsmodeller är av komplex natur. Då det rör sig om att värdera en kombinerad försörjning av både kyla och värme blir en detaljerad energibalans komplicerad att hantera

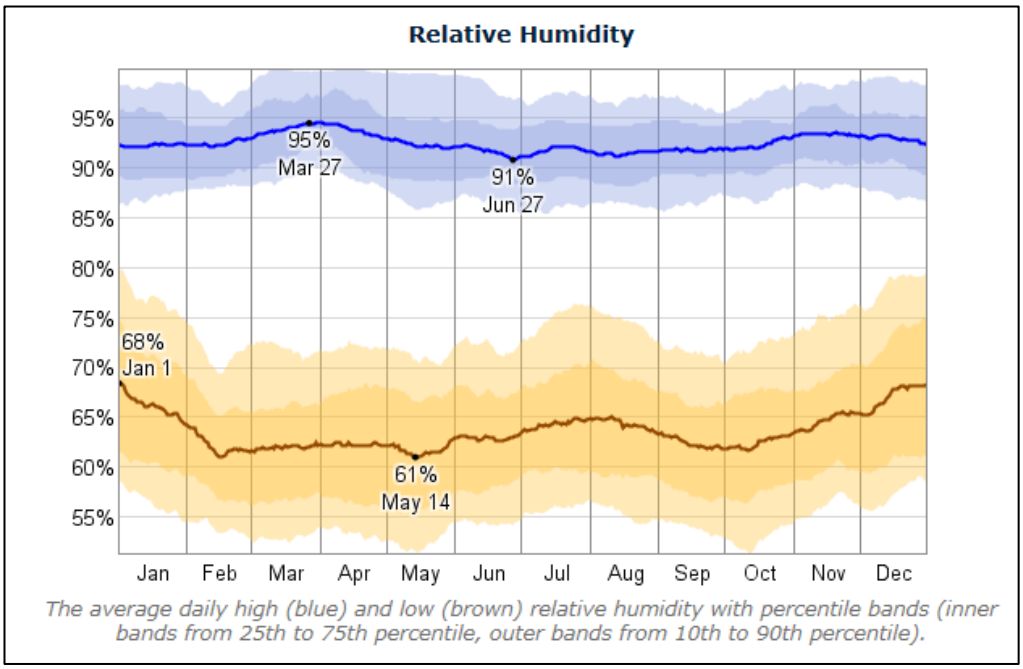
Dessutom så blir frihetsgraden i form av varje enskild stads variationer av temperatur och luftfuktighet ytterligare en parameter att ta hänsyn till. Utfallet för en fastighet i Kiruna blir inte samma som i Ystad. Den kanske största svårigheten är att vi kommer att jämföra lösningar av helt olika ”hygienprestanda”. Med konventionella lösningar åstadkoms inte likvärdigt inomhusklimat, beträffande luftfuktighet inomhus. Det finns naturligtvis möjlighet att arbeta med konventionella lösningar för avfuktning och befuktning för att åstadkomma ett jämnt inomhusklimat. Men den sorptiva hybriden är betydligt mer energieffektiv i detta avseende.

Vår bedömning av framtida behov är att hygienkrav kommer att lyftas högre upp i värdekedjan. Avfuktning periodvis under varma fuktiga sommardagar är naturligtvis en vinst genom att obehaget reduceras, som i sin tur leder till att man kan hålla högre lufttempertur utan att det upplevs som obehag. Det i sig är en besparing.

Som en referens till förhållandena gällande klimat i Sverige och som ovan nämnts Singapore kan aggregerade väderdata användas. Först ser vi att man i Singapore under hela året har en tempertur som ligger mellan 24 och 34°C. Relativa luftfuktigheten ligger även den med redovisade max och minvärden relativt konstant under året. Maxvärden typiskt 80-95% och minvärden typiskt 60-70%. Se Figur 252 och Figur 253.



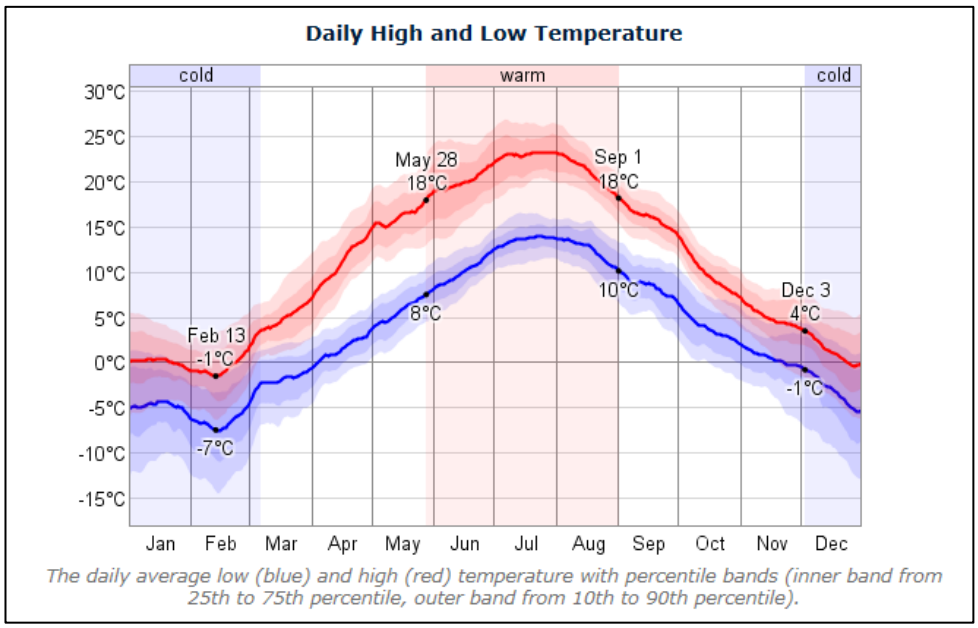
Figur 252:Temperaturer i Singapore. Källa: Weatherspark (131).



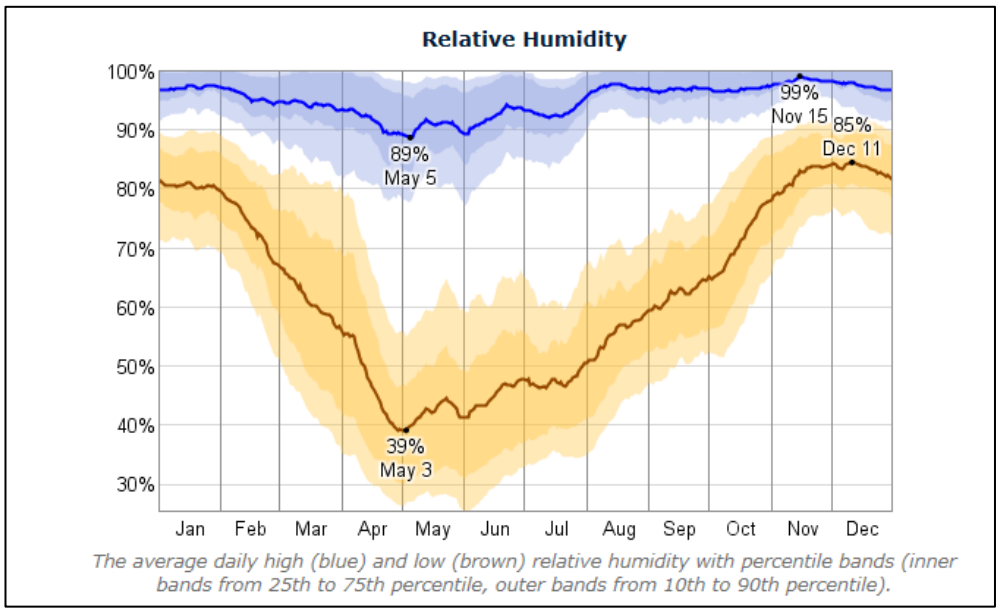
Figur 253: Relativ luftfuktighet Singapore. Källa: Weatherspark (131).

Detta kan exempelvis jämföras med variationsmönstret för Stockholm, se Figur 254 och Figur 255. Det är nu naturligtvis betydligt större variationer, med tydligt sommar- och vinterklimat. Att värdera nyttan med tekniska lösningar med att bara ta fram energibalanser baserade på bara temperaturen ger rätt goda fingervisningar, och är inte alltför komplext. Men att samtidigt lyfta in de stora

variationerna av temperatur och samtidig relativ luftfuktighet blir mycket komplext och inte nödvändigt för vår värdering. Variationer mellan städer och olika år är betydande.



Figur 254: Temperaturer i Stockholm. Källa: Weatherspark (131).



Figur 255: Relativ luftfuktighet Stockholm. Källa: Weatherspark (131).

Mollierdiagrammet enligt tidigare redovisad Figur 247 redovisade varaktighet för luftfuktighet och temperatur, se Tabell 5, behöver för att användas i värderingsmodellen omvandlas till en årstidsvariation. Beroende på behov av noggrannhet kan månadsvärdena tillämpas på aggregerad månadsnivå eller med

upplösning i exempelvis fraktioner. Klimatdata för fuktberäkningar (REF) har bearbetat statistiken uppdelad på olika månaders relativa luftfuktighet på fraktioner, min, 2,5, 5, 10, 50, 90, 95 97,5 och max. Det bör noteras att värdena baseras på sannolikhetsvärden med valt tidsintervall. Min och maxvärden blir beroende på betraktat tidsintervall, månad, fem dygn, dygn eller timme olika. För vår värderingsmodell kommer upplösning per månad att användas. Tabell 6 för luftfuktighet redovisar således inte min(värden) i form av ett extremvärde utan betraktat som medelvärde för respektive månad.

Tabell 5: Månadsmedeltemp (samt max och min) i Stockholm 1901-1999. Källa: (130).

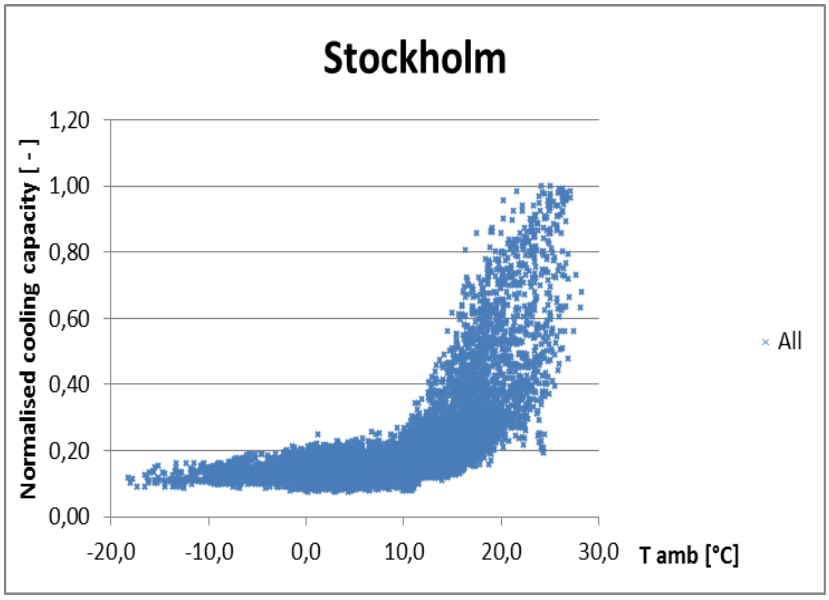
	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Medeltemp	**-2,8**	**-3,0**	**0,1**	**4,6**	**10,7**	**15,6**	**17,2**	**16,2**	**11,9**	**7,5**	**2,6**	**-1,0**
Max temp	10,4	12,2	17,8	26,1	29,0	32,2	34,6	35,4	27,9	20,2	14,0	12,2
Max månadsmedel	**3,2**	**4,3**	**4,8**	**7,4**	**13,9**	**18,1**	**21,5**	**21,3**	**16,1**	**11,0**	**5,4**	**4,0**
Min temp	-28,2	-25,5	-22,0	-11,5	-4,5	1,0	6,0	4,8	-1,5	-9,0	-17,0	-21,0
Lägsta månadsmedel	**-11,2**	**-10,8**	**-0,5**	**0,8**	**5,6**	**10,4**	**13,7**	**12,9**	**8,4**	**3,9**	**-1,8**	**-6,8**

Tabell 6: Relativ luftfuktighet Bromma. Källa: Klimatdata för fuktberäkningar. Källa: (132).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
medel	87	85	78	72	67	66	70	74	78	83	86	88
min	80	72	67	62	54	56	57	58	59	74	74	78
max	93	92	89	82	75	78	79	82	87	89	94	93

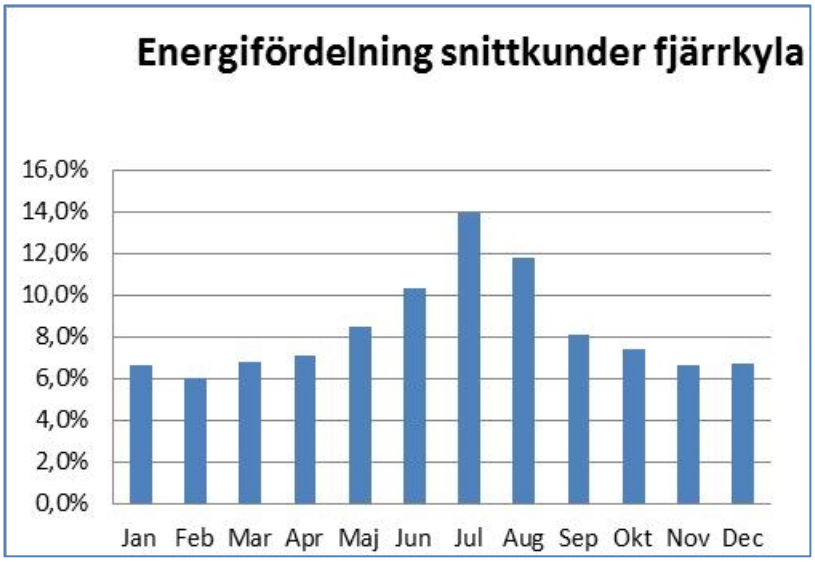
14.5 KYLENERGIBEHOV UNDER ÅRET

Men när det gäller kylbehov måste man beakta att det består både av ett klimatrelaterat kylbehov samt ett processkylbehov. Merparten av de kunder som köper fjärrkyla utgörs av kommersiella lokaler. I dessa så uppstår ett kylbehov hela året pga att vi producerar värme i dessa. Figur 256 är ett exempel på timmätningar av 10 st utvalda kunder till Fortums fjärrkyla i Stockholm. De utvalda kunderna representerar typiska kylkunder i form av kontorsfastigheter. Vid uppbyggandet av värderingsmodeller behöver man således ta hänsyn till både baskylan och den klimatpåverkade kylbehovet. I projektet Rescue (133) har utöver Stockholm även ett antal ytterligare städer i Europa undersökts. Processkylan (baskyla) ligger vanligen i kommersiella lokaler på 2-4 W/m^2. Detta betyder att baskylan som ligger mer eller mindre konstant under året kan i norra Europa representera 50-70 % av kylenergibehovet.



Figur 256: Kylbehov i kommersiella fastigheter i Stockholm vid varierande utomhustemperatur. Baserad på timvärden. Källa: Rescue project (133).

Figur 257 visar representativa värden på energifördelningen från några existerande fjärrkylsystem i Mellansverige. Kundkollektivet domineras av kontorsfastigheter. Energibehovet blir som framgår rätt så utplattat när man ser till månadsmedelvärdet av energiförbrukningen, pga det stora inslaget av baskyla.



Figur 257: Månadsmedelvärden av energifördelningen avseende tre fjärrkylsystem i Mellansverige. Källa: Bearbetning av mätdata från Rescue project (133).

I bilaga D redovisar vi resultat från ett antal representativa beräkningsfall under driftåret. Med våra antaganden och omfattande beräkningar har vi kommit fram till att returtemperaturen uppvisar begränsad variation under året. Vi väljer

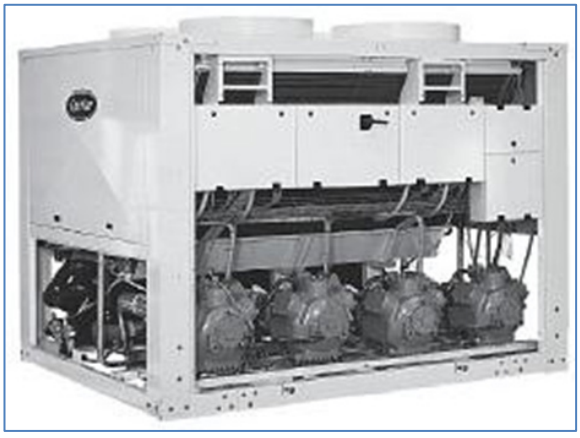
baserat på beräkningarna för värderingsmodellen att tillämpa 22°C som fjärrkylereturtemperatur som årsmedelvärde.

14.6 VÄRDERING KUNDNYTTA

14.6.1 Val av en typkund och kostnadsbild

För att ge en relevans till den ekonomiska värderingen av de innovativa teknikerna har vi valt att utgå från huvudspåret den sorptiva hybriden. Huvudmotivet för detta är att den uppvisar en betydande förbättring av returtemperaturen jämfört med konventionella alternativ.

För jämförelsen utgår vi från en standard kontorsfastighet med ett kyleffektbehov på 366 kW och kylenergibehov på 659 MWh per år. Vilket innebär en utnyttjningstid på 1800 h. För att inte komplicera jämförelsen fokuserar vi bara på kylbehovet. Kostnadsbilden för värme ingår således inte i betraktelsen. Utgångspunkten är att det rör sig om en nyanslutning. En alternativ prissättning tillämpas. Kundens alternativ kostnad för ny kylmaskin tas då fram. Någon investering för reservkylmaskin ingår inte i jämförelsen. Vi antar att det för kylmaskinsalternativet inte krävs några rivningsarbeten och att utrymme finns tillgängligt i fastigheten. Placering i en containerlösning på taket är möjligt, Figur 258. Noteras att investeringsbild är att endast ca 30 % av totala investeringen utgörs av kylmaskinen, se Tabell 7.



Figur 258: Vanlig luftkyld kylmaskin. Källa: Carrier.

Tabell 7: Investeringsbild för standardlösning med fjärrkyla. Källa: Capital Cooling.

	Investering (kSEK)
Rivningsarbeten	**0**
Kylmaskin	**544**
Luftkylare	**245**
Pumpar	**90**
Rör och ventiler	**336**
Elinstalaltioner	**220**
Konstruktionsarbeten kylrum	**43**
Konstruktionsarbeten förstärknir	**205**
Projektering	**101**
Projekt management	**71**
Övrigt	**0**
Total	**1 855**

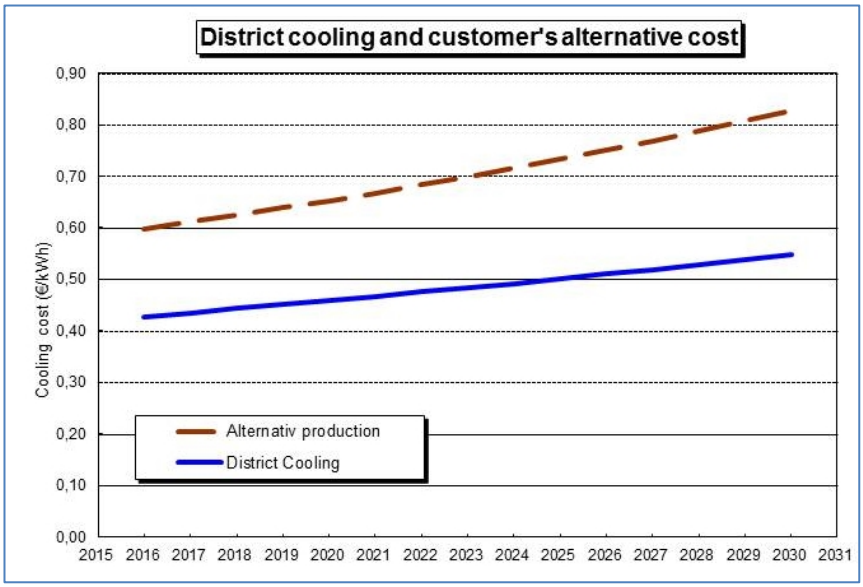
14.6.2 Exempel med en prismodell för fjärrkyla

Om fjärrkyla skall vara ett intressant alternativ så måste det vara en win-win situation. Vi tillämpar då en prismodell med en fast avgift och en rörlig avgift. Om den sorptiva hybriden skall komma till sin rätt rent ekonomiskt så bör en flödesavgift tillämpas. Ser man på de prismodeller som energibolagen i Sverige tillämpar är det få som använder en flödesavgift. De som tillämpar en flödesavgift har en relativt låg nivå på den. Detta innebär konkret att ett högt ΔT inte värdesätts i särskilt hög utsträckning.

I kalkylen tillämpar vi en flödesavgift på 1 kr/m3 vatten. Flödesavgiften tas ofta ut endast under perioden maj till september. Med förbrukningsmönstret enligt tidigare visad Figur 257 kommer en flödesavgift endast att tas ut för 55% av energi-förbrukningen.

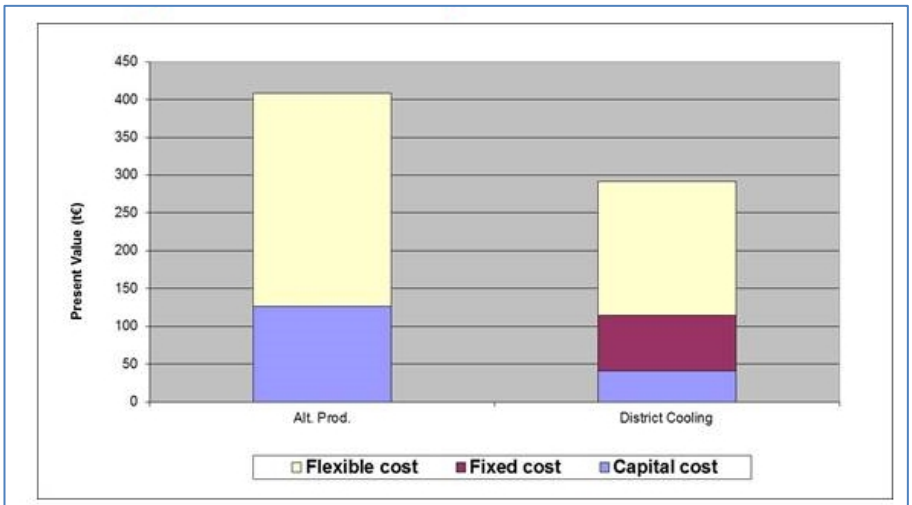
Följande prismodell för fjärrkylan tillämpas i anlysen:

- Fast avgift 0 kr
- Effektavgift 200 kr/MWh
- Energiavgift 235 kr/MWh (årsmedel) baserad på 55% sommar och 45 %.
- Flödesavgift 1 kr/m^3 maj till sep



Figur 259: Kostnadsbild för kyla med lokal kylmaskin kontra fjärrkyla med sorptiv hybrid. (enhet Euro/kWh). Källa: Affärsmodell från Capital Cooling.

Den valda prismodellen uppvisar att fjärrkyla är ekonomiskt intressant jämfört med att kunden investerar i egen kylmaskinslösning. Figur 259. Nuvärdet avseende kostnaderna för en 15 årsperiod redovisas i Figur 260.



Present value

	Alt. Prod.	District Cooling	Difference
Capital cost	126	41	-68%
Fixed cost	0	74	#DIV/0!
Flexible cost	282	178	-37%
Sum	**408**	**292**	**-28%**

Figur 260: Nuvärde avseende kostnadsbilden för 15 år med egen kylmaskinslösning kontra fjärrkyla baserad på sorptiv hybrid. (Enhet Euro) Källa: Kundkalkyl affärsmodell fjärrkyla från Capital Cooling.

Nuvärdet avseende kostnaderna sett över 15 år förbättras med 113 kkr om ΔT ökar från 10K med standard konventionell lösning till 16K med den sorptiva hybriden. Det förutsätts att på årsbasis att returtemperaturen ligger på 22°C. I nuvärdet för fjärrkyla ingår kapitalkostnad till en prisnivå motsvarande konventionell fjärrkylcentral. Lägger man med en uppskattad högre prisnivå för en sorptiv hybrid, jämfört med konventionell fjärrkyla, reduceras nuvärdet för 15 årsperioden till blygsamma 28 kkr.

Med den valda prismodellen är fjärrkyla klart konkurrenskraftig kontra en alternativ lösning med egen kylmaskin i fastigheten. Basalternativet visar här på ett ca 1 Mkr (116 kEuro) bättre nuvärde för fjärrkyla för 15 årsperioden.

Incitamentet för kunden att välja en sorptiv lösning, här som den sorptiva hybriden, är begränsad rent ekonomiskt. För att sorptiv hybrid skall bli mer konkurrenskraftig behövs en prismodell där det i högre utsträckning premieras med högre ΔT, dvs att flödesavgiftens inslag får en kraftigare påverkan. Om flödesavgiftens nivå fördubblas så skulle lönsamheten i form av nuvärde på 15 år öka med 226 kkr. Ställt i relation till projektets nuvärde, se Figur 260, så utgör då flödesavgiftens inslag 10 % av nuvärdet. Om flödesavgiften skall få en påverkan som avspeglar energibolagets nytta med att trycka in mer frikyla så behövs en flödesavgift med större påverkan.

En begränsning för utnyttjande av sorptiva lösningar är att sorptiva rotorer har stora diametrar. Möjlig placering måst både ur utrymmessynpunkt beaktas, samt att i varje enskilt fall måste byggkostnaden beaktas. Se Figur 261 med sorptiv hjul modell större.



Figur 261: Exempel på storlek av sorptivt hjul från Munters.

En annan viktig aspekt är miljövärderingar kopplade till EU-direktiv rörande andelen förnyelsebart, energieffektivisering samt koldioxidutsläpp. Men dessa målsättningar ligger på global nivå. Det är först när kundens kund efterfrågar energitjänster med nämnda detaljer som det skapas ett driv på lokal nivå. Här

torde det krävas en starkare lobbying kring tillämpning av primärenergianvändning. Samt naturligtvis rensa bort tokigheter som Boverkets styrning mot att reducera köpt energi. Rimligen skall mängden primärenergi i stället reduceras.

Det skall dock understrykas att de stora fördelarna med sorptiva hybriden inte kan begränsas till en rent ekonomisk betraktelse av prisbild. Den stora nyttan är att den sorptiva hybriden ger möjlighet att leverera ett jämt inomhusklimat, där luftfuktigheten kan hålls inom gränserna RH 40-60% under årets olika driftfall. Vi har i denna betraktelse inte tagit hänsyn till energiekonomi för uppfuktning respektive avfuktning. Detta är inte meningsfullt så länge den rådande alternativa lösningen inte hanterar luftfuktighet i fastigheterna, utan att det blir oacceptabelt torrt inomhus under delar av vinterfallet med RH 5-10% luftfuktighet.

14.7 NYTTAN FÖR ENERGILEVERANTÖREN

Som beskrivits tidigare i detta avsnitt är den stora nyttan med den sorptiva hybriden att en hög returtemperatur till fjärrkylsystemet kan åstadkommas. ΔT frågan är en av akilleshälarna för fjärrkyla. Alla är medvetna om dess prioritet, men det verkar inte att man lägger tillräckligt med resurser på att verkligen göra något åt problemet. En av orsakerna ligger i att det är kundens kylsystem som sätter gränsen. En klar drivkraft är att via prismodeller premiera ett mindre vatten pumpas runt. Förutom en effektavgift som återspeglar kostnadsbilden bör flödesavgiftens inslag ökas.

Fjärkylans konkurrenskraft bygger på att lyckas tillvarata resurser som annars skulle gå förlorade. Specifikt är basbyggstenen att identifiera och lyckas nyttiggöra naturlig kyla från olika typer av vattendrag, vanligen kallat frikyla. Plus alternativ med utnyttjande av spillvärme från kraftvärme, för drift av värmedrivna kyllösningar.

Vanligen är tillgången på tillräckligt kallt vatten från olika typer av vattendrag en begränsande faktor under delar av året. Det får till följd att man oftast bara kan nyttja frikylan under den kallare delen av året, se tidigare visad energimix enligt Figur 249. Utnyttjandet av frikyla blir direkt kopplat till returtemperaturen på fjärrkylan. Om man som med den sorptiva hybriden, kan öka returtemperaturen ökar möjligheten att trycka in en högre andel frikyla i systemet. Detta betyder att energileverantören har den primära nyttan av att returtemperaturen ökar. Påverkansmöjligheten är tyvärr normalt begränsad. Gränsen sätts alltid av vilken returtemperatur fastigheternas kylsystem levererar tillbaka.

Tillgången på frikyla i anslutning till ett fjärrkylsystem är alltid lokalt betingat. Varje system har därmed unika förutsättning att vid en ökad returtemperatur öka andelen frikyla. Fjärrkylsystemens unika produktionsmix med tillgång till kallt vatten från olika typer av vattendrag såsom hav, sjöar, älvar och åar måste ortsspecifikt analyseras. Man måste gå in på temperaturprofiler, vattenvolymer, vindpåverkan för att djupare få en bild av potentialen. Detta måste sedan kopplas till lastprofilen timme för timme. Finns möjlighet till ackumulering av kyla eller finns system för smart heat grid med utjämning av olika kunders lastfördelning. Varje energibolag måste därför med detaljerade energibalanser analysera

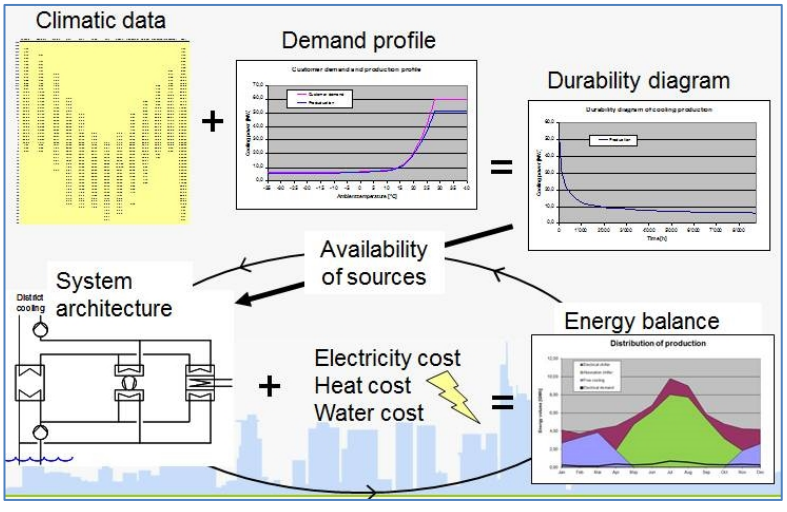
fjärrkylsystemens potential till ökad frikyla kopplat till en ökning av returtemperaturen. Generella analyser ger egentligen tyvärr alltför stora osäkerheter.

Om någon kund väljer en sorptiv hybridlösning så kommer det resultera i en högre returtemperatur till systemet än från en konventionell fjärrkylecentrallösning. Inverkan på systemet som helhet blir naturligtvis en utspädning med blandning av returvatten med olika temperaturer. Det är först när ett stort antal kunder med högre returer blir anslutna som systemet kan uppvisa en förbättrad returtemperatur. Men om det skulle gälla ett mindre fjärrkylsystem med en ny stor kund så kan det bli synbara förbättringar direkt. Oavsett detta praktiska beskrivna förhållande så väljer vi här att använda en analys rörande en förändrad returtemperatur för ett helt fjärrkylsystem. Vi räknar således fram en potentiell förbättring av ett system.

För att ge en fingervisning om potentialen med nyttan av vad ökade returtemperaturer kan ge har vi skapat två hypotetiska fjärrkylsystem. Basen utgörs av ett avidentifierat verkligt mindre fjärrkylsystem i norra Europa (inte Skandinavien.). För att renodla påverkan av en ny returtemperatur så ingår endast en produktionsmix av kylmaskiner och frikyla från ett vattendrag. Det ingår således ingen absorptionskyla, värmepump eller återvinning från uteluften med kyltorn eller kylmedelskylare.

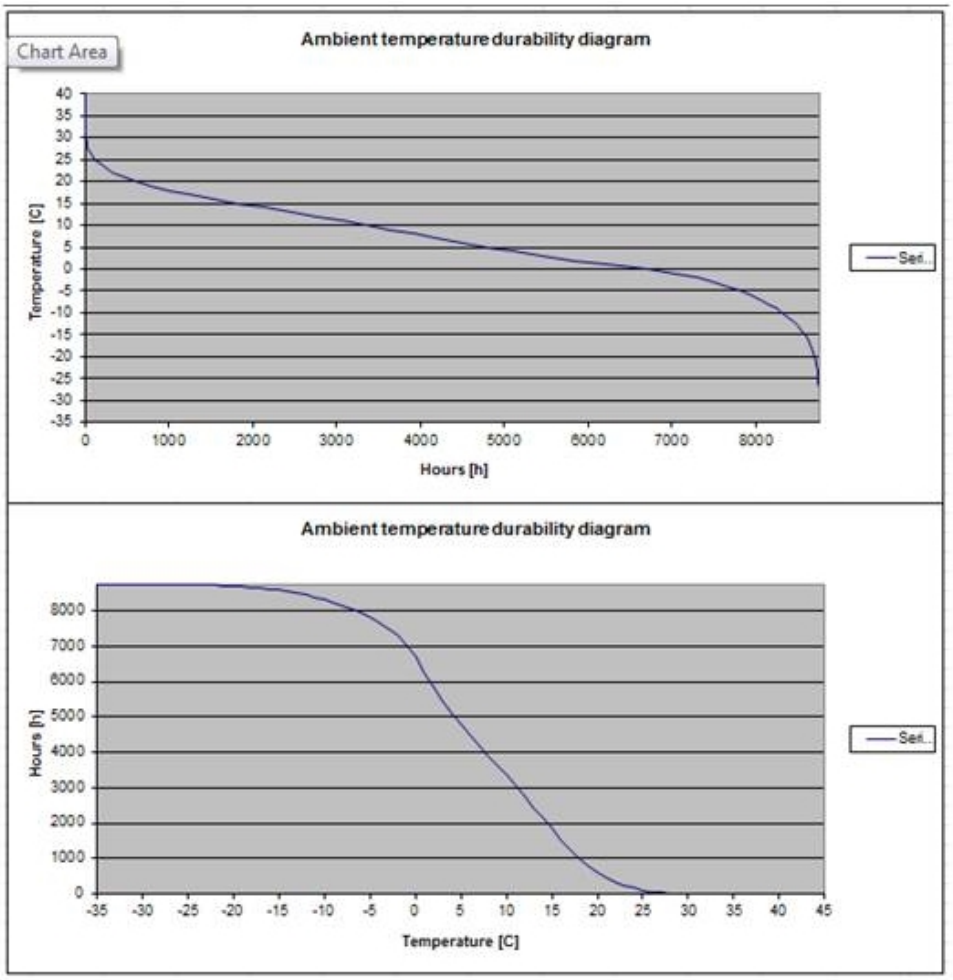
- Det första fjärrkylsystemet är försett med ett ytvattenintag från exempelvis en mindre flod
- Det andra fjärrkylsystemet har tillgång till en djup sjö eller ligger nära havet och kan utnyttja en större volym kallt bottenvatten från nivån 40 meters djup.

De hypotetiska fjärrkylsystemen bygger på ett verkligt fjärrkylsystem med komplett detaljerad information rörande, produktionsanläggning, distributionssystem, en kunddatabas med är komplett kundstock. Analysen görs med en energibalans bestående av moduler för klimat (uteluft och vattendrag) och komplett teknisk data för all ingående teknisk utrustning med verkliga verkningsgrader/systemkurvor.



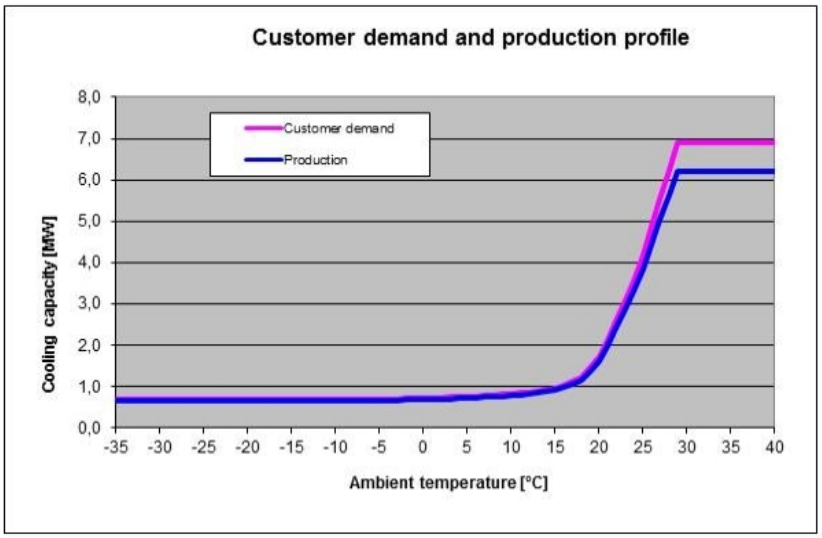
Figur 262: Grundstenar för analys med energibalansmodell. Källa: Capital Cooling.

Figur 262 En energibalansmodell från Capital Cooling används för anlysen. Då fjärrkylsystemet vi använt i grunden bygger på ett Europeiskt system är ingående information/rubriker/enheter på Engelska. Det innebär även att utgångspunkten redan är optimerad enligt grunddesign avseende utläggning av storlek på VVX, kylmaskiner, pumpar mm. Avsikten i denna värdering är att jämföra systemen med differens vid konventionella respektive höga fjärrkylreturtemperaturer. Väderdata för staden framgår enligt Figur 263.



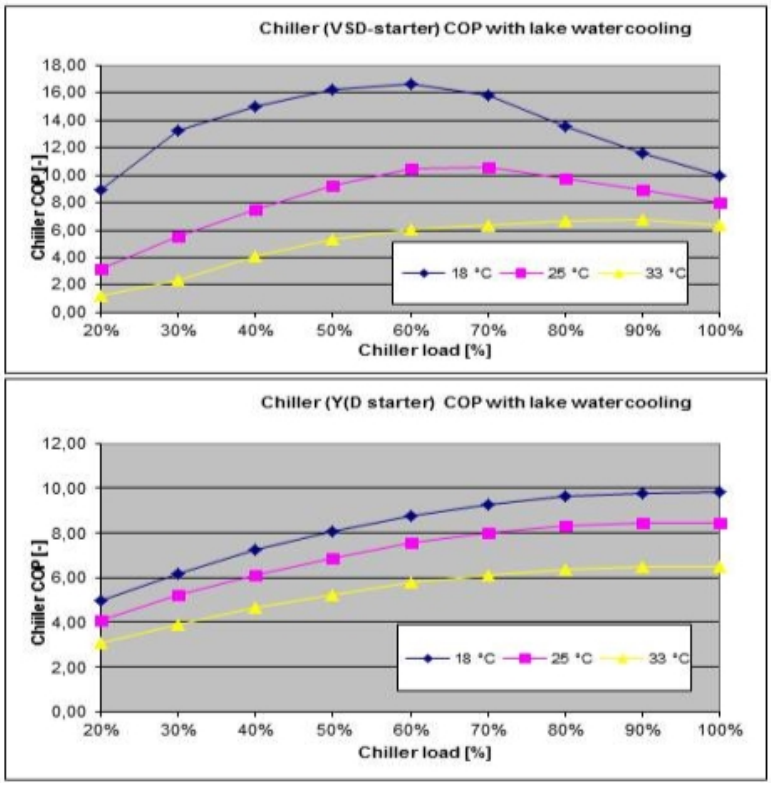
Figur 263: Klimatsdata gällande temperatur för studerad stad.

Lastprofilen för systemet framgår enligt Figur 264.



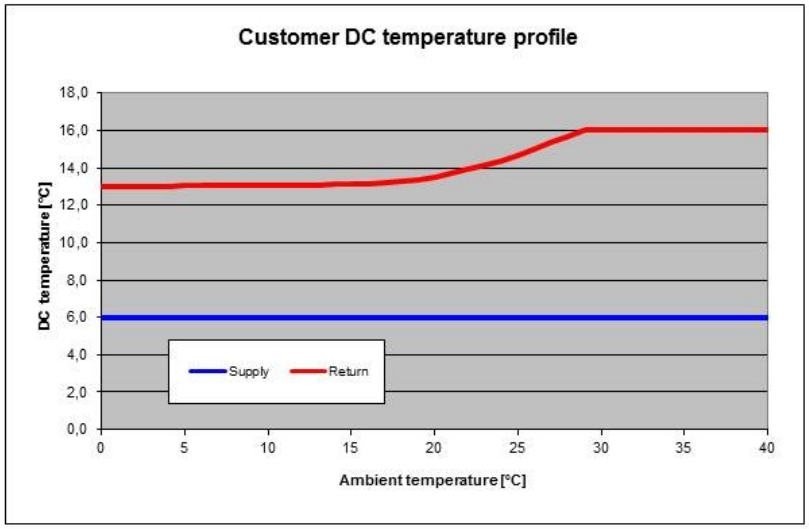
Figur 264: Lastprofil för det hypottiska fjärrkylsystemet.

Systemet är optimerat med bara den första kylmaskinen utrustad med frekvens-styrning och övriga kylmaskiner med Y/D-start. Lastkurvorna för ingående kylmaskiner med COP vid olika kondenseringstemperatur framgår enligt Figur 265.

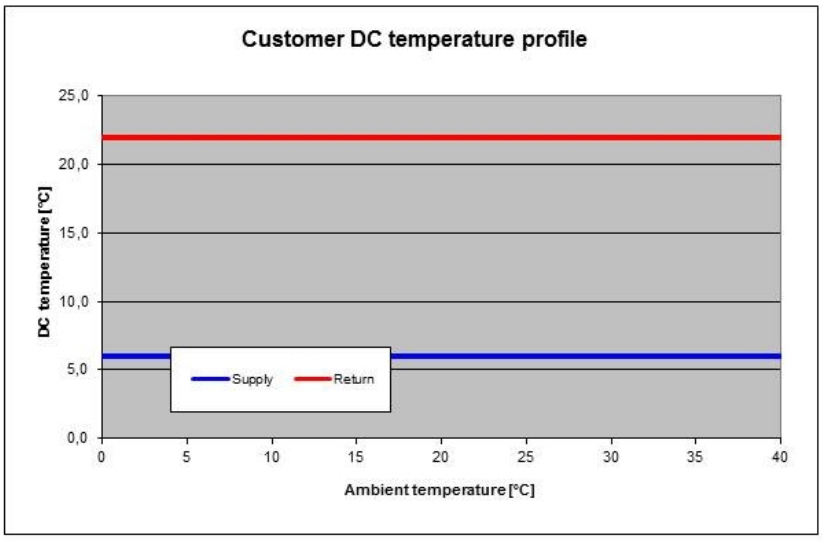


Figur 265: Dellastegenskaper kylmaskiner vid varierande kondenseringstmperatur. Överst med VFD (frekvensstyrning) och den undre med Y/D start. Källa: Capital Cooling.

Temperaturkurvorna för det konventionella systemet respektive ett system där returtemperaturen på fjärrkyla ligger konstant på 22°C under hela året, se Figur 266 och Figur 267. I verkligheten kommer inget system att bara bestå av kunder med sorptiv hybrid och hög returtemperatur. Men avsikten med analysen är att få en insikt om hur respektive kund inverkar på systemets drift. Vilket speglas av differensen mellan de två jämförelserna.

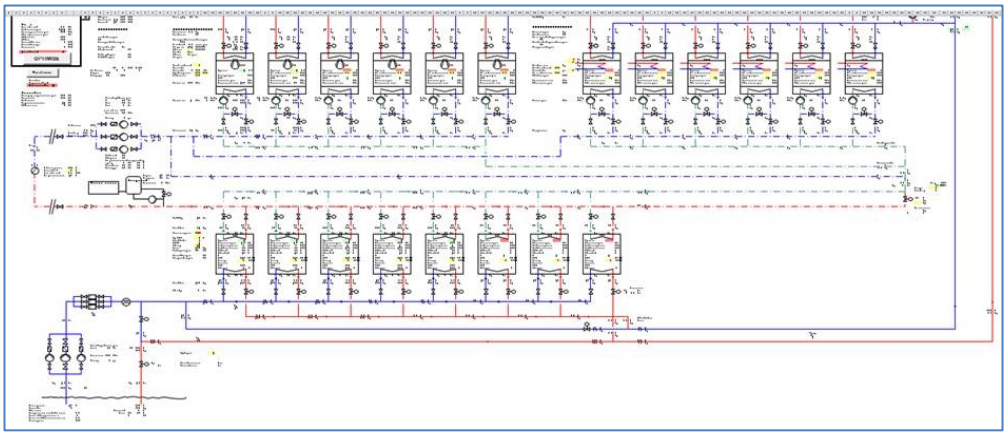


Figur 266: Systemtemperatur konventionell fjärrkyla.



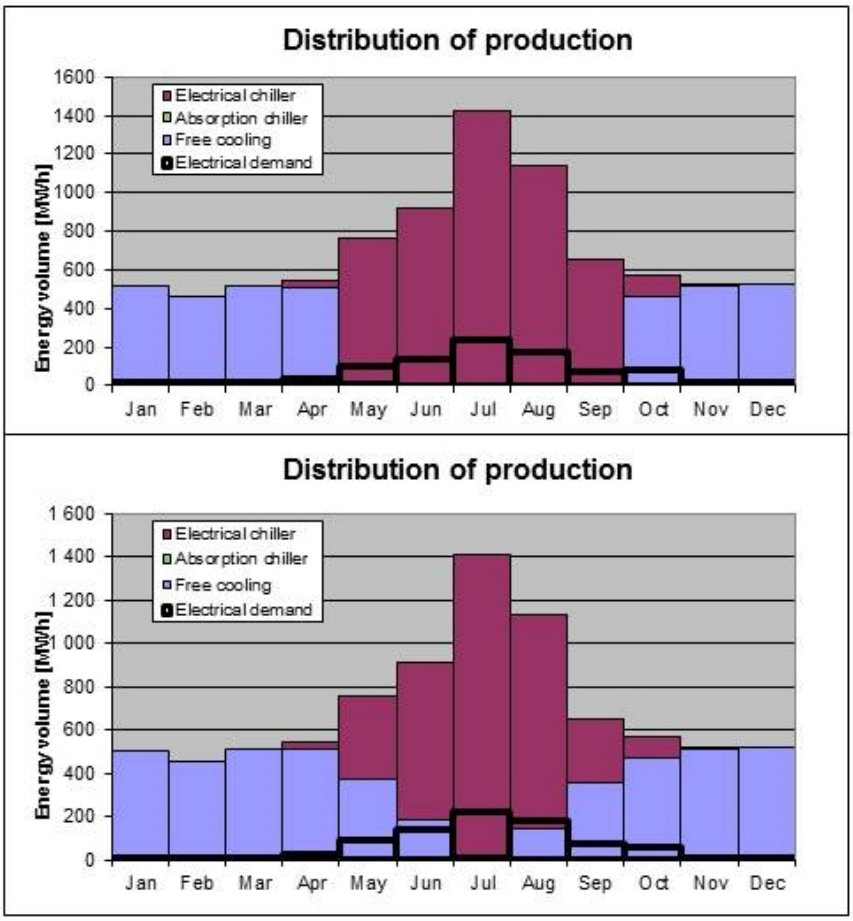
Figur 267: Systemtemperatur för förhöjd fjärrkyla retur.

Optimeringen med vald utrustning, temperaturer, lastvariationer för årets alla timmar utförs med iterationsberäkning, med en uppbyggnad av en systemmodell enligt Figur 268.



Figur 268: Systemschema för energibalansberäkningar. Källa: Capital Cooling.

Ett system som nyttjar kallt vatten såsom ytvatten uppvisar en potential att öka andelen frikyla vid högre returtemperaturer på fjärrkylreturen enligt Figur 269 och Tabell 8. Energibalansmodellen tar hänsyn både till VVX överföringen vid aktuella temperaturer samt driftbetingelserna för ingående kylmaskiner vid de temperaturer som tillämpas. Egentligen behöver man ta hänsyn till förändrade flöden, som blir en följd av om ett system har en annan ΔT-nivå. Detta innebär att energibalansen måste köras i ett antal steg, med modifieringar av tidigare valda komponenter. Annars kommer delar av utrustningen inte att arbeta optimalt, vilket får till följd onödigt hög elförbrukning.

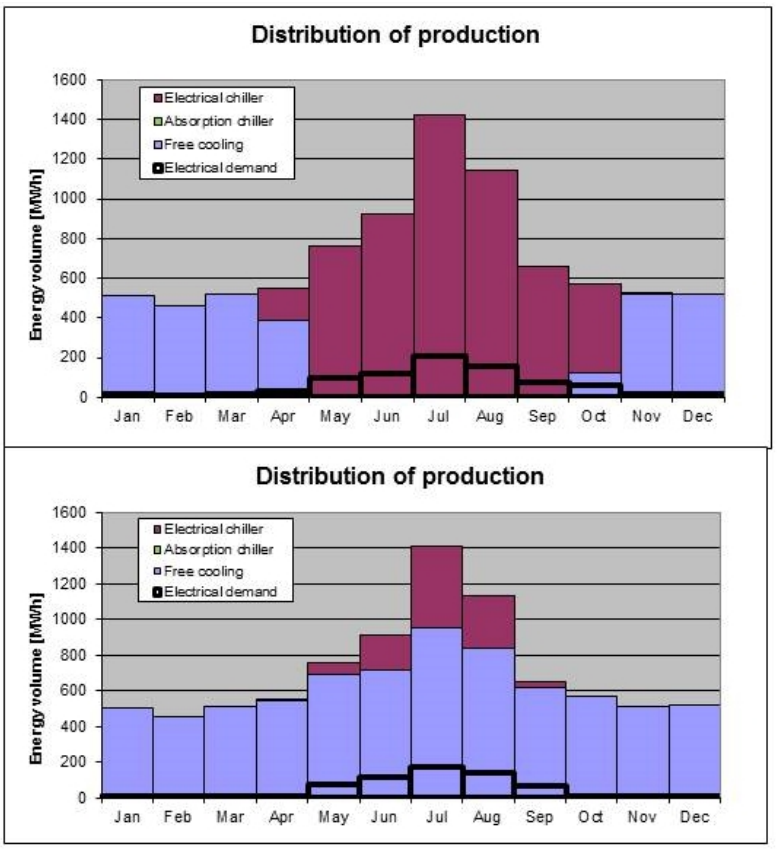


Figur 269: Fjärrkylsystem med tillgång på frikyla med ytvattenintag. Övre diagrammet gäller med konventionella systemtemperaturer och nedre diagrammet med 22°C fjärrkyleretur. Källa: Capital Cooling.

Tabell 8: Andel frikyla och SSEER för system med frikyla från ytvattenintag.

	Andel frikyla	**SSEER**
	(%)	
Konventionell fjärrkyleretur 13/16°C	**42,8**	**9,1**
Högre fjärrkyleretur 22°C	**54,0**	**9,9**

Ett system som istället kan nyttja kallt bottenvatten från en sjö eller havet kommer att få betydligt större möjlighet att öka andelen frikyla, Figur 270 och Tabell 9.



Figur 270: Fjärrkylsystem med tillgång på frikyla med nyttjande av kallt bottenvatten. Övre diagrammet gäller med konventionella systemtemperaturer och nedre diagrammet med 22°C fjärrkylretur. Källa Capital Cooling.

Tabell 9: Andel frikyla och SSEER för system med frikyla från kallt bottenvatten.

	Andel frikyla	**SSEER**
	(%)	
Konventionell fjärrkyleretur 13/16°C	**36,2**	**10,1**
Högre fjärrkyleretur 22oC	**88,3**	**12,9**

Det bör understrykas att redovisade siffror i Tabell 8 och Tabell 9 inte får läsas som representativa. De är hypotetiska och råkar gälla för de lokalt betingade temperaturer vi satt på yt- och sjövattnet. Vid nyttjande av frikyla från vattendrag måste grundliga temperaturdata, vattenvolymer och flödesvariationer vara tillgängliga. Varje lokalt fjärrkylnät har därför lokalt unika förutsättningar att öka andelen frikyla vid en höjd returtemperatur. Det är därför inte meningsfullt att göra hypottiska ekonomiska beräkningar. En komplett affärsanalys krävs. Även synergier med värmeaffären måste inkluderas i analysen. Detta är ett internt arbete som varje energibolag måste göra.

Vad man upptäcker i systemanalysen, som indikerats tidigare i beskrivningen, är inte bara hur andelen frikyla förändras. Ett resultat är även förändringen i SSEER. Energibalansmodellen tar även in systemets alla elmotorer till pumpar. Det

innebär således att även elförbrukning för fjärrkylans distributionspumpar ingår i de redovisade SSEER sifforna.

När vi skapar ett system med en större möjlighet att använda mer frikyla så ändras driftförutsättningarna för de redan ingående kylmaskinerna. Specifikt innebär det att om man i tidigare steg har optimerat systemkonfigurationen för vissa betingelser kommer man nu att med ökad frikyla att få ökad dellastkörning på kylmaskinerna. Och då speciellt mest den kylmaskin som ligger först i körordning. I vårt specifika fall kommer kylmaskinen att med ett nytt större ΔT på kondensorsidan nu få ett betydligt mindre flöde. Detta är extra känsligt i det mindre lastområdet för kylmaskinen. Även om andelen frikyla ökar kan detta leda till att COP för kylmaskinen kommer att försämras. Kylmaskiner som arbetar på låg dellast kommer att leda till lägre SSEER för systemet med ökad frikyla. Speciellt tydligt blir detta i system med begränsad andel frikyla. I vårt fall om endast ytvatten finns tillgängligt.

Det finns naturligtvis lösningar på detta i avseende att förbättra SSEER. Man måste specifikt i varje enskilt system göra en ny systemdesign. Det man då måste ta i beaktande är bl. a:

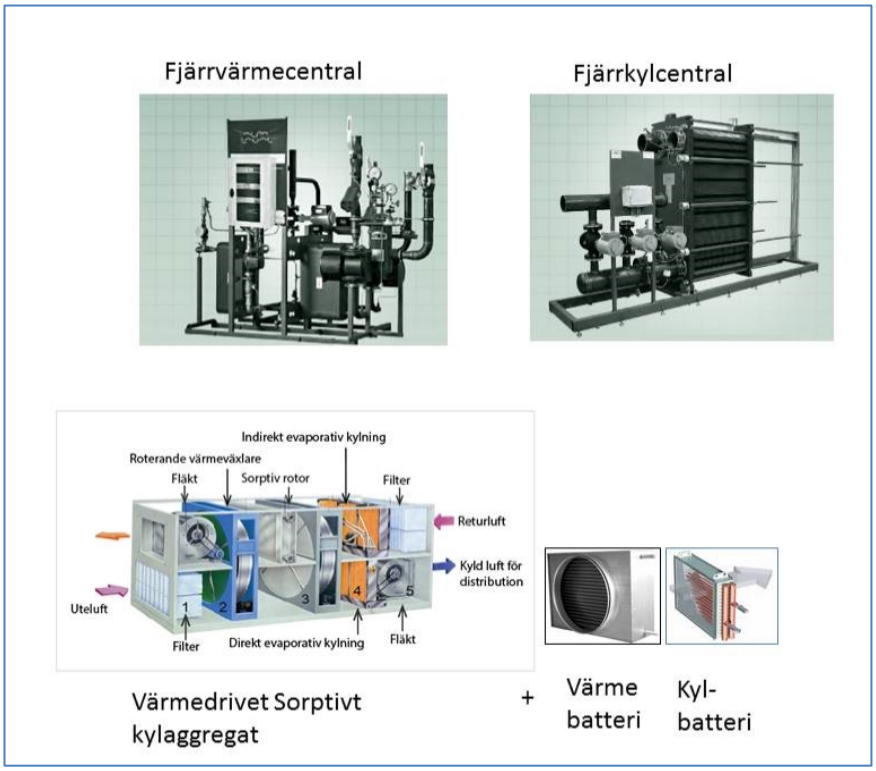
- Lämpliga storlekar på VVX för frikyla
- Beakta delflödeskörning på kylmaskinerna.
- Studera vad som händer när kylmaskiner och VVX får frikyla
- Ny design av pumpar

Våra hypotetiska fjärrkylsystem har redan en låst design från ett tidigare skede. En ny optimering med de första stegen har genomförts. En direkt åtgärd är att optimera en ny liten kylmaskin, som nu läggs först i körordningen. Därmed kan vi skruva upp COP på kylmaskinen så SSEER med ökad frikyla blir bättre än med en mindre andel. Specifikt bör man beakta SSEER under månaderna maj till oktober, så SSEER vissa månader inte går ned till storleksordningen 5-7. Månader med hög andel frikyla utgör inget problem, där ligger SSEER på ca 35-40. Resultaten som redovisades i Tabell 8 inkluderar en re-design där en första mindre kylmaskin inkluderats, för att få en bättre drift och därmed reducera elförbrukningen. Utan denna åtgärd hade SSEER blivit sämre vid fallet med högre fjärrkylretur. Detta indikerar att det är viktigt att ha kontroll över driftbetingelser för att kunna designa ett bra fjärrkylsystem. Samt vad som inledningsvis påpekades. Det är riskabelt att ge generella rekommendationer. Varje system har unika egenskaper som måste beaktas.

14.8 SYNERGIER MED AFFÄREN FJÄRRVÄRME

Med kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla avser vi ett förhållningssätt att tillhandahålla både en teknisk kombilösning såväl som att nyttja synergierna i en affär.

Två separata installationer av fjärrvärmecentral och fjärrkylcentral kan för en kund (här bara symboliserat med ventilationsbehovet) ersättas med ett värmedrivet sorptivt kylaggregat, se Figur 271. I ett utförande som vi kallat sorptiv hybrid kompletteras tilluftkanalen även med värme- och kylbatterier.



Figur 271: Överst separata färrvärmecentral och fjärrkylcentraler från Alfa Laval. Underst Desi Cool aggregat från Munters samt bilder på värmebatteri från Fresh Ventilation och bild på kylbatteri från Aerofin Heat Transfer Products.

En nyttighet av lösningar som är innovativa kan värderas på ett antal olika sätt. En aspekt är att betrakta synergin med försäljning av fjärrvärme och fjärrkyla. Vår hypotes är att man genom att tillhandahålla attraktiva lösningar för fjärrkyla kan tillhandahålla och behålla fjärrvärmeleveransen. Vi baserar detta på att kunder ibland ställer som krav att kunna få både värme och kyla. Detta är naturligtvis det som är attraktionen med geoenergi, som är en konkurerande lösning. Konsekvensen om det innebär konvertering från fjärrvärme innebär ofta att man tappar exempelvis kraftvärmeunderlag. Vanligen dimensioneras de lokala lösningarna så att någon form av spets krävs. Att bli spets- och reserveffektsleverantör i stället för energileverantör innebär även en kraftig omfördelning av fasta och rörliga kostnader för fjärrvärmeleverantören. Fjärrvärmeleverantören måste för dessa kunder anpassa prissättningsmodeller för effektleverans när produktionen är som dyrast.

Analysen blir naturligtvis mångfacetterat beroende på hur varje bolags produktionsmöjligheter lokalt är uppbyggt. Man måste vara försiktig med att dra generella slutsatser. Vi gör här ett försök att syna värdet av värmeaffären baserad på en fjärrvärmekunds energiförbrukning. Det blir en marginalbetraktelse som naturlig är helt beroende på storleken av fjärrvärmenätet och vilka produktionsmöjligheter som finns till lags. Vi väljer att belysa utfallet med hjälp av tre typiska fjärrvärmenät, av varierande storlek. Man får genom detta en känsla för värdet av fjärrvärmeförsäljningen. Rekommendationen är dock att varje energileverantör bör göra motsvarande analys med de lokala förutsättningarna.

Viktiga indata är hur produktionsmixen är uppbyggd. Har man bara värmeproduktion i hetvattenpannor, värmepumpar eller med spillvärme är analysen relativt enkel. Men med kraftvärme och avfallsförbränning uppstår flera indata som måste hanteras av anlysmodellen.

14.8.1 Indata

Analysen är baserad på 10 års väderdata med ett klimat med kalla vinterförhållanden och varma sommarförhållanden. Väderstatistiken med utnyttjande av det redan tidigare redovisade väderdata enligt Figur 263.

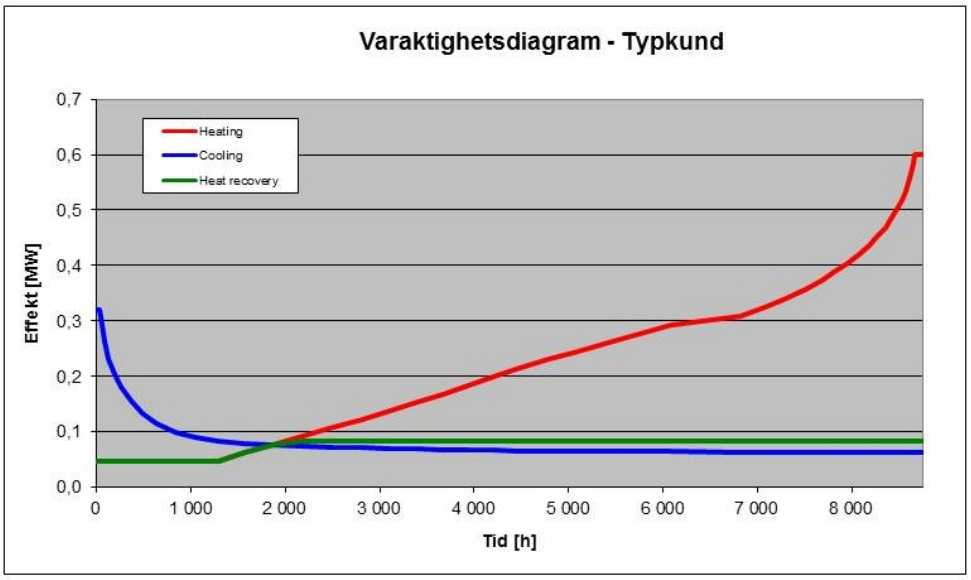
Beräkningarna i analysmodellen gör med en detaljeringsnivå för varje aktuell utetemperatur och med en uppdelning per månad. Som sedan summeras till en årskostnad.

Vi betraktar en kund i en kommersiell fastighet med följande behov, se Tabell 10.

Tabell 10: Effekt- och energibehov för en kommersiell typfastighet.

Kyla - Värme	Max		Baslast						
Kylbehov	0,36	MW	17%	=	671	MWh	1863	fullasttimmar	
Värmebehov	0,6	MW	8%	=	1 880	MWh	3134	fullasttimmar	

Figur 272 visar värmebehov och kylbehov för den anlyserade typkunden. Noteras att energin från värmeåtervinning (grön kurva) är i samma storleksordning som kylbehovet.



Figur 272: Värme- och kylbehov för typfastigheten samt påverkan av värmeåtervinning hos kunden (grön kurva).

Följande typnät på fjärrvärme används för analysen:

- System A - Ett större fjärrvärmenät (maxeffekt 2 600 MW) med kraftvärme baserad på avfall plus biobränsle. I övrigt värmeproduktion med hetvattenpannor med biobränsle och olja. Elproduktionen är på 40 MW_e med avfallet resp 130 MW_e med biobränsle.
- System B - Ett mellanstort fjärrvärmenät (maxeffekt 2 600 MW) med kraftvärme baserad på avfall plus biobränsle. I övrigt värmeproduktion med värmepumpar och hetvattenpannor med biobränsle och olja. Elproduktionen är på 65 MW_e med avfallet resp 75 MW_e med biobränsle.
- System C - Ett mindre fjärrvärmenät (maxeffekt 200 MW) med kraftvärme baserad på avfall plus biobränsle. I övrigt värmeproduktion med hetvattenpannor med biobränsle och olja. Elproduktionen är på 10 MW_e med avfallet resp 23 MW_e med biobränsle.
- System D - Ett mindre fjärrvärmenät (maxeffekt 200 MW) med kraftvärme baserad på biobränsle. I övrigt värmeproduktion hetvattenpannor med biobränsle och olja. Elproduktionen är på 35 MW_e med biobränsle.

14.8.2 Kalkylförutsättningar

Kalkylförutsättningar framgår enligt Tabell 11, med fjärrvärmeprismodell samt ett elpris inkluderande elcertifikat. (Elpriset är satt på ent mer långsktigt nivå en vad som gäller under 2015/2016.) Behandlingsavgiften för avfall är hämtad från Svensk Avfall och avser den genomsnittliga behandlingsavgiften på 470 kr/ton för energiåtervinning av hushållsavfall och år 2014. Den varierar inom landet från 350-650 kr/ton.

Tabell 11: Kalkylförutsättningar med valda prisindata.

	Enhet	
Effektavgift fjärrvärme	SEK/kW	**480**
Energiavgift fjärrvärme	SEK/MWh	**528**
Elpris inkl elcertifikat	SEK/MWh	**384**
Avfall behandlingsavgift	Kr/ton	**470**

För de olika produktionsmetoderna har följande marginalproduktionskostnader använts, se Tabell 12. Här ingår kostnader inklusive bränsle, el till kringutrustning, D&U etc. Marginalkostnaden för avfall i Tabell 12 är här exklusive intäkten i form av behandlingsavgift.

Tabell 12: Marginella produktionskostnadsparametrar för de använda produktionsanläggningarna.

	(SEK/MWh)
Hetvattenpanna olja	**288**
Hetvattenpanna biobränsle	**144**
Värmepump	**96**
Kraftvärme biobränsle	**144**
Kraftvärme avfall	**14,4**

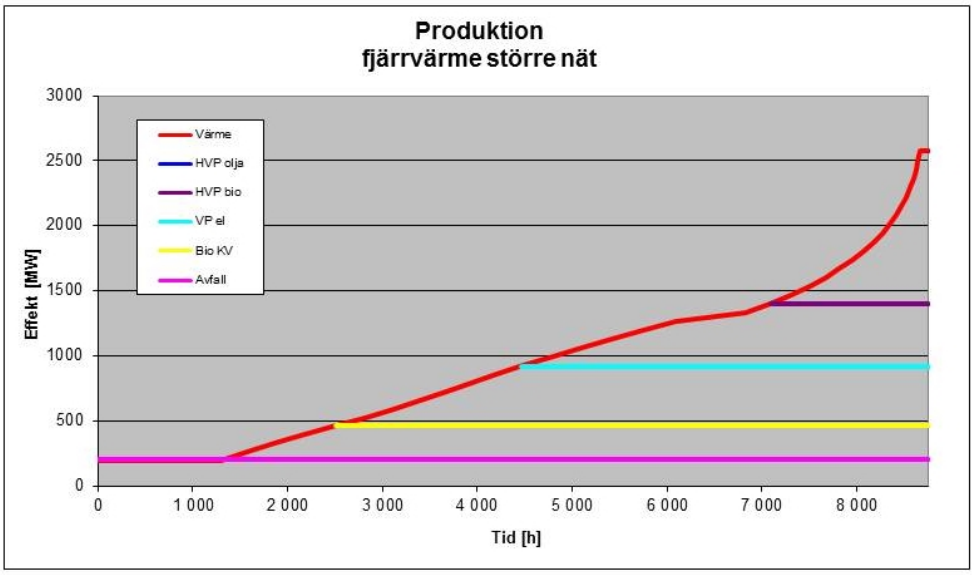
Resultatet redovisas i form av ett inkomstbortfall mht två beräkningsfall, om kunden installerar värmeåtervinning alternativt kopplar bort fjärrvärme helt.

I första steget gör vi en betraktelse av vad en ren värmeåtervinning skulle leda till för konsekvenser. Möjlig värmeåtervinningseffekt ligger under hela året i intervallet 60 – 80 kW, och leder till ett bortfall av baslasten på 10-13% av effekten för fjärrvärme. Detta leder till en värmeåtervinning av 661 MWh/år vilket nästan motsvarar aktuellt kylbehov för fastigheten. I detta fall antas att effektabonnemanget reduceras med VÅV tillskottet (i vinterfallet), dvs den fasta avgiften för fjärrvärme reduceras med motsvarande nivå, dvs en reduktion av den fasta avgiften med 60 kW.

I det andra analyssteget har förutsatts att kunden valt att koppla bort fjärrvärme helt. Det blir då ett bortfall av effektavgiften motsvarande hela effektbehovet av värme med 600 kW. Detta belyser även synergin med att om energibolaget kan erbjuda fjärrkyla som lyckas man sannolikt även erbjuda fjärrvärme.

14.8.3 Marginalvärdering på ett Stort fjärrvärmenät

Figur 273 visar varaktighetsdiagrammet för ett större fjärrvärmenät, med sammanlagrat effektbehov på 2 600 MW. Baslasten utgörs av kraftvärmeenheter baserat på avfall respektive biobränsle. Som mellanlast ligger värmepumpar. Spetsen utgörs av hetvattenpannor baserat på biobränse respektive olja.



Figur 273: Varaktighetsdiagram med valda produktionseneheter för det större fjärrvärmenätet.

Tabell 13: Resultatbortfall vid värmeåtervinning för ett större fjärrvärmenät.

Inkomstbortfall		**Per år**
Utebliven fjv försäljning		
Effekt	kW	60
Energi	MWh	661
Utebliven intäkt från fjv försäljning		
Effekt	**kSEK**	29
Energi	**kSEK**	349
Totalt	**kSEK**	**378**
Utebliven avfallsförbränning	MWh	59
	ton	24
	kSEK	**11**
Utebliven elproduktion	MWh	58
Uteblivna intäkter från elproduktion	**kSEK**	**22**
Inkomstbortfall totalt	**kSEK**	**411**
Produktionskostnad värme	**kSEK**	**-101**
Resultatbortfall	**kSEK**	**310**

Resultatbortfallet vid 60-80 kW blir 661 MWh värme uppgår enligt Tabell 13 till 310 kSEK per år. Påverkan på elproduktionen och intäkten för avfallsbehandlingen utgör bara 10% av bortfallet.

Om kunden helt kopplar bort fjärrvärme har beräknats med en proportionering av VÅV-fallet, avseende energiavgift fjärrvärme, elproduktion, utebliven avfallsbehandling och produktionskostnaden. (Det har således gjorts en förenkling med att marginalproduktionen i relation till varaktighetskurvan blir den samma.) Effektavgiften för fjärrvärme kan naturligtvis inte proportioneras utan belastar kalkylen motsvarande hela kundens effektbehov på 600 kW.

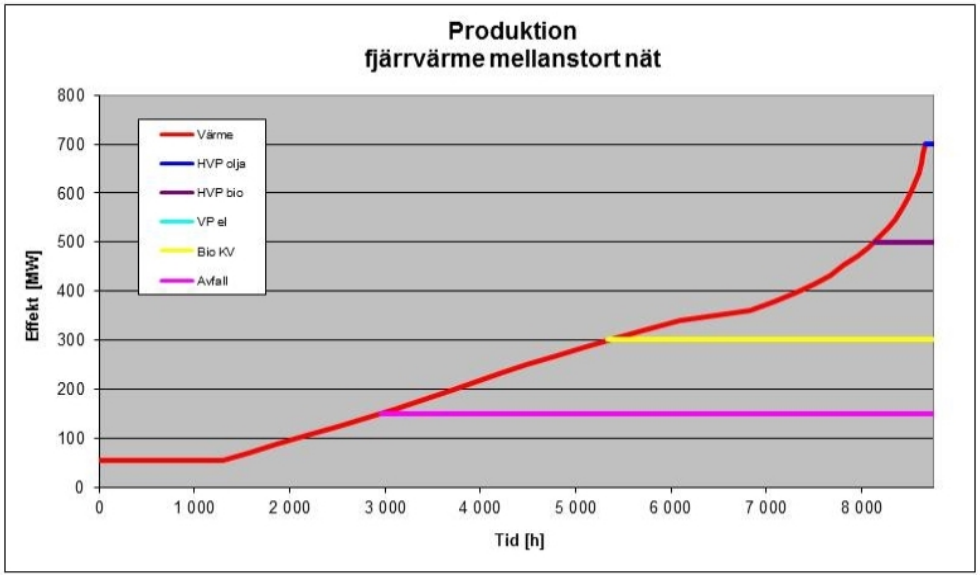
Tabell 14: Resultatbortfall stort fjärrvärmenät om kunden kopplar bort fjärrvärme.

	Resultatbortfall kSEK/år	**Marginalvärde kr/MWh värme**
Bortfall av 600 kW värmekund	**1089**	**579**

Resultatbortfallet för e förlorad fjärrvärmekund uppgår enligt Tabell 14 till 1 079 kSEK per år.

14.8.4 Marginalvärdring på ett Mellanstort fjärrvärmenät

Figur 274 visar varaktighetsdiagrammet för ett mellanstort fjärrvärmenät, med sammanlagrat effektbehov på 700 MW. Baslasten utgörs av kraftvärme baserat på avfall. Som mellanlast ligger kraftvärme baserat på biobränsle. Spetsen utgörs av hetvattenpannor baserat på biobränse respektive olja.



Figur 274: Varaktighetsdiagram med valda produktionseneheter för det mellanstora fjärrvärmenätet.

Tabell 15: Resultatbortfall vid värmeåtervinning för ett mellanstort fjärrvärmenät.

Inkomstbortfall		**Per år**
Utebliven fjv försäljning		
Effekt	kW	60
Energi	MWh	661
Utebliven intäkt från fjv försäljning		
Effekt	**kSEK**	29
Energi	**kSEK**	349
Totalt	**kSEK**	**378**
Utebliven avfallsförbränning	MWh	176
	ton	70
	kSEK	**34**
Utebliven elproduktion	MWh	169
Uteblivna intäkter från elproduktion	**kSEK**	**65**
Inkomstbortfall totalt	**kSEK**	**477**
Produktionskostnad värme	**kSEK**	**-80**
Resultatbortfall	**kSEK**	**396**

Resultatbortfallet vid 60-80 kW blir 661 MWh värme uppgår enligt Tabell 15 till 396 kSEK per år.

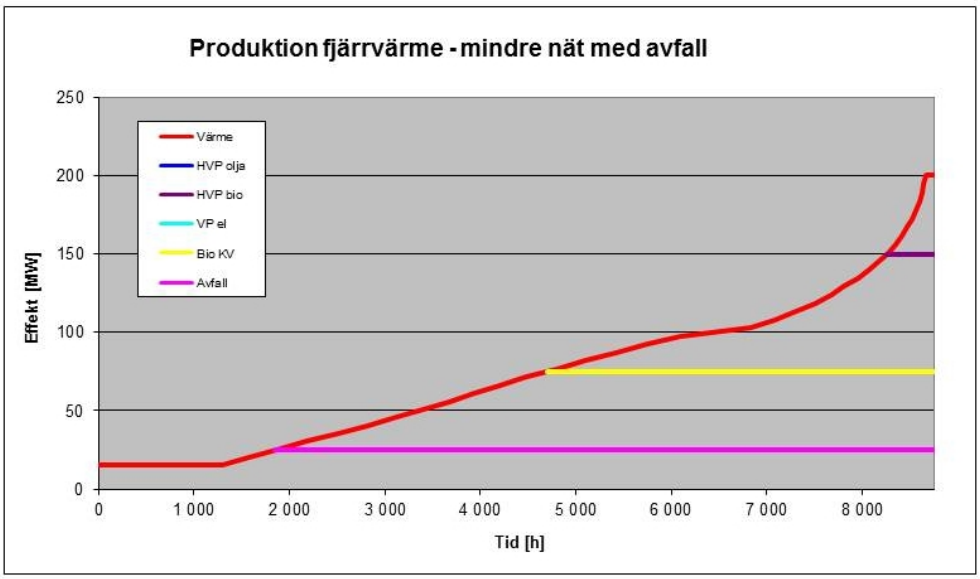
Om kunden helt kopplar bort fjärrvärme blir resultatbortfallet enligt Tabell 16 till 1 331 kSEK per år.

Tabell 16: resultatbortfall mellanstort fjärrvärmenät om kunden kopplar bort fjärrvärme.

	Resultatbortfall kSEK/år	Marginalvärde kr/MWh värme
Bortfall av 600 kW värmekund	**1331**	**708**

14.8.5 Marginalvärdering på ett Mindre fjärrvärmenät med avfallsförbränning

Figur 275 visar varaktighetsdiagrammet för ett mindre fjärrvärmenät, med sammanlagrat effektbehov på 200 MW. Baslasten utgörs av kraftvärme baserat på avfall. Som mellanlast ligger kraftvärme baserat på biobränsle. Spetsen utgörs av hetvattenpannor baserat på biobränse respektive olja.



Figur 275: Varaktighetsdiagram med valda produktionseneheter för det mindre fjärrvärmenätet som inkluderar avfallsförbränning.

Tabell 17: Resultatbortfall vid värmeåtervinning för ett mindre fjärrvärmenät (med avfallsförbränning).

Inkomstbortfall		**Per år**
Utebliven fjv försäljning		
Effekt	kW	60
Energi	MWh	661
Utebliven intäkt från fjv försäljning		
Effekt	**kSEK**	29
Energi	**kSEK**	349
Totalt	**kSEK**	**378**
Utebliven avfallsförbränning	MWh	75
	ton	30
	kSEK	**14**
Utebliven elproduktion	MWh	139
Uteblivna intäkter från elproduktion	**kSEK**	**53**
Inkomstbortfall totalt	**kSEK**	**445**
Produktionskostnad värme	**kSEK**	**-92**
Resultatbortfall	**kSEK**	**353**

Resultatbortfallet vid 60-80 kW blir 661 MWh värme uppgår enligt Tabell 17 till 353 kSEK per år.

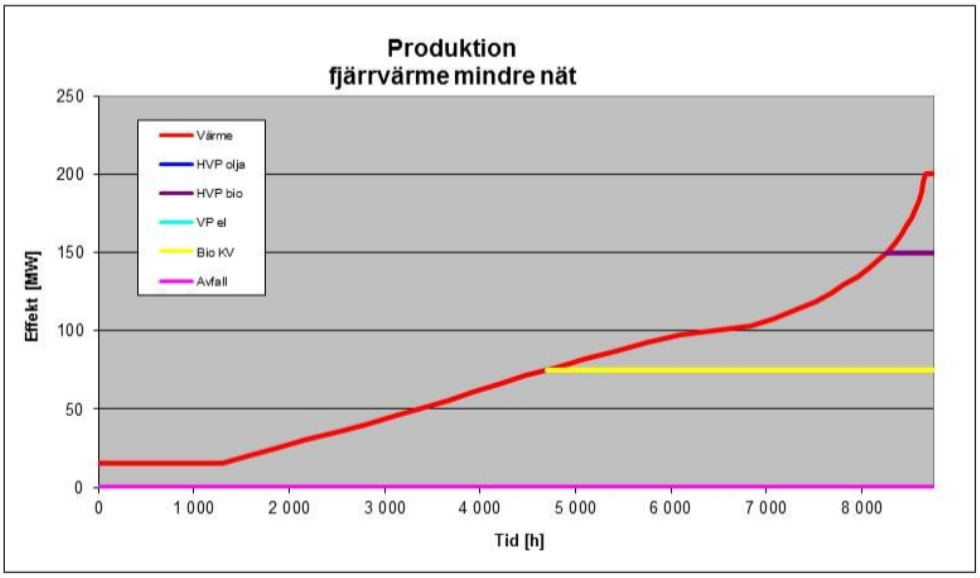
Om kunden helt kopplar bort fjärrvärme blir resultatbortfallet 1 211 kSEK per år enligt Tabell 18.

Tabell 18: Resultatbortfall vid mindre fjärrvärmenät med avfallsförbränning om kunden kopplar bort fjärrvärme.

	Resultatbortfall kSEK/år	**Marginalvärde kr/MWh värme**
Bortfall av 600 kW värmekund	**1211**	**644**

14.8.6 Marginalvärdering på ett Mindre fjärrvärmenät utan avfall

Figur 276 visar varaktighetsdiagrammet för ett mindre fjärrvärmenät, med sammanlagrat effektbehov på 200 MW (samma som för tidigare fall men nu utan avfallsförbränning). Baslasten utgörs av kraftvärme baserat på biobränsle. Som mellanlast ligger hetvattenpannor med biobränsle. Spetsen utgörs av hetvattenpannor baserat olja.



Figur 276: Varaktighetsdiagram med valda produktionseneheter för det mindre fjärrvärmenätet (utan avfallsförbränning).

Tabell 19: Resultatbortfall vid värmeåtervinning för ett mindre fjärrvärmenät (utan avfallsförbränning).

Inkomstbortfall		**Per år**
Utebliven fjv försäljning		
Effekt	kW	60
Energi	MWh	661
Utebliven intäkt från fjv försäljning		
Effekt	**kSEK**	29
Energi	**kSEK**	349
Totalt	**kSEK**	**378**
Utebliven avfallsförbränning	MWh	0
	ton	0
	kSEK	**0**
Utebliven elproduktion	MWh	146
Uteblivna intäkter från elproduktion	**kSEK**	**56**
Inkomstbortfall totalt	**kSEK**	**434**
Produktionskostnad värme	**kSEK**	**-102**
Resultatbortfall	**kSEK**	**332**

Resultatbortfallet vid 60-80 kW blir 661 MWh värme uppgår enligt Tabell 19 till 332 kSEK per år.

Om kunden helt kopplar bort fjärrvärme blir resultatbortfallet 1 150 kSEK per år enligt Tabell 20.

Tabell 20: Resultatbortfall mindre fjärrvärmenät utan avfall om kunden kopplar bort fjärrvärme.

	Resultatbortfall kSEK/år	Marginalvärde kr/MWh värme
Bortfall av 600 kW värmekund	**1150**	**611**

14.8.7 Summering ekonomi värdering

Värdet av att kunna leverera fjärrkyla är att samtidigt kunna säkerställa fjärrvärmeleveransen. För detta krävs lösningar med rimliga kundvärden. Värdet avspeglas inte bara med priset på leveranserna. Vi anser att mervärden kan skapas genom energieffektiva lösningar för att tillhandahålla bättre inomhusklimat.

Ser vi till det strikt ekonomiska värdet av att behålla fjärrvärmeleveransen så har den analyserats för en 360 kW fjärrkyl- och 600 kW fjärrvärmekund. Värdet i varje system måste alltid sätta si relation till varje systems lokala förutsättningar. Baserat på de indata vi använt med vanligt förekommande produktionsmixer har vi gjort en marginalbetraktelse för bortfallet om kunden sätter in värmeåtervinning eller helt väljer bort fjärrvärme.

Resultatbortfallet, vid 60-80 kW värmeåtervinning, i en marginalbetraktelse ligger i storleksordningen 300-400 kSEK/år, motsvarande ett marginalvärde av 450-600 kr/MWh värme, Tabell 21.

Resultatbortfallet, vid 600 kW förlorad fjärrvärmekund, i en marginalbetraktelse ligger i storleksordningen 1,1-1,3 MSEK/år, motsvarande ett marginalvärde av 600-700 kr/MWh värme, Tabell 21.

Tabell 21: Summering marginalbetraktelse av bortfall av fjärrvärmeleverans för 4 olika typer av fjärrvärmenät.

			VÅV bortfall 661 MWh		Bortfall fjv-kund, 1 880 MWh	
	Effekt (system) (MW)	Energi (system) (GWh)	Resultat-bortafll (kSEK/år)	Marginal-värde (kr/MWh, värme)	Resultat-bortafll (kSEK/år)	Marginal-värde (kr/MWh, värme)
Stort fjärrvärmenät	2 600	8 108	**310**	**469**	**1 089**	**579**
Mellan stort fjärrvärmnät	700	2 193	**396**	**598**	**1 331**	**708**
Mindre fjärrvärmenät med avfall	200	627	**353**	**534**	**1 211**	**644**
Mindre fjärrvärmenät utan avfall	200	627	**332**	**502**	**1 150**	**611**

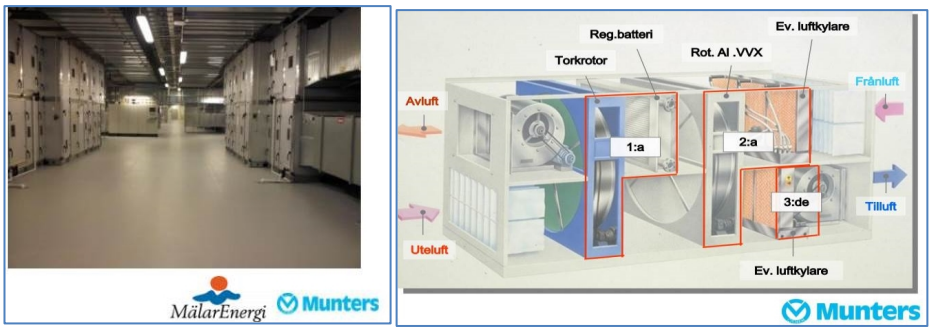
Som sagts inledningsvis så bör man vara försiktig med att dra generella slutsatser för olika fjärrvärmenät. Varje nät måste analyseras med de aktuella lokala unika förutsättningarna. Men en tydlig signal är ändå att synergin med leverans av fjärrkyla kan sättas i relation till värdet av fjärrvärmeleveransen.

14.9 EXEMPEL PÅ ERFARENHETER

Installationer med sorptiv kyla för vanliga kommersiella fastigheter finns i Malmö, Infra City i Stockholm och IKEA i Västerås. Enligt uppgift från Munters finns ca 130 installationer som referenser. Merparten är inom industri och lokaler (museer och arkiv) där det finns snävt ställda krav på luftfuktighet. Tekniklösningen har

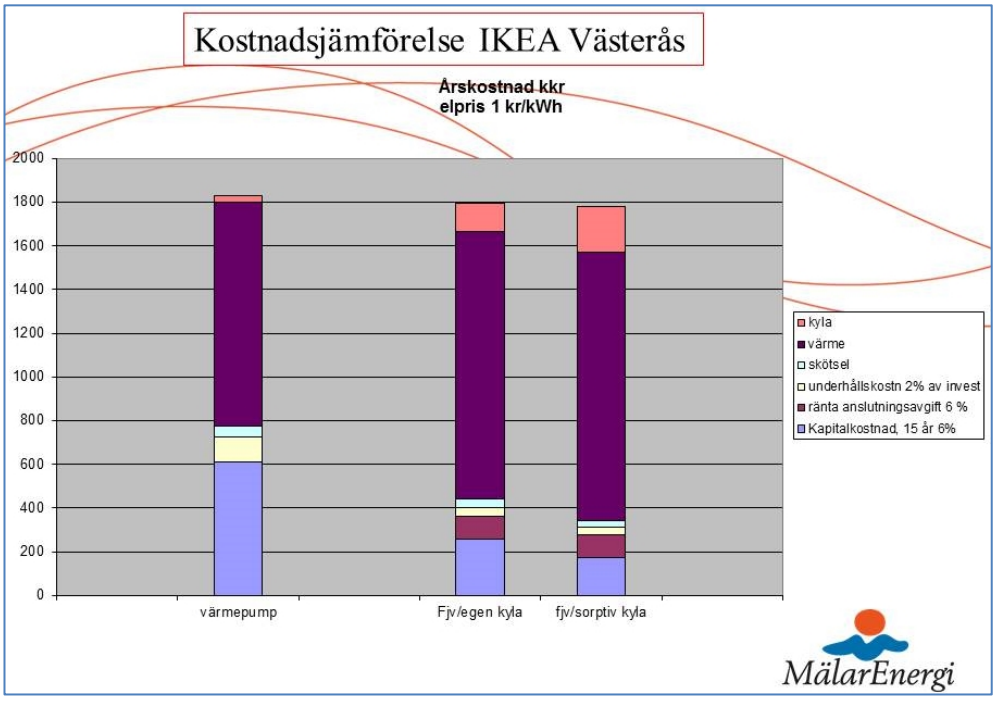
rykte att vara dyrare än konventionella lösningar. Men som framgår enligt nedan så måste man se över helheten.

Ett exempel med en konventionell värmedriven sorptiv kylinstallation finns hos IKEA i Västerås. Mälarenergi levererar värmen till installationen. Ett möbelvaruhus som IKEA kräver stora ventilationsflöden. Exponering av mycket människor samt belysningen gör att denna fastighet har ett stort kontinuerligt kylbehov under året. Av Figur 277 framgår att ventilationsinstallationen är mycket platskrävande. Vad som även bör observeras vid installationer med sorptiva roterande hjul är att diametern på rotorerna utgörs av yttermått på de båda till- och frånluftskanalerna på bilden.



Figur 277: Installation av sorptiv kyla hos IKEA i Västerås samt principritning av Munters sorptiv kyla. Källa: Mälarenergi och Munters.

Figur 278 visar en sammanställning av årskostnaden för värme och kyla för IKEA i Västerås, med tre olika installationslösningar, tidpunkt vid investeringstillfället.



Figur 278: Årskostnad (enhet kkr) för värmepump, fjärrvärme plus kylmaskin samt fjärrvärme med sorptiv kylalösning. Källa: Mälarenergi (134).

Det dyrast alternativet var egen värmepump, där kapitalkostnaden för en investering på 18,74 Mkr blir utslagsgivande. Fjärrvärme med egen kylmaskin har en ngt högre årskostnad än fjärrvärme och sorptiv kyla. Fjärrvärme och egen kylmaskin hade en investeringsnivå på 8,36 Mkr och den valda lösningen fjärrvärme med sorptiv kyla 6,26 Mkr.

De drifterfarenheter som IKEAs driftpersonal lämnat kan sammanfattas enligt:

Nackdelar:

- Komplicerad styranläggning.
- Intrimning av systemet har krävt mycket tid.
- Upplever att energiförbrukningen (=köpt energi) är högre vid jämförelser med andra varuhus.

Fördelar:

- Man använder fjärrvärme (spillvärme) istället för el
- Miljövänligt system
- Inga kapacitetsproblem

14.10 REDUCERA HÄLSOPROBLEM GENOM FÖRBÄTTRAT INOMHUSKLIMAT

Vi har verifierat att det under betydligt större del av året förekommer mycket torrt inomhusklimat. Intag av kall ventilationsluft som värms upp utan befuktning kommer tidvis att ge luftfuktighet inomhus på bara 10-15 %. Exempelvis ligger fukthalten på tillförd inomhusluft under 15% under hela 3 månader i Luleå. Detta orsakar betydande hälsoproblem i form av uttorkade slemhinnor och i synnerhet irriterade, torra och röda ögon. Forskning visar även på att hälsoproblemen förstärks genom att frekvensen med att blinka och därmed att befukta ögonen reduceras vid skärmarbete. Den centrala mekanismen vid torra ögon är att tårfilmen spricker. I vetenskapliga undersökningar har det gjorts omfattande kartläggningar med kvantifieringar av att detta börjar ske redan 5 sek efter en blinkning. Mycket tyder på att en luftfuktighet under 40 % inte är acceptabel ur hälsosynpunkt.

Dagens rekommendationer om inneklimat anger endast gränser för inomhustemperaturen, men inga gränser för fukthalten. Detta kan mycket väl bli nästa stora hälsodebatt. Som bransch kan vi peka på behoven av bättre luftkvalitet inomhus. Branschen har även möjlighet att påverka att energieffektiva lösningar, med exempelvis den sorptiva hybriden, kommer tillstånd. Här finns även en positiv koppling till EED (Energy Efficiency Directive).

14.11 NYTTIGHETER RÖRANDE DE TRE STORA GLOBALA ÖVERGRIPANDE HOTBILDERNA



Figur 279: Angående globala övergripande hotbilderna. Källa: Google Images.

Den världsbild vi nu har är att det finns tre stora övergripande hotbilder. Många läsare kanske blir lite förvånade att detta tas upp i en forskningsrapport inom Fjärrsyn. Men funderar man en stund och tänker i ett vidare perspektiv än rent teknisk FoU så är fjärrvärme och fjärrkyla system som tillfredsställer långsiktiga och globala samhällsbehov. Det finns här en utomordentlig möjlighet att peka på vår branschs globala nyttighet. Positioneringen öppnar här möjligheter som vi bedömer har en stor strategisk nytta för energiföretagen på en konkurrensutsatt marknad. Värdegrunden för fjärvärme och fjärrkyla kan således inte begränsas till rent kilowattimme pris.

De tre globala hotbilderna är; global uppvärmning, spridning av pandemier samt terrorismen.

14.11.1 Global uppvärmning

Att fjärrvärme och fjärrkyla har en utomordentligt bra positionering för att medverka till en hållbar energiförsörjning med lågt CO_2 avtryck är tveklöst. Kan vi dessutom öka fjärrkylans returtemperatur så kan ytterligare frikyla tillgodogöras.

14.11.2 Spridning av pandemier

Pandemier kännetecknas av extremt snabba tillväxtcykler av mutagener. Spridning sker via luften. Tillväxten kan reduceras genom att hålla lämplig luftfuktighet inomhus. Det visar sig att virusets förmåga att överleva och spridas är starkt beroende av temperatur och fukthalt, vilket gör det tekniskt möjligt att bidra till begränsning av smittspridning.

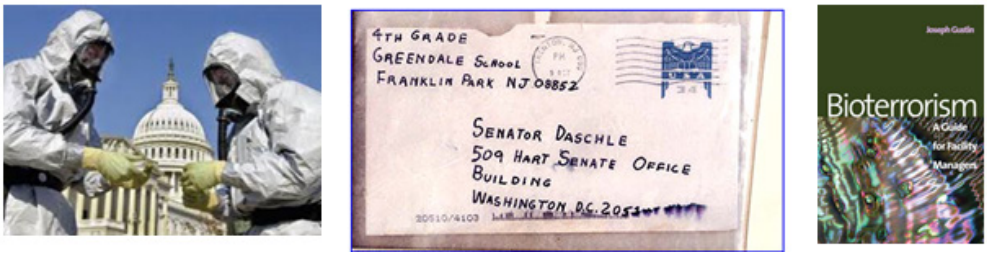
Genom WHOs överinseende ser man tydligt att rädslan för pandemier berättigar till ständig uppmärksamhet. Detta kan inte endast hänföras till en medicinsk fråga. Viruset är faktiskt starkt beroende av två parametrar som vi som energitekniker kan kontrollera, temperatur och luftfuktighet.

Det finns kyllösningar där vår sorptiva hybrid kan förses med en ”pandemi-koppling”, där man har ett elvärmelement och en uppfuktare i tilloppet för ett ventilationssystem. Elelementet skall under normala förhållanden inte kopplas in.

14.11.3 Terrorism

Terrorismen är det tredje världshotet mot exempelvis levnadsättet i västvärlden. Detta är något som våra energilösningar inte direkt kan bekämpa. Men det finns en koppling till att orättvisor kan odla missnöje som i vissa fall kan ta sig yttringar i extremism. Ett sådant exempel kan vara att när en del av världen på bekostnad av resten av världen förbrukar de ändliga resurserna. En hållbar samhällsutveckling inom energiområdet kan reducera orättvisor.

Något som man framför allt i USA uppmärksammar är bioterrorism. Exempel på detta har varit i direkt anslutning till 9.11 attentatet, där antrax (mjältbrandsporer) skickades till nyhetsmedia och politiker. Mjältbrand kännetecknas av hög dödlighet och mikroorganismen är extremt seglivad. Mikroorganismer som används vid bioterrorism kan spridas via ventilationssystem. Genom en lämplig utformning av ventilationsystemen kan denna spridningsrisk reduceras.

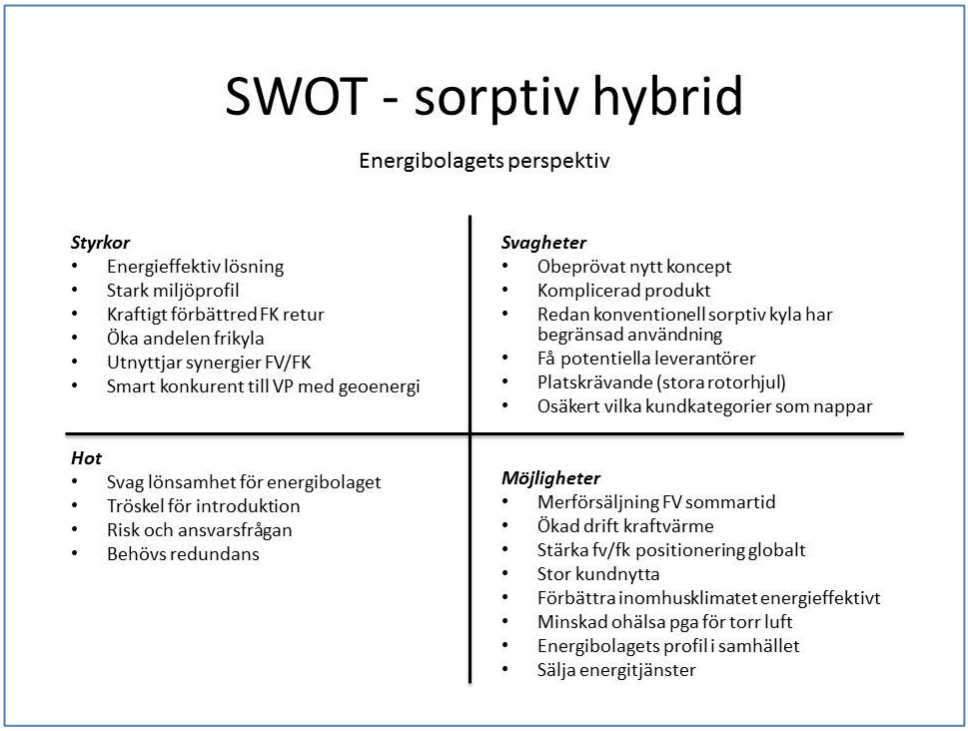


Figur 280: Bioterrorism i USA. Källa: Google Images.

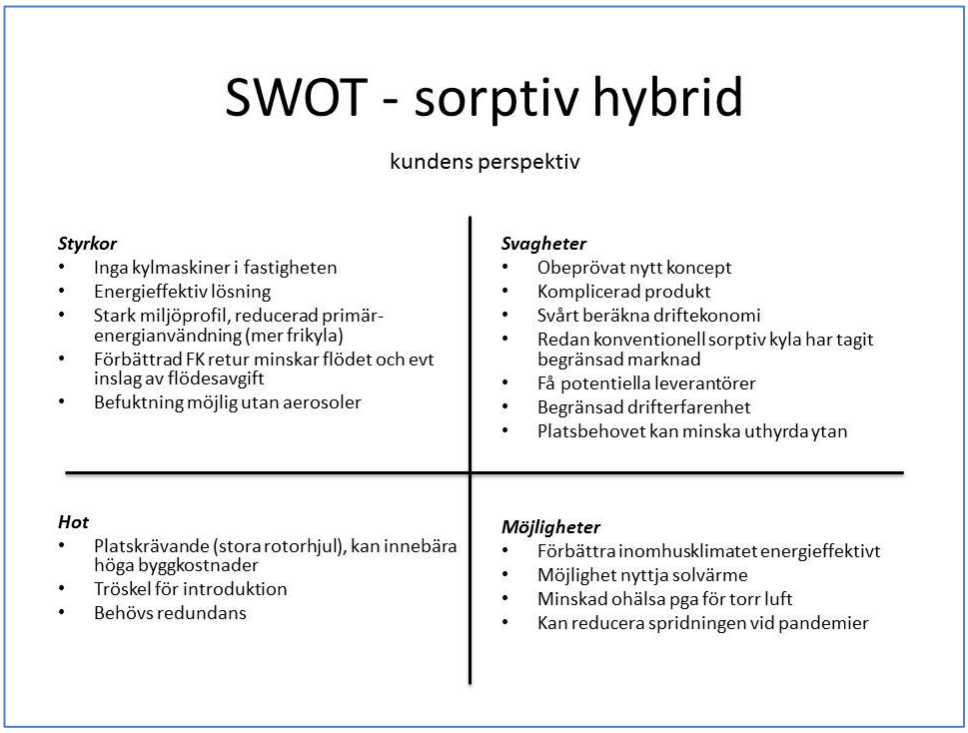
14.12 SWOT – SORPTIV HYBRID

En sammanfattning av nyttan med det utvalda huvudspåret den sorptiva hybriden sammanfattas i SWOT-analysen enligt energileverantörens perspektiv Figur 281 och enligt kundens perspektiv Figur 282.

Vi har här speglat bilden av att energileverantörens åtaganden utgörs av leverans av fjärrvärme och fjärkyla men att kunden står för installationen av utrustningen. I och med att det rör sig om en teknikutveckling som inte är kommersiellt tillgänglig kan det inte uteslutas att energileverantören behöver medverka vid ett genomförande. Detta får ses som ett behov av ett vid introduktionen utökat serviceåtagande.



Figur 281: SWOT analys av sorptiva hybriden sett från energibolagets perspektiv.



Figur 282: SWOT analys av den sorptiva hybriden sett från kundens perspektiv.

15 Slutsatser och rekommendationer

15.1 SYFTE OCH PERSPEKTIV

Syftet med detta projekt har varit att beskriva och demonstrera hur nya innovativa tekniklösningar praktiskt kan användas för att åstadkomma en bra komfort i fastigheter vars verksamheter efterfrågar både värme och kyla och påvisa hur dessa skapar värden för både energibolaget och kunden.

Det skall kunna användas för att stärka unikiteten och konkurrenskraften för kombinerade fjärrvärme- och fjärrkyleleveranser. Det skall även kunna användas som en del i arbetet för att ge grogrund för ett samlat leverantör- kund engagemang – d.v.s. hur man får mer affärsfokus på bra komfort/inomhusklimat genom ny och innovativ teknik som kan synliggöras som efterfrågade värden för användaren.

Historiskt har det varit mycket fokus på vad fjärrvärme och fjärrkyla kan skapa kopplat till det som investeras i produktionsanläggningar och distribution. Tekniska systemlösningar för att producera och distribuera produkterna till användaren med egenskaper som utifrån investerade pengar och samtidigt i ett driftskostnadsperspektiv skapa ett konkurrenskraftigt alternativ till kundens alternativ, och samtidigt kunna uppvisa en överlägsen miljöprestanda.

Den innovativa processen koncenteras framförallt på nya tekniska lösningar som sker vid ”mötesplatsen” anslutningspunkt/ kundcentral samt längre in i fastigheterna. Befintliga distributionslösningar inne i fastigheterna utnyttjas normalt vid en anslutning till fjärrvärme eller fjärrkyla. Förändrade metoder inne i fastigheterna är dessutom intimt förknippade med rent byggnadstekniska åtgärder. Synergier vad gäller fjärrvärme och fjärrkyla är att kunna säkerställa en kundrelation genom att kunna erbjuda båda produkterna. Fokus i projektet har legat på möjligheter för innovativa lösningar för kyla. Här finns energieffektiva lösningar att tillgå genom att utnyttja egenskaperna med fuktig luft. I Sverige är den primära målgruppen för fjärrkyla kommersiella lokaler. Vi har inte gått in i detalj på fjärrkyla för bostäder. I Sverige kan inte denna marknad att nås genom nya innovativa tekniklösningar. Vad där krävs är att kundgruppen efterlyser kylleveranser och är villig att betala för ökad komfort. Det finns dock ett behov att tillgodose känsliga kundgrupper med kyla. Exempelvis introducerar vi begreppet vårdkyla.

Kraven ökar att åstadkomma resultat som påvisar en minskad energikonsumtion och lägre kapacitetsbehov samt den ökande medvetenheten som fås med nödvändig mätning och uppföljning av energianvändningen i fastighet och verksamhet. Detta kommer i allt högre grad skapa medvetenhet och drivkrafter att ifrågasätta och utvärdera sina valmöjligheter.

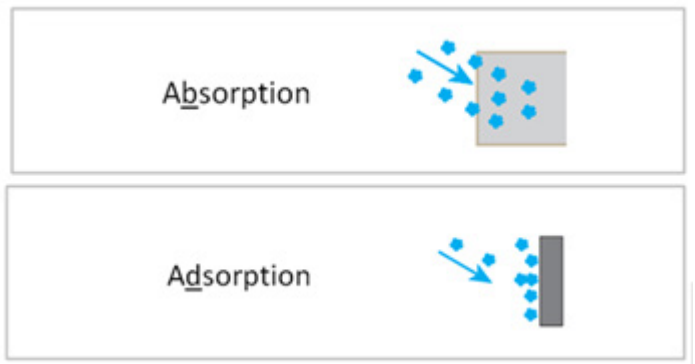
Här kommer leverantörernas förutsättningar att positionera sitt alternativ att bli än viktigare, och här är det allt viktigare att söka nya vägar för att skapa en unik positionering som leverantör av fjärrvärme och fjärrkyla. Vi har funnit att kunskapen om rådande inomhusklimat är ett bortglömt kapitel i Sverige. Under stor del av tiden är luftfuktigheten i komfortzonen på en nivå som inte är

acceptabel. Mycket av ohälsa som är förknippad med skärmarbete förstärks av alltför torr inomhusluft. Den optimala luftfuktigheten för att bl.a. reducera tillväxten av virus och bakterier ligger inom fönstret 40-60 % RH. Tekniklösningar som kan tillfredsställa detta villkor kommer att bli intressanta att tillhandahålla.

15.2 SLUTSATSER OM INNOVATIVA LÖSNINGAR

15.2.1 Summering av behandlade innovativa lösningar

Den tekniklösning som utgör huvudspåret i detta projekt bygger på sorptiv kyla. Detta grundkoncept liknar Pennington-cykeln, som har sitt ursprung i ett patent från Neil A. Pennington från 1955. Denna helt värmedrivna kylprocess bygger på utnyttjande av en rotor som belagts med ett sorptivt material som adsorberar fukten i luften. Detta skall inte förväxlas med absorptionsprocessen, där man cirkulerar en saltlösning som tillsätts luften, som i processen tar upp respektive avger fukten i luften, se Figur 283.



Figur 283: Skillnaden mellan absorption och adsorption.

Ett antal innovativa tekniklösningar har identifierats. Huvudspåret är en lösning vi valt att kalla Sorptiv hybrid kundcentral. Att vi kallar den hybrid är för att markera att kylningen sker på två sätt: med sorptiv avfuktning och genom kylning av luften. Utöver vårt grundkoncept den sorptiva hybriden redovisar vi även ett antal ytterligare varianter av denna. Därutöver behandlar vi även innovativa batterilösningar, med lite okonventionella kopplingar av batterier.

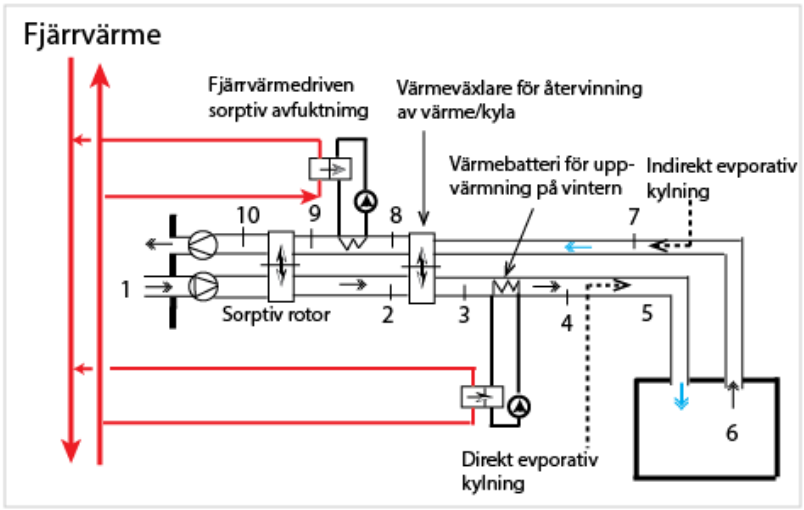
- Sorptiv hybrid kundcentral
- Sorptiv hybrid med direkt och indirekt evaporativ kylning
- Sorptiv hybrid med beredning av tappvarmvatten
- Sorptiv hybrid kompletterad med vattenburet kylsystem
- Sorptiv hybrid kundcentral med recirkulation av returluft.
- Sorptiv hybrid och utnyttjande av solfångare för värme och kyla
- Sorptiv hybrid och utnyttjande av solfångare för värme och kyla samt tappvarmvattenberedning
- Sorptiv hybrid med pandemikoppling
- Sorptiv hybrid ett-rörssystem integrerat med vattenförsörjning
- Innovativ batterikombilösning
- Selektiv recirkulation av returluft

- Innovativ batterikombi med recirkulationskrets
- Kundcentralsystem med vattenkylning av ICT
- Membranteknik för fuktåtervinning i kombination med sorptiva hybriden

En mycket intressant aspekt med den sorptiva hybriden är att den har möjlighet till ett betydligt bättre ΔT än för konventionella fjärrkylecentraler. Därmed sjunker flödena. Med sjunkande flöden är det än mer intressant att förbättra prestanda på reglerventiler. En nyckelfråga vi tagit fasta på är sekvensstyrning av reglerventiler. Vi har även synat sk PICV (Pressure Independent Control Valves), vilket är kombinationsventiler för reglering och differenstryckhållning. Dessa har än så länge inte fått ett genomslag i den svenska fjärrvärmebranschen.

15.2.2 Referensfall - Konventionell värmedriven sorptiv kyla

Konventionell värmedriven kyla visas i Figur 284, som ett referensfall för de andra redovisade lösningarna. Endast fjärrvärme ansluts här till fastigheten.



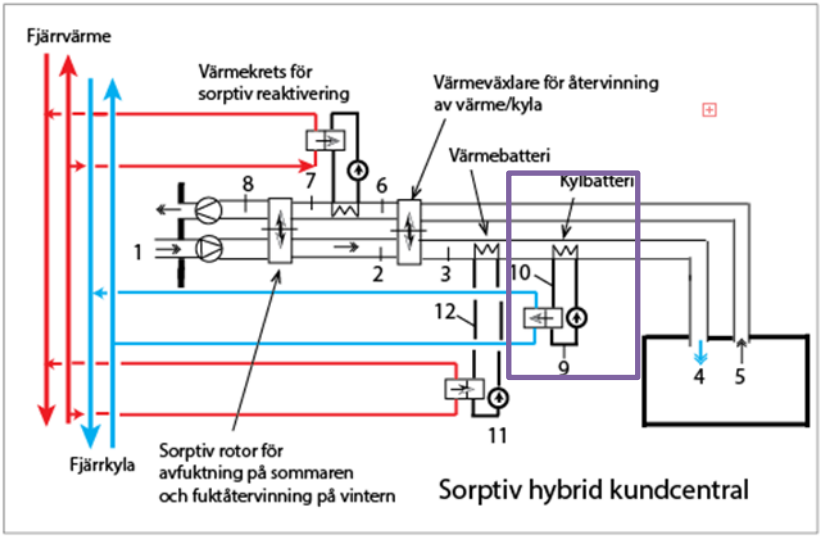
Figur 284: Konventionell värmedriven sorptiv kyla. Här i variant med ett värmebatteri för att säkerställa temperaturen vintertid. I den sorptiva kylningen ingår direkt och indirekt evaporativ kylning genom vattenindysning i tilluft- respektive frånluftkanalen.

Användningsområdet för värmedrivna sorptiva kyllösningar har främst legat i fastigheter med snäva toleranser på variationer av luftfuktighet, såsom arkiv, museer och tillverkande industrier inom t ex läkemedel. Fuktutbyte är en långsammare process än värmetransport. Den sorptiva rotorn är avsevärt långsammare än en (rent) värme- eller kylåtervinnande rotor, typiskt med varvtalet 20 varv i timmen, i stället för annars typiska 10 varv i minuten. En begränsande faktor när det gäller sorptiv teknik kan vara att den sorptiva rotorn genom sin diameter blir utrymmeskrävande.

15.2.3 Sorptiv hybrid kundcentral

En av de attraktiva egenskaperna med den innovativa lösningen som vi valt att kalla Sorptiv, hybrid kundcentral, se Figur 285, jämfört med en konventionell kundcentral med kyl- och värmebatterier är att den möjliggör fuktåtervinning. I

den sorptiva hybriden utnyttjas egenskaper som fuktig luft har dessutom på ett energieffektivt sätt. Jämfört med den vanliga värmedrivna adsorptionsprocessen har vi försett tekniken med extra separata kyl- och värmebatterier som används vid olika driftfall, under vinter -och sommarfallen.



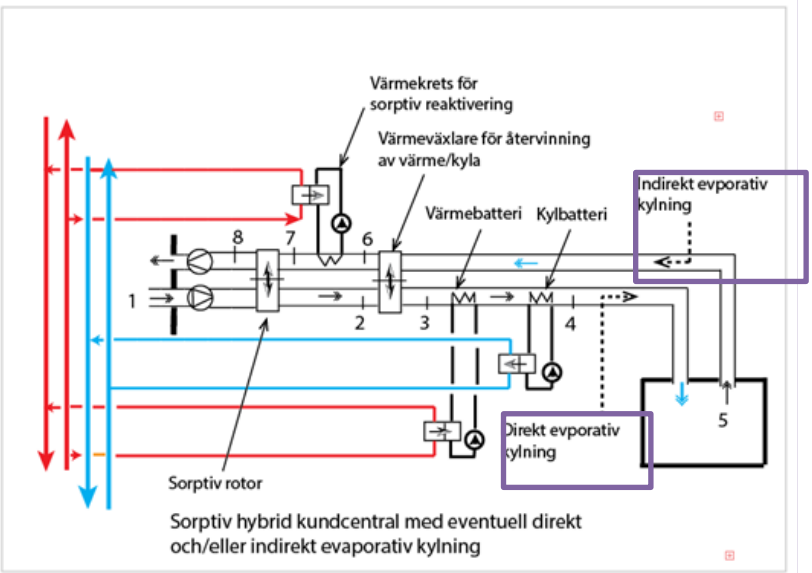
Figur 285: Sorptiv hybrid kundcentral (originalfigur Figur 28).

Den sorptiva hybrida kundcentralen har ett antal attraktioner i jämförelse med en konventionell kundcentral med värme- och kylbatterier enbart. Det finns dock ett antal risker/nackdelar med denna lösning att ta i beaktande, se Tabell 22.

Tabell 22: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral.

Fördelar med sorptiv hybrid KC	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som kan ligga på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	Komplicerat att beräkna.
Möjliggör även användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar eller har endast i liten utsträckning drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs låga flöden) gynnas.
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	
Vattenburen kyla kan undvaras.	

15.2.4 Sorptiv hybrid med direkt och indirekt evaporativ kylning



Figur 286: Sorptiv hybrid kundcentral försedd med direkt och indirekt evaporativ kylning (Original: Del av Figur 54).

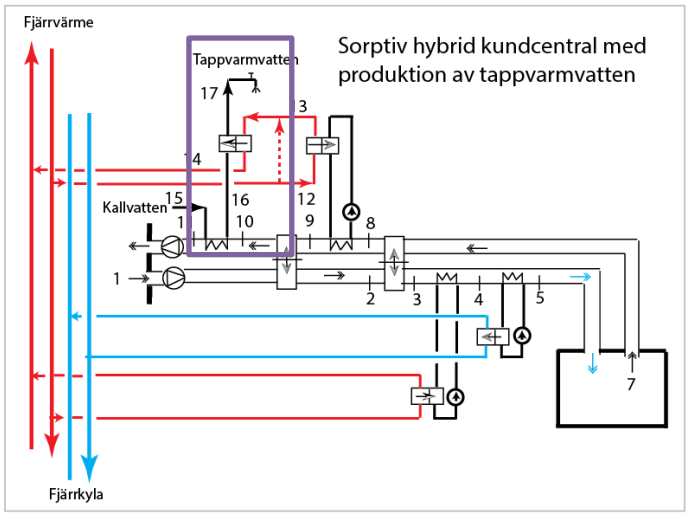
Den sorptiva hybrida kundcentralen enligt Figur 286 har här försetts med vattenindysning. Direkt evaporativ kylning sker genom tillskott av vattenindysning i tilluftkanalen placerad efter kylbatteriet. Som ytterligare ett komplement sker här även vattenindysning genom indirekt evaporativ kylning i frånluftkanalen. Kylan återvinns i nästa steg i den roterande värmeväxlaren.

I Tabell 23 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybriden försedd med evaporativ kylning. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 23: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral med evaporativ kylning.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med evaporativ kylning	**Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med evaporativ kylning**
Genom befuktning av luften samt värmeåtervinning kan kyleffekten ökas på ett energieffektivt sätt.	Restriktivt förhållningssätt till befuktning av luft kopplad till felaktiga äldre installationer.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Komplicerat att beräkna.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.5 Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med beredning av tappvarmvatten



Figur 287: Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med beredning av tappvarmvatten. (Original: Figur 32).

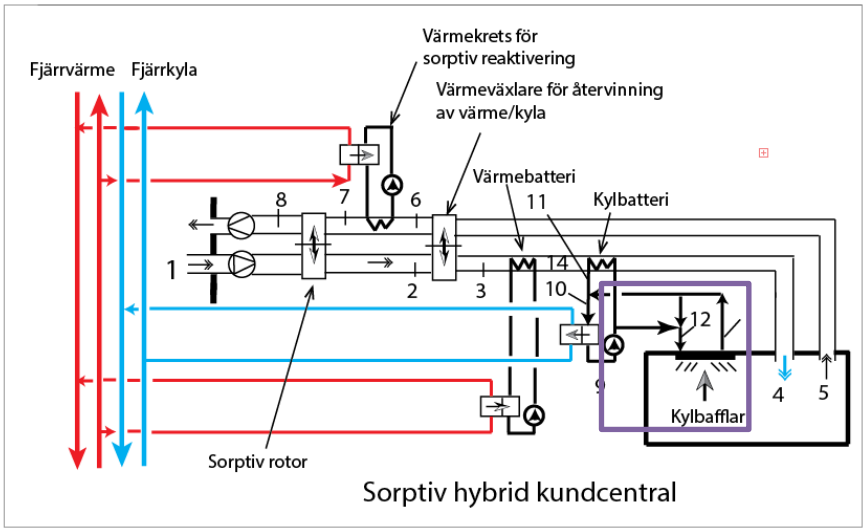
I varianten med sorptiv hybrid kundcentral försedd med tappvarmvattenberedning enligt Figur 287 sker denna i två steg: Först genom att kallvattnet passerar det extra batteriet placerat i avluftkanalen efter rotorn. Spetsning sker därefter med fjärrvärme i värmekretsen för sorptiv regenerering.

I Tabell 24 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentral försedd med tappvarmvattenberedning. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 24: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral med tappvarmvattenberedning.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med tappvarmvattenberedning	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med tappvarmvattenberedning
Integrering av tappvarmvattenberedning med regenereringskretsen gör att separat konventionell tappvarmvattenvärmeväxlare inte behövs.	Om tappvarmvattenbehovet skulle vara stort så kan regenereringskretsen vara för liten. Högt ΔT på vattensidan medför att effektbehovet för varmvattnet kan bli högt.
Energieffektiv förvärmning av tappvarmvatten via avluften.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.6 Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med vattenburet kylsystem



Figur 288: Sorptiv hybrid kundcentral kompletterad med vattenburet system, med kylbafflar i taket. (Original: Figur 44).

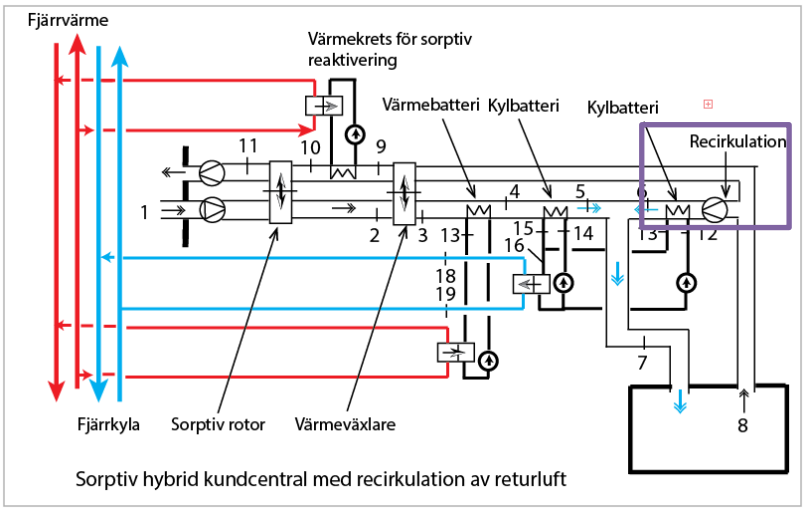
När kylbehovet är större än vad ventilationsluften kan transportera krävs ett ytterligar tillskott av kyla. Exempelvis bör man för ett kylbehov på 35 W/m² och en tilluftsundertemperatur på 12°C överväga komplettering med vattenkyla vid ett ventilationsbehov av 2-3 l/s, m². I denna enligt Figur 288 variant har den sorptiva hybrida kundcentralen nu kompletterats med ytterligare en kylkrets. Ett vattenburet system ingår nu med kylbafflar lokaliserade i taket. Detta möjliggörs genom att vi har tillgång till både fjärrvärme och fjärrkyla.

I Tabell 25 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentralen för både luftburen och vattenburen kyla. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 25: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral för både luftburen och vattenburen kyla.

Fördelar med sorptiv hybrid KC för både luftburen och vattenburen kyla	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC för både luftburen och vattenburen kyla
Genom att vi har tillgång till fjärrkyla så kan fastigheter kylas med både luft och vattenburna distributionssystem.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Om kylbehovet är större än vad som kan tillfredställas med ventilationsluften så kan ett vattenburet kylsystem integreras med kylbatterikretsen.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus	
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.7 Sorptiv hybrid kundcentral med recirkulation av returluft



Figur 289: Sorptiv hybrid kundcentral med recirkulation av returluft. (Original: Figur 50).

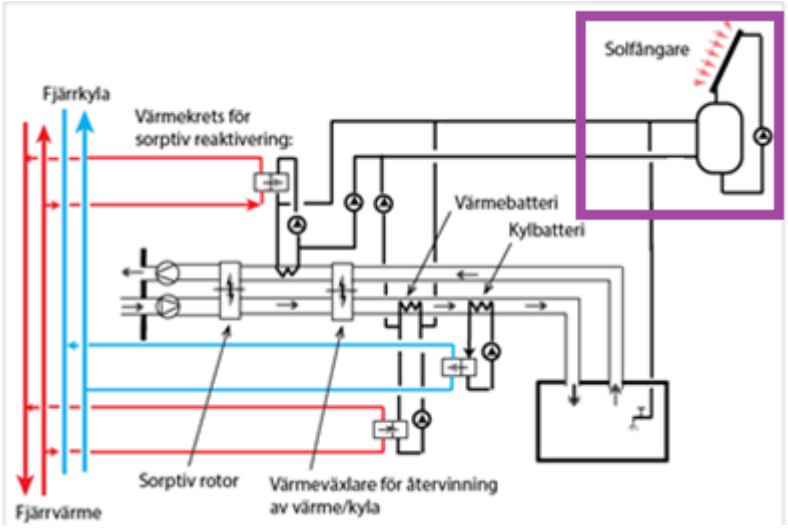
En energieffektiv lösning som vi valt att lyfta fram är att nyttja recirkulation av återluft. Historiskt har en restriktiv hållning till denna möjlighet rått i Sverige. I USA ser man detta som en energieffektiv lösning och även ett sätt att reducera marknära ozon inomhus. Vi ser att man med modern styrning kan övervaka att luftkvaliten inomhus hålls inom gällande riktvärden. Den sorptiva hybrida kundcentralen kompletteras nu med ett ytterligare kylbatteri på recirkulationskretsen, enligt Figur 289.

I Tabell 26 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentralen försedd med recirkulation av returluft. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 26: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid med recirkulation av returluft.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med recirkulation av returluft	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med recirkulation av returluft
Högre energieffektivitet genom användning av returluften.	Negativ inställning till återluft pga historiska problem med dåtidens tekniska förutsättningar.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.8 Sorptiv hybrid kundcentral med integrering av solfångare



Figur 290: Sorptiv hybrid med integrering av solfångare. (Original: modifierad Figur 67).

Att förse fastigheter med solceller eller solfångare lyfts i många sammanhang fram som potentiella tekniker. En begränsning med installationer i en fastighet är normalt sett det faktum är att solvärmen blir dedikerad vad som kan tillvaratas i den egna fastigheten. Vi har här i Figur 290 integrerat solfångare med den sorptiva hybriden. Solvärmen kan här tillvartagas både i värmebatteriet på tilluften samt i värmekretsen för sorptiv regenerering.

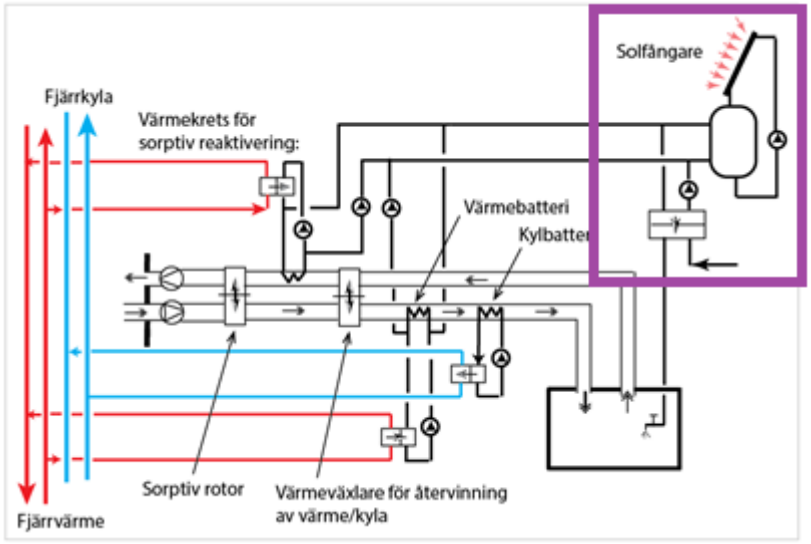
I Tabell 27 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybriden försedd med solfångare. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 27: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral med solfångare.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med solfångare	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med solfångare
Effektivt nyttjande av solvärme, där man via både värmebatteriet och sorptiva regenereringskretsen tillför värme.	Krävs lämpliga ytor för installationer på takytor.
Genom koppling till fjärrvärmenät frikopplas solvärmetillskottet från byggnadens behov.	Integrering av solfångare kan kräva dyra byggnadstekniska åtgärder för integreringen och rördragning.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	Informationsbehov så att myndigheter, fastighetsförvaltare och slutkunder blir uppmärksammade på behovet av krav som förbättrar inomhusklimatet.
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.9 Sorptiv hybrid kundcentral med solfångare samt inkluderande tappvarmvattenberedning

Föregående lösning har nu även integrerats med beredning av tappvarmvatten från solfångaren, enligt Figur 291. Eftersom solvärmen i svenskt klimat inte ger tillräckligt tillskott under hela året krävs även konventionell beredning av tappvarmvatten.



Figur 291: Sorptiv hybrid kundcentral med solfångare samt inkluderande tappvarmvattenberedning. (Original: Figur 67) .

I Tabell 28 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentralen försedd med solfångare samt beredning av tappvarmvatten. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

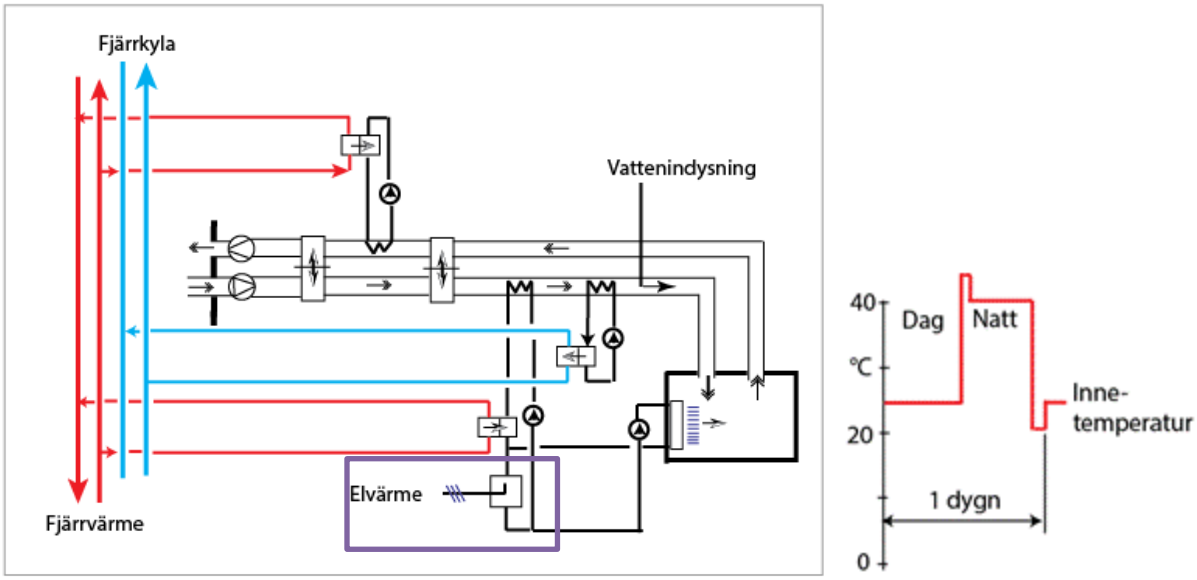
Tabell 28: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral med solfångare samt beredning av tappvarmvatten.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med solfångare samt beredning av tappvarmvatten	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med solfångare samt beredning av tappvarmvatten
Effektivt nyttjande av solvärme. Där man via både värmebatteriet och sorptiva regenererings-kretsen tillför värme.	Värmedriven sorptiv kyla har sin tillämpning i kommersiella lokaler. Detta kundområde har oftast begränsat tappvarmvattenbehov.
Genom koppling till fjärrvärmenät frikopplas solvärmetillskottet från byggnadens behov.	Beredning av tappvarmvatten med solvärme motiverar endast den extra investeringen om varmvattenbehovet är tillräckligt högt.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Krävs lämpliga ytor för installationer på takytor.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	Integrering av solfångare kan kräva dyra byggnadstekniska åtgärder för integreringen och rördragning.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med solfångare samt beredning av tappvarmvatten	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med solfångare samt beredning av tappvarmvatten
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.10 Sorptiv hybrid kundcentral med pandemikoppling

För att minska risken för tillväxt av virus eller bakterier bör luftfuktigheten hållas inom 40-60% RH. Den sorptiva hybrida kundcentralen är en energieffektiv lösning i detta avseende. Men vid pandemier vill man i ännu större utsträckning förhindra spridning och tillväxt, Figur 292 visar på en sorptiv hybrid lösning med pandemikoppling. Under den period när lokaler ej används, nattetid, används elpatronen till att höja lufttemperaturen upp till exempelvis 40°C.



Figur 292: Den sorptiva hybrida kundcentralen har här kompletterats med pandemikoppling, elpatron kopplad till slingan för värmebatteriet samt även för exempelvis fläktradiatorer.

I Tabell 29 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentralen med pandemikoppling. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

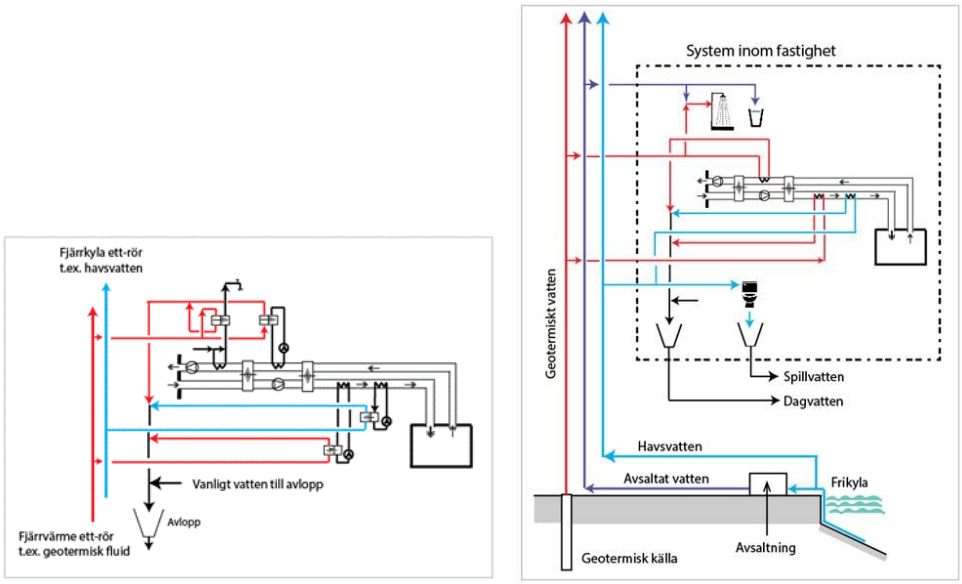
Tabell 29: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral med pandemikoppling.

Fördelar med sorptiv hybrid KC med pandemikoppling	Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC med pandemikoppling
Pandemikoppling är en enkel lösning som kan tillföra mervärden att använda i en krissituation.	Kunskapen kring hantering av pandemier på myndighetsnivå måste höjas.
Kan ge en konkurrensfördel mot alternativen.	Kunder vill ofta inte betala för en extra tjänst förrän den verkligen behövs.
Stor värmetillförsel för hög inomhustemperatur, minskar smittöverföringen.	Förhöjd inomhustemperatur kan endast tillgripas när ingen vistas i lokalen.
Hög fukthalt minskar smittöverföringen.	Fåtal tillverkare av sorptiv teknik.
Högre luftutbyte minskar viruskoncentrationen.	Den sorptiva hybriden består av konventionella komponenter, men utformade som en installation finns ingen referens.
Möjliggör att man helt kan undvika vatten i vätskefas i luftflödet, även vid kraftig avfuktning. Därmed kan potentiella hygieniska problem undvikas.	Komplicerat att beräkna dimensioneringsfallen med fuktig luft av de ingående batterierna.
Möjliggör att man i klimat med kalla vintrar kan undvika för torr luft inomhus.	För att installationer skall komma till stånd måste kunder och konsulter bli medvetna om tekniken och dess möjligheter.
Reducerar behovet av fjärrkyla.	Sorptiva hjul har stora diametrar, vilket ställer krav på installationsutrymmen.
Möjliggör hög fjärrkylereturtemperatur, som synes ligger på 20-24°C under hela året, vilket öppnar upp ökad möjlighet för mer frikyla i fjärrkylsystemen.	Dagens prismodeller för fjärrkyla saknar drivkraft för kunden där tekniska lösningar med stora ΔT (dvs hålla låga flöden) gynnas.
Möjliggör användning av högre fjärrkyleframledningstemperatur.	
Möjliggör att man sommartid i fuktigt klimat kan undvika för fuktig luft inomhus.	
Drivkraft att införa prismodell med högre flödesavgift. Kan öka fokus på ΔT relaterade aktiviteter.	
Stor kundnytta genom att bättre inomhusklimat skapas med en energieffektiv lösning.	
Inga installationer av kylmaskiner, kyltorn eller kylmedelskylare i fastigheterna.	

15.2.11 Sorptiv hybrid kundcentral, ett-rörssystem integrerad med vattenförsörjning

Vi har även identifierat två mindre konventionella lösningsvarianter med den sorptiva hybrida kundcentralen. Här utnyttjas lite udda synergier med vattenförsörjning, se Figur 293.

I den första varianten bygger på ett-rörssystem både för fjärrvärme och för fjärrkyla. Fjärrvärmen produceras med exempelvis geotermisk källa. Fjärrkylan kan ske med havsvatten.



Figur 293: Sorptiv hybrid kundcentral, ettrörs-systemvarianter integrerade med vattenförsörjning. (Original: Figur 236 och Figur 237).

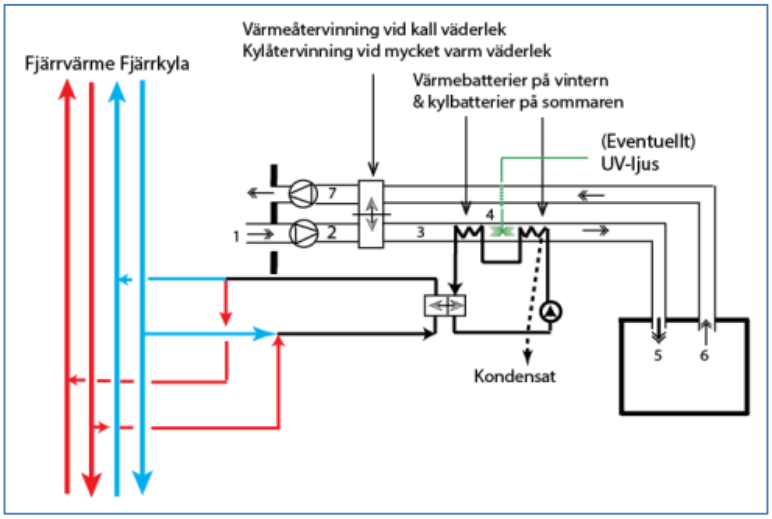
Den andra varianten bygger även på geotermi för fjärrvärmen. Vattenförsörjningen bygger på att havsvatten tas in till en avsaltningsanläggning. Intaget på havsvattensidan dimensioneras här för att alternativt även skall kunna användas för fjärrkylans flödesbehov.

I Tabell 30 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybrida kundcentralen och ett ettrörssystem integrerad med vattenförsörjning. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 30: Fördelar och nackdelar med sorptiv hybrid kundcentral integrerad med vattenförsörjning.

Fördelar med sorptiv hybrid KC och ett ettrörssystem integrerad med vattenförsörjning	**Nackdelar/risker med sorptiv hybrid KC och ett ettrörssystem integrerad med vattenförsörjning**
Helt förnyelsebart system baserat på frikyla	Stor belastning på avloppssystem med returvattnet
Genomströmningssystem med ett-rörssystem, ger lägre investering	Höga materialkrav på kylledningar och utrusning mht havsvatten används
Synergikostnad på distributionssidan	Endast aktuell i specialtillämpning där konventionella distributionslösningar inte finns.
Passar på marknader där vattenförsörjning baseras på havsvatten	

15.2.12 Innovativ batterikombilösning



Figur 294: Innovativ batterikombilösning. (Original: Figur 91).

Den innovativa batterilösningen enligt Figur 294 är variant där man har (minst) två batterier som båda kan fungera som värmebatteri på vintern och kylbatteri på sommaren. Denna ”Switch-over”-funktion innebär att ingen värmeöverföringsyta lämnas outnyttjad.

När uppvärmningen på vintern och avkylningen på sommaren sker i två steg kan man på flera sätt förbättra värmetransporten:

En annan fördel är att man kan optimera varje värmeväxlare för sig. Detta gäller i utpräglad grad vid kylning med avfuktning om man delar upp så att det aldrig sker kondensering i den ena växlaren. Denna kan då konstrueras för större strömningshastighet, det kan finnas fler lameller som sitter tätare, och den detaljerade utformningen av värmeöverföringsytan kan göras mer ”skrovlig”, utan att tryckfallets storlek blir oacceptabel.

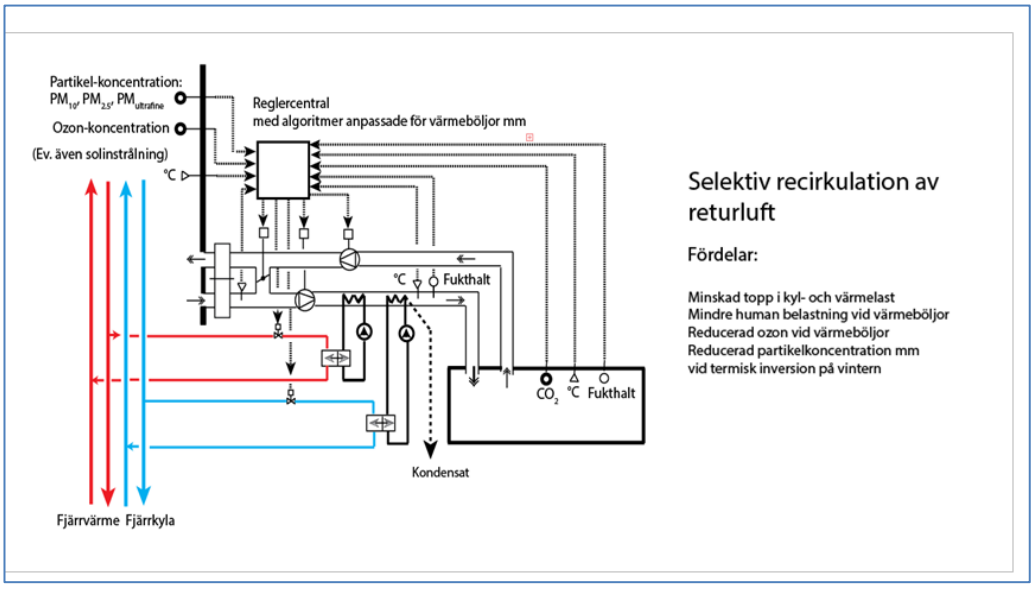
I Tabell 31 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med innovativ batterikombi.

Tabell 31: Fördelar och nackdelar med innovativ batterikombi.

Fördelar med innovativ batterikombi	Nackdelar/risker med innovativ batterikombi
Båda batterierna nyttjas under vinter och sommar. Alla värmeöverföringsytor nyttjas i alla lastfall.	Gemensam krets på primära returen ställer krav på trycknivåerna på värme och kyla, om inte en shuntgrupp med inbyggd värmeväxlare för värme används, se avsnitt 7.1.8.
Endast det sist placerade batteriet behöver dimensioneras för avfuktning med kondensatavledning.	Att styra differenstryck hos kunder på fjärrvärme resp fjärrkyla om det finns en hydraulisk gemensam kortslutning kommer att utgöra en utmaning för regleralgoritmer.
Den roterande värmeväxlaren möjliggör värmeåtervinning under vintertid.	
Den roterande värmeväxlaren möjliggör kylåtervinning under sommartid.	

15.2.13 Selektiv recirkulation av returluft

En drivkraft för ökad användning av återluft skulle kunna vara att minska kapacitetsbehovet för kyla och därmed reducera maximalt effektbehov. Vi anser att det restriktiva förhållningssättet till att använda återluft bör omprövas. Med dagens reglerteknik kan selektiv re-cirkulation av återluft ske på ett tillfredställande sätt, se Figur 295. I exempelvis USA ser man användning av re-cirkulationsluft som ett sätt att minska marknära ozon inomhus, samtidigt som eleffektbehovet minskar.



Figur 295: Selektiv recirkulation av returluft. (Original:Figur 165).

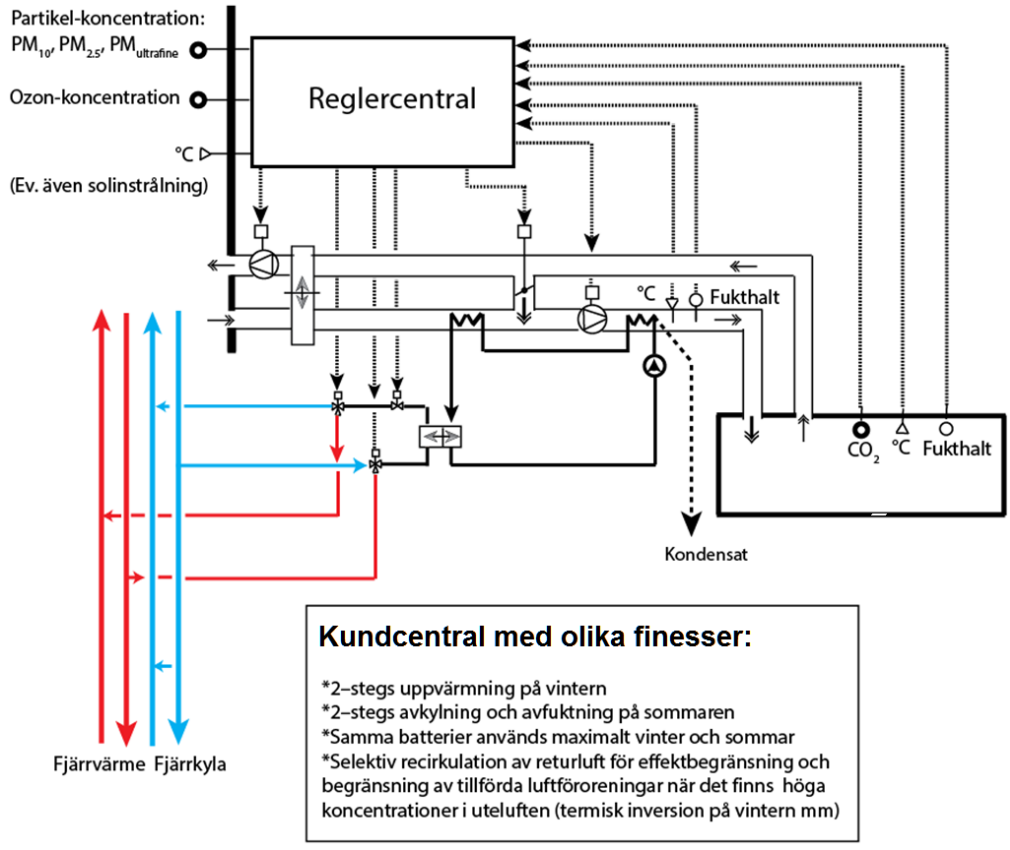
I Tabell 32 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med en lösning för selektiv recirkulation av returluft. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 32: Fördelar och nackdelar med selektiv recirkulation av returluft.

Fördelar med selektiv recirkulation av returluft	Nackdelar/risker med selektiv recirkulation av returluft
Minskade effekttoppar i kyl- och värmelast, och indirekt eleffektbehovet. Modern reglerteknik möjliggör effektiv styrning mot högt ställda villkor. Reducerar ozonbelastningen vid värmeböljor. Reducerar partikelkoncentrationen mm vid termisk inversion på vintertid. Minskad varm avluft ger reducerad ”värmeö-effekt” i centrala lägen under värmeböljor.	Negativ inställning till återluft pga historiska problem med dåtidens tekniska förutsättningar.

15.2.14 Innovativ batterikombi med recirkulationskrets

En ytterligare variant på batterikombi finns där man seriekopplar batterierna, enligt Figur 296.



Figur 296: Selektiv recirkulation av returluft mellan två värmeväxlare som används för två-stegsvärming på vintern och två-stegskylning på sommaren.

I Tabell 33 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med innovativ batterikombi med recirkulationskrets. De nya punkterna jämfört med den tidigare redovisade lösningen har markerats med felstil.

Tabell 33: Fördelar och nackdelar med innovativ batterikombi med recirkulationskrets.

Fördelar med innovativ batterikombi med recirkulationskrets	Nackdelar/risker med innovativ batterikombi med recirkulationskrets
2-stegs uppvärmning på vintern.	Negativ inställning till återluft pga historiska problem med dåtidens tekniska förutsättningar.
2-segs avkylning och avfuktning på sommaren.	Gemensam krets på primärsidan ställer krav på trycknivåerna på värme och kyla, om inte en shuntgrupp med inbyggd värmeväxlare för värme används, se avsnitt 7.1.8.
Samma batterier används på sommaren och vintern.	Att styra differenstryck hos kunder på fjärrvärme resp fjärrkyla om det finns en hydraulisk gemensam kortslutning kommer att utgöra en utmaning för regleralgoritmer.
Selektiv recirkulation av returluft för effektbegränsning och därmed begränsning av luftföroreningar när det finns höga luftkoncentrationer i uteluften vid termisk inversion på vintern.	

15.2.15 Kundcentralsystem med vattenkylning av ICT

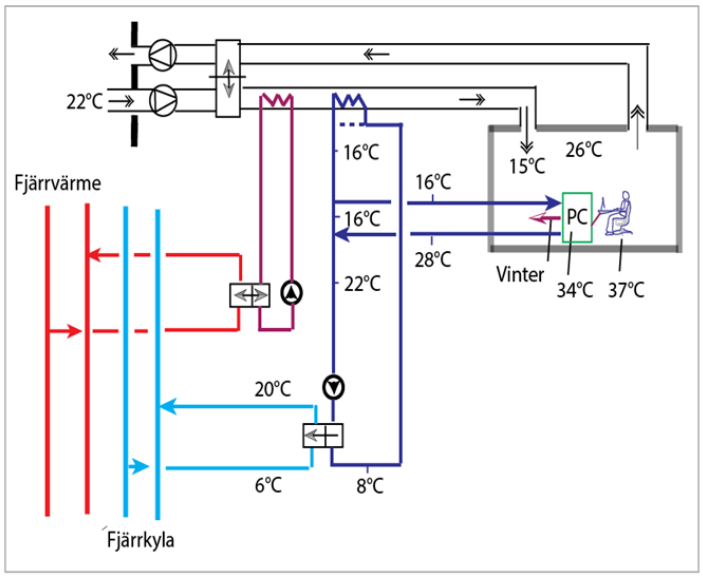
Utvecklingen inom ICT kräver snabbare mikroprocessorer. Nedskalningen av mikroprocessorer ökar dessutom värmeutvecklingen. Detta driver på kylbehoven. Att kyla med luft sätter begränsningar. Det pågår en utveckling av vattenkylning för ICT, där vätskekanalerna har en typisk diameter om 0,05 mm. Med hänsyn till de temperturer som är aktuella är kylning med både fjärrvärme och fjärrkyla möjlig.

En trend som bl. a. registreras via försäljningsstatistik är att vårt ICT användande går från stationära PC till mobil utrustning. Vi kan idag utföra mycket av ICT användandet via uppkoppling av mobiler och tablets. Laptops gör även att vi utför arbete mm helt platsoberoende. Kylning av laptops kan ske via extrautrustning såsom underlägg med fasändringsmaterial. Dessa underlägg kan för snabb regenerering placeras i kyld miljö. Alternativt skulle exempelvis dockningsstationer kunna förses med vattenkylning.

Fastighetsutveckling driver mot flexibilitet. Att då bygga in sig i småskalig distribution av kylvatten på kontorsplatser motverkar fastighetssidans kravspecifikation på flexibilitet som är villkoren för uthyrning. Uppkoppling via molntjänster gör även att stora datamängder (och kylbehov) flyttas från användarna till stora serverhallar. Enklast med användande av vattenkylning blir det att introducera i stora serverhallar. Vi ser även en trend att serverhallar inte lokaliseras långt bort geografiskt där tomter eller lokaler betingar lägre prisnivåer. Centralbelägna serverhallar i närheten av fjärrvärme- eller fjärrkylnät, med tillgång till frikyla, har blivit en viktig parameter. Affärskoncept som Fortums ”Öppen fjärrvärme” med exempelvis värmeåtervinning till fjärrvärmenäten kan nu även förstärkas med möjligheten till vattenkylning.

Vi har även hittat patent på sk kylhandskar. Vi ser inte att detta skulle kunna få ett stort genomslag. Men exempelvis överkänsliga personer skulle kunna förses med kylhandskar, med inbyggd mus, utan att man behöver kyla ned hela rummet efter

deras behov. Dvs en form av lokal ”punktkylning”. Detta är lite som det omvända förhållandet för att minska nedkylningen av kroppen kan man göra en punktinsats, förse huvudet med en mössa. Figur 297 visar på ett innovativt kundcentralsystem med vattenkylning av ICT.



Figur 297: Kundcentralsystem med vattenkylning av ICT. (Original: Figur 204).

I Tabell 34 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med kundcentral med vattenkylning av ICT.

Tabell 34: Fördelar och nackdelar kundcentralsystem med vattenkylning av ICT.

Fördelar kundcentralsystem med vattenkylning av ICT.	Nackdelar/risker med kundcentralsystem med vattenkylning av ICT.
Kylning av ICT med vatten är en pågående teknikutveckling för att klara kylning med komponenter i kompakta tillämpningar och eftersträvad hög prestanda.	Användningen av PC minskar, och ersätts med mobiler, tablets och laptops. Att kyla dessa med vattenburna system utgör ingen flexibel lösning.
Aktuella temperaturområden på kylvattnet är attraktiva för fjärrkylans arbetsområde. Höga returtemperaturer kan erhållas.	Mycket av kylbehov inom ICT hamnar idag i dataserverhallar, vilka kan betjänas av fjärrkyla med värmeåtervinning. Läget är då betydelse för möjlig tillämpning.
Kyltemperaturerna innebär även att hög andel frikyla kan användas.	Olika beskattning av el till serverhallar i olika länder styr lokalisering. Skapar osäkerheter.
Kylning av dataserverhallar med fjärrkyla utgör en möjlighet.	Distributionssystem i små dimensioner för lokal kylning blir dyrt. Dessutom minskar den flexibilitet som fastighetsägare eftersträvar.
Möjlighet att separat utrusta särskilt utsatta slutkunder med kylhandske. Innebär att hela rummet inte behöver kylas.	Kylhandske är en produkt som utgör en utmaning att introducera.

15.2.16 Torr luft och membranteknik

Det finns starka belägg för att torr luft ökar frekvensen av torra ögon och uttorkning av stämband mm. Det finns även starka belägg för att torr luft gynnar

överlevnaden och därmed spridning av influensavirus, både vid återkommande säsongsvirus och vid pandemier. Detta gäller i synnerhet i norra Sverige, där den kalla väderleken medför att luften inomhus under långa perioder kan bli extremt torr, betydligt längre perioder än vad den allmänna uppfattningen är. Exempelvis vid spridning för ca 100 år sedan av ”Spanska sjukan” var dödlighet i Sverige högre i kalla regioner (torr luft) med låg befolkningstäthet.

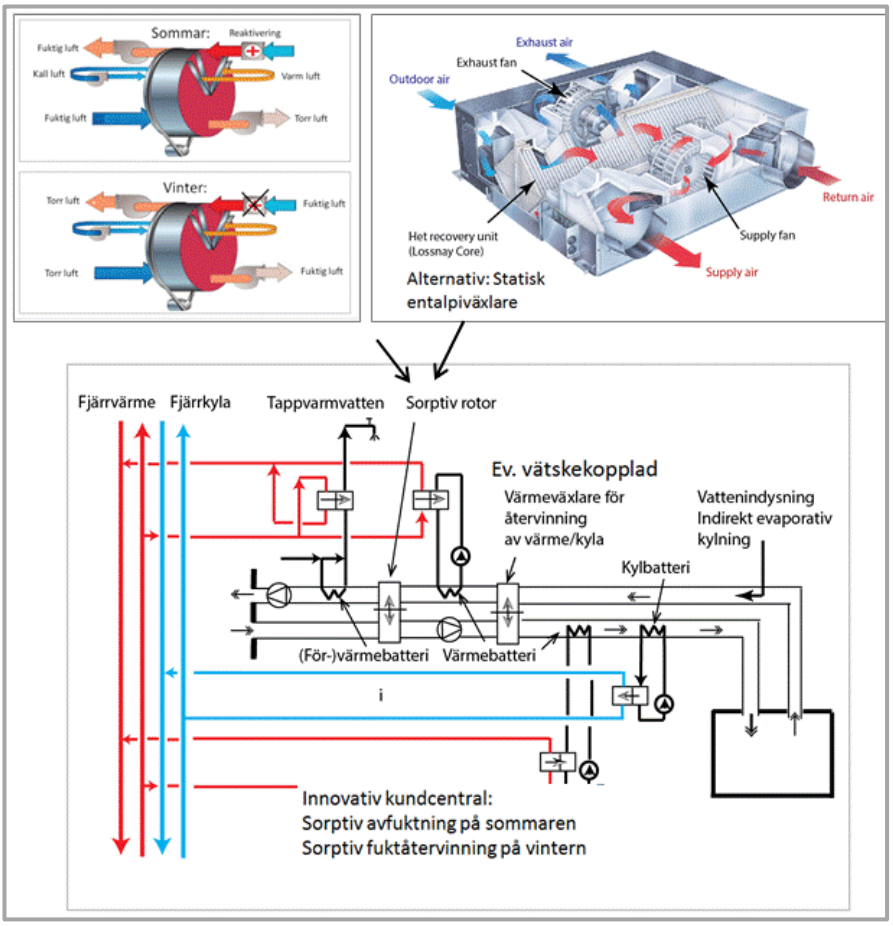
Ett annat problem är att man vid skärmarbete inte blinkar tillräckligt ofta. Vilket förstärker uttorkning av ögon. Ohälsa orsakad av bristfälligt inomhusklimat bör bli en kommande viktig fråga.

De två huvudargumenten mot att använda uppfuktning på vintern är för det första att det fordrar förångning av vatten, vilket leder till ökat värmebehov för byggnader på vintern, samt för det andra att uppfuktning kan innebära risker i form av mögel och spridning av bakterier och bakterietoxiner.

Det finns emellertid möjligheter att möta dessa argument: Med ett sorptivt hjul kan man återvinna fukt från returluften och därmed minska det ökade värmeeffekt-behovet. För det andra har det utvecklats en rad teknologier som möjliggör garanterad hygienisk uppfuktning.

Ett intressant alternativ till fuktåtervinning med ett roterande sorptivt hjul är statisk fuktåtervinning med membranteknik. Med denna kan man effektivt förhindra att eventuella mikroorganismer i returluft överförs till tilluften i et ventilationssystem.

Om inte rummen tillförs tillräckligt med fukt blir uppfuktningen i ett sorptiva hjulet för liten. Därför kan det även behövas komplettering med uppfuktning. Utnyttjande av membranteknik är även här en tillgänglig lösning, enligt Figur 298.



Figur 298: Membranteknik för fuktåtervinning i kombination med sorptiva hybriden.

I Tabell 35 har sammanställts fördelar och nackdelar/risker med den sorptiva hybriden kombinerad med membranteknik.

Tabell 35: Fördelar och nackdelar med membranteknink kombinerad med sorptiv hybrid kundcentral.

Fördelar med membranteknik kombinerad med sorptiv hybrid KC.	Nackdelar/risker med membranteknik kombinerad med sorptiv hybrid KC.
Uppfuktning av torr luft, som framförallt behövs vintertid, ökar värmebehoven. Med sorptiv teknik kan fukt ur returluften återvinnas. Vid stora uppfuktningsbehov är de sorptiva hjulen för små. Kompletterande uppfuktning kan då ske med membranteknik. Membrantekniken förhindrar att mikroorganismers överförs från returluften till tilluften.	Membrantekniken arbetar med dubbelvärmeöverföring, vilket ställer krav på temperaturnivåerna.

15.2.17 Sekvensstyrning av reglerventiler

Vi har tagit fasta på olika typer av framförallt sorptiva lösningar som effektiviserar och förbättrar fjärrkylans returtemperaturer. Den sorptiva hybriden ger betydligt

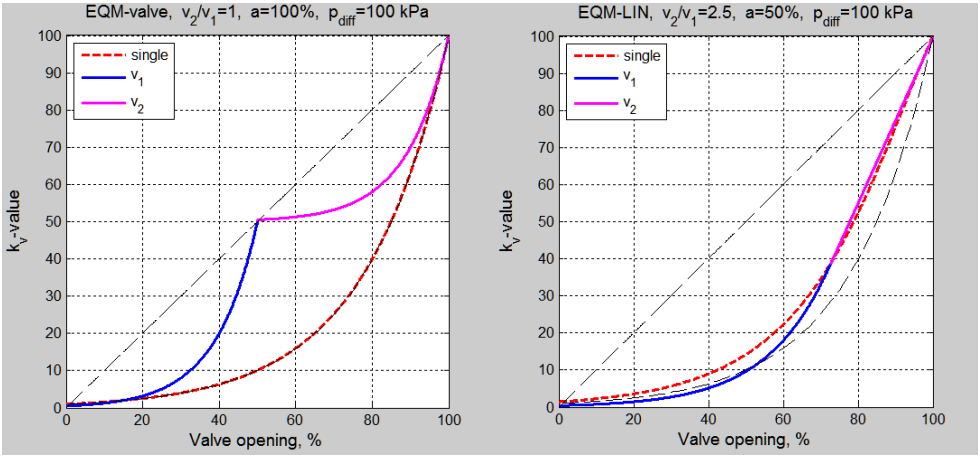
högre fjärrkylereturer än vad som åstadkoms med konventionell teknik. Ökade ΔT ger samtidigt lägre flödesbehov. Därav att det blir ytterligare mer intressant att jobba med ventillösningar som ger effektivare reglering.

Jämför vi ett fjärrvärme med ett fjärrkylesystem är flödena betydligt större för fjärrkylan och därför, vid samma effekt, krävs det större ventiler. Att det krävs stora ventiler i fjärrkyla sammanhang leder till att två (eller fler) parallellkopplade mindre ventiler används mycket ofta istället för en större ventil,

Detta har flera anledningar, t ex

1. Bättre sammanlagda regleromräde (förhållande mellan det högsta och det minsta reglerbara flöde) då två ventiler används och därmed mindre risk för bland annat on-off reglering
2. Större sammanlagda ställprecision med tanke på att ett ställdon har begränsad förmåga att positionera ventilspindeln (beroende på t ex stegmotorns upplösning, friktion i ventilens packbox, hysteres etc.)
3. Lägre pris (två ungefär lika stora ventiler kostar mindre än en dubbelt så stor, gäller inklusive ställdon)
4. Billigare ställdon i och med att den nödvändiga ställkraften ökar med ökande ventilstorlek (gäller ventiler som inte är tryckavlastade)
5. Mindre skillnad mellan faktisk och föreskriven ventilstorlek kan uppnås förutsatt att man inte låser storleksförhållandet mellan de två ventilerna i onödan.
6. Viss begränsad redundans om en av ventilerna skulle gå sönder

Man kan påvisa att den sammanlagda flödeskarakteristikan hos parallellkopplade styrventiler kan förbättras om en av ventilerna väljs ganska liten, vilket ger bättre regleromräde och jämnare kretsförstärkning, men det är en dyrare och opraktisk lösning. De goda resultat som uppnås genom att använda en linjär styrventil som ventil nummer 2 beror på att den sista delen av en logaritmisk flödeskarakteristik är just nästan linjär, se Figur 299. En annan fördel med en sådan ventil är att den är enklare att tillverka med ett bra reglerförhållande, vilket bidrar till att ojämnheten i ”skarven” mellan kurvans del 1 och 2 blir försumbar. Det finns även lösningar att förbättra reglerstabiliteten.



Figur 299: Sekvensstyrning av reglerventiler med konventionella storlekar samt innovativ ny alternativ lösning.

Det flödesmässigt optimala är en kombination av två ungefär lika stora ventiler, den första logaritmisk, den andra linjär, med styrsignalens uppdelning anpassad till ventilernas storleksförhållande, i det fallet ungefär 70/30%. Således borde relevanta rekommendationer i Svensk Fjärrvärmes Tekniska bestämmelser F:102 modifieras enligt ovan. Samma bör övervägas även för F:101.

Det är svårt att ge några rekommendationer baserat på prisöverväganden. Tittar man på tillverkarnas listpriser så sjunker priset av enbart ventiler relativt dess k_{vs}-värde något med ökande storlek. Detta gäller dock för en och samma ventilmodell. Det kan finnas ”hopp” uppåt i prislistan när man är tvungen att gå över till en annan modell av ventilen, t ex från gängad till flänsad ventil. Vidare måste man ta hänsyn till ställdon som kan behöva vara starkare när man överskrider en viss ventilstorlek. Och i vilken utsträckning det sistnämnda behövs beror på ventilens konstruktion, t ex om den har tryckkompenserad kägla eller inte. Slutligen spelar det roll hur pass lätt det är att omprogrammera regulatorn för anpassning av dess styrsignal. Vill man inte använda sig av den tekniska rekommendationen ovan så får val av ventilstorlekarna avgöras från fall till fall.

Mid-range reglering är en komplikation jämfört med vanlig sekventiell styrning. Den kunde dock vara motiverad i fall där en befintlig ventil har tillräcklig kapacitet men då dess regleromräde och/eller snabbhet behöver förbättras. Det kan vara billigare att köpa och installera (som parallell) en mindre ventil än att ersätta en stor befintlig ventil med ny enskild eller två nya parallellkopplade ventiler av likvärdig storlek.

15.2.18 PICV – Pressure Independent Control Valves

Nyttan med PICV (styrventiler med inbyggd differenstryckreglering) märks särskilt i system där man förlitar sig på hydraulisk injustering av systemets grenar för effektfördelning och där eventuell dynamisk reglering hanteras av proportionella (självverkande) regulatorer. Ett typiskt exempel är radiatorbaserade värmesystem med injusterade stammar och termostatventiler.

PICV är ett effektivt sätt att säkerställa rätt kapacitet och stabila egenskaper hos systemets komponenter oberoende av differenstrycksvariationer i systemet. Detta tack vare hög auktoritet, oftast 100%, och konstant kvs-värde oberoende av tryck. Valet av ventilstorleken underlättas eftersom man väljer ventilen efter det verkliga flödesbehovet utan hänsyn tagen till var i systemet den skall placeras. Dessutom kan kvs-värdet ofta efterjusteras, varvid tillverkarna eftersträvar tekniska lösningar där efterjustering skall kunna göras utan specialverktyg och utan att ställdon behöver demonteras

Användning av PICV i stammar/grenar av ett system ger långtidsstabil injustering och är kraftigt tidsbesparande vid installation och underhåll av ett system samt då man byter komponenter eller utökar/begränsar systemet.

I system med stora differenstryck ska man inte glömma att PICV är mindre känsliga för kavitation eftersom strypning av strömmande media sker i två steg, och tryckfallet över själva styrventildelen är relativt litet. PICV eliminerar även överflöden, vilket är stabiliserande och energisparande.

15.2.19 Smart grid (smarta nät)

Från både ett kund- och leverantörsperspektiv är det värdefullt att kunna hushålla med både ekonomiska resurser och miljöresurser. En tydligare koppling mellan leverantör och kund kommer att vara en viktig komponent för att lyckas med den strategiska utvecklingen i framtiden för svenska energiföretag (fjärrvärme- och fjärrkyleleverantörer) och smarta nät är ett verktyg för att uppnå detta.

Smarta termiska nät kommer att spela en viktig roll i framtidens energiinfrastruktur när vi skall forma nästa generations försörjningslösningar som i allt högre grad kommer sammankoppla olika leverantörer och kunder i ett mer flexibelt och öppet energisystem.

Lagring av värme eller kyla i en byggnad med tung stomme ger lägre och mindre varierande effektbehov, ett mer komfortabelt inomhusklimat, minskad sårbarhet och lägre energiförbrukning. Det är viktigt att hitta en bättre balans mellan nyttan att göra energibesparingar och fördelarna att effektivisera kapacitetsbehovet. De allra flesta byggnader i de nordiska länderna är värme-och kyla tröga till sin natur, vilket innebär att stommen har en självreglerande förmåga att hålla rätt temperatur. Detta utnyttjas till väldigt liten utsträckning idag. Ett exempel är NODA Intelligent Systems Smart Heat Grid som gör det möjligt att interaktivt nyttja potentialen i enskilda byggnader.

Med kännedom om vilka byggnader kan låna ut värme kan man på ett kontrollerat sätt skjuta upp effektuttag med flera timmar både lokalt och i ett helt fjärrvärmenät. Det smarta styrsystemet avgör själv var det är lämpligt att låna effekt och ser till att lån ”lämnas tillbaka” i tid.

De nyttigheter man erhåller genom smart laststyrning är främst tre:

- reducera effekttoppar och därmed undvika onödig dyr spetsproduktion
- lagring i byggnader kan ersätta vattenackumulatorer, som är både investerings- och platskrävande
- lokal laststyrning inom ett område kan delvis lösa problem med flaskhalsar i distributionsnäten

Tillämpningar än så länge har legat på fjärrvärmenät. Något som skulle vara intressant att titta närmare på i framtiden är om liknande system som till värmelaststyrning även kan användas för att styra kyllast och hur en sådan styrning skulle kunna fungera.

15.3 OMVÄRLDSFRÅGOR

Vi har identifierat att officiell väderdata inte är helt transparent med dimensioneringsförutsättningar publicerade i olika källor. Att få svar på varför förhållanden är så och gå tillbaka till ursprungskällan till skillnader har inte visats sig möjlig. I USA används vanligen 2 olika dimensioneringstillstånd, kyldimensionering respektive fuktdimensionering. I Sverige är vi mindre vana vid denna användning. Exempelvis kan man föranledas att dra en slutsats att behov av avfuktning endast förekommer under ett fåtal timmar ca 50 per år när det egentligen kan röra sig om 1000 timmar per år.

När det gäller beräkning av ett kylbehov, så är kanske inte ett exakt rätt värde på det dimensionerande utelufttillståndet det viktigaste. Det finns betydande källor till att kylbehovet ändå varierar rätt stort. Konsulter lägger in säkerhetsmarginaler i beräkningarna. Dessutom skapas ett betydande kylbehov pga användningen inne i byggnaden, vilken kan variera i betydande omfattning mellan olika verksamheter.

När det gäller tekniker med sorptiva lösningar, där den fuktiga luftens egenskaper används för att kyla/värma och med inslag av avfuktning och befuktning för att på ett energieffektivt sätt skapa ett lämpligt inomhusklimat, då är det av stor vikt att utgå för ”riktiga” dimensionerande tillstånd.

En kanske inte så känd kunskap är att kvantifiera påverkan av den så kallade city-bubblan. Det är varmare inne i city än utanför. Men hur mycket varmare är de flesta inte medvetna om. Vanligen använder vi oss av väderstationer som ligger vid flygplatser. Flygplatserna är lokaliserade bortom bebyggelsen. Man har konstaterat skillnader, där det är 7°C varmare inne i citykärnorna i Köpenhamn, Malmö än ute i ytterområdena. Bedömning av kylbehov i byggnader kan således bli högre än vad väderstationernas information indikerar. Det betyder konkret att det finns en risk för att kyleffektbehoven har missbedömts om man strikt tagit tillgänglig väderdata i beaktande. Nu finns det i praktiken egentligen inget behov att hålla samma inomhustemperatur även vid extremtemperaturer. Vid utformande av kontrakt bör man ha möjlighet att föra in möjlighet att tillåta/acceptera släpande inomhustemperatur”. Man skulle även kunna överväga att koppla leveranser till mer lokala ”riktiga” utetemperaturer och inte ”missvisande” externa tillgängliga temperaturmätningar.

Något annat som fått ett ökat intresse är sk värmeböljeplanering. I exempelvis England och Frankrike är det numera ngt som ingår i beredskapsplaneringen. Detta är även något som vi anser att man på bredare front även borde ta till sig i planeringen i Sverige.

15.4 VÄRDESKAPANDE REFLEKTIONER

Den största nyttan med de föreslagna innovativa lösningarna är att komfortkrav för kunder kan tillfredställas både energieffektivt och med betydligt bättre än vad som genomgående råder i dagens fastighetsbestånd. Det inomhusklimat som vi idag till stor del av året inom den sk komfortzonen är långt ifrån bra. Vi gör bedömningen att detta kommer att bli föremål för nya och hårdare ställda krav. Våra identifierade innovativa lösningar kommer här att öppna möjlighet för energiföretagens strategiska positionering.

Förbättrad prestanda för olika lösningar behöver leda till en påverkan av ekonomin. Annars blir användningen och därmed genomslaget på marknaden begränsat. Här behöver två nyttigheter uppfyllas, påverkan med lägre kostnader för energibolaget samt för kunden en ekonomisk nytta. Hur detta avspeglas beror på hur prismodellen för fjärrkyla är uppbyggd och om den har en god transparens med kostnadsstrukturen.

I grunden förutsätts att en design av ett fjärrkylsystem föregåtts av affärsanalyser som gjorts under förstudie och projektgenomförandet vid systemetableringen. Det kan inte nog understrykas att det finns en grundläggande skillnad mellan fjärrkyla och fjärrvärme. Båda systemen bygger tekniskt på att pumpa vatten i rörsystem. Men fjärrkyla (i Europa) har som huvudmålgrupp fastighetsförvaltare av kommersiella lokaler. Fastighetsförvaltning har en direkt koppling till att skapa affärsvärden. Detta syns tidligt i årsrapporter och miljörapporter från fastighetsförvaltande kommersiella bolag, där Miljörapportering år ett allt större utrymme.

Primärt fokus har varit att hitta de fördelar som kan ge en ekonomisk vinning där möjligheten att öka returtemperaturerna kan uppvisa signifikanta ökningar som i sin tur skapar energibalanser som kan öka andelen frikyla med direkt minskar driftskostnader

På marknaden ser vi en ökad konkurrens av exempelvis bergvärmepumpar. Om bergvärmepumpar ersätter fjärrvärme minskar underlaget för att producera el med kraftvärme. För samhället innebär det stora utmaningar, speciellt mot bakgrund av den förestående avvecklingen av befintlig kärnkraft i Sverige. Risken är då att nuvarande export av el med låg CO_2-påverkan ersätts av import av el med mycket högre CO_2-innehåll. Om man dessutom premierar ökad introduktion av elbilar, som laddas på natten, så förbrukas vattenkraftmagasinen. Så länge inte en omställning till solceller eller annat skett kommer elimporten att växa ytterligare.

Att nyttja synergier med att kunna leverera både fjärrvärme och fjärrkyla till kunder kommer att vara av stor vikt för energiföretagen i konkurrensen med geoenergi/värmepumpar. Att undvika förlorad fjärrvärme leverans kan i många fall motiveras av att ha en begränsad vinstmöjlighet med leveranser Viktiga ingående parametrar är:

- Uteluftstillstånd för staden
- Temperatur och volymer för lokala tillgångar på frikyla
- Ekonomiska parametrar
- Marknad – kundinformation
- Kylbehov
- Databaser för investeringar och kostnader av kundens alternativ respektive fjärrkyla.

Returtemperaturen från den sorptiva hybriden öppnar potentialen att fjärrkylereturen kan ökas från dagens designdata på 16 till ca 22°C. Nyttan för kunden i rent ekonomiska termer, jämfört med konventionell fjärrkylelösning är med dagens förutsättningar dock begränsad. Här behöver incitamentet ges med nya prismodeller där flödesavgiften blir föremål för vidare analyser. Nyttan för leverantören är betingad av hur de lokala förutsättningarna är för frikyla. Två hypotetiska fall med fjärrkylsystem som kan nyttja ett begränsat ytvattenintag respektive kallt bottenvatten från havet eller en större sjö har analyserats. Sammanfattningsvis så kan sägas att leverantören har ett klart ekonomiskt intresse av tekniken förutsatt att mer frikyla kan tillföras systemet. Den ekonomiska nyttan är helt beroende på hur de lokala förutsättningarna är för tillgången på frikyla. Här

krävs kunskap om de lokala förutsättningarna med detaljerad information av temperaturvariationer, vattenströmmar och vattenvolymer.

Idag säljs i Sverige ca 50 TWh fjärrvärme och 1 TWh fjärrkyla. En nyckelfråga för branschen är att behålla fjärrvärmekunder. Förlorade fjärrvärmeaffärer kommer knappast att kunna ersättas med ökade fjärrkylaffärer i Sverige. En viktig aspekt är att lyckas med att nyttja synergierna med fjärrvärme och fjärrkyla. Om en fjärrvärmeaffär säkerställs genom att samtidigt sälja fjärrkyla så finns vinster att hämta.

Hur mycket man tappar på marginalaffären när kunder sätter in värmeåtervinning eller kopplar bort fjärrvärme beror naturligtvis på hur produktionsmixen ser ut. Värmeåtervinning kan ofta orsaka ett bortfall av värme motsvarnade hela kylbehovet i fastigheten. Vi har med några typexempel även visat på att ett bortfall av en fjärrvärmekund kan ha ett marginalvärde av ca 600-700 kr/MWh.

15.5 FLYTTA FRAM POSITIONERNA FÖR ENERGIFÖRETAGEN

Utöver de rent ekonomiska aspekterna med utnyttjande av bl a sorptiva tekniker så finns även en hygienisk aspekt. Obehag i form av luftfuktighetens inverkan kan reduceras. Möjlighet till uppfuktning under vintertid och att kunna avfukta under sommartid är en möjlighet som öppnas upp med sorptiva varianter av hybrid-lösningar. Att kvantifiera dessa komfortförbättringar i monetära värdringsmodeller är av komplex natur. Då det rör sig om att värdera en kombinerad försörjning av både kyla och värme blir en detaljerad energibalans komplicerad att hantera

Självklart vill vi även se om vi kan hitta andra fördelar med sorptiva lösningar och har då funnit andra dimensioner som vi upplever kan vara viktiga för att lyfta fram. Sorptiva lösningar skulle även kunna ge en flexibilitet och möjlighet att skapa en bra vistelemiljö i en byggnad där exempelvis man skulle kunna minska smittorisker för influensa spridning. Tillväxt och därmed spridning av virus kan begränsas vid luftfuktighet RH 40-60%. Vid framtida pandemirisk, så kan den sorptiva hybriden användas med ett extra elelement, vilket vi kallat pandemikoppling.

Genom att ställa in temperatur, fukthalt och luftväxling skulle man kunna minska risken för spridning av influensavirus. Ett annat mer direkt problemområde som vi upplevera idag med torr inomhusluft som skapar problem med torra ögon – vilket även förstärks i en arbetsmiljö där vi allt högre grad sitter framför en dataskärm under arbetsdagen. Vid skärmarbete blinkar vi inte tillräckligt ofta för förhindra uttorkning. Detta i samband med alldeles för torr luft innebär ett oupptäckt hälsoproblem. Det är numera bevisat att just torr luft innebär torra ögon. Svenska myndigheter är ännu inte uppdaterade på den medicinska vetenskapens forskningsresultat.

Energibolagen har genom möjligheten att leverera fjärrkyla en utomordentligt stor möjlighet att hjälpa fastighetsbranschen med att leverera bättre inneklimat. Det förutsätter naturligtvis att slutkunderna efterfrågar bättre klimat och att myndigheter tar tag i hälsoriskerna, genom nya krav och riktlinjer.

Vår bedömning av framtida behov är att hygienkrav kommer att lyftas högre upp i värdekedjan. Avfuktning periodvis under varma fuktiga sommardagar är naturligtvis en vinst genom att obehaget reduceras, som i sin tur leder till att man kan hålla högre lufttempertur utan att det upplevs som obehag. Det i sig är en besparing.

Miljömärkning av fjärrvärme är exempel på marknadsaktiviteter. Tidigare har branschen kunnat enkelt kunnat nyttja redovisningar om att fjärrvärmen inneburit stora miljövinster genom att olja för uppvärmning byggts bort. Idag ser vi exempel på att kritik mot att det kan finnas kvar lite olja som spets eller reserv i fjärrvärme-systement. Att fjärvärmen ersatt 90 % olja hos kunderna glöms ofta bort helt i debatten. Fokus ligger på den rest som återstår. Detta är rätt naturligt när man ser på förbättringsmöjligheter. Vi har dessutom via Boverkets fokus på köpt energi en snedvridning. Bränsleval skall vara teknikneutral och inte beroende på var de sker, kopplade till innanför fastighetens väggar eller utanför. Genom att bortse från att minskad fjärrvärme leder till reducerad elproduktion med kraftvärme så kan man lyfta fram värmepumpar som förnyelsebara, beroende på hur man allokerar elen.

Fjärrkyla har genom bättre SEER än för kylmaskiner uppfattats som en produkt som är förnyelsebar. Detta tack vara att man kunnat använda en hög andel frikyla. Vi vill med detta projekt se möjlighet att öka andelen frikyla.

Den stora nyttan för branschen ligger dock inom möjligheten att flytta fram positionerna för fjärrkyla. Detta genom att visa på brister i inomhusklimatet med oacceptabla nivåer på luftfuktighet. En framtida reglering inom detta område skulle ge stora vinster, så vi inte orsakar ohälsa genom uttorkning av ögon, eller reducera tillväxt av bakterier och virus. De innovativa lösningarna med exempelvis sorptiv teknik ger möjlighet att erbjuda energieffektiva lösningar för att åstadkomma bra inomhusklimat.

15.6 REKOMMENDATIONER TILL FORTSATT ARBETE

Att omsätta nya koncept för innovativa kundcentraler i form av den sorptiva hybriden kräver ett antal utvecklingssteg, före den kan omsättas i faktisk installation.

Första steget är att säkerställa beräkningsmetodik gällande värmeöverföring av ingående värmeväxlarytor. Kommersiellt tillgängligt finns idag endast vanlig värmedriven sorptiv kundcentral. Men en ”hybrid”-konfiguration med de nya extra batterierna har så vitt vi känner till inte prövats i verkliga förhållanden. Erfarenheten av branschens forskning och tillvaratagande av resultat är en trög process. Detta gäller även för tillämpning av relativt enkla och mindre komplicerade insatser med påvisad god ekonomi. En förklaring till detta ligger ofta i organisation och ansvarsfördelning. Någon måste driva frågan. I energibolagen har man historiskt alltid haft en större förmåga att göra produktionsrelaterade insatser, bygga nya produktionsanläggningar, byta bränsle mm. Den politiska aspekten med förändrade skatter påverkar starkt behovet av förändrad produktionsmix. Detta har fått till följd att man byggt upp stora kapitalvärden. Det har även fått till följd att insatser ofta blir relaterade just till produktionstekniska frågor. Den ökade konkurrensen på marknaden med

värmepumplösningar och energibesparingar innebär att bolagens intäkter sjunker. Att då fortsätta att investera tungt i nya produktionsanläggningar och för den delen även ytterligare distributionsledningar innebär att riskexponeringen ökar.

Ett ökat fokus på åtgärder som stärker balansräkningen kommer att bli än mer viktigt. Effektiviseringsåtgärder som ökar ΔT bör därför bli fortsatt intressant. I det perspektivet är de nya innovativa tekniker som lyfts fram i vårt FoU-projekt av värde. Dessutom visar vi på möjligheten att stärka energiföretagens positioner genom att visa på lösningar som kan tillgodose bättre inomhusklimat. Att tillämpa FoU i perspektivet riskhantering ger dock en hämmande effekt. Kommersiellt tillgängliga beprövade lösningar känns säkrare. Detta löses genom en utvecklad riskhantering.

För att kunder eller energibolag skall ta till sig ny teknik krävs två grundläggande drivkrafter.

- En ekonomisk fördel i ett livskostnadsperspektiv. Även om många i beslutsprocessen ser för snävt till lägsta investering.
- En långsiktigt hållbar lösning. Här ser vi den sorptiva hybriden som ett utmärkt exempel på att mervärden kan skapas. Dock krävs att förståelsen över hur dagens inomhusklimat ser ut och kopplingen till den ohälsa som detta leder till.

En knäckfråga är även den redan nämnda nuvarande tekniska snedvridningen orsakad av att Boverket i föreskrifter premierar reduktion av köpt energi. Reglering måste rimligen styra mot optimering mot lägre användning av primära resurser. Behovet av teknikoberoende villkor blir ännu mer tydligt när reglering straffar fjärrvärme och fjärrkyla, som vi nu visar erbjuder energieffektiva lösningar för att reducera problem med ohälsa förorsakad av alltför torr luftfuktighet inomhus.

15.7 TILLÄMPNINGAR PÅ KORT OCH LÄNGRE SIKT

Det finns ingen ”Quick-fix” med att nya innovativa lösningar direkt kan omsättas och generera vinster som vänder en befintlig affär från röda siffror. Har man behov av detta så finns det andra konkreta åtgärder, som genererar snabb utväxling. Då handlar det om att agera affärsmässigt, inte genom att implementera innovativa lösningar, från FoU-projekt. Ny kunskap är i de initiala stegen alltid förknippat med en form av risktagande. Om man har behov av att på kort sikt förbättra exempelvis en kylaffär så är det andra åtgärder som måste tas. För detta rekommenderas i stället en Affärsanalys och förslag till åtgärdsprogram. Fokus måste då ligga på intäktsäkring, marknadsfrågor, resursfrågor, hur ser organisationen ut, har man ett dedikerat team för kyla eller är det extra uppgifter man lagt på linjeorganisationen, se över kostnaderna, hantera synergier med fjärrvärme och fjärrkyla samt riskhantering. Detta är något som varje energibolag naturligt bör göra.

Resultaten från denna rapport får betraktas som mer värdefulla på längre sikt än nästa bokslut. Den kunskap som redovisas ger ett underlag för att stärka positioner för branschen. Kan lösningar tillämpas ges möjligheter till effektiviseringar på sikt.

De redovisade resultaten i denna rapport bedöms vara möjliga att tillämpa med varierande horisont. De relativt handfasta och konkreta förslagen som ny sekvensstyrning av reglerventiler samt PICV bör kunna provas av direkt. Närmast till hands ligger att något energibolag behöver ta ansvar för en tillämpning. Lämpligen har man i sitt kontaktnät goda relationer till kunder där man skulle kunna testa av tekniken. Naturligtvis behövs uppföljning med mätningar för att dokumentera resultaten. En fördel är att välja tillämpningsexempel där det redan finns tillgång till mätningar av den befintliga installationen snabbar på verifieringen av nyttan.

Den sorptiva hybriden uppvisar en potential för kraftigt förbättrade högre returtemperatur på fjärrkyla. Den ekonomiska värderingen av den sorptiva hybriden pekar på att förekommande nivåer på flödesavgifter på fjärrkyla inte ger tillräckligt med incitament för kunder att förbättra ΔT. En tydlig signal är att energiföretagen borde ta fram bättre prismodeller. Detta arbete både kan och bör startas omgående. Om vårt projekt snabbar på denna process så är detta en stor nytta som direkt kan omvandlas till ännu mer långsiktigt hållbar leverans av fjärrkyla.

Prosumerslösningar med smart-grid, såsom NODAs koncept med byggnader som ackumulatorer eller affärskoncept liknande Fortums Öppen Fjärrvärme där spillvärme återvinns tillämpas redan idag. Vi ser att detta kan växa till en betydligt mer omfattande verksamhet. Detta stärker dessutom kund-energiföretags relationen. Vattenkylning av micro-kretsar inom ICT är även en teknik som ligger nära till hands för ytterligare tillämpning vid exempelvis serverhallar. Effektivare och mindre chips kommer att kräva vätskekylning. Temperaturnivåer för kylningen gör att kylning kan ske med både fjärrkyla och fjärrvärmereturen.

När det gäller tillämpning av den sorptiva hybriden och de olika redovisade varianterna så är det ett mer komplicerat och omfattande arbete att omsätta i en tillämpning. Att det är av intresse för leverantörer av fjärrkyla med lösningar som indikeras kunna prestera betydande förbättringar av ΔT än konventionella lösningar är naturligtvis intressant. Dåligt ΔT är ett välkänt problem i branschen. Få system uppvisar prestanda motsvarande dimensioneringsförutsättningarna. Vi har lagt mycket branschforskning kring framförallt effektivisering av fjärrvärmecentraler under åren. Kunskapen kring vad man borde göra får anses vara känd. Ändå registreras inte att effektiviseringar kommer till stånd i den omfattning som kunde förväntas. Frågan är då vad detta beror på? Svaren torde ligga kring ett antal knäckfrågor.

- Vem äger frågan
- Energiföretaget har kunskapen kring nätens drifttekniska prestanda.
- Med tillgängliga mätdata har energiföretget kunskap om vilka kunders system som har sämst prestanda eller orsakar störst ekonomisk påverkan på driften.
- Kunderna äger installationerna där åtgärder behöver ske.
- Det delade ansvaret gör att inget tar tag i frågan.
- Vem har nyttan
- Energiföretaget behöver inte pumpa lika mycket vatten om ΔT förbättras.
- Energiföretagets SSEER förbättras vid bättre returtemperaturer. Dvs lägre driftkostnader och bättre miljöprestanda.

- Flaskhalsar i distributionsnäten kan uppstå on ΔT är begränsande.
- Driften fungerar ändå
- Det går att pumpa runt vatten ineffektivt. Kunderna får värme eller kyla ändå.
- Men det krävs kunskap för effektivt driva systemen.
- Prismodeller med större inslag av flödesavgifter används inte.
- Kunskapen kring behov av åtgärder hos kundsidan varierar. Större kunder har dedikerad driftpersonal. Mindre kunder saknar ofta detta. Förvaltningen är i detta segment ofta en oavlönad bisyssla.
- Andra frågeställningar prioriteras
- Fastighetsförvaltning handlar om att skapa värden. Att hyra ut ytor har högre prioritet än att förbättra driften av energianläggningar.
- Ökade driftkostnader tas ut av kundens-kund, om helt saknar kunskap eller insikt om den aktuella driftens effektivitet.
- Synliga värden i form av byggnadsåtgärder har högre prioritet hos fastighetsägare, så att värdet inte faller.
- Energiföretagen prioriterar investeringar inom produktion och distribution före driftkostnader såsom effektiviseringsåtgärder hos kunder skulle bokföras.

Om nu förutsättningarna för att ta tag i välkänt problemområde och med uppenbar nytta inte går snabbare framåt med förbättringar av ΔT, vad krävs för att introducera nya sorptiva tekniker som förbättrar ΔT.

Före en ny innovativ teknik blir tillgänglig krävs en utvecklingsfas. Denna innehåller steg med tester, pilotanläggningar och mät-och utvärderingar för verifiering av funktionen. Först efter dessa steg har nivån på risker reducerats till en rimlig nivå, så att den kan anses närma sig kommersiellt tillgänglig.

En grundförutsättning för att introducera exempelvis den sorptiva hybriden är att det finns en efterfrågan av produkten inom kundsegmenet. Idag är kunderna än så länge inte tillräckligt informerade om rådande inomhusklimat. Man känner väl till temperatur eller om det upplevs som drag. Men nivån på luftfuktigheten och kopplingen till hälsorisker saknar användarna kunskap kring. Här har myndigheter en viktig uppgift att fylla genom att ta till sig de senaste medicinska rönen och att omsätta detta i rekommendationer och att sätta relevanta gränsvärden. Denna process förväntas inte ske omgående.

Energibolagen har genom möjligheten att leverera fjärrkyla en utomordentligt stor möjlighet att hjälpa fastighetsbranschen med att leverera bättre inneklimat. Det förutsätter naturligtvis att slutkunderna efterfrågar bättre klimat och att myndigheter tar tag i hälsoriskerna, genom nya krav och riktlinjer.

Vår bedömning av framtida behov är att hygienkrav kommer att lyftas högre upp i värdekedjan. Avfuktning periodvis under varma fuktiga sommardagar är naturligtvis en vinst genom att obehaget reduceras, som i sin tur leder till att man kan hålla högre lufttempertur utan att det upplevs som obehag. Det i sig är en besparing. Den sorptiva hybriden är i detta sammanhang en mer energieffektiv lösning än standard avfuktning.

Hur besvaras frågan kring fjärrvärme och fjärrkyla i kombination? Finns där ett ”optimalt” sätt att förbättra konkurrensförmågan? Kombinationen är i bemärkelsen att separata konventionella centraler med VVX för värme och kyla

kan ersätts med den sorptiva hybriden. Detta öppnar upp för andra returtemperaturer främst för fjärrkyla. Systemens returtemperatur på fjärrvärme är totalt sett svårare att påverka med sorptiv teknik. Främst beroende på att vi med fjärrvärme har mycket bostäder anslutna. Helt styrande blir hur klassiska gamla VVS system dimensioneras och i vad mån lågtemperatursystem, injusteringar används. Har man dessutom villor anslutna så förstör dessa ofta returen ytterligare. Samma gäller med lokala distribuerad installationer av absorptionskyla, vilket har ett lågt ΔT. På fjärrvärme blir påverkan med sorptiva hybrider som på fjärrkyla hos kommersiella lokaler därför inte lika utslagsgivande.

I bemärkelsen konkurrensförmåga så ligger detta mycket i de mer visionära omvärldsaspekterna vi gjort fördjupande beskrivningar kring. Energiföretagen kan om och när högre krav på bättre luftkvalitet erbjuda energieffektiva lösningar för hantering av fuftfuktighet. När det gäller affärsaspekter så ligger att utnyttja synergier mycket kring att genom att kunna tillhandahålla fjärrkyla så säkerställer man att kunden inte kopplar bort fjärrvärme eller installerar bergvärme, vilket reducerar kraftvärmeunderlaget. Affärsmässighet här ligger mycket i att ha smarta prismodeller.

15.8 BEHOV AV AKTÖR FÖR NÄSTA STEG

En grundförutsättning för att det skall kunna ske en introduktion av de innovativa lösningarna är att det behöver finnas en leverantör/entreprenör. För detta finns i dagsläget ingen klar lösning att tillgå. Ett antal industriaktörer har varit knutna till projektet. Om dessa har intresse och möjlighet att ta till sig de nya innovativa lösningarna återstår att se. Det kan inte bortses från att utveckling av koncepten till kommersiella produkter är insatser som kommer att kräva resurser. Vi har sett det som viktigt att se möjligheter för lösningar på en internationell marknad. Om industriföretag skall ta till sig innovationerna krävs en potentiell global marknad.

En helt ny installation av en prototyp sorptiv hybrid är ett stort steg att få till. En smart lågbudget variant vore att se över om det finns någon befintlig konventionell värmedriven sorptiv kyla installation som med rimliga insatser kan kompletteras och uppgraderas till en sorptiv hybrid.

Med detta skulle man kunna initiera ett första pilotprojekt. Oavsett detta så är behovet att det måste till en aktör som har ett långsiktigt affärsintresse.

Vi ser inte att det inom ramen för Lunds tekniska högskola finns resurser att bygga vidare på. Labbet vid Värme & Kraft kommer inte att vara tillgängligt som resurs, för de ändamål som aktuellt teknikområde kräver.

15.9 REKOMMENDATION FÖR FRAMTIDA TEKNISKA BESTÄMMELSER, F:102

Dagens tekniska bestämmelser F:102 Fjärrkylecentralen - Utförande och installation, mars 2012 bör till nästa version ta hänsyn till ett antal frågeställningar och uppslag som framkommit i föreliggande rapport. Detta bör inbegripa kartläggning och, vid behov, experimentell verifiering av respektive problematik.

Övervägande till framtida Tekniska bestämmelser för anslutning till Fjärrvärme och Fjärrkyla är något som Svensk Fjärrvärmes Kundcentralgrupp är huvudman

för avseende att bedöma lämpligheten, resurser och tidsaspekter kring. Här följer ett antal exempel där vi pekar på behov av bearbetning.

15.9.1 Styrstrategier för begränsning av primär returtemperatur

I tekniska bestämmelser F:102 gällande fjärrkylacentraler tas det upp vad som skall hända om den primära returtemperaturen vid värmeväxlaren börjar sjunka under ett förinställt värde. I princip samma text förekommer på tre ställen:

- F:102 - i kapitel 5 Utförande av fjärrkylcentraler - underavsnitt 5.2.3 Reglerutrustning,
- F:102 - i kapitel 6 Fjärrkylcentralens utrustning - underavsnitt 6.2.3 Styr- och reglersystem
- F:102 - samt i kapitel 8 Kopplingsprinciper, som huvudtext.

Detta är förvirrande för läsaren, speciellt då texterna inte är helt identiska. Lämpliga styrstrategier är ett viktigt ämne och borde ha ett dedicerat avsnitt. Vilken strategi man väljer beror på den sekundära kretsens uppbyggnad och borde därför beskrivas samordnat med information som ges i kapitel 8.

I F:102 - avsnitt 6.2.3 finns det två underpunkter som beskriver giltiga styrstrategier (benämns ”reglersekvens”):

6.2.3.1. Börvärdesförskjutning av framledningstemperatur

och

6.2.3.2. Individuell aggregatreglering

För att kunna uttala sig om ifall dessa strategier fungerar tillfredställande får man beskriva först varför den primära returtemperaturen i FK-centralen kan börja sjunka.

Ett grundläggande fall (fall 1) är att returtemperaturen sjunker eftersom den sekundära returtemperaturen gör det. Detta sker eftersom den primära returtemperaturen i en värmeväxlare är alltid något lägre än den inkommande sekundära temperaturen.

Ett annat fall (fall 2a) är att sekundärflödet blir för högt för primärsidans aktuellt tillgängliga flödeskapacitet. Centralens styrutrustning har då öppnat styrventilen helt i strävan att möta effektbehovet och primärflödet kan inte öka mer). Detta kan inträffa om differenstrycket i nätet har blivit för lågt eller om tryckfallet på primärsidan är för högt (t ex försmutsad värmeväxlare eller filter i FK-centralen). Konsekvensen blir att den sekundära framledningstemperaturen sjunker p g a effektbrist, vilket, så länge sekundärflödet kan öka, leder till att den sekundära returtemperaturen sjunker och ”drar med sig” den primära returtemperaturen, se fall 1.

En annan variant (fall 2b) är att värmeväxlarens termiska kapacitet överskrids, d v s sekundärkretsen begär mer last än värmeväxlaren är dimensionerad för. Är styrventilen överdimensionerad eller nätets differenstryck högre än det ventilen är dimensionerad för då finns det flödeskapacitet, värmeväxlarens dimensionerande flöde överskrids och den primära returtemperaturen sjunker.

Låt oss börja med fall 2b. I det fallet kan vi anta att sekundärkretsen fungerar korrekt men att effektuttaget är för högt. Här skulle strategin *Individuell aggregatreglering* fungera. Den förordar att sekundärkretsens kylobjekt nedregleras en efter en enligt fastställd prioritetsordning, vilket leder till att sekundärflödet minskar. Primärflödet genom värmeväxlaren kan då också minskas och balansen är återställd.

Även i fall 2a kommer strategin *Individuell aggregatreglering* att fungera även om kylleveransen blir då lägre än vad kunden abonnerar för.

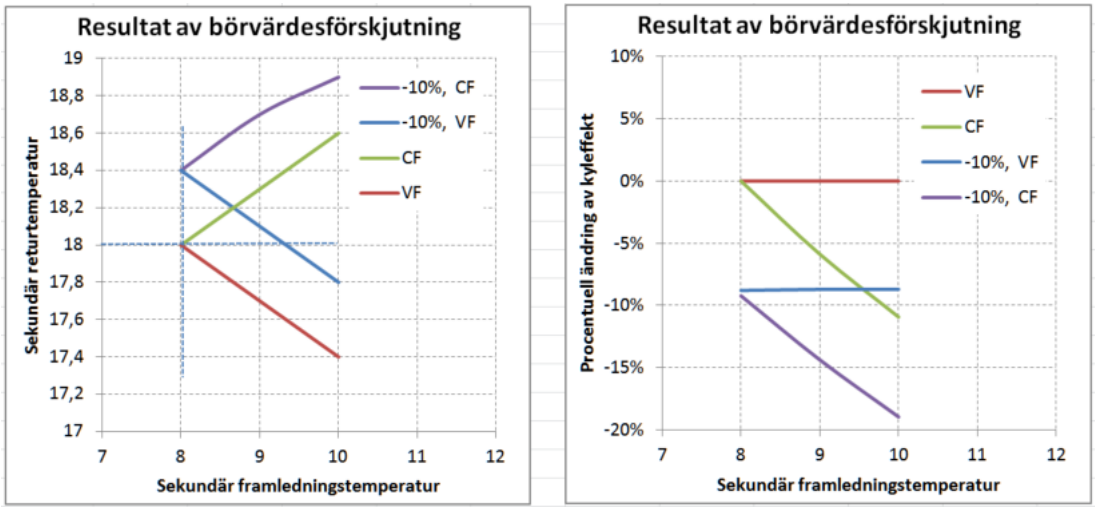
Fall 1 är mycket besvärligare eftersom det typiskt handlar om olika typer av felfunktioner i sekundärkretsen. Vi utgår ifrån att systemet fungerade korrekt innan behov av returtemperaturbegränsning uppstått. Således måste det finnas en akut anledning till att den sekundära returen börjat sjunka. En typisk anledning, utöver ren felfunktion, är att ett börvärde har överskridits i något större kylobjekt i sekundärkretsen så att objektets styrventil(er) har öppnat betydligt mer än vanligt, kanske helt, med dålig avkylning som följd. Händelsen behöver inte betyda överbelastning utan tvärtom, det kan även handla om ett kylobjekt som, av en eller annan anledning, har kopplas bort på ett olämpligt sätt, t ex har fläkten stängts av utan att sekundära styrventiler signaleras att stänga helt i ett kylbatteri. Resultatet blir att en större mängd inte alls kylt eller dåligt avkylt kylvatten går till returledningen och sänker returtemperaturen.

I det här fallet blir *Individuell aggregatreglering* verkningslös eftersom om vi enbart mäter returtemperaturer vid värmeväxlaren i FK-centralen då vet vi inte vilket kylobjekt som bör stängas av först och främst. Det blir till och med så att om man följer en given prioritetsordning och börjar stänga av objekt som egentligen fungerar väl då kommer returtemperaturen att öka ytterligare då den relativa mängden av dåligt avkylt vatten kommer att öka. Således är det dags att titta på strategin *Börvärdesförskjutning av framledningstemperatur*.

Strategin innebär att man varsamt förskjuter uppåt börvärde för den sekundära framledningstemperaturen. Vad händer då i sekundärkretsen? Kylobjekt som funktionsmässigt liknar radiatorer i en enkel värmekrets dvs. arbetar vid förutbestämt flöde kommer att reagera med minskad avgiven effekt och höjd returtemperatur, vilket var det som eftersträvades. Detta gäller även termostatförsedda objekt eftersom termostatventiler är tänkta som begränsare av flödet och, i en korrekt utförd installation, kan inte öka flödet över det nominella. Man kan även tänka sig en situation då man har en möjlighet att begränsa alla styrventiler i kylkretsen så att dessa inte får överskrida läget som de haft vid tidpunkten då börvärdesförskjutning träder i kraft. Observera dock att sådan styrstrategi skulle inkludera *Individuell aggregatreglering*.

Låt oss undersöka hur ett luftkylbatteri reagerar på en börvärdesförskjutning, se Figur 300. Vid framledningstemperatur 8°C och full last är kylvattnet returtemperatur 18°C. Vid börvärdesförskjutning utan att flödet ökar (CF) kommer returtemperaturen öka och kyleffekten minska. Men om styrutrustningen tillåts att öka kylflödet för att upprätthålla rätt lufttemperatur och kyleffekt då kommer returtemperaturen att minska (VF). I figuren visas även inverkan av sänkt luftflöde i kylbatteriet genom varvtalsreglering av fläkten eller by-pass (-10%, VF).

Returtemperaturen ökar utan att någon börvärdesförskjutning behövs och ändras vid börvärdesförskjutning beroende på om kylflödet varierar eller är konstant.



Figur 300: Resultat av börvärdesförskjutning av kylvattnets framledningstemperatur i ett luftkylbatteri vid konstant (CF) respektive reglerat (VF) kylvattenflöde. Det visas även ett fall där luftflödet reducerats med 10%. Beräkning utfört med programmet Coils. Luftparametrar RH 50% och 25°C in, 16°C ut vid kylvattenparametrar 8°C in och 18°C ut.

Av exemplet ovan ser vi att enkel börvärdesförskjutning får negativa konsekvenser för returtemperaturen, i alla fall så länge den lokala styrutrustningen fortsätter att reglera kylobjekt ”som om ingenting hade hänt” och kompenserar börvärdeshöjningen genom att öka kylvattenflödet. Här får man påpeka att flödet inte kan ökas mer när respektive styrventil öppnat helt och/eller cirkulationspumpen går med fullt varvtal (vid automatisk konstanthållning differenstryck). Här brukar dock finnas betydande marginaler, främst p g a överdimensionering. I vårt exempel har flödet tillåtits öka 45% som mest.

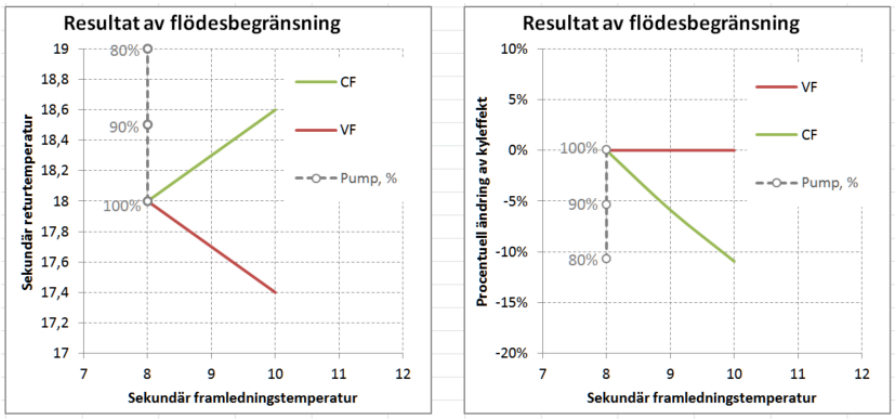
Ett undantag skulle utgöras av ett system utrustad med korrekt inställda flödesbegränsande styrventiler (PICV). Vad händer med kretsens returtemperatur där? Vi har antagit att höjningen av returtemperaturen har orsakas av ett felfungerande kylobjekt. Anta att objektet förbrukar 7% av kretsens kylflöde och att denna mängd av flödet passerar objektet oavkylt. Det betyder att resterande 93% 18-gradigt kylvatten (retur från de övriga kylobjekten) blandas med 7% 8-gradigt kylvatten (direkt från framledning). Den resulterande returtemperaturen blir 17,3°C och den primära returen drivs ner. Som en åtgärd förskjuts då framledningens börvärde upp till 10°C. I ett perfekt fall med konstant sekundärflöde ökar då returtemperaturen från de fungerande kylobjekten till 18,6°C (se den gröna kurvan i Figur 300) och returtemperaturen ökar tillbaka till 10*0,07 + 18,6*0,93 = 18°C.

Så börvärdesförskjutning kan fungera som avsett vid måttlig kortslutning. Vid större kortslutning kommer dock returtemperaturen inte kunna återgå till sitt ursprungliga värde. Slutsatsen är att en börvärdesförskjutning enligt ovan gör nytta enbart under ganska speciella förhållanden och vid mindre störningar i kylkretsen.

15.9.2 Flödesbegränsning i kylkretsen

Finns det något annat enkelt sätt att sänka den sekundära returtemperaturen genom åtgärder i FK-centralen? Det förefaller så. Diskussionen ovan visar att det är fördelaktigt att kunna hindra sekundärflödet från att öka. Trots det kan det i vissa system vara så att pumpen varvas upp automatiskt vid börvärdesförskjutning eftersom den är tryckstyrd. Så en första åtgärd vid börvärdesförskjutning bör vara att hindra flödesökning i sekundärkretsen. Kan man fjärrstyra pumpen och har tillgång till mätning av kylvattenflöde så kan flödesbegränsning ordnas och då kommer börvärdesförskjutningen fungera enligt principen ”konstantflöde (CF)”, se igen Figur 300.

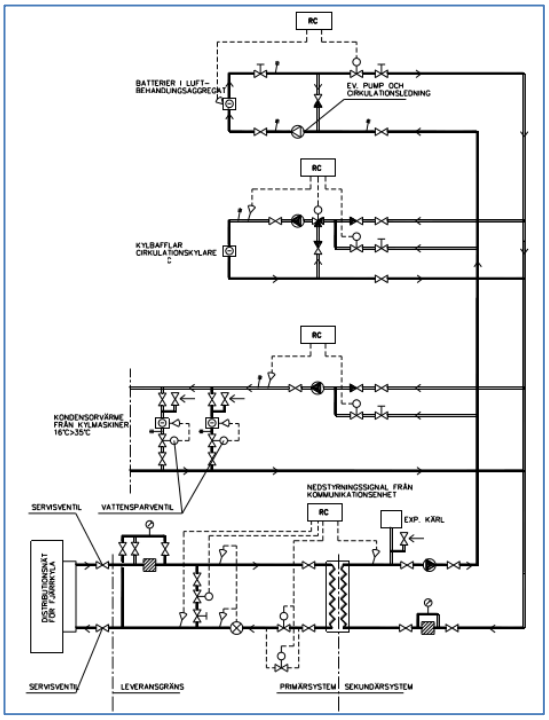
Frågan är dock varför man skall börvärdesförskjuta överhuvudtaget? Börvärdesförskjutning motverkar vårt mål att behålla god avkylning och kyleffektleverans i alla kylobjekt. Kan man styra cirkulationspumpen då kan man begränsa/minska sekundärflödet direkt utan att behöva förlita sig på att styrventiler begränsar flödet. Figur 301 visar igen förlopp för ändring av sekundär returtemperatur vid börvärdesförskjutning vid fullt luftflöde, som i Figur 300, och ett nytt förlopp, då kylflödet genom det aktuella kylbatteriet sänks till 90% resp 80% av det nominella. Den sekundära framledningstemperaturen lämnas oförändrad. Det visar sig att när kylflödet minskas till 80% då sjunker kyleffekten lika mycket som vid börvärdesförskjutning till 10°C men returtemperaturen ökar nästan dubbelt så mycket och blir 19°C. Flödesbegränsning förefaller alltså vara en både säkrare och effektivare metod att höja sekundär returtemperatur än börvärdesförskjutning är.



Figur 301: Resultat av flödesbegränsning jämfört med börvärdesförskjutning av kylvattnets framledningstemperatur i ett luftkylbatteri vid konstant (CF) respektive reglerat (VF) kylvattenflöde (se Figur 300).

15.9.3 Inverkan av shuntgrupper på returtemperaturbegränsning

Resonemanget ovan gäller objekt anslutna till sekundärkretsen direkt, utan shuntning. Situationen blir något annorlunda om shuntar finns i systemet vilket de oftast gör, se den vanligast förekommande kopplingsprincipen enligt F:102 (4), Figur 302.



Figur 302: Den vanligast förekommande kopplingsprincipen vid anslutning till fjärrkyla. Källa: (4). Observera användning av shuntning med eller utan trevägsventil.

Shuntar används i kylobjekt på samma sätt som vid uppvärmning, för att genom att variera det inkommande vattnets temperatur reglera avgiven effekt. Detta sker genom blandning av framledningsvattnet med objektets returvatten. För att åstadkomma detta behövs det en cirkulationspump (ibland ejektorpump) som kan övervinna det lokala differenstrycket mellan fram- och returledningen vid objektet, samma som kylvattnets tryckfall över objektet. Om kylobjektets/shuntens temperaturbörvärde för inkommande vattnet är lägre än kretsens framledningstemperatur uppstår det blandning och objektets flödesbehov från kylkretsen kan bli betydligt lägre än objektets lokala cirkulationsflöde. Om shuntens styrventil öppnar helt, t ex vid full last, då blir flödesbehovet från kylkretsen maximalt, lika med cirkulationsflödet. Observera även att objektets returtemperatur inte påverkas av shuntens blandningsförhållande så länge shunten klarar att hålla det inställda temperaturbörvärdet.

Hur påverkar detta styrstrategin *Börvärdesförskjutning*? Är styrventilen (eller en trevägsventils primära port) delvis öppen då kommer ökning av kretsens framledningstemperatur minska marginalen mellan framledningstemperaturen och shuntens börvärde, vilket kommer att öka objektets flödesbehov och inget annat. Sekundärkretsens flöde kommer att öka utan att returtemperaturen påverkas fram till att börvärdesförskjutningen överskrider den ursprungliga marginalen mellan kylkretsens temperaturbörvärde och de lokala börvärdet. Slutligen, när shuntens styrventil blir helt öppen (ingen blandning) då kan den inte begära mer flöde av kylkretsen och då kommer objektet bete sig som om det var direktanslutet, utan shunt.

Således, den förväntade ökningen av kylkretsens returtemperatur vid *börvärdes-förskjutning* fördröjs så länge det i kylkretsen finns shuntar som inte är helt stängda (styrventil helt öppen).

Hur påverkas shuntar av minskat cirkulationsflöde i kylkretsen? Egentligen borde vi tala om minskat tillgängligt differenstryck vid kylobjekten. När kylflödet genom ett shuntreglerat objekt minskar då begär dess effektreglering att kylvattentemperaturen sänks (det lokala temperaturbörvärdet sänks). Detta gör att shuntens styrventil öppnar och flödet ökar. Vad som händer vidare beror på hur pass sofistikerad flödesbegränsningen i FK-centralen är. Med tillgång till flödesmätare kan vi hindra flödet i kylkretsen från att öka genom att sänka det tillgängliga differenstrycket ännu mer (cirkulationspumpen varvas ner). När alla styrventiler öppnat har vi samma situation som vid direktanslutning.

Det speciell omständighet bör nämnas här, nämligen att varje shunt har sin egen cirkulationspump. Detta gör att i shuntar utan trevägsventil (vilket är en rekommenderad lösning numera) kan ofrivillig recirkulation (blandning) uppstå om det tillgängliga differenstrycket i kylkretsen blir mycket lågt. Shuntar med trevägsventil kan i sin tur försöka suga vatten från kylkretsen med sin lokala cirkulationspump. Situationer ovan kunde uppstå vid en mycket kraftig flödesbegränsning. Under alla omständigheter borde dessa dock leda till förbättrad avkylning och nämns här i förklarande syfte.

15.9.4 Råd angående sekvensstyrda styrventiler

Följande råd vad gäller sekvensstyrning av styrventiler bör infogas i F:102.

- En logaritmisk styrventil (öppnas först) i kombination med en linjär styrventil (öppnas sist) bör användas. Ventilernas styrsignalförhållande bör anpassas så att den första ventilens flödeskarakteristik så litet som möjligt avviker från en karakteristik som en enskild stor ventil skulle haft i samma applikation (se avsnitt 6.1 och 6.2).
- Som linjär ventil kan en logaritmiskstyrventil med anpassat ställdon användas (log-lin omvandling).
- Vid stabilitetsproblem vid små laster välj en mindre styrventil som första. Ett storleksförhållande 1:4 kan vara lämpligt. Överväg PICV som första styrventil. Alltid anpassa styrsignalförhållande mellan den första och den andra ventilen. Se Figur 121 ochFigur 122.
- Vid stabilitetsproblem hos en enskild stor styrventil komplettera med en parallell liten styrventil (eventuellt PICV) som öppnar först. Ett storleksförhållande 1:10 kan vara lämpligt.
- Vid stabilitetsproblem nära övergång mellan den mindre och den större ventilen se till att den andra ventilen arbetar som linjär och överväg mjukvarumässig anpassning, se Figur 123.

Följande råd vad gäller temperaturstyrning bör infogas i F:102:

- Vid långvarig avvikelse av sekundär framledningstemperatur från dess börvärde vid stora kyllaständringar kontrollera om regulatorns parametrar kan justeras (högre förstärkning, lägre integrationstid) utan att risk för instabil

reglering föreligger. Överväg framkoppling från sekundärt kylvattenflöde för att snabba upp reglering, se avsnitt 6.2.3.

15.9.5 Övriga aspekter

Då det finns ett gemensamt behov av att överföra kunskap om hur kylsystem effektivt fungerar kopplat till fjärrkylsystem så bör det övervägas att beskriva lämpliga lösningar. Tekniska bestämmelser i F:102 är dock ”skall krav”. Det bör därför övervägas att komplettera med avsnitt kring ”Råd och anvisningar”.

Då inget primärsystem kan prestera bättre än vad sekundärsystemet presterar behöver större fokus läggas på hur de husinterna systemen designas. Att beskriva funktionskrav i de Tekniska bestämmelserna är självklart. Men vår bedömning är att det vore värdefullt att beskriva lämpliga lösningar på sekundärsidan. Systemperspektivet som helhet måste fungera för att verksamheten skall bli effektiv, med lägsta möjliga primärenergianvändning.

Att komplettera F:102 med de olika innovativa lösningarna kan med fördel implementeras i form av typritningar. Vi föreslår även att fördelar och möjligheter med tekniken beskrivs.

Ett av denna rapports innovativa lösningar, vilket vi valt att kalla ”Sorptiv hybrid” innebär att en kombinerad lösning ersätter konventionella separata fjärrvärme-centraler och fjärrkylcemntraler. Dettan betyder i förlängningen ett behov att de Tekniska bestämelserna F:101 (7) och F:102 (4) behöver täcka in kombinerade centraler. Därför bör det övervägas om en ny teknisk bestämmelse skall benämnas ”Kundcentraler” och omfatta tekniska bestämelser för både värme ocjh kyla.

DEL B - fördjupningsavsnitt

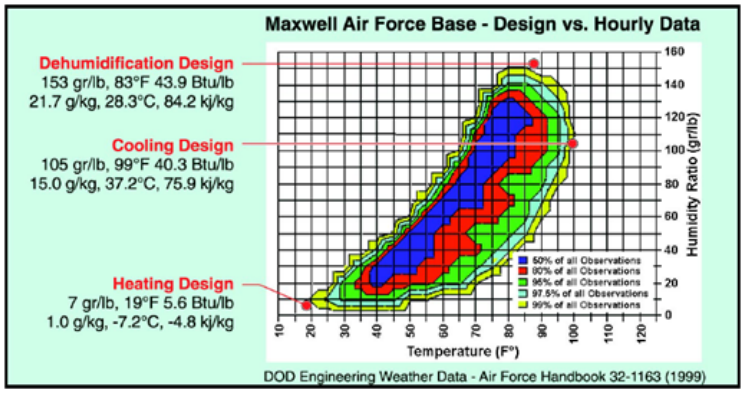
16 Val av Dimensionerande utelufttillstånd

16.1 DIMENSIONERANDE OCH ANDRA UTELUFTTILLSTÅND

När det gäller at välja svensk dimensionerande utelufttemperatur för ett byggnadsuppvärmningssystem finns sedan länge en beprövad praxis som vi inte kommer att behandla utom perifert. Däremot kommer vi att, med Luleå som konkret exempel, visa att uteluftens fukthalt under en betydande del av vintern är så pass liten, särskilt i norra Sverige, att det blir mycket torrt inomhus. Detta är sig inte nytt, men kombinerat med uppdaterad medicinsk kunskap (se avsnitt 19.4) som visar evidens för besvär av torr luft, i synnerhet torra ögon, framstår det som angeläget att man i Sverige ändrar praxis så att det blir standard att uppfukta torr vinterluft. En av våra innovativa kundcentrallösningar är lämplig för detta.

Men när det gäller dimensionerande utelufttillstånd på sommaren för ett byggnadskylsystem är läget mindre klart, och den praxis som finns kan ifrågasättas. Vi har haft olika kontakter för att utröna om det finns några officiella gällande svenska regler eller standarder. Enligt SMHI är det Boverket som numera har ansvaret för frågeställningen, men där har man ingen bestämd uppfattning i frågan. Vilket tillstånd man ska välja kan ha stor betydelse för hur aktuell en vis teknisk lösning kan vara.

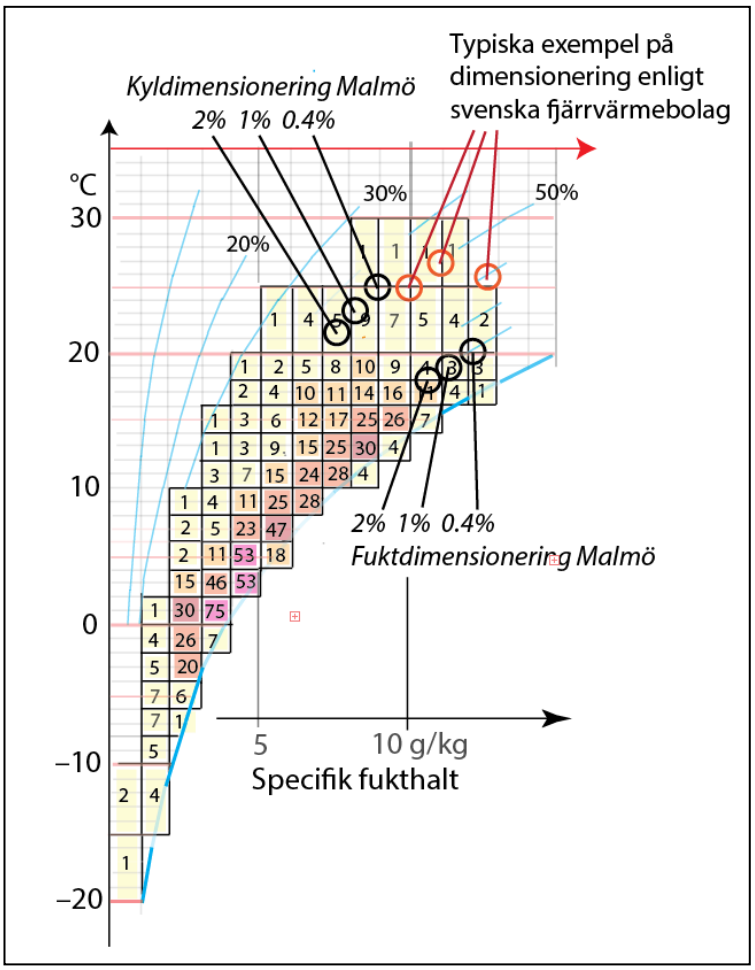
I Danmark (givetvis med undantag för Färöarna och Grönland), där klimatet varierar relativt lite inom landets begränsade yta, är det ganska enkelt och explicit: I en ny utgåva av standard DS 469:2013 anges att kylanläggningar ska dimensioneras för ett utetillstånd om 26°C och 60% relativ fukthalt. Normen har en intressant bestämmelse: Kyldistributionssystem i byggnader ska dimensioneras för en framledningstemperatur om minst 10°C och en returtemperatur om minst 15°C.



Figur 303: Två typer av dimensionerande utelufttillstånd på sommaren och ett på vintern enligt amerikansk praxis (ASHRAE) (135). Exemplet avser orten Maxwell Air Force Base.

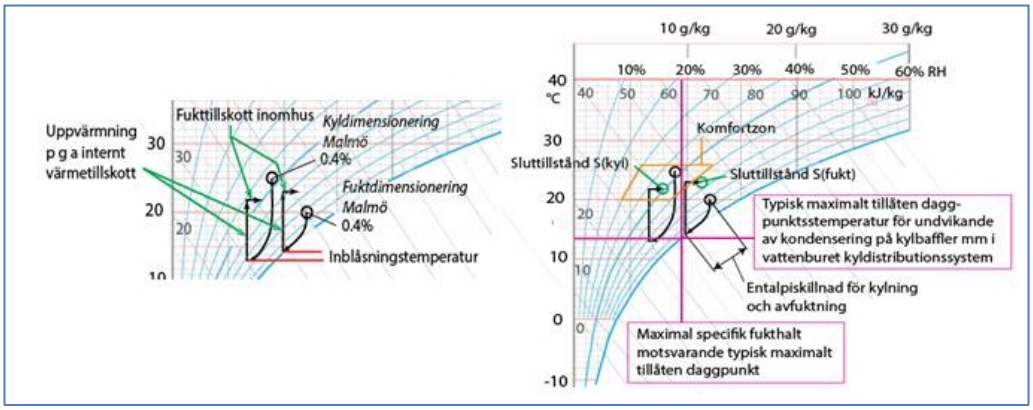
I Danmark har man, som i andra länder, av tradition ofta dimensionerat enligt den internationella praxis om ca. 6/12°C, även om det i allmänhet knappast är optimalt för fjärrkyletillämpningar.

Tysk och engelsk standard refererar till amerikansk standard. Enligt denna, som definierats av den amerikanska VVS-tekniska föreningen ASHRAE (135), finns två dimensionerande tillstånd se Figur 303 ”Cooling Design” (svenska: Kyldimensionering) och ”Dehumidification Design” (svenska: Fuktdimensionering).



Figur 304: Intervallindelat Mollierdiagram med angivande av tillstånd för kyl- och fuktdimensionering (tre olika sannolikhetsnivåer) och några typiska dimensioneringstillstånd som svenska fjärrvärmebolag anger i sina anslutningsbestämmelser.

Figur 304 är ett Mollierdiagram motsvarande det psykrometriska diagrammet i Figur 303. Av diagrammen kan man avläsa hur temperaturen och luftfuktigheten för ett genomsnittligt driftår är fördelade, visat på två olika sätt: I Figur 303 indikeras det med konturlinjer; t.ex. har man 60 % av tiden tillstånd som representeras av det blåa området. I Figur 304 finns inom varje ruta en siffra som anger hur många promille av året som temperaturen och luftfuktigheten har ett värde inom de intervall som rutans sidor definierar. För vardera av de båda typerna uteluftsdimensionering finns tre fall: Kyldimensionering 0.4 % indikerar att temperaturen under 0.4 % av tiden är högre än 25°C. Fuktdimensionering 0.4% indikerar att den specifika (absoluta) fukthalten under 0.4 % av tiden är större än 9 g/kg.



Figur 305: Exempel på avkylningsförlopp från de båda typerna av dimensioneringsfall.

Figur 305 illustrerar innebörden av de båda typerna dimensioneringsfall. I de båda Mollierdiagrammen visas exempel på ett avkylningsförlopp från tillståndet Kyldimensionering respektive Fuktdimensionering och på tillståndsförlopp med uppvärmning och fukttillskott (till följd av internvärmetillskott och av fukt som avges av människor mm). I det högre diagrammet finns två olika gränser för acceptabla sluttillstånd inomhus. Den ena typen av gräns är en komfortzon, den andra typen är en gräns för den specifika fukthalten som är entydigt kopplad till en daggpunkt. Det sistnämnda villkoret är aktuellt om det finns ett vattenburet kylsystem med kylelement, till exempel bafflar på vars yta det kan ske fuktutfällning om luftens daggpunkt ligger över ytans temperatur.

I det valda exemplet har kylbatteriet dimensionerats så att, när utelufttillståndet är lika med det kyldimensioneringstillståndet man valt, sluttillståndet inomhus är godkänt i relation till de båda gränserna komfortzon respektive daggpunkt. Men om utelufttillståndet är lika med valt fuktdimensioneringsstånd hamnar man i sluttillståndet strax till höger om komfortzonen och en bit över den maximalt tillåtna daggpunkten.

I Figur 304 har inlagts tre typiska exempel på dimensioneringstillstånd som svenska fjärrvärmebolag anger i sina anslutningsbestämmelser. Här förenklar man genom att ange ett enda tillstånd. Särskilt exemplet 25°C och 50 % relativ fukthalt kan innebära att man under för många timmar om året får för hög fukthalt inomhus.

Dimensionerande tillstånd vid värmning och kylning av byggnad på olika svenska orter

Station:	*Uppvärmning: 99.6% t_a	99% t_a	**Kyldimensionering: 0.4% t_a	0.4% t_{vm}	1% t_a	1% t_{vm}	2% t_a	2% t_{vm}	***Avfuktningsdimensionering: 0.4% t_d	0.4% t_{vm}	1% t_d	1% t_{vm}	2% t_a	2% t_{vm}
Göteborg Landvetter	-16.2	-12.1	25.8	16.6	23.9	15.8	22.0	14.8	15.9	18.7	15.0	17.7	14.1	16.7
Göteborg Säve	-16.1	-12.2	25.3	16.8	23.4	16.1	21.6	15.6	17.0	19.8	16.0	19.1	15.1	16.1
Jönköping	-20.0	-15.1	26.1	16.2	23.9	15.4	22.0	14.6	15.9	18.3	14.9	17.5	14.0	16.7
Kalmar	-15.0	-12.0	26.0	17.4	24.0	16.8	22.4	15.7	17.0	20.7	15.9	19.6	14.9	18.8
Karlsborg	-16.5	-12.9	24.7	17.0	22.8	16.1	21.1	15.4	16.2	20.1	15.3	19.1	14.4	18.2
Karlstad	-20.6	-17.3	25.1	17.1	23.2	16.4	21.5	15.5	17.0	19.4	16.0	18.5	15.1	17.9
Kiruna	-30.2	-27.0	21.0	13.5	19.0	12.4	17.0	11.3	12.4	15.3	11.3	14.8	10.2	13.8
Malmö	-13.9	-10.1	25.0	16.9	23.1	16.3	21.8	15.7	17.7	20.1	16.8	18.9	15.3	18.2
Östersund/Frösön	-25.8	-21.6	23.2	14.6	21.2	13.9	19.3	13.0	13.4	17.1	12.4	16.0	11.5	15.4
Söderhamn	-21.4	-17.8	24.9	16.7	22.9	15.6	21.1	14.9	16.0	19.4	14.7	18.6	13.9	17.6
Stockholm Arlanda	-18.9	-15.0	26.8	17.1	24.8	16.1	22.8	15.2	17.0	19.2	15.9	18.3	14.9	17.6
Stockholm Bromma	-18.3	-15.0	26.1	17.1	24.2	16.2	22.5	15.4	17.2	19.8	16.1	19,0	15.1	18.1
Sundsvall	-25.5	-22.1	24.0	16.9	22.1	15.2	20.4	14.6	16.5	18.8	15.2	17.5	14.2	16.6
Ungskär	-11.9	-8.9	21.5	18.3	20.2	17.4	19.2	16.6	18.0	20.3	17.0	19.2	16.1	18.5
Uppsala	-19.9	-16.2	25.3	16.8	23.7	16.2	21.8	15.2	16.4	20.4	15.2	19.2	14.2	8.2
Visby	-11.2	-8.9	24.1	17.1	22.2	16.7	21.0	16.0	17.8	19.8	16.8	19.0	16.0	18.3

*Uppvärmning: t_a = torr temperatur som överskrids 99.6 respektive 99% av tiden
**Kyldimensionering t_a = torr temperatur som överskrids 0.4, 1 respektive 2% av tiden med t_{vm} = medelvärde av tillhörig våt temperatur
***Avfuktningsdimensionering: t_d = daggpunktstemperatur som överskrids 0.4, 1 respektive 2% av tiden med t_{vm} = medelvärde av tillhörig våt temperatur

Källa: VVS-tekniska Föreningen 2000 & ASHRAE

Figur 306: Dimensionering utelufttillstånd på sommaren enligt VVS-tekniska Föreningen, år 2000.

Med utgångspunkt i de båda nämnda dimensioneringskriterierna har amerikanska ASHRAE publicerat individuella kriterier för en lång rad orter, inte enbart i USA, utan även för många andra länders specifika orter. På basen av detta har den svenska VVS-Tekniska Föreningen år 2000 publicerat värden för 16 orter, Figur 306.

12 *Dimensionerande uteluftstillstånd*

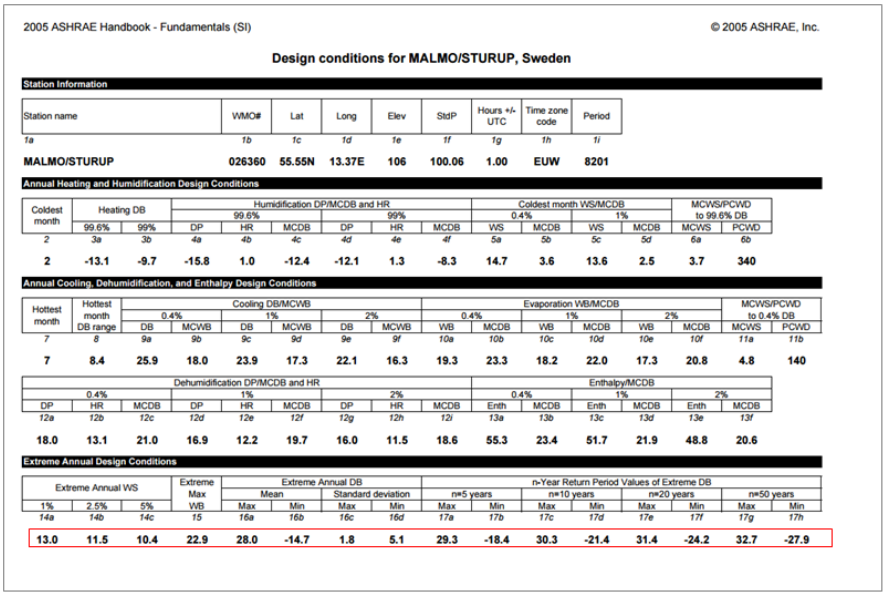
Ortens DUT sommar

Den dimensionerande temperatur och relativ fukt som vi ska kyla uften ifrån sommartid kan erhållas via statistik från Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, SMHI. Nedanstående utdrag ur dessa data visar ortens högsta värden. Statistiken bygger på att värdena överskrids maximalt 50 timmar/år.

ORT	DUT 50 °C	Relativ fukt %
Borlänge	28	36
Linköping	27	42
Växjö	27	42
Örebro	27	42
Malmö	26	48
Halmstad	26	47
Stockholm	26	45
Sundsvall	26	41
Gävle	26	39
Jönköping	25	51
Kalmar	25	48
Östersund	25	46
Luleå	25	46
Umeå	24	48

Figur 307: Dimensionerande utelufttillstånd enligt en svensk tillverkare. Källa: IV Produkt AB (136).

Enligt våra kontakter inom fjärrvärmebranschen förefaller denna standard inte vara allmänt bekant. Företaget IV Produkt AB har i en utmärkt skrift (136) publicerat en annan tabell Figur 307, där man säger att den baseras på statistik från SMHI. Varken kontakter till IV Produkt eller SMHI har dock lett till någon precis information om vad detta innebär konkret. I publikationen ges ett exempel på typiskt svenskt angivande av gränser för inomhuskomfort (återges i avsnitt 19).



2005 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI) © 2005 ASHRAE, Inc.

Design conditions for MALMO/STURUP, Sweden

Station Information

Station name	WMO#	Lat	Long	Elev	StdP	Hours +/- UTC	Time zone code	Period
1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i
MALMO/STURUP	026360	55.55N	13.37E	106	100.06	1.00	EUW	8201

Annual Heating and Humidification Design Conditions

Coldest month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB	
	99.6%	99%	99.6%			99%			0.4%		1%			
			DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD
2	3a	3b	4a	4b	4c	4d	4e	4f	5a	5b	5c	5d	6a	6b
2	-13.1	-9.7	-15.8	1.0	-12.4	-12.1	1.3	-8.3	14.7	3.6	13.6	2.5	3.7	340

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions

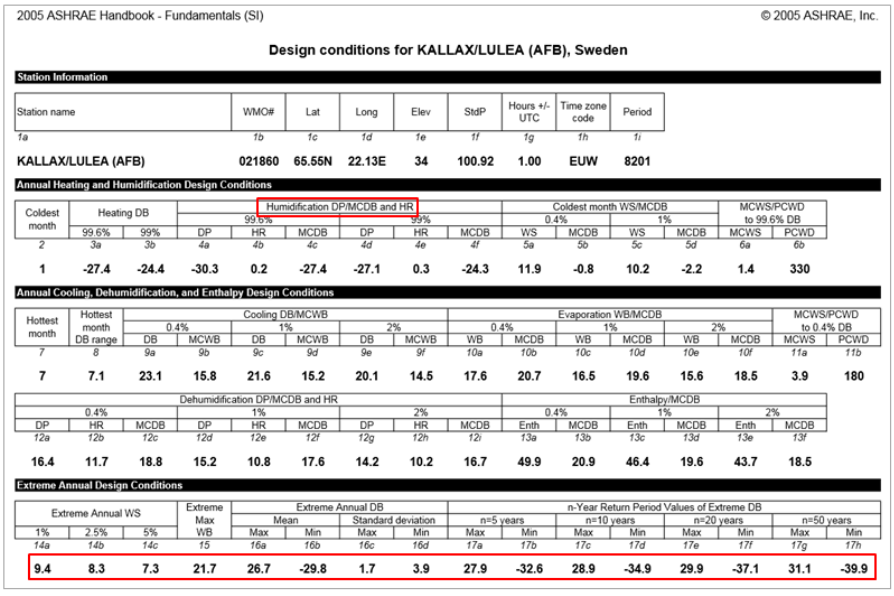
Hottest month	Hottest month DB range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%			
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD
7	8	9a	9b	9c	9d	9e	9f	10a	10b	10c	10d	10e	10f	11a	11b
7	8.4	25.9	18.0	23.9	17.3	22.1	16.3	19.3	23.3	18.2	22.0	17.3	20.8	4.8	140

Dehumidification DP/MCDB and HR									Enthalpy/MCDB					
0.4%			1%			2%			0.4%		1%		2%	
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB
12a	12b	12c	12d	12e	12f	12g	12h	12i	13a	13b	13c	13d	13e	13f
18.0	13.1	21.0	16.9	12.2	19.7	16.0	11.5	18.6	55.3	23.4	51.7	21.9	48.8	20.6

Extreme Annual Design Conditions

Extreme Annual WS			Extreme Max	Extreme Annual DB				n-Year Return Period Values of Extreme DB							
				Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years	
1%	2.5%	5%	WB	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
14a	14b	14c	15	16a	16b	16c	16d	17a	17b	17c	17d	17e	17f	17g	17h
13.0	11.5	10.4	22.9	28.0	-14.7	1.8	5.1	29.3	-18.4	30.3	-21.4	31.4	-24.2	32.7	-27.9

Figur 308: Utdrag ur dimensioneringstabell för Malmö. Källa: ASHRAE (137).



2005 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI) © 2005 ASHRAE, Inc.

Design conditions for KALLAX/LULEA (AFB), Sweden

Station Information

Station name	WMO#	Lat	Long	Elev	StdP	Hours +/- UTC	Time zone code	Period
1a	1b	1c	1d	1e	1f	1g	1h	1i
KALLAX/LULEA (AFB)	021860	65.55N	22.13E	34	100.92	1.00	EUW	8201

Annual Heating and Humidification Design Conditions

Coldest month	Heating DB		Humidification DP/MCDB and HR						Coldest month WS/MCDB				MCWS/PCWD to 99.6% DB	
	99.6%	99%	99.6%			99%			0.4%		1%			
			DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	WS	MCDB	WS	MCDB	MCWS	PCWD
2	3a	3b	4a	4b	4c	4d	4e	4f	5a	5b	5c	5d	6a	6b
1	-27.4	-24.4	-30.3	0.2	-27.4	-27.1	0.3	-24.3	11.9	-0.8	10.2	-2.2	1.4	330

Annual Cooling, Dehumidification, and Enthalpy Design Conditions

Hottest month	Hottest month DB range	Cooling DB/MCWB						Evaporation WB/MCDB						MCWS/PCWD to 0.4% DB	
		0.4%		1%		2%		0.4%		1%		2%			
		DB	MCWB	DB	MCWB	DB	MCWB	WB	MCDB	WB	MCDB	WB	MCDB	MCWS	PCWD
7	8	9a	9b	9c	9d	9e	9f	10a	10b	10c	10d	10e	10f	11a	11b
7	7.1	23.1	15.8	21.6	15.2	20.1	14.5	17.6	20.7	16.5	19.6	15.6	18.5	3.9	180

Dehumidification DP/MCDB and HR									Enthalpy/MCDB					
0.4%			1%			2%			0.4%		1%		2%	
DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	DP	HR	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB	Enth	MCDB
12a	12b	12c	12d	12e	12f	12g	12h	12i	13a	13b	13c	13d	13e	13f
16.4	11.7	18.8	15.2	10.8	17.6	14.2	10.2	16.7	49.9	20.9	46.4	19.6	43.7	18.5

Extreme Annual Design Conditions

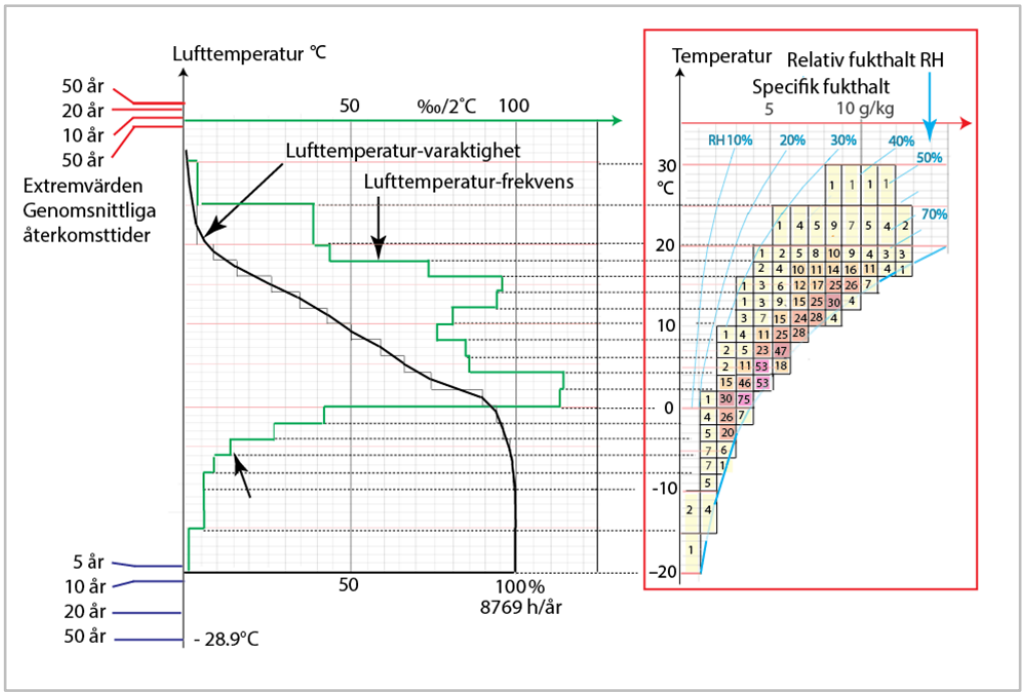
Extreme Annual WS			Extreme Max	Extreme Annual DB				n-Year Return Period Values of Extreme DB							
				Mean		Standard deviation		n=5 years		n=10 years		n=20 years		n=50 years	
1%	2.5%	5%	WB	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
14a	14b	14c	15	16a	16b	16c	16d	17a	17b	17c	17d	17e	17f	17g	17h
9.4	8.3	7.3	21.7	26.7	-29.8	1.7	3.9	27.9	-32.6	28.9	-34.9	29.9	-37.1	31.1	-39.9

Figur 309: Utdrag ur dimensioneringstabell för Luleå. Källa: ASHRAE (137).

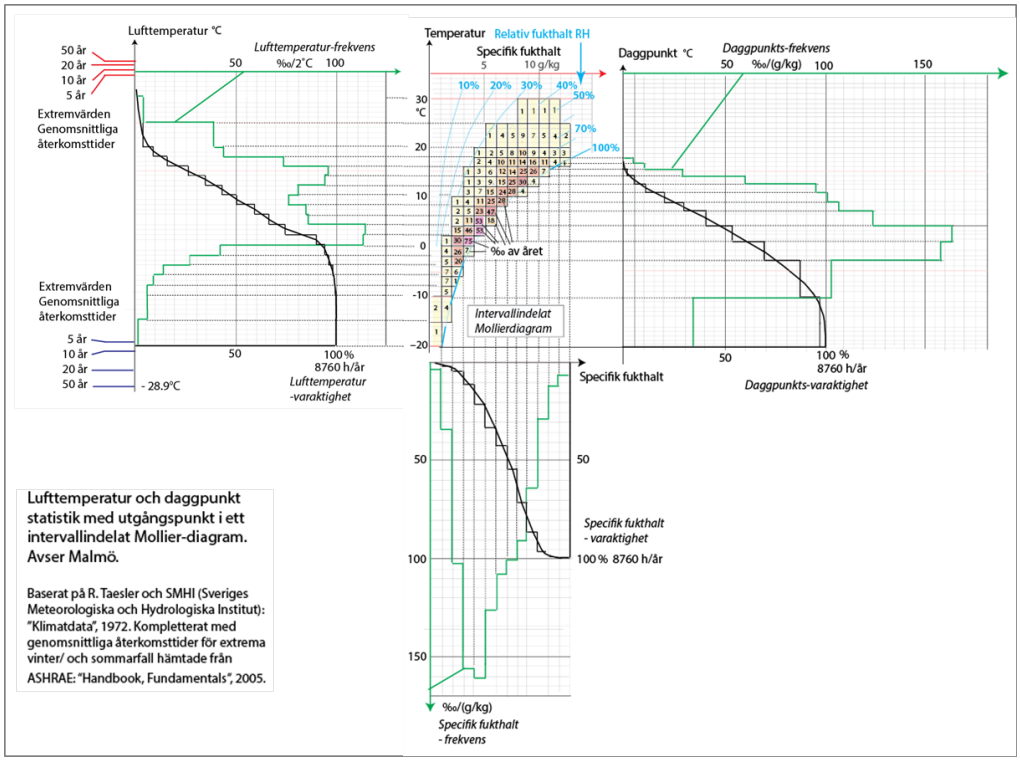
Tabellerna i Figur 308 och Figur 309 är utdrag ur detaljerade dimensioneringsvägledningar som ASHRAE (137) har publicerat för Malmö respektive Luleå (de båda orterna här valda som exempel), med angivande av

sommardimensioneringstillstånd, motsvarande det som anges i Figur 304 och Figur 306 och vinterdimensioneringstemperatur. I det senare fallet finns två sannolikhetsnivåer; t.ex. anger 99 % att man under 99 % procent av tiden har en högre temperatur, och därmed att man accepterar att inomhusluftens temperatur under 1% av tiden kan bli för låg.

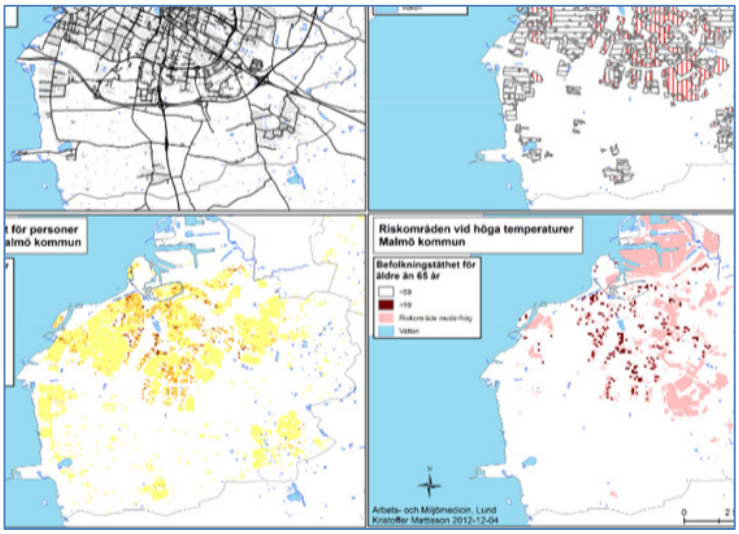
Figur 310 visar för tydlighetens skull första steget i framtagande av det intervallindelade Mollierdiagrammet. Figur 311 visar hur diagrammet sammanhänger med bl.a. varaktighetskurvor för temperaturen (denna typ av kurva ser man tämligen ofta i praktiska anvisningar och andra publikationer) och daggpunkten. Den senare kommer att kommenteras nedan.



Figur 310: Framtagande av intervallindelat Mollierdiagram, kopplat till lufttemperaturvaraktighet.



Figur 311: Intervallindelat Mollierdiagram för Malmö och tillhöriga diagram med varaktighetskurvor för lufttemperaturen, den specifika fukthalten och daggpunkten, jämte tillhöriga frekvensdiagram för temperaturen och fukthalten.



Figur 312: Kartor avsedda för hantering av värmeböljor i Malmö. Källa: (138).

Som visas i Figur 313 kan värmeöar enligt en tysk dissertation (139) förorsaka upp till 7°C höjd temperatur i Malmö och Uppsalas stadskärnor. I ett läge med värmeö varierar dennas intensitet med läget inom staden på ett komplicerat sätt, beroende på bebyggelse, närvaro av vägar med asfalt, vegetation mm. För Malmö hittar man i beredskapsplanen för Skåne (138) vid värmeböljor kartor Figur 312 med

indelning av staden i områden av olika karaktär, t en karta som visar andelen personer över 65 år, en parameter som är av betydelse för risken att drabbas av akuta hälsobesvär vid en värmebölja. Sådana kartor kan underlätta för t ex hemtjänst att prioritera insatser.

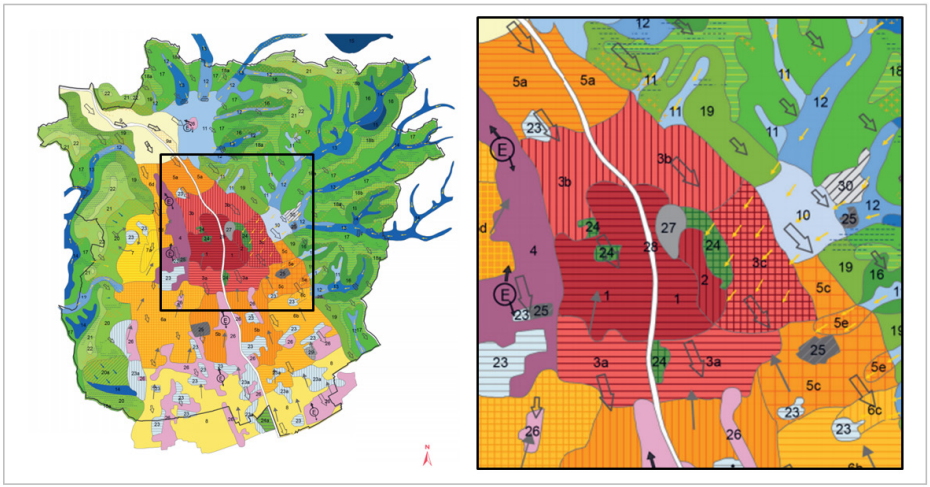
European cities and maximum urban heat islands (°C):

Lund (Sweden)	2	Sheffield (UK)	7
Parma (Italy)	3	Uppsala (Sweden)	7
Reykjavik (Iceland)	3	Zagreb	7
Lünen (Germany)	3.5	Athens (Greece)	7.5
Osnabrück (Germany)	3.5	Averio (Portugal)	7.5
Biel (Switzerland)	4	Essen (Germany)	7.5
Reading (UK)	4.4	Karlsruhe (Germany)	7.5
Lisbon (Portugal)	4.5	Moscow (Russia)	7.8
Annecy (France)	5	Barcelona (Spain)	8
Fribourg (Switzerland)	5	Bucharest (Romania)	8
Gothenburg (Sweden)	5	Helsinki (Finland)	8
Giessen (Germany)	5.5	Lodz (Poland)	8
Cologne (Germany)	5.7	Sverdlovsk (Russia)	8
Freiburg (Germany)	5	Utrecht (Netherlands)	8
Graz (Austria)	6	Amsterdam (Netherlands)	8.7
Rome (Italy)	6	Irkutsk (Russia)	9
Stockholm (Sweden)	6	Berlin (Germany)	10
Szeged (Hungary)	6	Birmingham (UK)	10
Vienna (Austria)	6	Cita (Russia)	10
Bochum (Germany)	6.6	Dortmund (Germany)	10
Malmö (Sweden)	7	London (UK)	10
Munic (Germany)	7	Lipeck (Russia)	12

Källor: WHO & Wienert

Figur 313: Listamed övertemperatur i Europeiska städer pga fenomenet värmeöar. Källa: U. Wienert, Universität Essen 2001 (139).

Figur 314 visar ett exempel på en detaljerad karta för dimensionering med hänsyn till en stads (Graz i Österrike) mikroklimatologi vid en värmebölja. (140)



Figur 314: Exempel på karta för dimensionering med hänsyn till en stads (Graz i Österrike) mikroklimatologi vid en värmebölja. Källa: Geoportal Graz (140).

I bl. a. Tyskland finns därutöver riktlinjer för hur man ska kvantifiera värmeöar vid dimensionering, med hänsynstagande till mikroklimatologin, i form av en VDI-Richtlinie 3785, (141). Figur 314 är ett exempel på en karta med indelning i s.k. klimatoper som är små delområden som beter sig kvantitativt likartat.

Table A2.61 Climate change dry bulb temperatures (1% exceedence) for London Heathrow

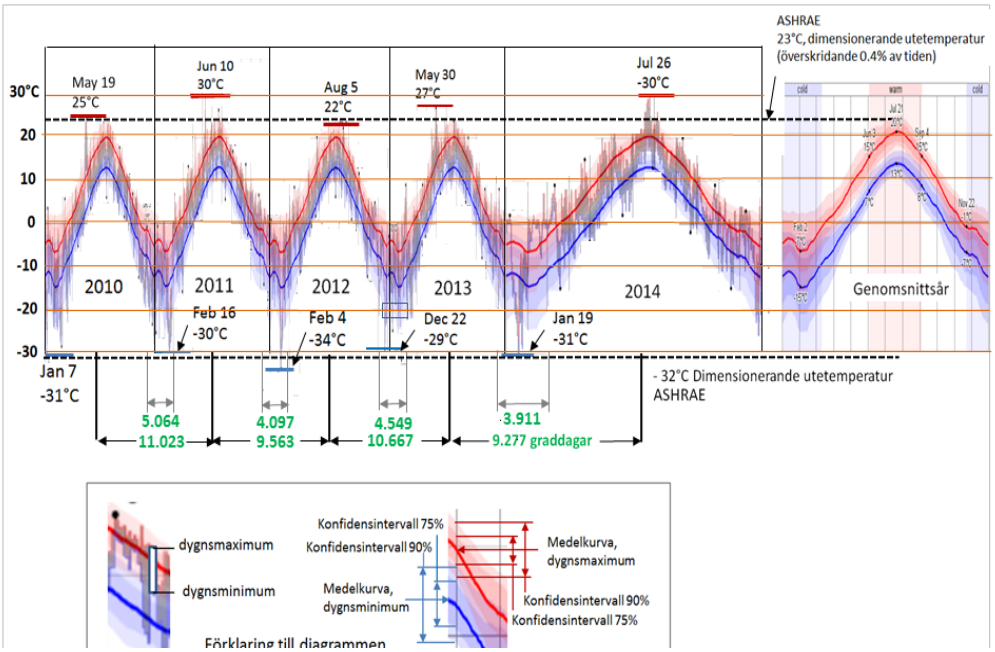
Hour	Dry Bulb temperature (°C) for stated scenario					
	1970	2020s (A2 and B2)	2050s (B2)	2050s (A2)	2080s (B2)	2080s (A2)
0	18.2	19.6	20.8	21.1	21.8	23.3
1	18.7	19.9	21.0	21.3	21.9	23.3
2	18.2	19.4	20.4	20.7	21.3	22.6
3	16.8	18.0	19.1	19.4	20.0	21.3
4	17.2	18.4	19.5	19.8	20.4	21.7
5	18.3	19.5	20.6	21.0	21.6	23.0
6	19.9	21.2	22.4	22.7	23.5	24.9
7	21.8	23.3	24.6	24.9	25.7	27.4
8	23.3	25.0	26.6	27.0	27.9	29.8
9	24.5	26.4	28.1	28.6	29.7	31.8
10	25.5	27.7	29.6	30.1	31.3	33.6
11	26.5	28.8	30.8	31.4	32.6	35.1
12	27.1	29.6	31.7	32.4	33.6	36.3
13	27.6	30.1	32.3	33.0	34.3	37.0
14	27.7	30.2	32.5	33.2	34.5	37.3
15	27.7	30.3	32.4	33.11	34.4	37.2
16	27.7	30.1	32.2	32.9	34.2	36.9
17	27.4	29.8	31.8	32.4	33.6	36.2
18	26.8	29.1	31.0	31.5	32.7	35.1
19	25.8	27.9	29.7	30.2	31.3	33.5
20	24.4	26.3	28.0	26.5	29.5	31.5
21	22.7	24.4	26.0	26.4	27.3	29.3
22	20.9	22.5	23.9	24.3	25.2	27.0
23	19.3	20.8	22.1	22.5	23.3	24.9
24	18.1	19.6	20.8	21.1	21.8	23.3

A1 = High emissions A2= Medium-High emissions
B1 = Low emissions B2 = Medium-Low emissions

Källa: CIBSE: "Gudie A: Environmental Design 2015".

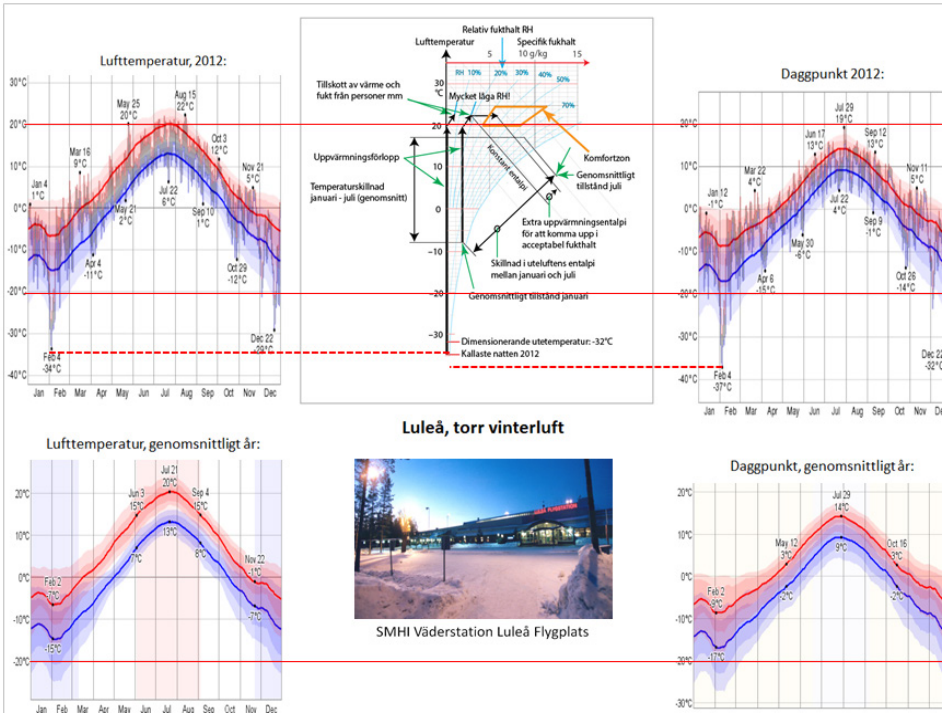
Figur 315: Dimensionerande utelufttemperatur för London/Heathrow med hänsynstagande till förutsedda framtida klimatförändringar. Källa: CIBSE (142).

En annan intressant komplettering av dimensioneringsanvisningar hittar man i England, där den VVS-tekniska organisationen CIBSE (142) publicerat tabeller med dimensioneringstemperaturer för olika orter med hänsynstagande till förväntade klimatförändringar enligt olika framtidsscenarier; Figur 315 som avser London/Heathrow är ett exempel på en sådan tabell.



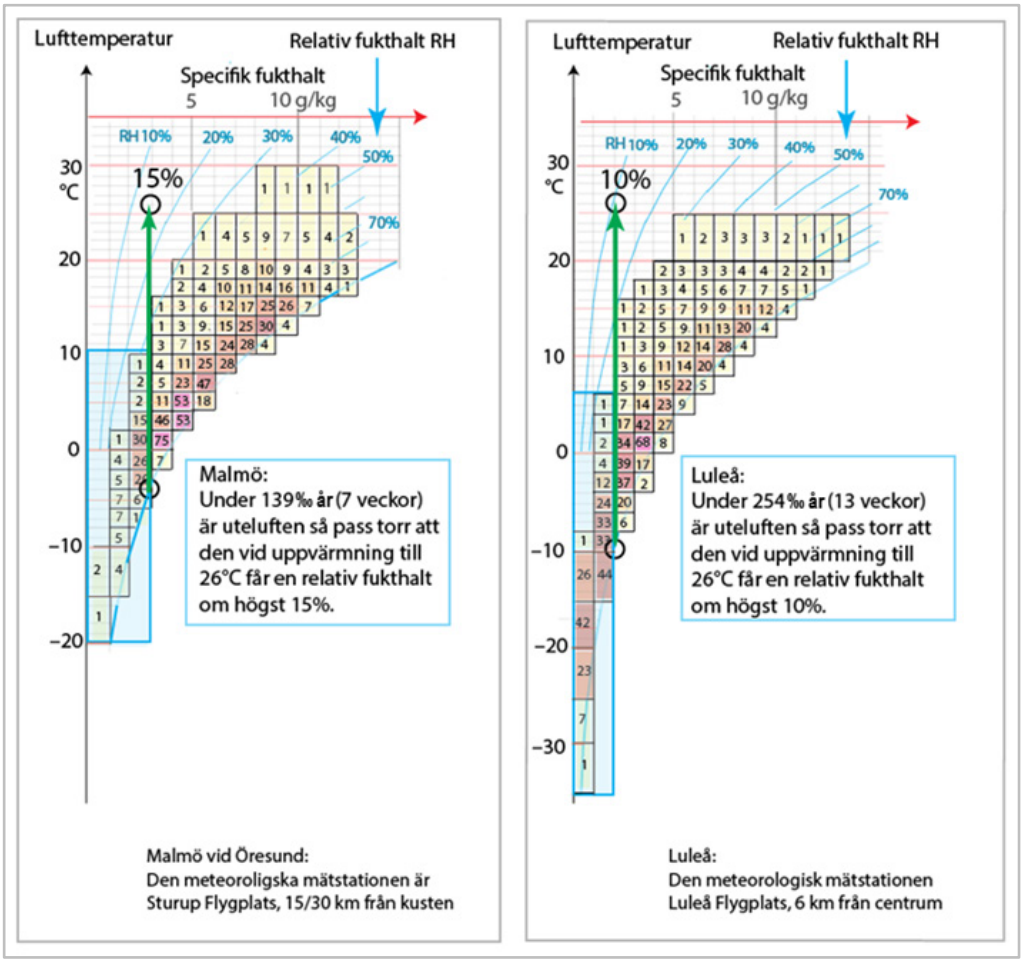
Figur 316: Förlopp av utelufttemperatur i Luleå 2010 – 2014. Källa: Weatherspark (131).

Figur 316 visar utetemperaturförloppet i Luleå under åren under 2010 t o m 2014, förutom (längst till höger) ett diagram som visar ett genomsnittligt förlopp. För åren 2010 t o m 2013 har förloppen komprimerats något i horisontalled, for att de ska bli plats med förlopp för alla åren. Diagrammet har sammanställts av diagram för de enskilda åren, ur den öppna databasen ”Weatherspark” (131) på nätet, i likhet med andra diagram återgivna i denna rapport. Under temperaturförloppet finns en ruta med förklaring av diagrammens uppbyggnad: Det som visas är, med rött, temperaturmaxima under enskilda dygn, och med blått temperaturminima under de enskilda dygnen. Med svaga röda och blåa fält (på sina ställen är det tyvärr inte möjligt att avläsa) markeras konfidensintervall. För varje år har i Figur 316 markerats maximi- och minimivärden. I syfte att fokusera på vinterförloppen anges med grönt daggradtal för en kortare eller längre (3 månader respektive 1 år) period innehållande vinterns lägsta temperatur. Den för alla åren lägsta temperaturen -34°C uppträdde vintern 2012/13, men räknat i graddagar var denna vinter inte den kallaste, det var vintern 2010/11.



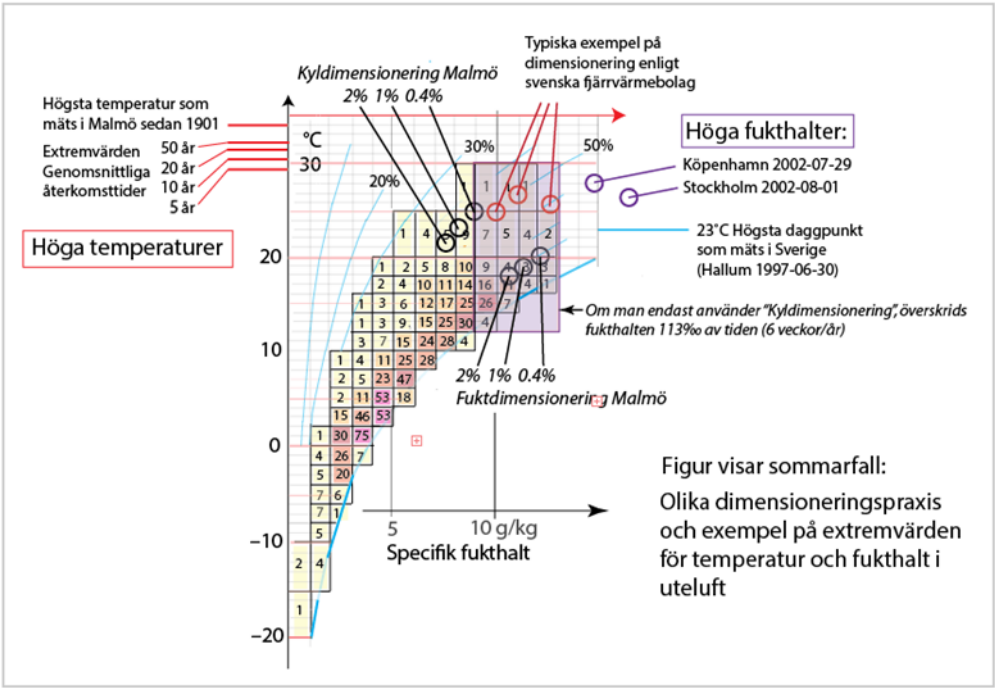
Figur 317: Två fall av uppvärmning av uteluft i Luleå på vintern för år 2012. Sluttillstånden är mycket torra (RH liten). Källa: Bearbetad info från ”Weatherspark” (131).

I Figur 317 visas i mitten ett Mollierdiagram med två uppvärmningsförlopp för Luleå. Det ena förloppet börjar vid det tillstånd rådde (inklusive daggpunkt) vid det nämnda minimum -34°C och slutar vid temperaturen 20°C. Det andra uppvärmningsförloppet börjar vid det genomsnittliga tillståndet för januari. I båda fallen räknas med ett ytterligare litet uppvärmningsförlopp, jämte uppfuktning, inomhus, härrörande från människor, värmeavgivande PC mm. I fallet den kallaste natten leder detta till ett tillstånd med den extremt låga relativa fukthalten om 8%. En sådan låg fukthalt kan man även uppleva i ett flygplan där det inte finns någon uppfuktning. Även det något mer fuktiga genomsnittstillståndet upplevs som mycket torrt.



Figur 318: Torr luft under långa pass. Exempel från södra och norra Sverige.

Figur 318 visar användning av det intervallindelade Mollierdiagrammet på vintersituationen i Malmö och Luleå: På båda orter blir inblåsningsluftens fukthalt anmärkningsvärt låg under en betydande del av året, särskilt i Luleå. I senare avsnitt 19.4, där vi diskuterar hälsoproblem med torr luft, refererar vi dessa båda diagram.



Figur 319: Jämförelse av olika mer eller mindre extrema sommarfall i Malmö.

Figur 319 visar att dimensionering enligt ”Kyldimensionering” i Malmö resulterar i överskridande av maximalt acceptabel fukthalt under en relativt stor del av året. De dimensioneringstillstånd som svenska fjärrvärmebolag typiskt använder, är mindre problematiska ur denna synpunkt.

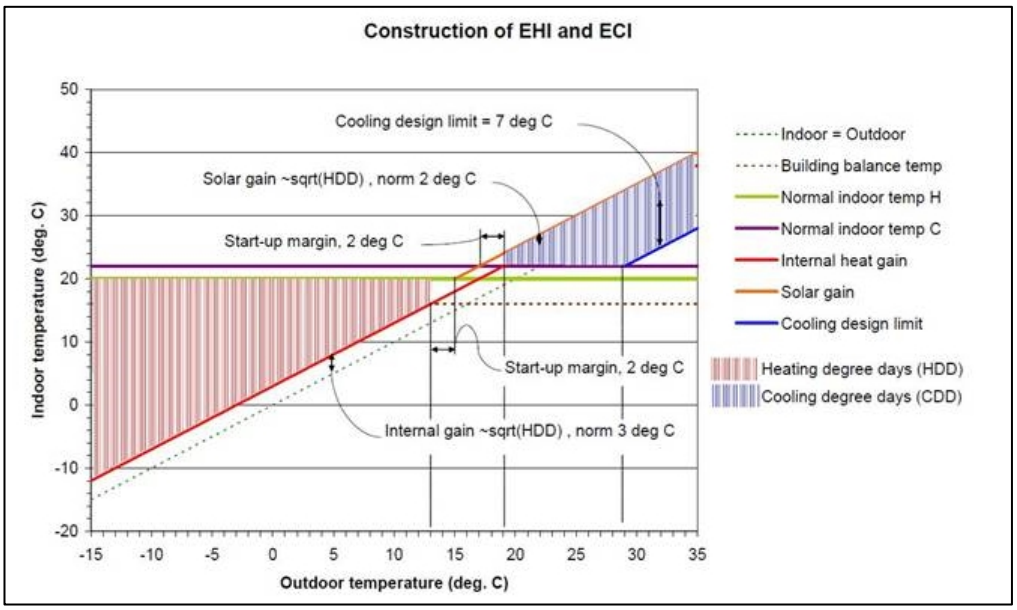
I diagrammet visas uppe till vänster genomsnittliga återkomsttider för olika extrema temperaturer vid stationärt klimat, dvs. utan hänsyn till klimatförändringar, vilket särskilt i fallet 50 år sannolikt innebär en underskattning av återkomsttiden. Därutöver visas uppe till höger några exempel på extremt höga fukthalter.

I avsnitt 16.3 diskuterar vi värmeböljor och deras hälsokonsekvenser. I relation till komfort är det acceptabelt med sällsynta överskridanden av gränser för temperatur och fukthalt. Men när det gäller hälsokonsekvenser måste man ha en annan syn: Ett stort antal dödsfall är knappast acceptabelt, även om det inträffar endast vart 50. år. Till detta kommer att ”50” är ett genomsnittsvärde. En återkomsttid om 20 år är inte osannolik, vilket gör det än mer problematiskt.

16.2 SLÄPANDE INOMHUSTEMPERATUR

Designförutsättningar för ett fjärrkylsystem är inte enbart beroende av val av relevant utomhustemperatur och luftfuktighet för en stad. Kapacitetsbehovet kommer att bli beroende av hur man i sina tekniska leveransbestämmelser förhåller sig till hur man planerar att köra vid förhållanden över DUT. Det finns inget behov av att ligga kvar med en inomhustemperatur på 22°C inomhus när temperaturen är 28°C utomhus. Snarare upplever merparten av populationen ett

problem med alltför stora differenser mellan temperaturen utomhus och inomhus. Problem med luftvägsinfektioner ökar. Det är dessutom en god driftekonomi att låta inomhustemperaturen släpa med den ökande utomhustemperaturen. Se den heldragna blå avgränsningslinjen kallad ”Cooling design limit” i Figur 320 från en delrapport i Rescue-projektet (133).



Figur 320: Exempel på design kriterier för värme- och kylsystem vid varierande utomhustemperatur. Källa: RESCUE (133).

16.3 VÄRMEBÖLJORS FRAMTIDA BETYDELSE

Som vi beskriver i senare och mer detaljerat fördjupningsavsnitt 20 är den allmänna uppfattningen att det i framtiden kommer att uppträda allt mer frekventa och kraftigare värmeböljor. Detta kunde tala för att dimensionera med en högre marginal än vad historiska klimatologiska data motiverar. Det har på senare år, som en del av forskningen om det förändrade klimatet publicerats en stor mängd undersökningar av extremväder av olika slag. Utifrån det begränsade underlag vi studerat kan vi inte ange något handfast och kvantifierbart sätt att hantera denna fråga.

De båda tyska undersökningarna (143) och (144) ur vilka resultat visas i Figur 321 och Figur 322 utmärker sig i jämförelse med den kortfattade publikationen i ämnet utgiven av FN:s Klimatpanel (145). Skillnaden är att de tyska undersökningarna inte ”klipper bort” den information man har om utvecklingen före 1950. Det finns en relativt klar trend mot allt fler heta dagar under det senaste seklet, åtminstone i Tyskland. Det upprepas ständigt i den allmänna debatten att det blivit allt häftigare regn; det tyska diagrammet nere till höger visar inte detta för Tyskland.

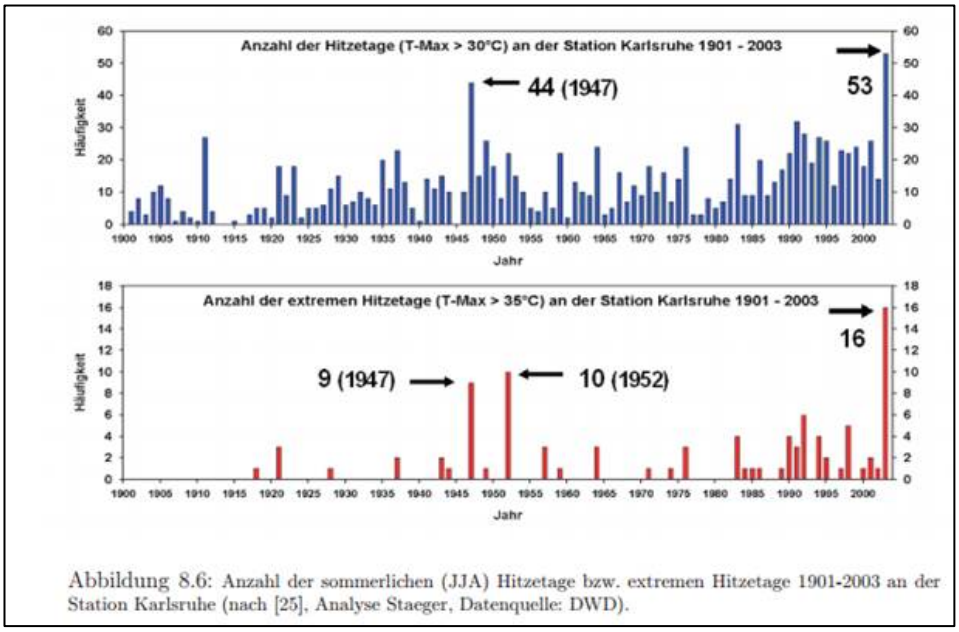


Abbildung 8.6: Anzahl der sommerlichen (JJA) Hitzetage bzw. extremen Hitzetage 1901-2003 an der Station Karlsruhe (nach [25], Analyse Staeger, Datenquelle: DWD).

Figur 321: Resultat från omfattande tyska statistiska undersökningar av utvecklingen i extremt väder från väderstationen Kahrlsruhe. Det blå stapeldiagrammet redovisar antal mycket heta dagar, definierat som temperaturer över 30°C. Det undre röda stapeldiagrammet visar på extremdagar, definierat som temperaturer över 35°C. Källa: Universität Frankfurt/Main (143).

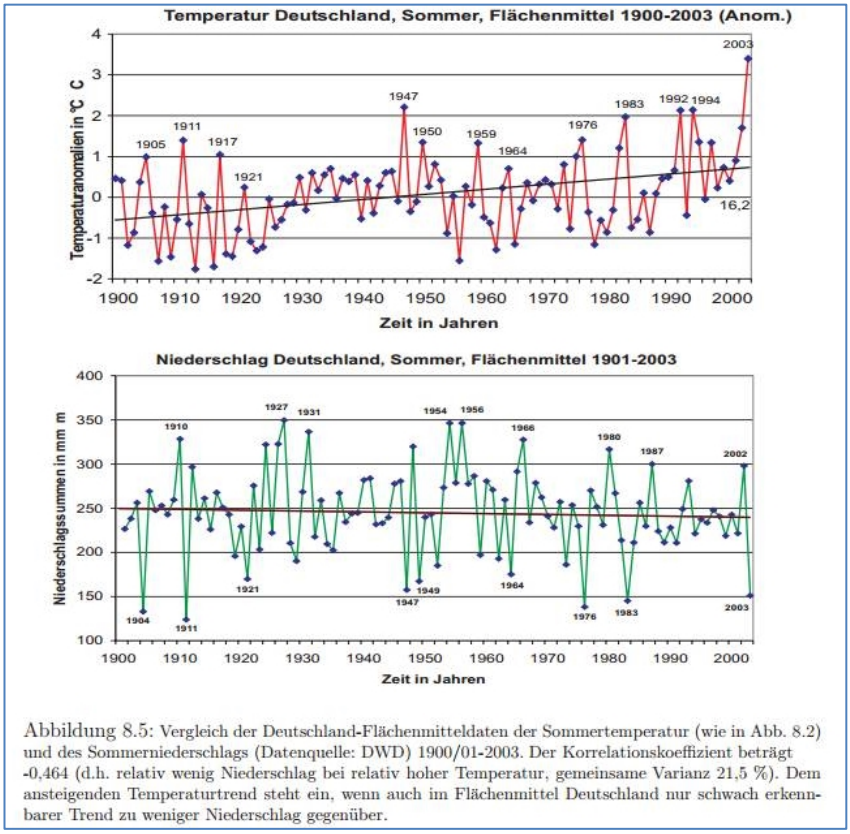


Abbildung 8.5: Vergleich der Deutschland-Flächenmitteldaten der Sommertemperatur (wie in Abb. 8.2) und des Sommerniederschlags (Datenquelle: DWD) 1900/01-2003. Der Korrelationskoeffizient beträgt -0,464 (d.h. relativ wenig Niederschlag bei relativ hoher Temperatur, gemeinsame Varianz 21,5 %). Dem ansteigenden Temperaturtrend steht ein, wenn auch im Flächenmittel Deutschland nur schwach erkennbarer Trend zu weniger Niederschlag gegenüber.

Figur 322: Resultat från omfattande tyska statistiska undersökningar av utvecklingen i extremt väder. Röd kurva visar på temperturtrend under sommaren och den gröna kurvan visar på nederbördstrend i mm. Källa: Universität Frankfurt/Main. (144).

Man ser en relativt klar tendens i riktning mot flera mycket varma dagar, men inte mera regn. Många av oss minns säkert några inslag av rapporteringar med extremregn under 2014. Följande Figur 323 visar Hallsberg dränkt efter period med mycket regn, och där dräneringssystemen inte klarar att absorbera regnmängderna. I Hallsberg finns ett fjärrvärmesystem som etablerades i slutet av 70-talet.



Figur 323: Hallsberg dränkt efter skyfall under 2014. Källa: Villaägarna nr 1, 2016 med foto från Kicki Nilsson/TT.

Figur 324 visar konsekvensen av när det den 31 augusti 2014 kom ca 100 mm regn under 24 timmar i Malmö. Påverkan med vattenfyllda kammare är tydlig vad gäller både mekanisk utrustning och elinstallationer. Samt i vilken utsträckning design av fjärrvärme- och fjärrkylsystem behöver ta hänsyn till framtida utmaningar.



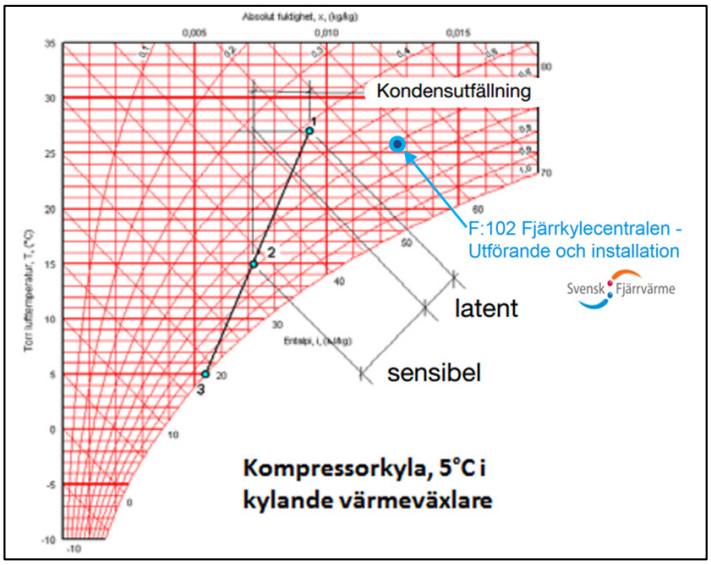
Figur 324: Malmö efter extremregnet den 31 augusti 2014 och konsekvensen i en kulvertkammare för fjärrvärme. Källa: E.ON (146).

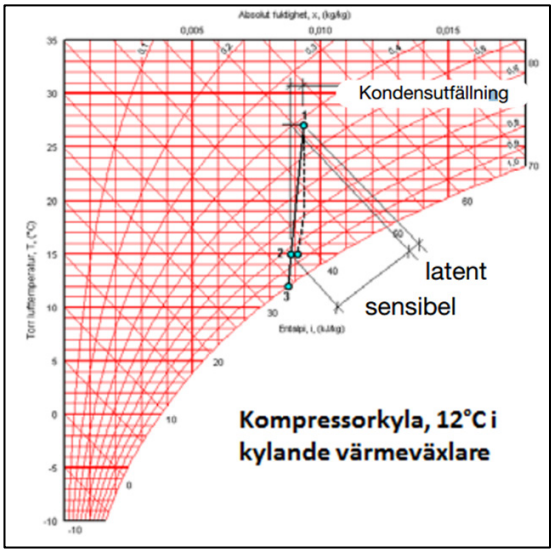
En annan ”joker” i sammanhanget är värmeöar som kan medföra 5-10 graders övertemperaturer i centrala delar av storstäder, jämfört med olika geografiska områden för orten i allmänhet. Vi ser här en potential i den lösning vi har kallat för Kundcentral med selektiv recirkulation av återluft. Från exempelvis USA ser vi en framlyft positiv effekt med att man redovisar att återcirkulation av ventilationsluft reducerar effektbehovet och därmed behovet av spetselproduktion. Samtidigt kan

man med reducerad återcirkulation begränsa koncentrationen av ozon inomhus när halten marknära ozon är hög utomhus. Såsom visas senare i kapitel 20 (se bl a Figur 408 och Figur 409, Frankrike/Paris) finns en tendens att halten marknära ozon ökar vid hög temperatur.

16.4 VILKEN INKOMMANDE VATTENTEMPERATUR SKA MAN DIMENSIONERA ETT KYLBATTERI FÖR?

Genom att styra temperaturen på det kylvatten som leds in i ett värmebatteri kan man bestämma hur mycket luften ska avfuktas på sommaren. Vilken grad av avkylning ska man välja? Vi kommer belysa detta och de olika typerna av dimensioneringsfall på sommaren med en rad konkreta tillståndsförändringar och konkreta dimensionerande utelufttillstånd för en rad svenska och europeiska städer. Allt detta studeras med Mollierdiagrammet





Figur 325: Kylning av luft med kompressionsmaskin. I fallet överst håller förångaren låg temperatur, på luftsidan råder 5°C. I det nedre fallet är denna temperatur i stället 12°C. Källa: IV Produkt AB (136).

De båda driftfallen i Figur 325 avser kylning av luft med en kylkompressor. De demonstrerar att man genom att välja högre förångartemperatur kan reducera avfuktning avsevärt och därmed kylbehovet. I det övre diagrammet har vi inlagt Svensk Fjärrvärmes dimensionerande tillstånd, se Figur 326; använder man detta blir skillnaden i kylbehov ännu större.

Byggnadens kylkomponenter dim. temp.		
	Fram	Retur
Luftkylbatteri	+8,00°C	≥+18,00°C
Kylbaffel/fläktkonvektor	+14,00°C	+17,00°C
Kylmaskin kondensor	+14,00°C	+20,00°C

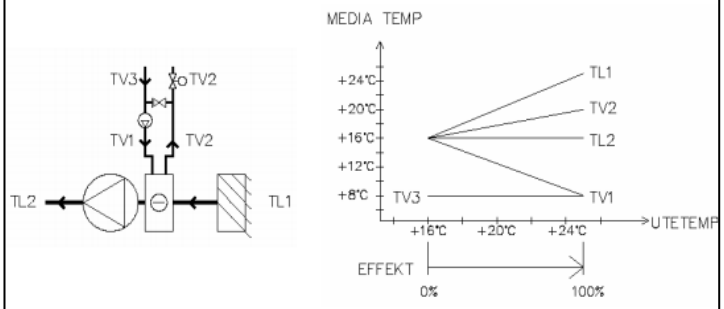
Tabell 2

Batteriernas kylkapacitet väljs för ortens dimensionerande uteluftstillstånd och följande värden är ett exempel +26°C och 60 % RF. Dimensionerande temperatur för kylkomponenter framgår av tabell 2.

Figur 326: Specifikation av dimensioneringsfall av byggnaders kylkomponenter i Svensk Fjärrvärmes Tekniska Bestämmelser: Fjärrkylcentralen – Utförande och installation F102:2012 (4).

Figur 8 Köldbärartemperaturer som funktion av utetemperatur

Figure 8 Brine temperatures as a function of outdoor temperature

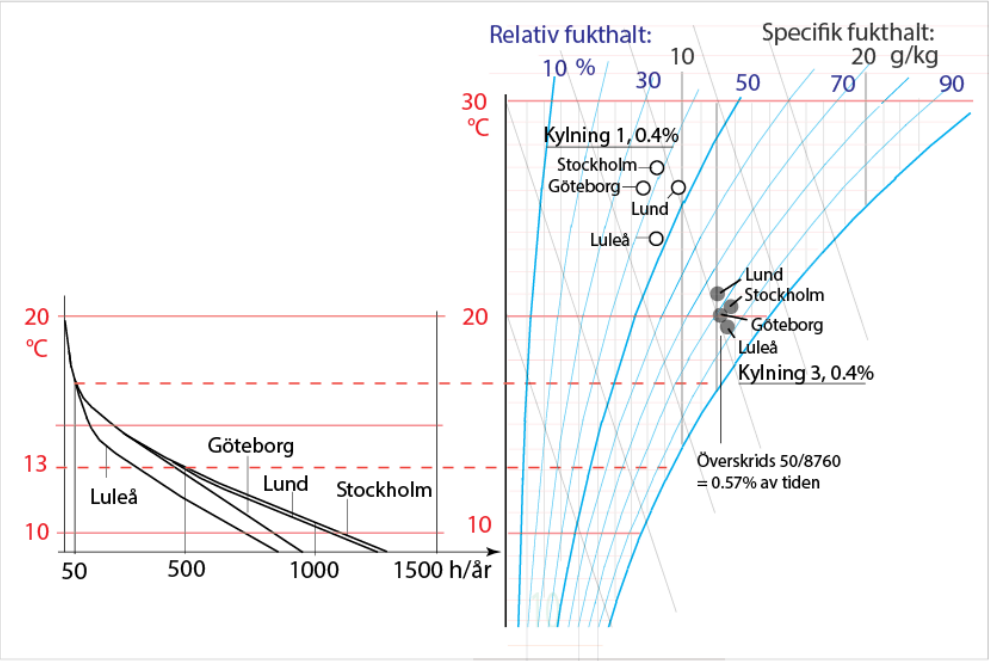


Figur 327: Reglering av kylbatterier enligt Svensk Fjärrvärmes Tekniska Bestämmelser: Fjärrkylcentralen – Utförande och installation F102:2012 (4).

Vilka inkommande vattentemperaturer använder man i fjärrkylekundcentraler? Med utgångspunkt i formuleringen i Tekniska Bestämmelser och i framställningen i forskningsrapporten ”Effektivare distribution av fjärrkyla” (2) förefaller det troligt att det vanligaste är att inkommande vattentemperatur till luftkylbatterier ligger kring 8°C vid hög utomhustemperatur.

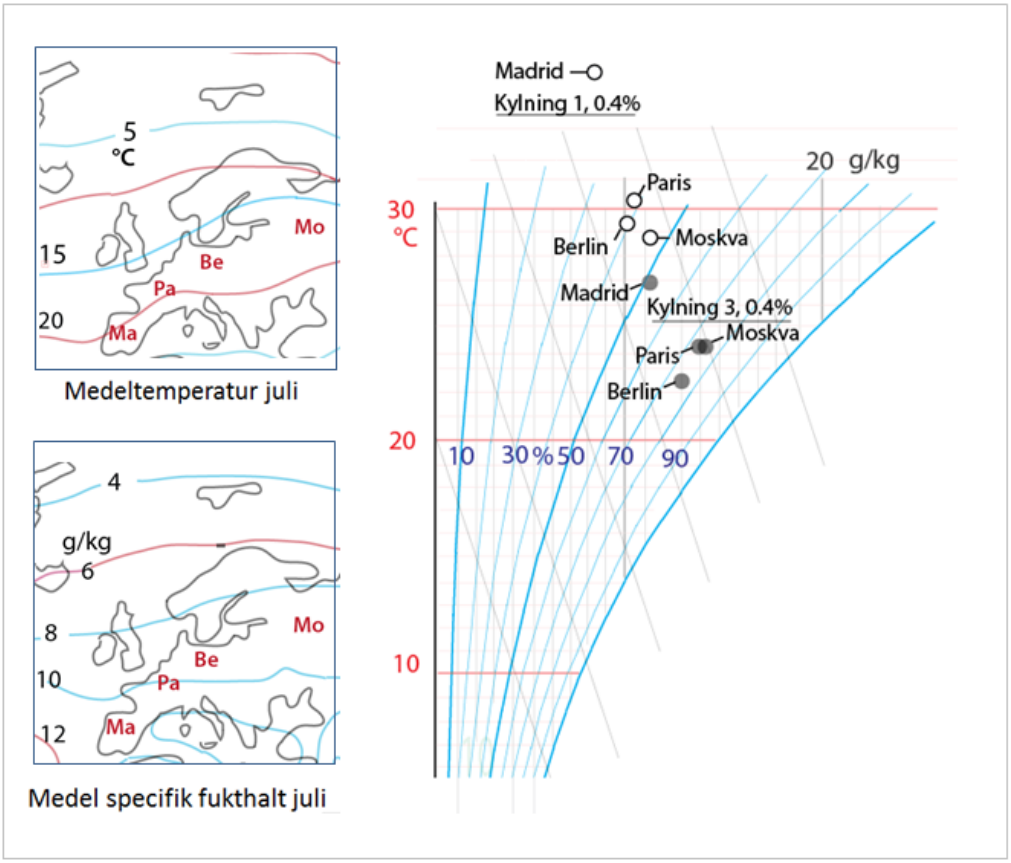
Huruvida konsekvensen av detta är att det sker en onödig avfuktning beror främst på två faktorer: För det första kan det diskuteras om komforten i de kylda rummen blir sämre med den något högre fukthalt man får om man använder en högre inkommande vattentemperatur, se vår diskussion kring termiska inneklimat i fördjupningsavsnitt 19. Det finns inget entydigt svar på den frågan.

Den andra faktorn är att det för svaret har stor betydelse om det utöver luftburen kyla finns vattenburen kyla. Som vi diskuterar i avsnitt 19, måste man i allmänhet se till att det inte blir för hög daggpunkt inomhus om man har ett vattenburet system. Abel och Elmroth, ref (10), rekommenderar att man avfuktar till en daggpunktstemperatur kring 13°C, se vänstra diagrammet i Figur 328.



Figur 328: Varaktighet för daggpunktstemperatur i relation till dimensioneringsdata för olika svenska städer hämtade ur Figur 306. Det vänstra diagrammet baserat på (10).

Figur 329 visar dimensioneringstillstånd för fyra europeiska städer, som kan jämföras med de fyra svenska i Figur 328 och med europakartorna i figuren.



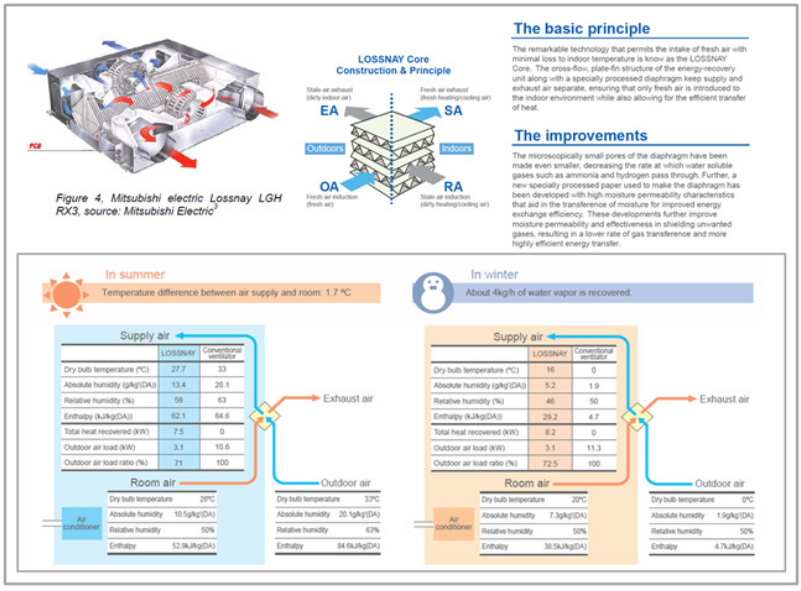
Figur 329: Kyldimensioneringsdata för fyra europiska städer inlagda i Mollierdiagram.

17 Energisnål och hygienisk uppfuktning och fuktåtervinning

Det finns starka belägg för att torr luft ökar frekvensen av torra ögon och uttorkning röstband mm, se avsnitt 19.4. Det finns även starka belägg för att torr luft gynnar överlevnaden och därmed spridning av influensavirus, både vid återkommande säsongsvirus och vid pandemier, se avsnitt 19.5. Frågan är synnerligen angelägen i norra Sverige, där den kalla väderleken medför att luften inomhus under långa perioder kan bli extremt torr, se kapitel 16.

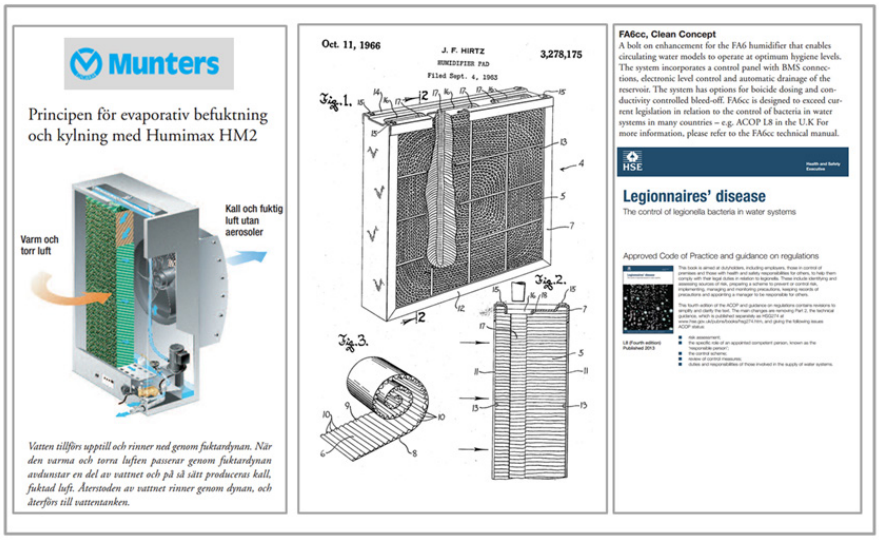
Det finns två huvudargument mot att använda uppfuktning på vintern: För det första fordrar förångning av vatten energi, vilket leder till ökat värmebehov för byggnader på vintern. För det andra kan uppfuktning i sig medföra en lång rad medicinska besvär och andra problem i form av mögel och spridning av bakterier och bakterietoxiner.

Det finns emellertid möjligheter att möta dessa argument: Med ett sorptivt hjul kan man återvinna fukt från returluften och därmed minska det ökade värmeeffekt-behovet. För det andra har det utvecklats en rad teknologier som möjliggör garanterad hygienisk uppfuktning.



Figur 330: Membranteknik för fuktåtervinning. Källa: Mitsubishi Electric.

Ett intressant alternativ till fuktåtervinning med ett roterande sorptivt hjul är statisk fuktåtervinning med membranteknik, Figur 330. Med denna kan man effektivt förhindra att eventuella mikroorganismer i returluft överförs till tilluften i et ventilationssystem. Numera finns det tekniker för hygieniskt säker central uppfuktning i ventilationssystem, Figur 331.



Figur 331: Teknik för hygienisk uppfuktning med dyna i ventilationskanaler.

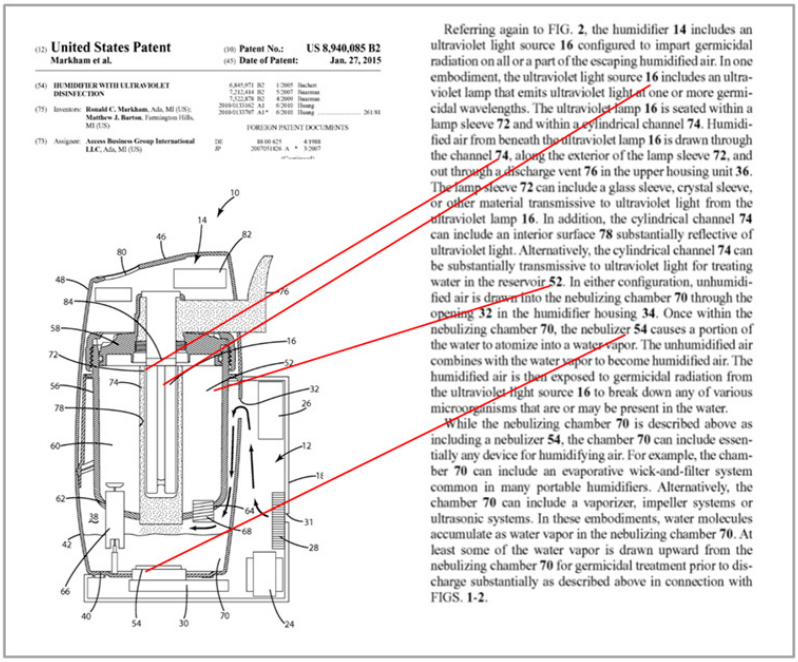
Generellt gäller det, dels att förhindra att det bildas fukt i på ytorna i ventilationskanaler och att förhindra att bakterier eller bakteriellt bildade toxiner sprids med droppar, Figur 332. Detta kan t.ex. ske med äldre och enkla typer av rumsbundna eller transportable förångare som t.ex. bildar droppar med hjälp av ultraljud; dropparna blir för stora.

Ultraljudstekniken kan kombineras med olika sätt av avdöda mikroorganismer. En sådan metod består i att låta vattnet komma i kontakt med silverjoner, ref. (147). Philips m fl har utvecklat uppfuktningsapparat som är försedda med ett bakteriedödande filter baserade på denna teknik, ofta integrerade i vanlig HEPA-filter.

Figur 333 visar ytterligare en teknologi för hygienisk uppfuktning: Ultraljudsteknik kombinerad med UV-bestrålning. Med denna kan man, enligt uppfinningen, inte enbart förebygga tillväxt och spridning av mikroorganismer och mikrobiella toxin, men kan även rena inomhusluften.



Figur 332: Luftuppfuktning med aerosoler kan sprida mikroorganismer.



Figur 333: Mobil luftuppfuktare med inbyggd UV-strålning som renar luften. Källa: Espacenet.

Ljusbaserad avdödning av mikroorganismer i luft utvecklas på olika fronter. En sådan, som kommersialiserats, är en kombination med katalytisk behandling, fotokatalys, (148). En annan utvecklingslinje baseras på LED (Light-Emitting Diode) teknik, en variant av den LED-teknik som redan är etablerad inom vanlig ljusteknik: LED-ljus med mycket kort våglängd, LED-UV-ljus. Man kan skräddarsy sådan strålning genom att fokusera ljusintensiviteten till just de våglängder som skadar mikroorganismerna mest, (149).

Det finns alltså en lång rad metoder som utvecklats för att åstadkomma hygienisk uppfuktning, flera av dem underbyggda i vetenskapliga utvärderingar och med patentdokument som i detalj redogör för respektive metoder. Vi har inte genomfört någon utvärdering av dessa olika metoder. Men intrycket är att det finns goda odds att flera av dem utgör bra lösningar som bemöter den skepsis som allmänt råder mot uppfuktning, bland energitekniker som ansvarar för ventilationssystem.

När det gäller luftrening har alla de metoder som står till buds granskats av en internationell vetenskaplig utvärderingsgrupp, ref. (150), som bygger på totalt 26 000 (sic!) referenser. Huvudresultatet var, att det inte är bevisat att någon metod är i stånd att säkra inomhusmiljön i relation till alla förorenande komponenter. Typiskt finns risk att fokusering på reduktion av en typ av föroreningar medför risk att andra typer tillväxer.

Ytterligare bakgrundsbeskrivning kring området uppfuktning återfinns som bilaga B.

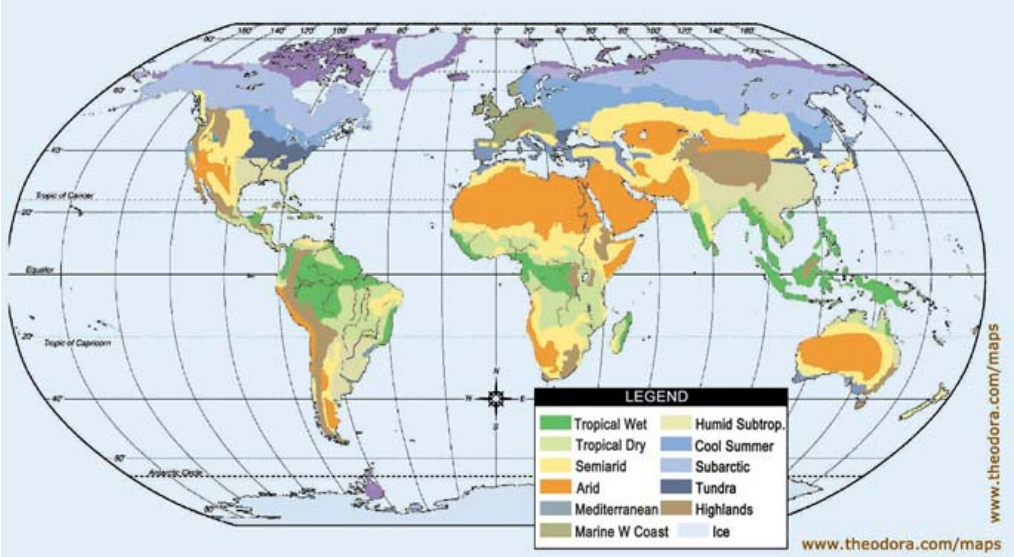
18 Klimatologi och Globala exempel

Denna rapport har ett dubbelt perspektiv, ett globalt och ett svenskt. Som ett led i att få en global överblick av möjligheterna för olika typer av fjärrvärme- och fjärrkyleteknik, och därunder teknik för kundcentraler, kommer vi nedan att göra en genomgång av olika sätt att karakterisera och klassificera klimat på olika platser på jordklotet. Genomgången utgör även bakgrundinformation för dimensioneringen av kundcentraler, se kapitel 16.

Vi kommer att presentera och exemplifiera med en metod som tar hänsyn till konsekvenser av varierande fukthalt i luften, och som i motsats till andra metoder är lätt att överblicka om man är van vid att arbeta med Mollierdiagram.

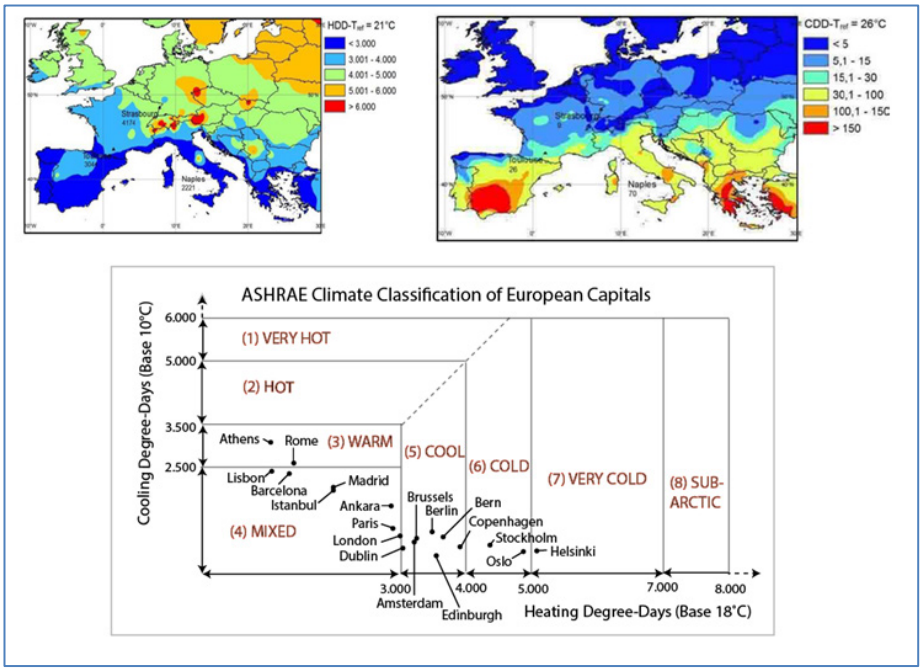
Det finns en rad olika klimatologiska klassifikationssystem som är mer eller mindre lämpade för undersökningar av uppvärmning och avkylning av byggnader.

Figur 334 är en vanlig global klimatkarta som vi känner igen från atlasser i allmänt bruk i skolor mm.



Figur 334: Global karta över fördelning av olika klimat enligt vanlig klassifikation. Källa: www.tes.com.

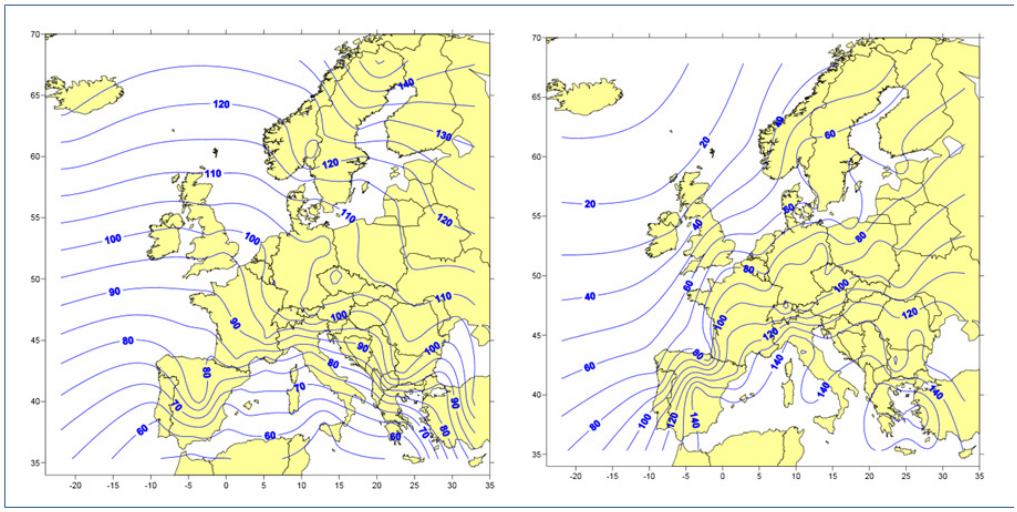
Ett traditionellt sätt att kvantitativt klassificera geografiska regioner med hänsyn byggnaders värme- och kylbehov är att använda graddagtal för värme och kyla, på engelska ”Heating Degree Days (HDD)” och ”Cooling Degree Days (CDD)”. Figur 335 exemplifierar detta för Europa. Ur nedre diagrammet kan man bl. a. utläsa att Sverige har många graddagar för värme och få för kyla.



Figur 335: Graddagtal för värmning och kylning av byggnader. Exemplifiering med Europa.

Graddagtal tar inte hänsyn till fukt. Det specifika värmet för luft, c_p, är tämligen oberoende av fuktinnehållet så länge det inte sker någon upp- eller avfuktning. Men om det är fallet, kan det ha stor betydelse för värme- och kyleffekten som båda blir större.

I regi av den europeiska fjärrvärmeorganisationen Euroheat & Power togs i projektet EcoHeatCool (151) och (152) fram Europeiska Värme- och Kylindex (EHI och ECI) som bygger på graddagstal vilka modifieras med hänsynstagande till att byggnaders värmeisoleringstal brukar anpassas till kyl- och värmebehoven, varvid inverkan av geografisk placering minskar något, Figur 336. Byggnader i norr har naturligt tjockare isolering än i söder, vilket normalt reglerats genom krav i Byggnadnormer, och är resultat av ekonomiska överväganden.

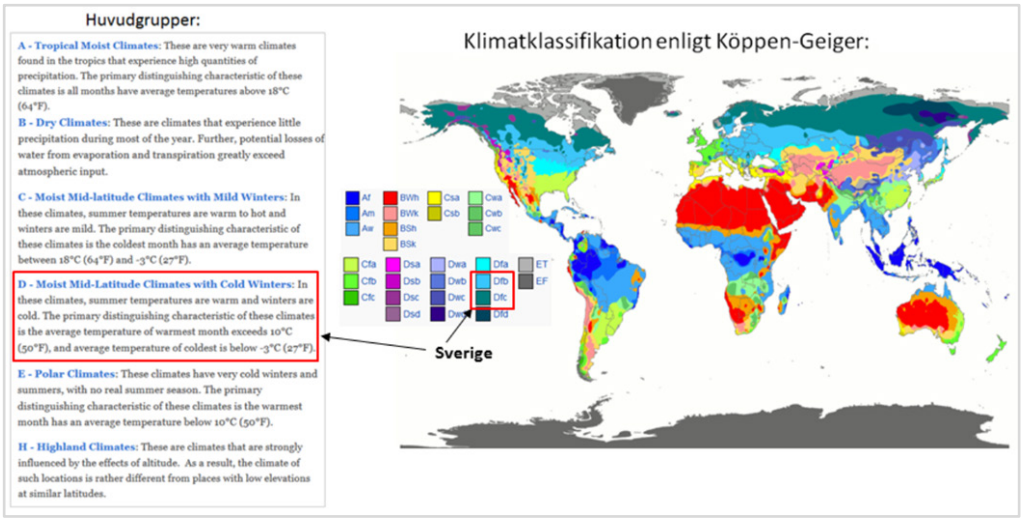


Figur 336: Europeiska index för värmning och kylning av byggnader. EHI till vänster och ECI till höger. Källa: EcoHeatCool WP1 (151) and WP2 (152).

Varken graddagtalen eller dessa index tar hänsyn till variationer i internvärmegenerering. Särskilt i länder med svalt sommarklimat som det svenska kan skillnader i internvärme, som t.ex. kan bero på närvaro av mer eller mindre datorutrustning i kontorsfastigheter, leda till stora individuella skillnader i kylbehov. Baskylbehovet representerar i nordiska klimatzoner ofta 50-70% av kylenergibehovet. Se även diskussionen i fördjupnimngsavsnitt 20 om värmeböljor.

I länder med mycket varmt och fuktigt klimat är kylbehovet mer homogent inom bebyggelsen.

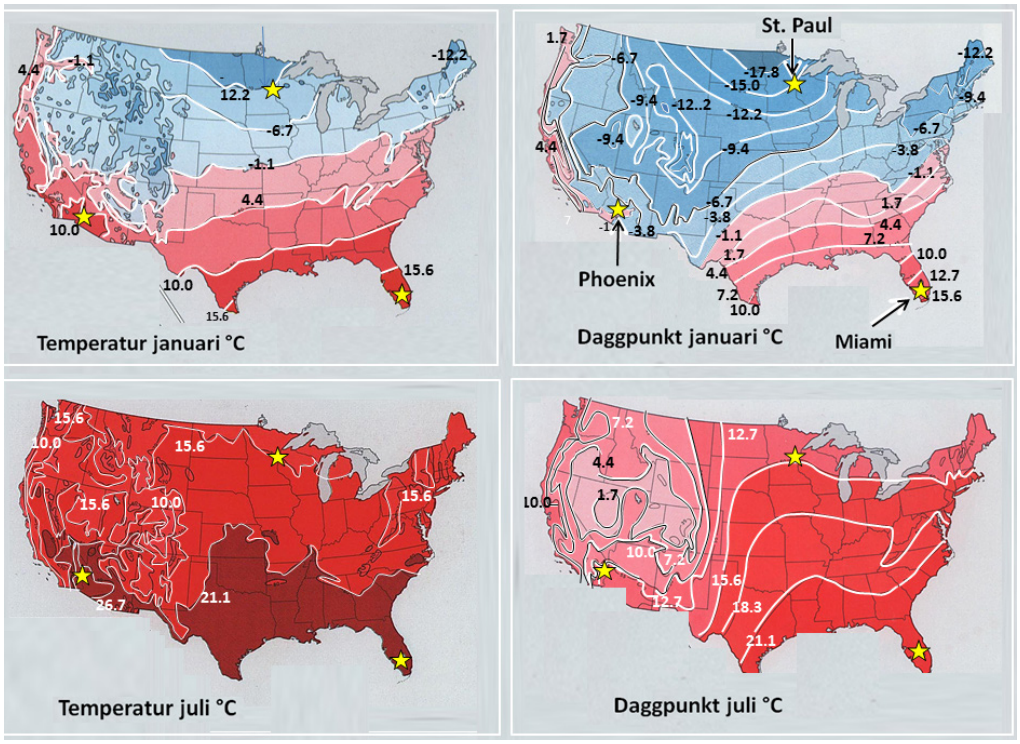
Inom den geografiska vetenskapen används vanligen Köppen-Geigers klassifikationssystem, se Figur 337. Det ger en detaljerad klassifikation som bygger på strikta, kvantitativa kriterier. Det utgör en vetenskaplig grund för mera översiktliga kartor än enligt Figur 334, i inledningen av detta avsnitt, med betydligt större detaljeringsgrad.



Figur 337: Klassificering av klimat enligt Köppen-Geiger-systemet.

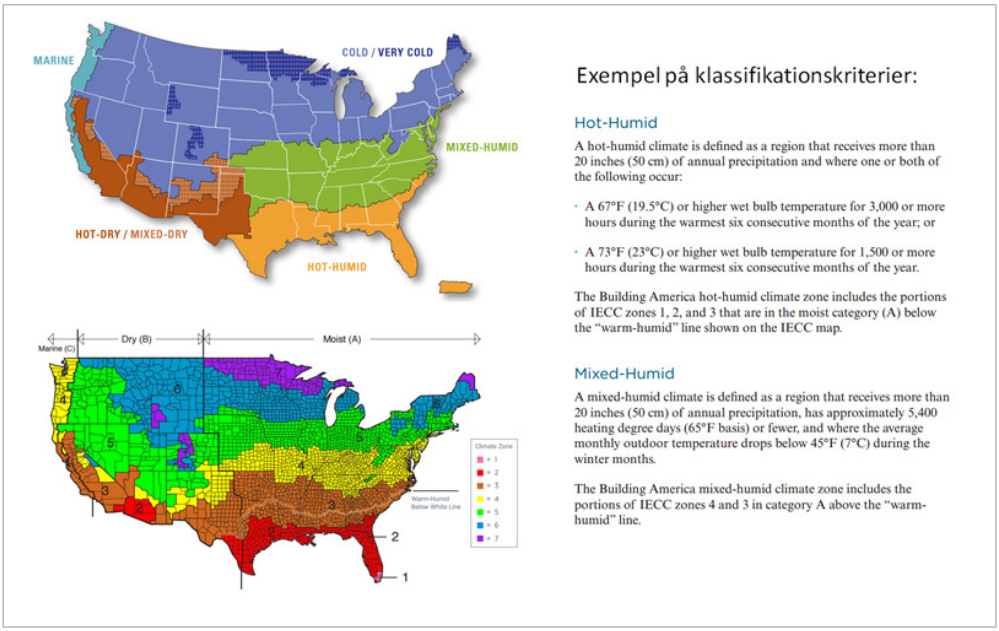
Köppen-Geigers system tar visserligen, i motsats till klassifikationer baserade på graddagtal, hänsyn till fukt, men inte på ett sätt som är lämpat vid en analys av byggnaders värme- och kylbehov, då utgångspunkten är variation i regn och vegetation (används t ex vid jämförelser av jordbruk inom olika regioner). Således kan det på en given plats t.ex. regna mycket, men likväl kan uteluftens specifika fuktighet, den som bestämmer hur stor den relative luftfuktigheten blir inomhus, vara liten. Detta gäller Sveriges klimat, som i Köppen-Geigers system ligger inom en huvudgrupp D, och därmed karakteriseras som fuktigt. Trots denna problematik finns det i litteraturen arbeten som använder systemet vid jämförelse av behov av kylning och värmning av byggnader inom länder och regioner ur VVS-teknisk aspekt, t.ex. (153).

Svensk fjärrvärme- och fjärrkyleteknik står sig väl i jämförelser med amerikanska. Men om man breddar perspektivet till uppvärmning och avkylning av bostäder i allmänhet, finns det ur svenskt perspektiv mycket kunskap att hämta från USA. Som vi konstaterar i avsnittet om kyldimensionering utgör den amerikanska metodiken och konkreta dimensioneringsförutsättningar för olika orter en bas för europeisk, inklusive svensk praxis.



Figur 338: Kartor över variation av temperatur, daggpunkt mm för USA. Källa: Atlas of the United States.

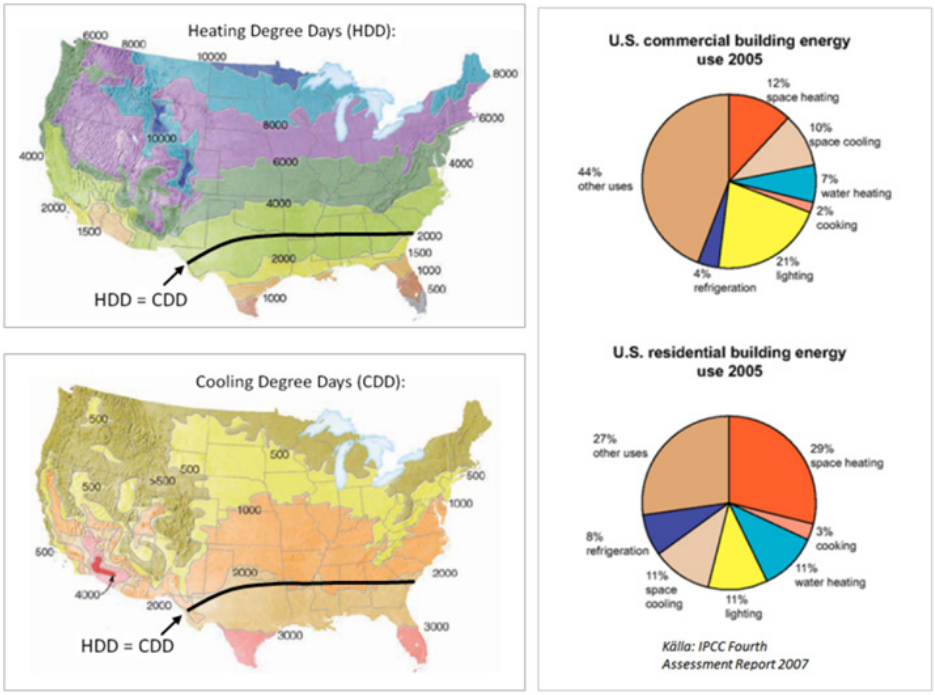
Inom USA varierar de klimatologiska förhållandena avsevärt mellan olika delar av landet, Figur 338. Inom den sydöstra delen ligger daggpunkten (och därmed även den specifika luftfuktigheten) generellt högt, vilket ställer stora krav på avfuktning. I många fall under årens lopp har avfuktningen visat sig vara otillräcklig, vilket medfört stora problem med mögel och dålig luftmiljö inomhus, även välkänt inom andra regioner, ibland kallat ”sjuka hus”. Detta tvingade tidigt inom utvecklingen av VVS-tekniken i USA fram klimatklassifikationer som tog hänsyn till luftens fukthalt på ett ändamålsenligt sätt. Baserat på klassifikationer som organisationen ASHRAE har publicerat har den amerikanska federala myndigheten Department of Energy på senare år tagit fram ett nytt klassifikationssystem, Figur 339, som innefattar kriterier baserade på fukthalt.



Figur 339: Officiell amerikansk klassificering av klimat enligt US Department of Energy.

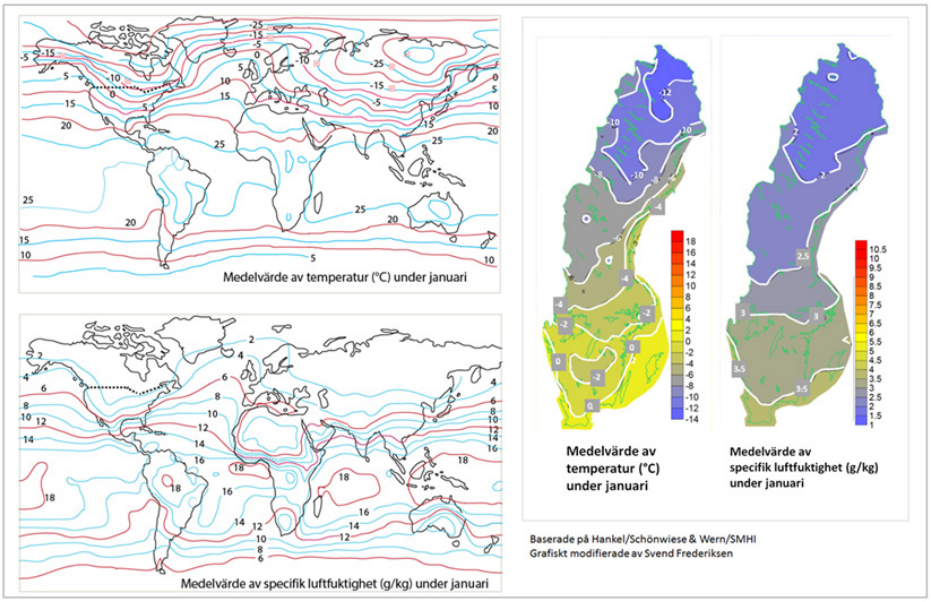
Till höger i Figur 339 visas som exempel formuleringen av krav till två av klasserna. Man noterar bl.a. att det refereras till såväl våta temperaturen (”wet bulb temperature”) som till nederbörd (”precipitation”) och till graddagtal. Detta sofistikerade system, som utgör underlag för formella krav till isoleringsgrad mm, är tämligen svårgenomskådligt och därmed inte särskilt lämpat för mera övergripande jämförelser, särskilt globala sådana.

Figur 340 visar den geografiska variationen i graddagar inom USA. Det är kanske förvånande, att det område, där CDD är större än HDD inte är större än det som kartorna visar. Det stämmer dock med den bild man får av tårtdiagrammen till höger.

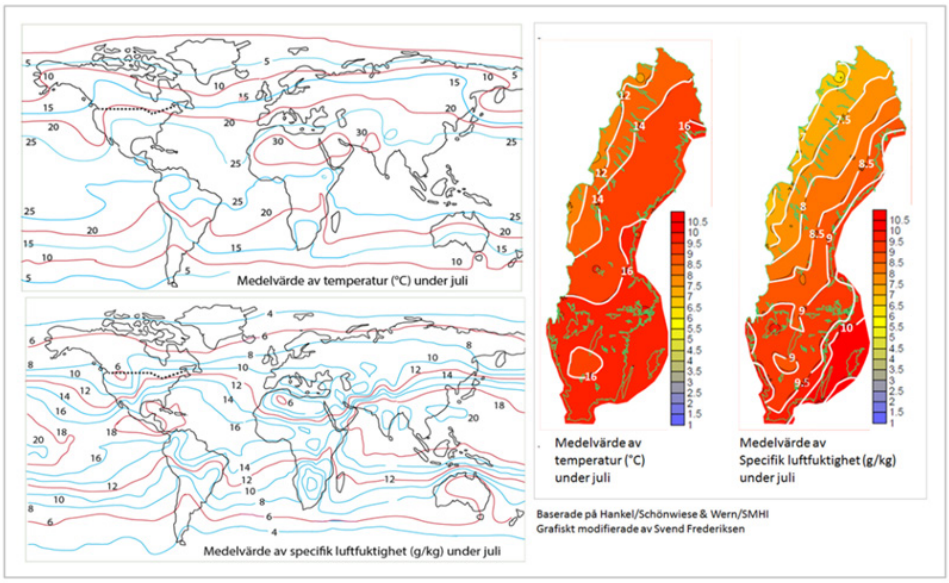


Figur 340: Geografisk variation av graddager för värmning och kylning i USA, jämte uppdelning av tillförd energi till amerikanska byggnader för värmning, kylning mm. Källa: Google Images och (154).

Figur 341 och Figur 342 visar kartor över månadsmedelvärden av temperatur och specifik fukthalt, dels globalt och dels för Sverige, för januari respektive juli.

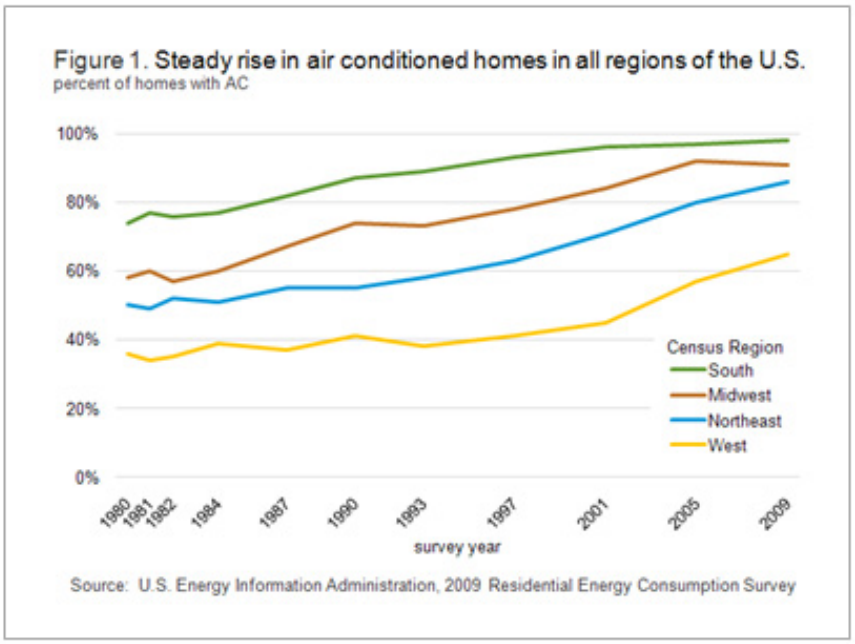


Figur 341: Kartor med iso-linjer för månadsmedelvärden av lufttemperatur och specifik luftfuktighet, januari. Källa: (155).



Figur 342: Kartor med iso-linjer för månadsmedelvärden av lufttemperatur och specifik luftfuktighet, juli. Källa: (155).

Omkring 90% av alla amerikanska bostäder har i dag luftkonditionering, men särskilt inom den västliga delen av landet är andelen avsevärt mindre, Figur 343. När det gäller kommersiella och institutionella byggnader har man nästan alltid luftkonditionering oavsett region.

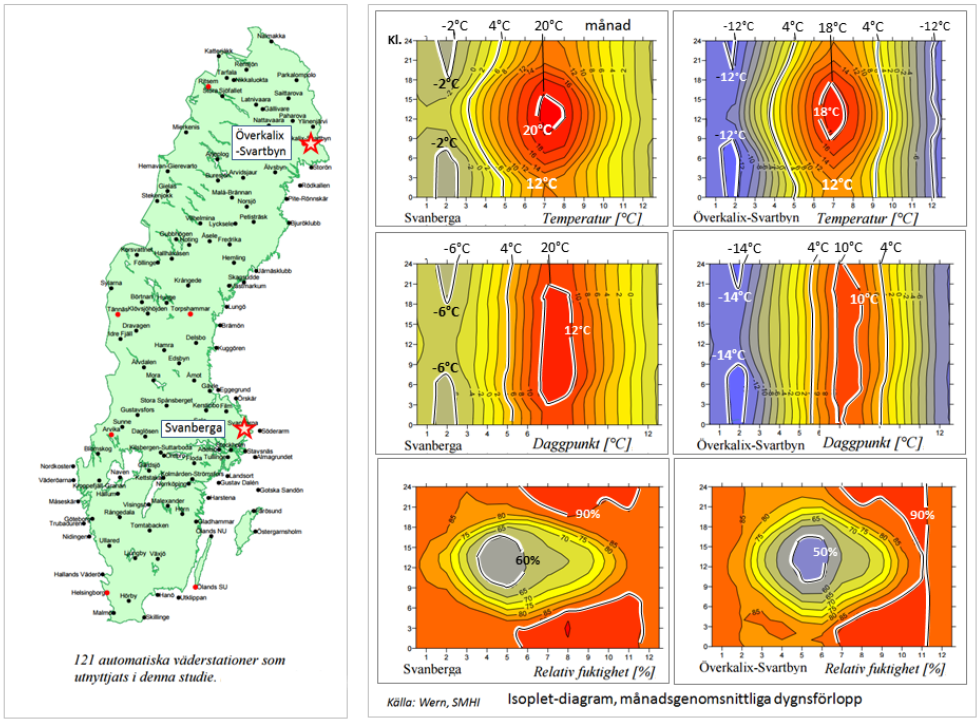


Figur 343. Geografisk fördelning av procentuell andel av luftkonditionering i amerikanska bostäder.

Uppe i nordvästra USA (med bl.a. Seattle) har man på sommaren ungefär samma temperatur och daggpunkt som i södra Sverige, och här har väsentligt mindre än

50% av alla bostäder luftkonditionering. Men även i t.ex. Seattle och i Vancouver i Kanada strax norr om gränsen är marknaden för luftkonditionering av bostäder inte försumbar. Det framgår t ex av att man vid att googla på ”air conditioning homes Seattle” får hundratals hit.

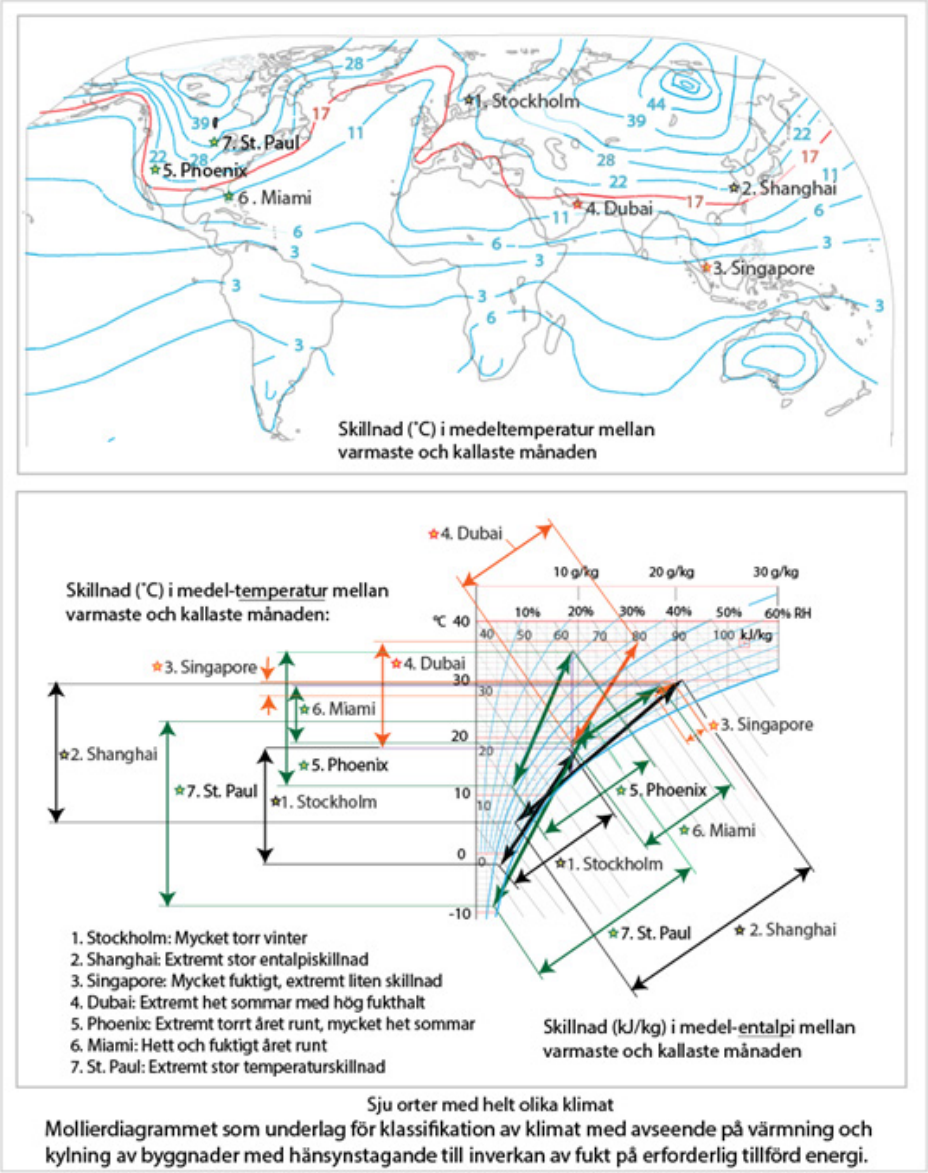
Figur 344 visar dygnsvariationer av temperatur, daggpunkt och relativ fukthalt vid två svenska väderstationer, en nära Stockholm och en annan nära Luleå. Genom att använda isoplet-diagram kan man på ett överskådligt och kompakt sätt visa hur dygnsvariationerna varierar med tiden på året som är abskissan. Man kan bl.a. lägga märke till att vid en given dag på året är daggpunkten tämligen konstant, medan den relativa fukthalten i allmänhet varier mycket med klockslaget. Daggpunktens variation med årstiden är mycket större i norra än i södra Sverige.



Figur 344: Dygnsvariationer av temperatur, daggpunkt och relativ fukthalt under medelår vid två svenska väderstationer. Källa: (156).

Generellt är temperaturen låg på natten vilket gynnar möjligheterna att utnyttja nattkyla. Dock måste man vara observant på risken att värmeöar vid värmeböljor, vilket vi diskuterat i kapitel 16, kan höja nattemperaturen i innerstäder kraftigt och därmed minska nyttan med nattkyla.

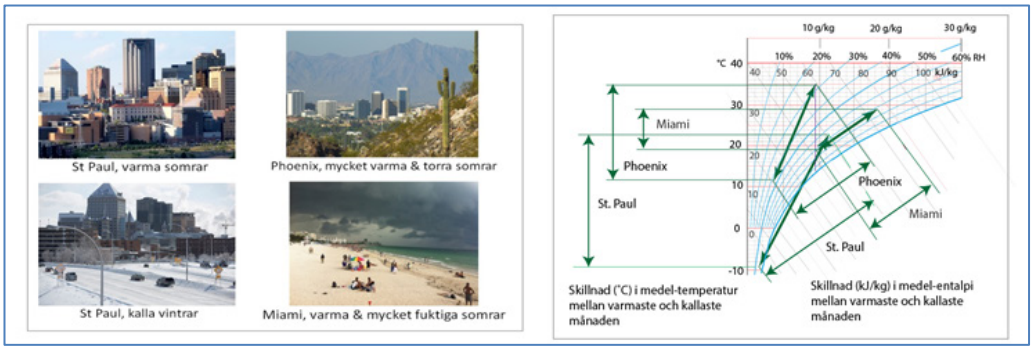
Figur 345 visar ett sätt att jämföra klimatet på olika platser som tar hänsyn till fukthalt på ett sätt som är representativt i relation till värmning och kylning av byggnader, och som är lätt att överblicka för den som är van vid Mollierdiagrammet för fuktig luft. Det används även i Figur 346.



Figur 345: Mollierdiagram med variation av månadsmedeltillståndet över året för sju orter med helt olika klimat. Källa: (155).

Diagrammet baseras på att man för varje ort lägger in medeltillstånd för januari och juli i ett Mollierdiagram och förbindar de båda punkterna med en linje. I Mollierdiagrammet finns linjer för konstant entalpi med hjälp av vilka man för varje ort kan avläsa variationen i entalpi över året för en viss ort. Det vertikala avståndet mellan punkterna ger temperaturvariationen. Ovanför diagrammet finns en global karta med iso-linjer för denna temperaturvariation. Metoden demonstreras med sju orter som har mycket olika klimatiska förhållanden.

Figur 346 tydliggör variationerna i tillstånd för de tre amerikanska städerna.

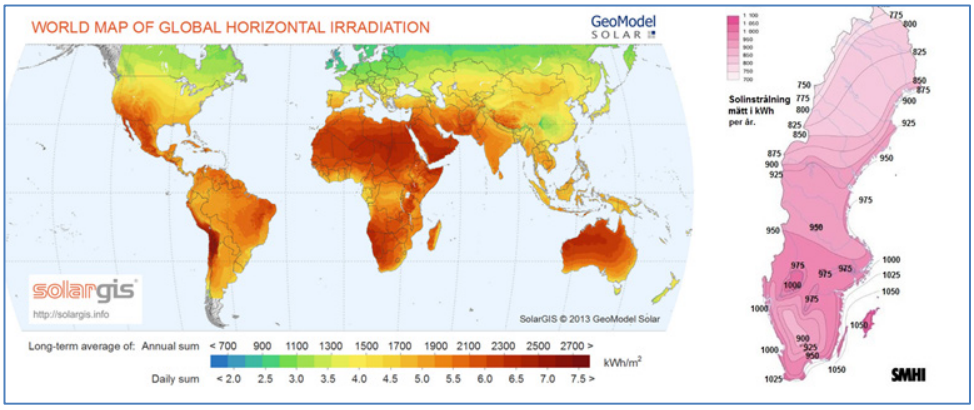


Figur 346: Variationerna i tillstånd för de tre amerikanska städerna.

St. Paul är den stad där temperaturvariationen är störst i Figur 345. Det beror på att staden ligger mitt på kontinenten och därmed har fastlandsklimat. I St. Paul finns både fjärrvärme och fjärrkyla. Phoenix ligger inom ett ökenområde med brist på vattenresurser. På sommaren är temperaturen mycket hög och den relativa fukthalten låg. Men den specifika fukthalten är inte speciellt låg – lite lägre än i St Paul, men någorlunda den samma som i Stockholm.

Även i Dubai råder brist på dricksvatten, och i den allmänna klimatklassifikationen, Figur 334, är klimatetet benämnt ”arid”. Den arida zonens kännetecken är att evapotranspirationen är större än nederbörden. Detta leder till öken, stepp eller savann. I den här zonen finns jordens torraste områden. På dagen stiger temperaturen högt men på natten kan temperaturen sjunka till minusgrader. Evapotranspiration definieras som summan av avdunstning (evaporation) från mark och ytvatten, guttationen, interceptionen och transpirationen från växterna. Detta kan ge uppfattningen att avfuktning skulle vara onödig, men så är inte fallet. På sommaren är den specifika fukthalten mycket hög. Det har föreslagits (och kanske redan utnyttjats), (157), att använda vatten som kondenserats i klimatanläggningar inom fuktiga delar av världen som en del av vattenförsörjningen till byggnader, t ex för bad och toaletter.

Vid jämförelser mellan två orter måste man för att kunna uppskatta skillnad i värme- och kylbehov så bra som möjligt även veta skillnader i solinstrålning då instrålning (minus långvågig utstrålning) genom fönster ger ett värmetillskott, Figur 347.

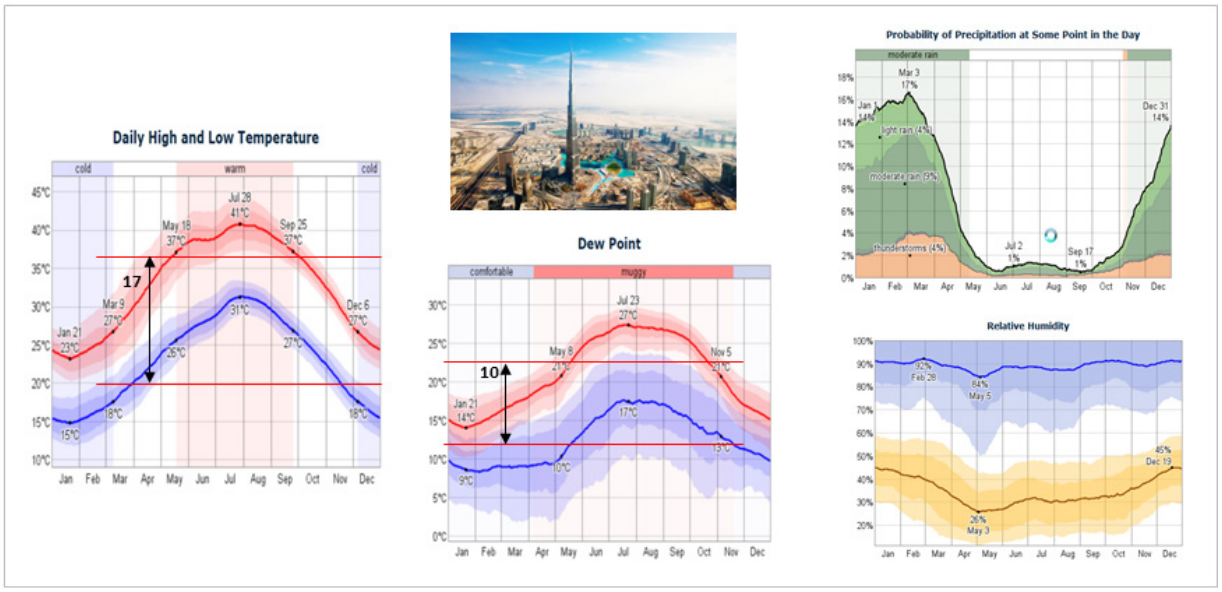


Figur 347: Solinstrålning, årlig mängd kWh/m². Vänster: globalt, höger: i Sverige.

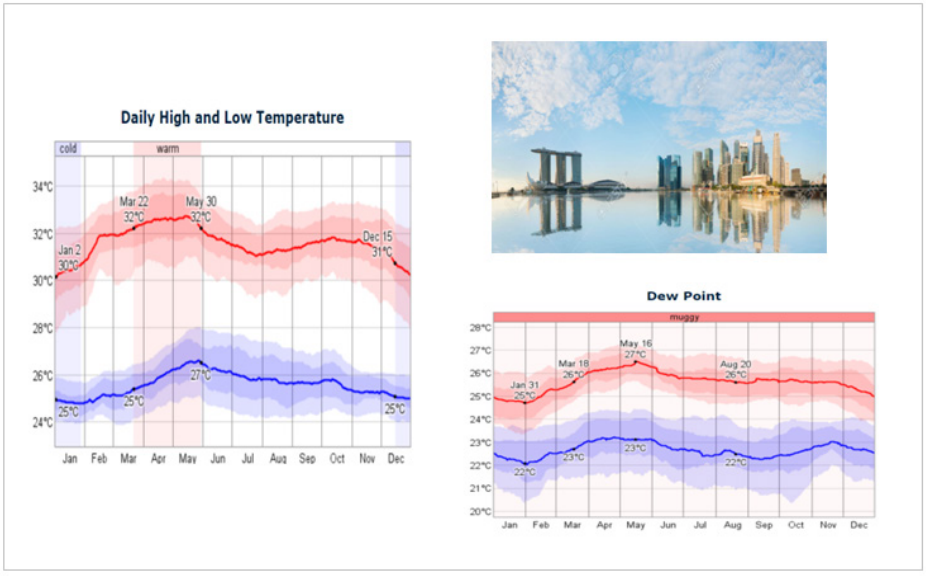
Som komplement till diagrammet tidigare redovisat i Figur 345 är det bästa att få diagram som avser en månad i taget, som flerårsmedelvärden. Figur 347 är sådana diagram för hela världen och Sverige. SMHI tillhandahåller värden av solinstrålningen, månadsvis för svenska orter. SMHI säljer även ortsspecifika s k Kylindex som möjliggör kvantifiering av energibehovet för kylning, baserat på beräkningar med en modell av typisk kontorsbyggnad, placerat i ”normalskyddat” läge, med hänsyn till utetemperatur, vind, solinstrålning och internvärmegenerering.

Ytterligare en faktor som spelar en roll vid jämförelser mellan orter, och som har betydande konsekvenser för dimensionering av anläggningar är de redan nämnda urbana värmeöarna. Av tidigare redovisade Figur 345 såg man att Miami i Florida och Shanghai har ungefär samma juli-medeltemperatur, men att Shanghai t o m är fuktigare än det mycket fuktiga Florida i juni.

Av Figur 347 såg man att netto-värmestrålingen är något mindre i Shanghai. Shanghai är avsevärt större än Miami och måste därför förväntas ha en större värmeöeffekt. Dessa olika jämförelser, kombinerat med det faktum, att man vet att luftföroreningssituation i kinesiska städer ofta är katastrofal, pekar tillsammans i riktning av att behovet av byggnadskyla för byggnader är minst lika stort i Shanghai som i Miami. Figur 348 och Figur 349 visar variation i lufttemperatur och luftfuktighet för två av de sju städerna, Dubai respektive Singapore, som redovisades i Figur 345.



Figur 348: Klimatet i Dubai. Källa: Weatherspark.



Figur 349: Klimatet i Singapore. Källa: Weatherspark.

I Dubai är somrarna extremt varma och fuktiga, i betydelsen hög daggpunkt / hög specifik fukthalt. Likväl är nederbörden liten. Klimatet i Singapore är nästan konstant året runt, varmt och fuktigt. Nästan alltid temperaturvariation på min 25°C och max 32°C.

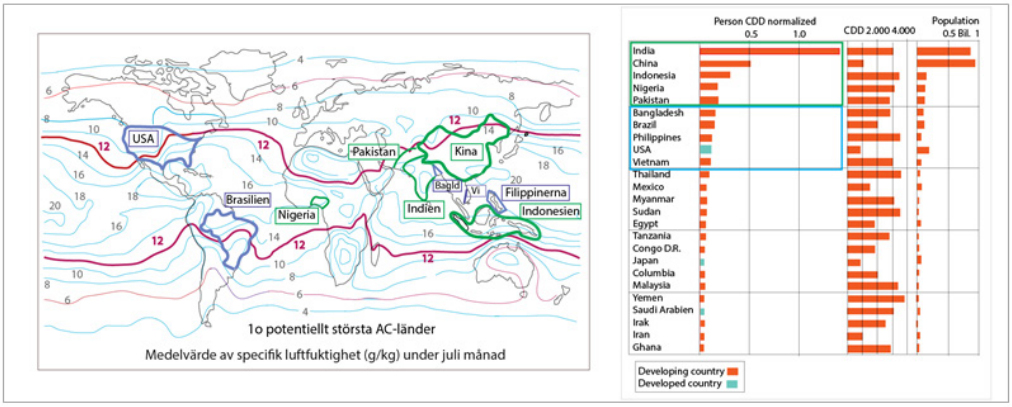
Vi kommer nu att ta utgångspunkt i några utvalda städer med fjärrvärme och/eller fjärrkyla med beskrivning av systemen och omgivningen, särskilt hur vattendjup mm påverkar möjligheterna att producera frikyla från havet eller en sjö.

Med detta som bakgrund försöka vi ta ett samlande globalt grepp med formulering av några kundcentrallösningar som kan ingå i system som kan medverka till att fjärrvärme och fjärrkyla kan bidra till att framtidens behov av

byggnadsvärme och det hastigt ökande av byggnadskyla kan tillfredsställas med åtminstone delvis förnyelsebar energiförsörjning. Detta kan även främja svensk export av kundcentralteknik på marknader med skilda klimatologiska och andra förutsättningar.

Figur 350 återger resultat av en estimering av den framtida, potentiella omfattningen av byggnadskyla och -värme i världen. Potentialen för byggnadskyla i u-länder och i ”emerging economies” långt överstiger omfattningen inom den industrialiserade delen av världen.

Studien bygger på kylgraddagar och befolkningstal och visar omfattningen under förutsättning att alla ska kunna få samma termiska komfort som dagens amerikaner åtnjutar. Det är således frågan om bruttomått; i verkligheten kommer naturligtvis en lång rad ytterligare faktorer att bestämma den faktiska utvecklingen inom de olika delarna av marknaden. Men det förefaller sannolikt att människor som efterhand får bättre levnadsstandard och ekonomi så småningom faktisk kommer att ställa krav om likvärdig termisk komfort.



Figur 350: Resultatet av en studie som uppskattar det totala, potentiella behovet av luftkonditionering i världen, uppdelat på länder. Vänster: De tre högst rankade markerade på kartan över global specifik fukthalt för juli månad. Källa: (155) och (158).

I många av dagens mindre utvecklingsländer kommer introduktionen av fjärrvärme och fjärrkyla troligen under många år ut i framtiden att hämmas i betydande grad av dålig eller obefintlig stadsplanering som erfarenhetsmässigt är central för att uppnå höga anslutningsgrader för fjärrvärme och fjärrkyla.

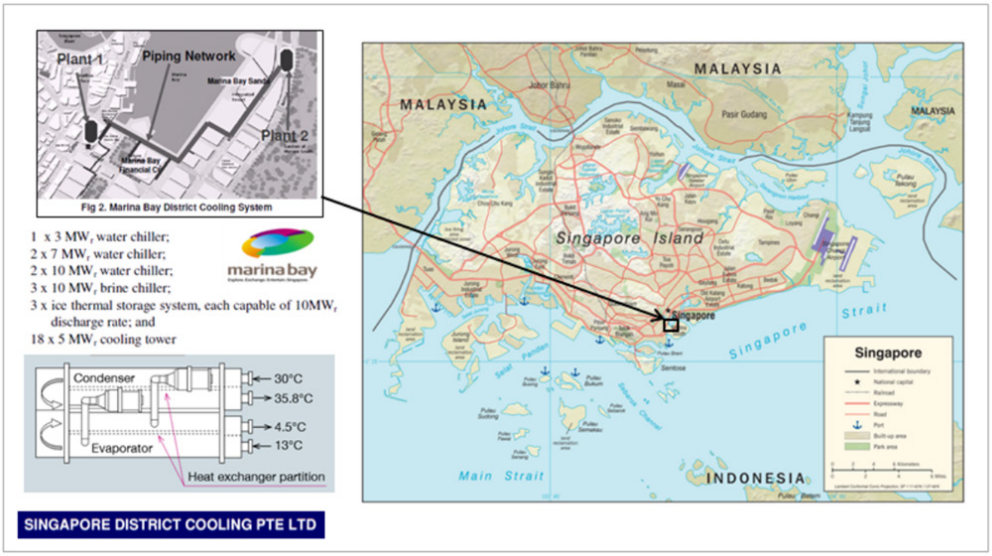
I kartan till vänster kan man se att större delen av expansionen förväntas ligga inom områden med mycket fuktig luft på sommaren. Det medför att man kan justera upp siffrorna för kylpotential i tabellen.

Man kan fråga, i vilken utsträckning kan denna expansion förverkligas baserat på förnyelsebar energiproduktion, och på vilket sätt kan fjärrkyla bidra till detta? Det förefaller inte vara realistiskt att det skulle kunna utgöra några stora procentdelar, men även, säg 5%, innebär en drastisk ökning jämfört med dagens fjärrkyla.

I Singapore finns ett mindre fjärrkylesystem som förser ett centralt beläget delområde ”Marina Bay” med kyla som levereras från två kylcentraler, se Figur 351. Kylcentralerna har placerats ca 25 meter under marknivån, motsvarande 5

våningar. Enda synliga beviset på anläggningarna är kyltornen som mynnar ut ovan mark.

Man kan göra två konstateranden: För det första är nätet litet geografiskt sett, jämfört med potentialen. För det andra är fram- och returtemperaturerna låga. Det sammanhänger bl.a. med att man har islager.



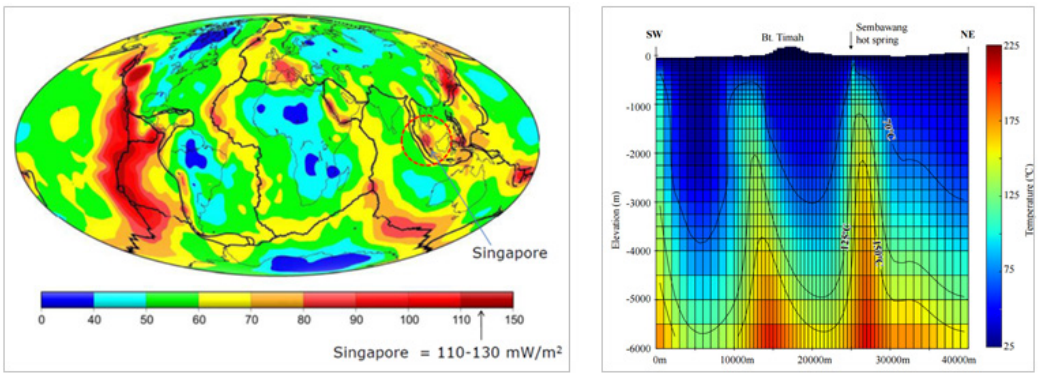
Figur 351: Fjärrkyla systemet i Singapore. Källa: (159) och (160).

Kyltornen för etapp 2 vid KC2 (kylcentral) har man lyckats integrera på ett smart sätt under den spektakulära anläggningen Marina Bay Sands Hotel. På toppen av de tre höga byggnaderna har man byggt en anläggning för rekreation i form av park och poolanläggning, Figur 352.

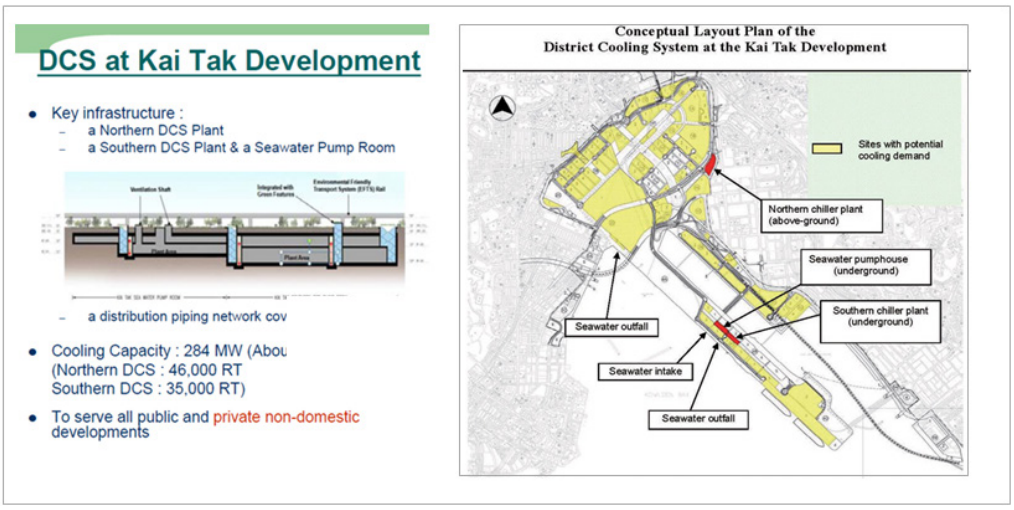


Figur 352: Marina Bay Sands Hotel i Singapore och lokalisering av kyltorn från Truwater. Källa: Our Truenews (Nov 2012).

Ett flertal studier har kommit fram till att förutsättningarna för utnyttjande av geotermisk energi är goda i Singapore, se t ex ref (161). Detta skulle kunna utnyttjas bl.a. för att bygga ut fjärrkylan, t.ex. baserat på absorptionskylare drivna med det geotermiska värmet, Figur 353.



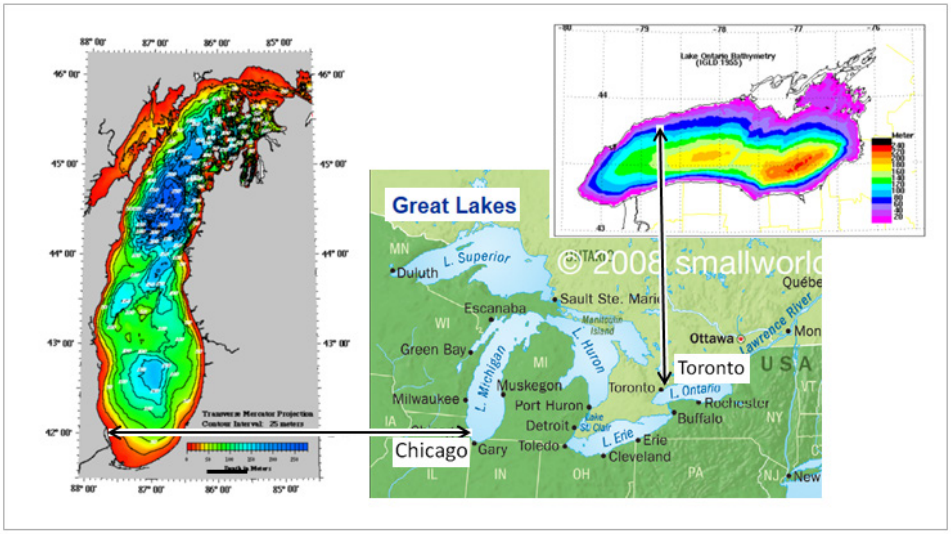
Figur 353: Förutsättningar för utnyttjande av geotermisk energi i Singapore. Till vänster: Global fördelning av geotermisk värmeflux, med angivande av medeltal för Singapore. Till höger: Temperaturprofil i Singapore ner till ett djup om 6.000m. Källa: Tjawi.



Figur 354: Fjärrkyla i Hong Kong. Källa: (162).

I Hong Kong finns ett fjärrkylesystem liknande det i Singapore, fast mycket större, Figur 354. Kylvatten till kondensorer tas direkt från hamnen, och i en publikation om systemet poängteras att det inte är lönsamt att ta kylvattnet från större avstånd. I båda fallen Singapore och Hong Kong måsta man komma ihåg att det är frågan om orter som ligger på breddgrader där världshavet i allmänhet håller hög temperatur, se högra delen av Figur 353.

Ett av världens mest kända fjärrkylesystem finns i Toronto, Kanada. Det tar frikyla från Lake Ontario. Chicago ligger intill Lake Michigan, men utnyttjar inte kyla från denna. Figur 355 visar s k batymetriska kartor för de båda sjöarna, kartor över djupet.



Figur 355: Batymetriska kartor för Lake Michigan (med Chicago intill) och Lake Ontario (med Toronto intill). Källa: (163).

Utnyttjande av frikyla har övervägts i Chicago, men sjöbotten lutar inte lika mycket som i Lake Ontario vid Toronto. Det har dock publicerats planer på en framtida utnyttjande av frikyla där. Det befintliga fjärrkylesystemet i Chicago, som är det största amerikanska, är av blygsamma mått. Som i andra amerikanska städer med fjärrkyla är leveranserna begränsade till ett litet centralt business district area. Som i Singapore (och i en stor del av de andra amerikanska städerna med fjärrkyla) finns det ett islager som är mycket kompaktare än kylvattenlager, vilket är viktigt vid placering inom centret av en storstad med extremt tät bebyggelse, skyskrapor. Sammanhängande med detta har man den låga framledningstemperaturen 1°C, vilket försvårar utnyttjande av frikyla. Man har prioriterat att få ett system som är affärsmässigt lönsamt, inte att kylproduktionen ska bli så förnyelsebar som möjligt.

19 Termiskt inneklimat

19.1 INLEDNING OCH BAKGRUND

Inom detta avsnitt kommer vi att presentera och diskutera normer och praxis vid bedömning av termiskt klimat inomhus. Utan på något sätt att göra anspråk på en fullständig redovisning kommer vi ändå att gå något i detalj med hur normerna ser ut i olika länder.

Ett av syftena med detta är att visa att det finns tecken på att den praxis som tillämpas i bl.a. Sverige undervärderar betydelsen av både hög och låg fuktighet, även om Sverige har relativt torra somrar (mätt i specifik, inte relativ fukthalt). Det är ett internationellt problem att avgörandet av hur pass acceptabelt ett visst lufttillstånd är för människan kommit att fokuseras tämligen ensidigt på upplevelsen av behaglighet. Inte minst insikten på senare år om att värmeböljor kan få fatala konsekvenser, även vid måttligt höjda temperaturer inomhus, ger anledning att ifrågasätta denna praxis och att tillämpa ett bredare synssätt på hur det termiska klimatet påverkar människan.

Detta har bl.a. betydelse för vilka koncept för kundcentraler som är värda att undersöka och hur de bör konstrueras för t.ex. av- och uppfuktning.

Vi kommer att koncentrera oss på de krav som bestäms av hur människor mår inomhus och endast kortfattat gå in på krav som har andra motiv och som kan vara helt annorlunda, beroende på vilka byggnader och verksamheter det är frågan om.

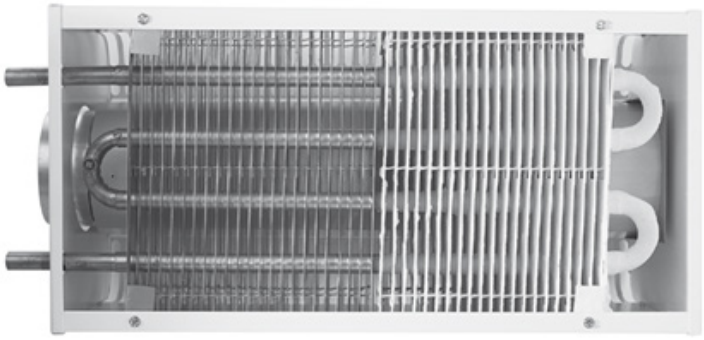
Ett exempel på ett gränsfall är livsmedelsbutiker. Här ser man ofta till att luften är något torrare, typisk relativ fukthalt 40 %, än vad man skulle valt om det enbart varit en fråga om termisk komfort, då det minskar behovet av avfrostning av kylbatterier i kyldiskar mm. Inom de delar affären där det säljs grönsaker och frukt var det under en period vanligt att tvärtom höja fukthalten, vilket sedermera mer eller mindre upphört då detta visat sig medföra risk för Legionella-infektioner. På senare år har det i stället börjat bli allt mer vanligt att man ställer in lägre temperatur i sådana delar av affären. Det kan vara lite kylslaget i en sådan avdelning, men varornas hållbarhet ökar. Om affären då utnyttjar detta för att varorna kommer att ligga längre är det inte säkert att detta leder till bättre matkvalitet.

När det finns ett vattenburet system för kyldistribution, i så fall normalt i kombination med ett luftburet system, måste man beakta risken för utfällning av kondensat på kalla ytor som kan droppa ner på golvet och här ge upphov till skador, mögelbildning mm, ett fenomen som ibland kallas ”indoor rain” i USA. I USA, där vattenburna system är rätt sällsynta, har man som standard försett kylbafflar mm med droppfat, principiellt på samma sätt som man samlar upp och avleder kondensat i centrale kylbatterier.

I andra länder, däribland Sverige, brukar man i stället föreskriva att kylbafflar, kyltak mm regleras på sått sätt att inkommande kallvattentemperatur inte ligger under en viss temperatur, typiskt kring 16°C. Sedan avfuktar man vid behov

(inträffar ca. 500 timmar om året) den luft som tillförs rummen ner till en daggpunkt som typiskt är högst storleksordningen 14°C, varvid man har viss marginal mot de 16°C som tar hänsyn till att det bl.a. på grund av fuktavgivningen från människor sker en uppfuktning inomhus. Det förefaller vara så att många tekniker i praktiken inte alls känner till problemet, men ändå klarar sig undan ”regn” inomhus då kylbatteriet automatiskt ger en avfuktning. Överskridandet av daggpunkten under några få timmar leder normalt inte till problem.

Vissa anhängare av vattenburna kylsystem och tillverkare hävdar, och redovisar beräkningar och försök, att man även, med vanliga typer av kylelement, kan undvika skadlig kondensbildning vid drift under längre perioder med en vatteninloppstemperatur som i vissa fall ligger upp till 4°C lägre än rummets daggpunkt, men detta är omstritt. Lindab marknadsför en intressant typ av kylpanel med rör och lameller (kallad Drypac) vars ytor är belagda med ett hygroskopiskt material som leder det kondensat som vid måttligt underskridande av daggpunkten endast bildas på rören och de inre delarna av lamellerna (i närheten av rören) ut till lamellernas yttre delar där kondensatet förångas. Därmed kan man ha en temperatur på det inkommande vattnet som ligger 4°C under daggpunkten utan att det uppstår fuktproblem.



Figur 356: Kylpanel med rör och lameller kallad ”Drypac”. Källa: Lindab.

I Tyskland förser man ofta vattenburna kylsystem med en reglering som innebär att man stänger av cirkulationen i händelse av extremt hög daggpunktstemperatur, t.ex. 17°C som enligt statistiken typiskt uppkommer mindre än genomsnittligt 50 timmar om året.

19.2 KOPPLING TILL HÄLSOASPEKTER

Vi kommer i ett fördjupningsavsnitt 19.5 kallat ”Spridning av influensavirus” i detta kapitel att redogöra för spridningen av virus och kopplingen till det värdeskapande som den föreslagna innovativa kopplingen ger.

Vi anser att det är en nyttig vunnen kunskap värd att lyfta fram. Därför har vi lagt vikt vid en djupare beskrivning med ett avsnitt placerat i **Bilaga C ”Pandemier”**, som är en bred redogörelse för influensapandemier. Det sistnämnda argumenterar för att problemet är angeläget, medan avsnitt 19.5 dokumenterar att virusets

förmåga att överleva och spridas är starkt beroende av temperatur och fukthalt, vilket gör det tekniskt möjligt att bidra till begränsning av smittspridning.

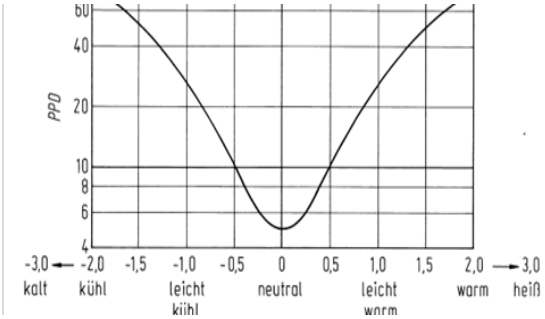
Någon säger kanske: ”Det är nog lite överdrivet med rädslan för Pandemier”. Avsnittet ”Pandemier” visar, att detta är fel. Då säger man kanske: ”OK, men det är väl en medicinsk fråga, hör den hit?”. Svar ja: Vi har tur att det visar sig att viruset är starkt beroende av två parametrar som vi som energitekniker kan påverka och kontrollera. Se vidare **Bilaga C**.

19.3 TERMISK STRESS

I samband med att det kommit ökat fokus på värmeböljor har frågan om medicinska konsekvenser av för höga temperaturer inomhus uppmärksammats på senare år. Det råder dock stor osäkerhet om hur detta ska hanteras konkret vid angivande av gränsvärden. Fortfarande är det i praktiken nästan uteslutande komfort som bestämmer. Det behövs ett paradigmbyte så att ”komfortkyla” kompletteras med ”hälsokyla”.

Innan vi går in på detta kommer vi kortfattat att redogöra för normer om termisk komfort inomhus.

De flesta internationella och nationella normer om termisk komfort tar utgångspunkt i dansken P.O. Fangers (1934 – 2006) teori som publicerades som en doktorsavhandling vid Danmarks Tekniske Højskole 1972, och som har kompletterats efterhand.

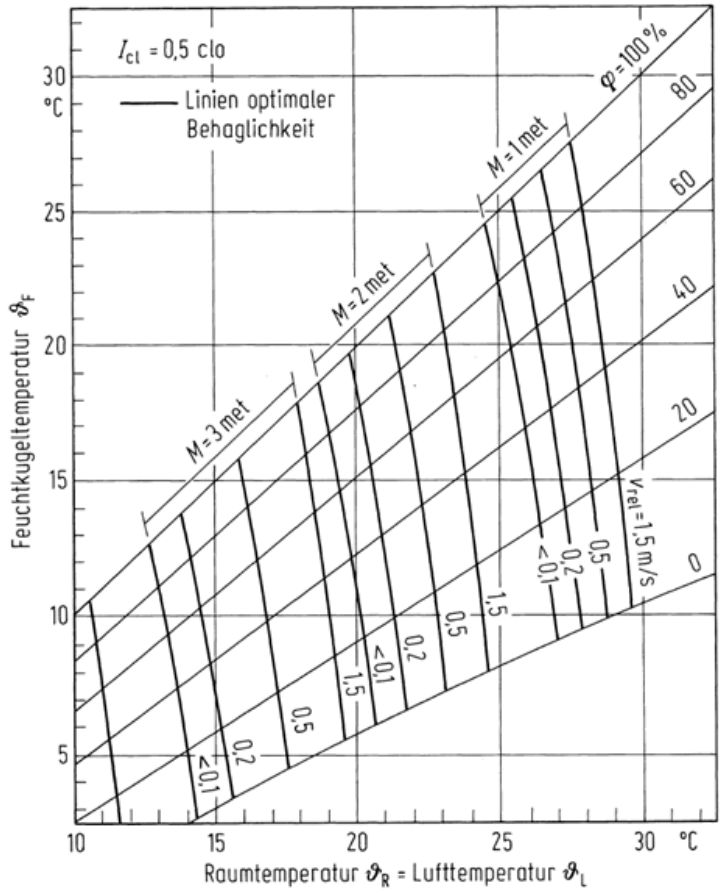


Figur 357: Utvärdering av försök med termisk komfort i klimatkammare vid DTH i Danmark från 1972. Källa: (164).

Fanger genomförde en rad försök med testpersoner som placerades i en klimatkammare där temperatur, fukthalt, lufthastighet och luftrenhet kontrollerades noga, Figur 357. Försökspersonerna försågs med klädsel som varierade från lätta sommarkläder till tjocka vinterkläder. I några försök satt personerna still, i andra utförde de fysiskt arbete som var mer eller mindre tungt.

Personerna ombads värdera hur de upplevt situationen enligt en femgradig skala. På basen av svaren ritades, för varje variabel som ändrades, ett diagram med andel missnöjda (”Predicted Percentage Dissatisfied”, PPD) som funktion av variabelns värde. Då olika individer har olika preferenser, finns inget tillstånd som alla är helt nöjde med. Men det finns ett tillstånd som är ett kurvminimum, där det samlade

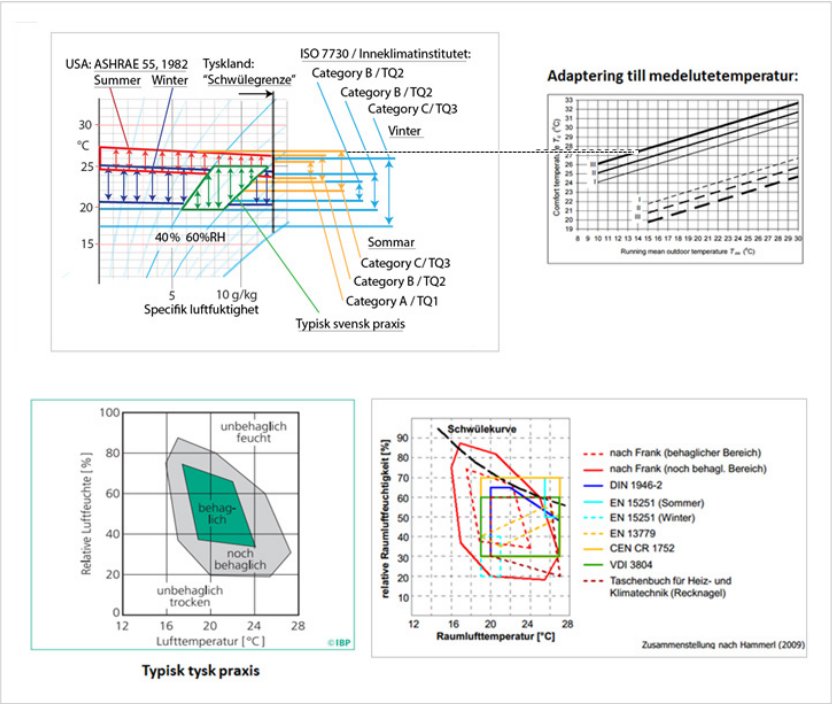
missnöjet är minst. Detta tillstånd (”Predicted Mean Vote”, PMV) utnämns att vara det optimala.



Figur 358: Optimalt behagliga tillstånd vid varierande operativ lufttemperatur, fukthalt, lufthastighet och graden av fysiskt arbete. Källa: (164).

Efter att ha varierat tillståndet systematiskt kunde Fanger rita diagrammet i Figur 358. Abskissan (x-axeln) är den operativa temperaturen. Ordinatan är den våta temperaturen. Kurvparametrar är dels lufthastigheten, dels graden av fysisk aktivitet, kvantifierad med en siffra M som har värdet 1 för personer som sitter still. Alla parametrarna, utom den våta temperaturen (och därmed fukthalten) har avsevärt inflytande på det optimala tillståndet.

Försökspersonerna var företrädesvis yngre, friska människor (studerande). Sedan kompletterades med försök med andra grupper av människor. Det visade sig att variationerna i preferenser mellan personer av olika kön och ålder var små. När gäller personer som bär på olika kroniska sjukdomar har det i litteraturen rapporterats varierande resultat vad beträffar kvantifieringar av komfort.



Figur 359: Sammanställningar i Mollierdiagram (uppe vänster) och diagram med annat koordinatsystem av olika formella standardar och praxis för acceptabel temperatur och fukthalt. Källa (utöver det som anges i figuren): (165).

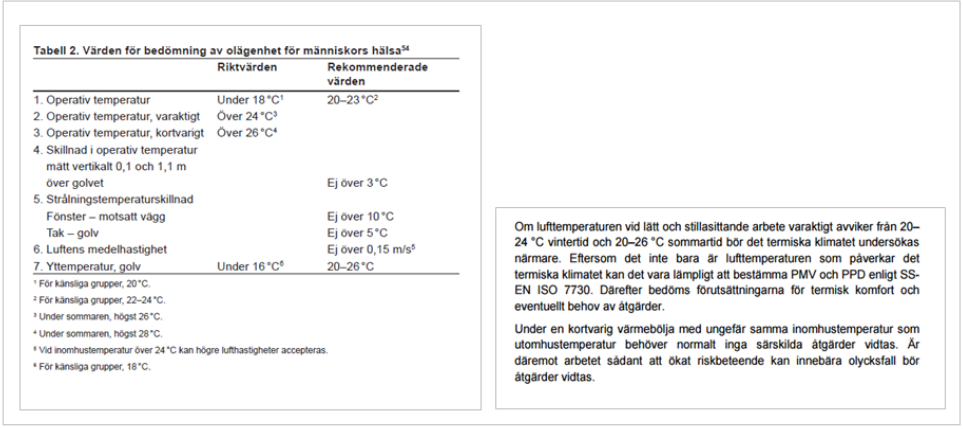
Se Figur 359, diagrammet uppe till vänster. Det finns både specifikt nationella och internationella standarder för vad som anses som acceptabel temperatur och fukthalt, vilka avgränsar komfortzoner. I Sverige har man implementerat gränser enligt en norm ISO 7730, som publicerats av Inneklimatinstitutet. Enligt dessa har fukthalten ingen betydelse. Det finns två uppsättningar (sommar respektive vinter) med vardera tre klasser med mera eller mindre snäva marginaler. Klassen med de snävaste marginalerna är avsedd för särskilt känsliga personer.

Även i den amerikanska normen ASHRAE 55 har man olika gränser för sommar och vinter. Men (den specifika = absoluta) fukthalten är dels begränsad uppåt, dels lutar de horisontella linjerna med temperaturgränser. Normen anger kompletterande att man under olika specificerade omständigheter kan tillåta högre fukthalt.

I flera normer anger man en möjlighet att förskjuta temperaturgränserna med varierande medelvärde av utetemperatur för orten ifråga. Därmed tar man hänsyn till den erfarenheten att människor har en förmåga att acklimatisera, med viss tröghet. Om man resar till en mycket varm ort, brukar obehaget gradvis minska under en period om i storleksordningen ett par veckor.

I Mollierdiagrammet har inlagts, förutom formella regler, några gränser som ibland används pragmatiskt i praktiken. Således använder man i Tyskland traditionellt en s k ”Schwülegrenze” (”kvavighetsgräns”) för den specifika fukthalten, en gräns som sammanfaller med den amerikanska motsvarande begränsningen.

I den undre delen av Figur 359 återges ur tysk litteratur en sammanställning av diverse gränser för komfortzoner i ett diagram där abskissan är innetemperaturen och ordinatan den relativa fukthalten.



Tabell 2. Värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa[54]

	Riktvärden	Rekommenderade värden
1. Operativ temperatur	Under 18 °C[1]	20–23 °C[2]
2. Operativ temperatur, varaktigt	Över 24 °C[3]	
3. Operativ temperatur, kortvarigt	Över 26 °C[4]	
4. Skillnad i operativ temperatur mätt vertikalt 0,1 och 1,1 m över golvet		Ej över 3 °C
5. Strålningstemperaturskillnad		
Fönster – motsatt vägg		Ej över 10 °C
Tak – golv		Ej över 5 °C
6. Luftens medelhastighet		Ej över 0,15 m/s[5]
7. Yttemperatur, golv	Under 16 °C[6]	20–26 °C

[1] För känsliga grupper, 20 °C.
[2] För känsliga grupper, 22–24 °C.
[3] Under sommaren, högst 26 °C.
[4] Under sommaren, högst 28 °C.
[5] Vid inomhustemperatur över 24 °C kan högre lufthastigheter accepteras.
[6] För känsliga grupper, 18 °C.

Om lufttemperaturen vid lätt och stillasittande arbete varaktigt avviker från 20–24 °C vintertid och 20–26 °C sommartid bör det termiska klimatet undersökas närmare. Eftersom det inte bara är lufttemperaturen som påverkar det termiska klimatet kan det vara lämpligt att bestämma PMV och PPD enligt SS-EN ISO 7730. Därefter bedöms förutsättningarna för termisk komfort och eventuellt behov av åtgärder.

Under en kortvarig värmebölja med ungefär samma inomhustemperatur som utomhustemperatur behöver normalt inga särskilda åtgärder vidtas. Är däremot arbetet sådant att ökat riskbeteende kan innebära olycksfall bör åtgärder vidtas.

Figur 360: Riktlinjer från Socialstyrelsen och Arbetarskyddsstyrelsen.

En tredje typ av begränsningar hittar man i riktlinjer från olika myndigheter, se Figur 360. Till vänster finns citat från Socialstyrelsen avseende vad som ska anses som sanitär olägenhet för bostäder, dvs. här fokuserar man på hälsa. Till höger återges anvisningar från Arbetarskyddsstyrelsen. Förkortningarna PMV och PPD är de som används i Fangers modell, som beskrevs vid Figur 357.

I Tyskland finns en prejudicerande dom (”Das Bielefelder Klimaurteil”, avkunnad av en domstol i Bielefeld) avseende högsta tillåten innelufttemperatur i kontorsbyggnader mm. Gränsen är 26°C inomhus upp till en utomhustemperatur om 32°C. Om utomhustemperaturen är högre, tillåts en inomhustemperatur som är maximalt 6 grader lägre. I England finns liknande bestämmelser.



Figur 361: Högst uppe: citat ur plan för beredskap för värmeböljor inom Lunds Kommun. Under vänster: Statistik över tropiska nätter i Sverige (källa: SMHI), under till höger beskrivs en intressant "case story" om sommartemperaturer i en lägenhet.

Hur omsätts standarder och regler för termiskt inomhusklimat i praktiken? Figur 361 ger en illustration av problem med detta. Diagrammet visar förekomsten av s k "tropiska nätter" som definieras som nätter då temperaturen hela tiden är högre än 20°C. Anledningen till fokus på detta begrepp är erfarenheten, att den fysiologiska stress som människokroppen utsätts för under en värmebölja inte enbart bestäms av hur hög temperaturen blir under värmeböljan, utan även av den lägsta temperaturen på natten under värmeböljan. Om natten är relativt sval kan kroppen i viss mån återhämta sig. Men särskilt i centrum av större städer, där det kan bildas värmeöar finns risk att nattemperaturen inte blir tillräckligt låg. Risken är allra störst inom takvåningar i stadscentra.

Tendensen har varit en ökande frekvens av tropiska nätter under de senaste 65 åren, ett av symptomen på den allmänna globala uppvärmningen. Ovanför diagrammet finns ett citat från Lunds Kommuns planering för värmeböljor, där man refererar till just tropiska nätter.

En av de grupper i samhället som är särskilt utsatta för hälsofara vid övertemperaturer är äldre personer. I de beredskapsplaner som i olika länder utfärdats i kölvattnet på den stora europeiska värmeböljan 2003 finns bl.a. goda råd. Ett sådant är att äldre personer ska komma ihåg att dricka ordentligt för att undvika uttorkning. Det gäller att vara uppmärksam på detta då förmågan att uppfatta när man behöver inta vätska minskar med åldern.

Många äldre människor är bundna till sin bostad, särskilt om de är rullstolsbundna. I den mån det uppträder övervärmning inom bostaden, har de

inte i samma grad som yngre personer möjligheter att hämta sig, t.ex. genom att dagtid vistas på ett kontor med komfortkyla eller att åka till stranden på fritid.

I bl.a. de skandinaviska länderna finns som en av grunderna för socialpolitiken den s k *kvarboendeprincipen*: Äldre människor har rätt att stanna så länge som möjligt i sin bostad och att vid behov få hjälp för att det ska bli möjligt. Detta gör det i praktiken omöjligt att differentiera med hänsyn till om de boende tillhörer gruppen av känsliga personer enligt normen ISO 7730 (och dess implementering i nationella normer). Den som ska designa klimatiseringssystemet för ett flerbostadshus har ofta ingen vetskap om vilka de boende är/kommer att vara i de individuella lägenheterna. I realiteten blir resultatet att det finns stor risk att kvarboendeprincipen inte kommer att följas när det gäller det termiska klimatet.

I Figur 361 finns en case story om en värmeplågad äldre person fick hjälp av sin son att installera en ”illegal” luftkonditioneringsapparat. Inte alla äldre kan förvänta sig en sådan service i de skandinaviska länderna där luftkonditionering i privata bostäder av många uppfattas som energislöseri eller rentav som omoralisk. Men de generationer, som vant sig vid luftkonditionering i bilar, kommer sannolikt att ha en mindre beskedlig inställning till behovet av luftkonditionering i bostäder när de själva blivit gamla och bundna till sina lägenheter.

Klimat- och sårbarhetsutredningen (166) föreslog att det ska införas som standard att det finns avkylningsmöjligheter på akut-, intensiv- och hjärtavdelningar, och att behov av kylning av andra lokaler inventeras. Problemet är emellertid att de sårbara grupperna av personer finns utspridda inom hela byggnadsbeståndet.



Tio steg till energisnål komfortkyla

1. Utgå från kravet på inomhusmiljön
Börja med att definiera kraven på rumstemperaturen på olika platser i byggnaden, vid olika tider på dygnet och under året. Det är en förutsättning för att du ska veta att du vare sig värmer eller kyler för mycket. Tänk på att människor accepterar högre inomhustemperaturer när det är varmt ute. Många anpassar sin klädsel efter utetemperaturen och vill inte ha så svalt inomhus på sommaren.

2. Använd solavskärmning
Solinstålning kan bidra mycket till uppvärmningen, vilket kan vara både positivt och negativt. Väl genomtänkt solavskärmning stänger ute värmen på sommaren och behåller den på vintern.

3. Byt belysning
Energieffektiv belysning lyser upp utan att värma upp rummet. Moderna armaturer har dessutom ofta bättre ljusutbyte än äldre modeller.

4. När du köper ny utrustning, välj energieffektiva modeller
All el som används, blir till värme i byggnaden. Vid inköpstillfället har du chansen att påverka elanvändningen under lång tid framåt. Aktivera energisparläge på alla maskiner och stäng av all utrustning som inte används, inklusive lokala kylare.

5. Tillåt/planera för öppen planlösning
Stora luftvolymer kan lättare fördela ut värmetillskott i byggnaden utan att kylning behövs. Se till att hela den öppna ytan har samma krav på temperatur och luftomsättning. Det är svårt att hålla olika temperaturer i olika områden av en öppen yta.

6. Underhåll och rengör kylutrustningen regelbundet
Smutsiga filter ger både högre energiåtgång och sämre inomhusmiljö. Smutsiga eller rostiga värmeväxlarytor gör att värmetransporten blir ineffektiv.

7. Tänk på att undertak förhindrar lagring av värme/kyla i byggnadsstommen
Om verksamheten kan bedrivas utan undertak, kan byggnaden lättare ta upp temperaturvariationerna. Detta är speciellt viktigt om man tänker använda nattkyla. Här måste man avväga mot behovet av ljuddämpning.

8. Använd nattkyla vid behov
Under nästan alla årets nätter är utomhustemperaturen lägre än den önskade inomhustemperaturen. Genom att ventilera byggnaden på natten sänks inomhustemperaturen så att man inte behöver använda komfortkyla på morgonen. Nattkyla kan användas så snart som utomhustemperaturen är lägre än inomhustemperaturen. Hur mycket man kan kyla under natten beror på hur svalt brukarna kan och vill ha det på morgonen. I de flesta fall accepteras ett par graders sänkning utan problem.

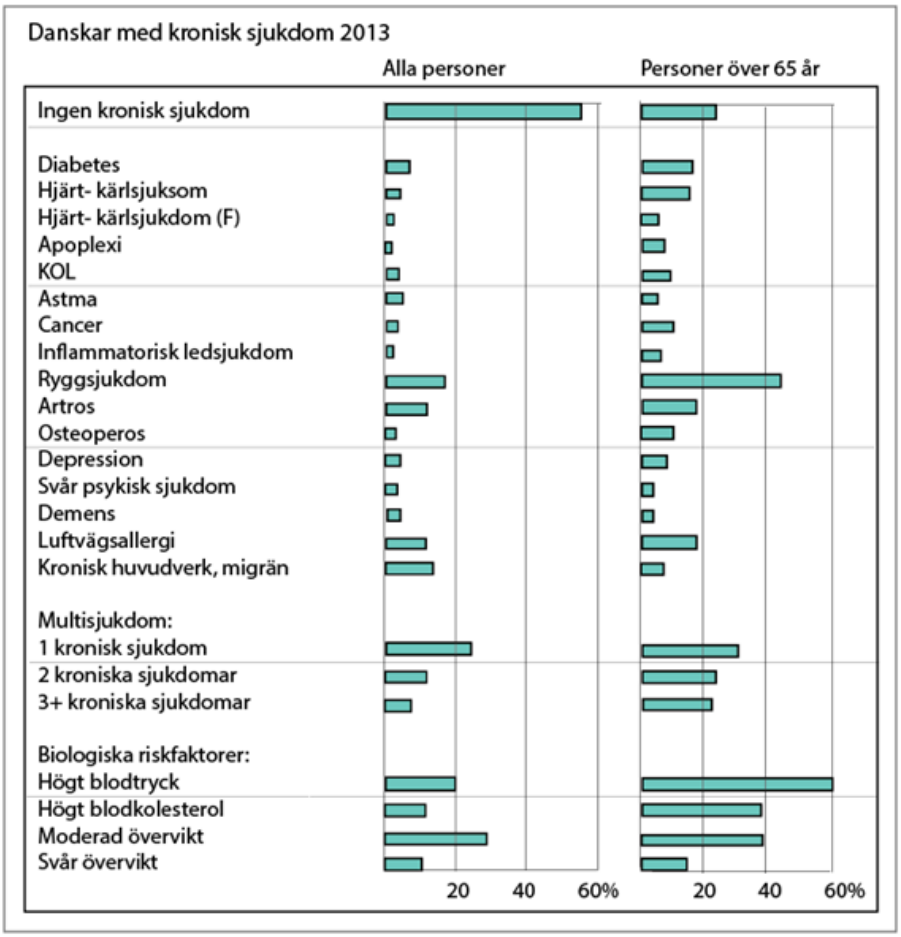
9. Använd frikyla om övriga steg ovan är otillräckliga
Frikylan utnyttjar luft eller vatten utanför byggnaden för att föra bort överskottsvärme och kan användas både dagtid och nattetid.

10. I sista hand, lägg till fjärrkyla eller kylmaskin
Genom att gå igenom de nio första stegen har behovet av köpt eller egenproducerad kyla minskats till ett minimum. Projektera anläggningen efter det lägre kylbehovet!

Figur 362: Fig. Goda råd om energisnål komfortkyla enligt Energimyndigheten. Källa: (167).

Figur 362, som är hämtad ur en publikation från 2013 från Energimyndigheten i Sverige, med goda råd om ”energisnål komfortkyla” (167), har en sådan ordalydelse, att den kan legitimera att en beslutsfattare prioriterar energisparande högre än hänsyn till hälsa. Man bortser från att fjärrkyla, säsongslagring av kyla i marken mm tekniker på många platser kan möjliggöra energisnål och förnyelsebar komfortkyla.

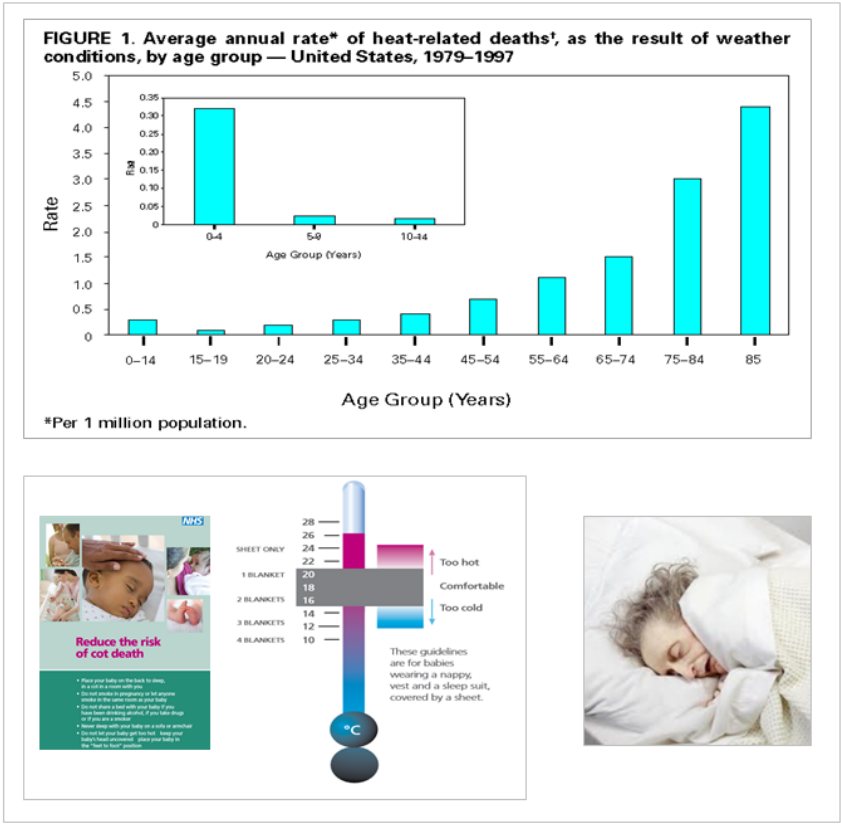
En annan fundamental princip i de skandinaviska ländernas socialpolitik är *normalitetsprincipen*: Personer med olika typer av funktionshinder ska kunna leva ett liv som i möjligaste mån inte avviker från friska personers liv, och har rätt att få hjälp att uppfylla kravet, om sådan hjälp är påkallad.



Figur 363: Statistik över de vanligaste kroniska sjukdomarna. Källa: (168).

Figur 363 visar en statistik över frekvensen av kroniska sjukdomar, varav flera innebär nedsatt tolerans för värme p.g.a. av en försämrad reglering av kroppstemperaturen, till följd av sjukdomen i sig och i många fall även en specifik följd av medicineringen. Till detta kommer faktorer som är relaterade till beteende.

Att en arbetstagare bär på en eller flera kroniska sjukdomar är inget undantag; på en större arbetsplats är det normala att det finns ett flertal personer som har kroniska sjukdomar eller av annan anledning kan vara känsliga för värmestress. Äldre personer har nämnts; redan vid 55 års ålder har andelen personer med kronisk sjukdom ökat. En annan grupp av personer med ökad känslighet är gravida kvinnor. Återigen medför ett uppfyllande av lagstiftningens målsättningar att den som ska projektera en klimatanläggning måste utgå från de krav som de känsliga personerna innebär. Men då detta inte definieras som normalfallet, måste man räkna med att det i praktiken är ovanligt att den principiella målsättningen uppfylls. Det kostar pengar, och arbetsgivare brukar vara måna om ekonomi.



Figur 364: Statistik över värmerelaterade dödsfall hos olika åldersgrupper. Källa: (169), USA, överst och National Health Service, UK, underst.

Det har det senaste tio-året publicerats en lång rad epidemiologiska arbeten om ökad dödlighet vid värmeböljor i olika länder. Figur 364 visar det karakteristiska i alla dessa undersökningar av dödlighet vid värmeböljor, att denna ökar med åldern. En etisk frågeställning är att en del av de dödsfall som uppträder till följd av värmeböljor inte ökar den generella dödligheten under kalenderåret. Det är frågan om personer som redan var mycket svaga och som skulle avlidit i alla fall inom en kortare tid, på engelska kallat ”the harvesting effect”. Som mått på hur allvarlig en värmebölja varit kunde man i stället för antal avlidna personer använda antal statistiskt förlorade levnadsår, men det är inte vanligt att göra så. Som Figur 364 visar, finns det en viss ökad dödlighet även hos småbarn. Om man räknade med förlorade levnadsår skulle denna grupp väga relativt tungt. En del av dödsfallen hos småbarn uppträder dock inte inomhus utan i bilar där temperaturen snabbt kan öka en het sommardag, så att ett barn som lämnats kvar i bilen drabbas.

Men en annan delgrupp av dödsfall hos småbarn är sannolikt i hög grad påverkbara vid val av inneklimat i byggnader. Det gäller kategorin plötslig spädbarnsdöd om vilken det nyligen publicerats en omfattande kanadensisk studie (170) som påvisar att värmestress sannolikt spelar en väsentlig roll. Figur 364 visar framsidan av en skrift författad av den engelska motsvarigheten till Socialstyrelsen, National Health Service, NHS. Man lämnar här ett antal råd till

föräldrar med småbarn. Det hävdas att dessa råd medfört att frekvensen av plötslig spädbarnsdöd minskat med 70 %. Man kan lägga märke till att ett av råden är att temperaturen i sovrummet inte får överstiga 20°C, dvs. mycket lägre än vad de vanliga normerna tillåter.

Table 3
Housing conditions and environmental factors in univariate paired analysis of all causes of death[a]

	Number of pairs	Cases No.	Cases (%)	Controls No.	Controls (%)	Odds ratio	Confidence interval (95%)
Building	258						
Single family house		31	(12.0)	33	(12.7)	1	
Multiple dwelling unit		227	(87.6)	225	(86.9)	1.19	0.62–2.27
Construction date	259						
After 1975		37	(14.3)	62	(23.9)	1	
Before 1975		222	(85.7)	197	(76.1)	1.83	1.14–2.92
Proportion of housing with toilets	177					0.24	0.08–0.74
Dwelling unit							
Floor (story)[b]	142					1.12	1.00–1.25
Lives on the top floor							
No	207	160	(61.8)	184	(71.0)		
Yes		47	(18.1)	23	(8.9)	2.33	1.33–4.09
Thermal insulation[c]	250						
Very bad insulation		112	(43.2)	74	(28.6)	1	
Bad insulation		22	(8.5)	20	(7.7)	0.80	0.39–1.68
Average insulation		49	(18.9)	59	(22.8)	0.48	0.28–0.83
Good insulation		67	(25.9)	97	(37.5)	0.42	0.26–0.67

Figur 365: Resultat av en statistisk undersökning av värmeböljan i Frankrike 2003.

Figur 365 visar några resultat av en statistisk bearbetning av dödligheten vid värmeböljan i Frankrike 2003. Här en den faktor som är den absolut mest signifikanta när det gäller den fysiska omgivningen, ifall den avlidne personen bott i en takvåning.

TABLE 3. Estimated Effect Modification by Subject Characteristics of the Risk Attributable to Extreme Temperature

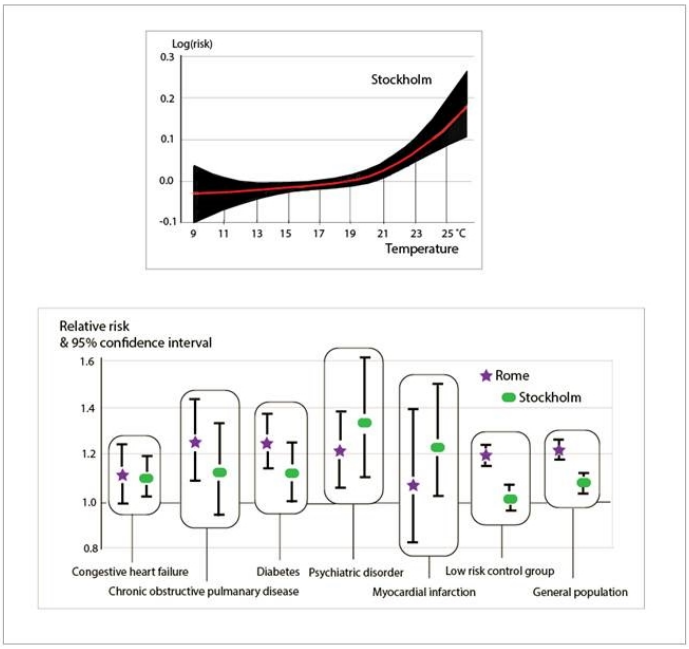
	Extreme Heat*		Extreme Cold†	
Condition	1-Day Relative Odds‡ (95% CI)	3-Day Relative Odds‡ (95% CI)	1-Day Relative Odds‡ (95% CI)	3-Day Relative Odds‡ (95% CI)
Old	1.02 (0.89–1.16)	0.97 (0.89–1.06)	1.16 (1.03–1.31)	1.11 (1.00–1.24)
Nonwhite	1.22 (1.09–1.37)	1.18 (1.09–1.27)	1.25 (1.12–1.40)	1.23 (1.12–1.35)
Female	0.94 (0.84–1.05)	0.99 (0.92–1.06)	1.14 (1.02–1.26)	1.08 (0.99–1.19)
Diabetes	1.17 (1.04–1.32)	1.09 (1.01–1.18)	0.98 (0.87–1.10)	1.04 (0.94–1.15)
MI	0.94 (0.78–1.13)	0.90 (0.79–1.02)	0.83 (0.69–0.99)	0.87 (0.75–1.02)
COPD	1.128 (1.00–1.26)	0.99 (0.92–1.07)	1.19 (1.07–1.33)	1.16 (1.06–1.28)
Pneumonia	1.07 (0.95–1.20)	1.04 (0.99–1.12)	1.03 (0.92–1.16)	1.06 (0.96–1.17)
CHF	1.01 (0.91–1.13)	1.00 (0.93–1.07)	1.00 (0.90–1.11)	1.007 (0.91–1.09)

*At or greater than the 99th percentile of minimum daily temperature.
†At or less than the first percentile of maximum daily temperature.
‡Relative odds of death for persons who had the condition compared with persons who did not have the condition. Age refers to the age at death. Medical conditions refer to conditions noted at hospitalization before death.

Figur 366: Resultat av en statistisk bearbetning av värmeböljor i USA. Källa: (171).

Figur 366 visar resultat av en statistisk bearbetning av dödsfall vid amerikanska värmeböljor. Här är den mest utsatta personkategorin ”None white”. I USA finns en stark statistisk koppling mellan rastillhörighet och sociala problem publicerad. En betydligt större del av de svarta medborgarna har svag ekonomi vilket innebär

en större andel personer ”without access to air conditioning”, en typisk formulering.



Figur 367: Värmeböljor i Stockholm och Rom. Källa: (172).

Figur 367 visar resultat ur epidemiologiska undersökningar avseende Stockholm och Rom. De svenska författarna tillhör en mycket aktiv forskargrupp vid Umeå Universitet som publicerat sina resultat i internationella tidskrifter, och som i en rapport ”Hälsoeffekter av höga temperaturer” (173), publicerat 2015 av Folkhälsomyndigheten, gjort en sammanställning av internationella resultat ur 104 originalarbeten.

Man ser att en ökad dödlighet uppträder till följd av ett antal vanliga sjukdomstillstånd, t.ex. diabetes som många yrkesaktiva personer bär på. Den kategori som i denna undersökning uppvisar den största överdödligheten är psykiska sjukdomar som är en heterogen grupp av tillstånd; psykos, demens, missbruk mm. I många fall är problemet både fysiologiskt och beteendemässigt. Man glömmer t.ex. att dra ner persienner och att dricka tillräckligt för att kompensera för den ökade vätskeförlusten. Dementa personer kan en het sommardag t.o.m. få för sig att det är kall vinter och drar på sig tjocka kläder (174).

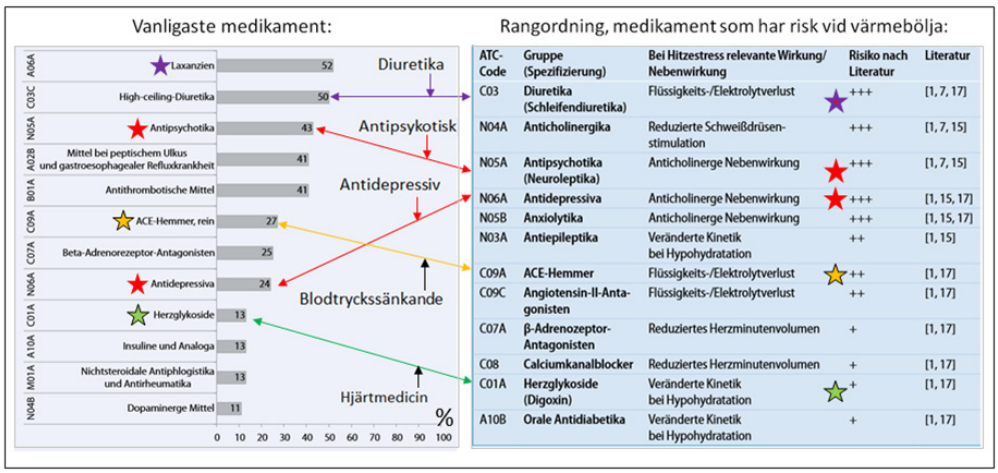
Några undersökningar, t.ex. (164), redovisar att man inte hittat statistisk signifikans för ett antagande om att olika sjukdomar skulle leda till andra preferenser beträffande temperatur och fukthalt än de man observerar hos friska människor. Om man tar fasta på detta är det lätt att förbise att sjukdom kan drabba både fysiologiskt och kognitivt, enkelt uttryckt: Man märker inte att kroppen är stressad på ett farligt sätt och låter därför bli vidta de rätta åtgärderna.

Sverige har haft tur att landet inte drabbats särskilt hårt av värmeböljor. Men så sent som 2014 nådde en värmebölja så pass långt norrut som Hamburg, där temperaturen den 4 juli kom upp i 36°C. Att en överdödlighet har kunnat påvisas i

Stockholm även vid måttliga värmeböljor, tyder på att det kan bli frågan om en betydlig överdödlighet vid en svår värmebölja i Sverige. En stor del av dessa dödsfall kommer att inträffa inom privata bostäder. I likhet med reflexionerna ovan om obehag av övervärmning inom hus, pekar detta på ett dolt behov av byggnadskyla, även i svenska bostäder.

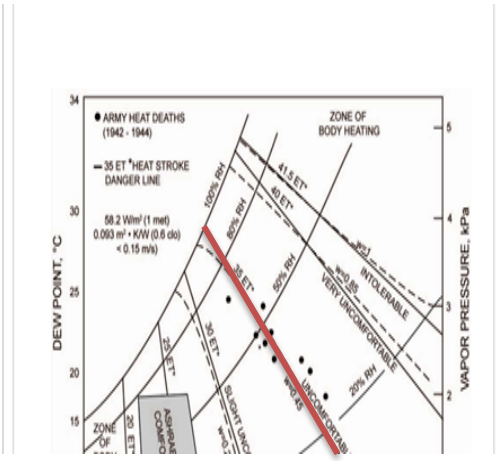
Olika källor har dock skilda uppfattningar i denna fråga (t ex ref. (175) och (176)).

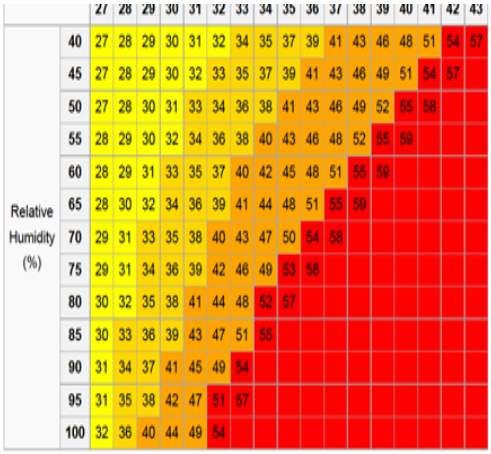
Till de vanliga sjukdomarna tillkommer bl.a. gruppen av mindre vanliga sjukdomar i nervsystemet som bl.a. skadar den naturliga termoregleringen; multipel skleros är ett exempel på en sådan sjukdom.



Figur 368: Mest använda typer av medicin på tre tyska ålderdomshem, korrelerade med känd risk vid värmestress.

Figur 368 visar en tysk sammanställning med en ranking av läkemedelstyper (enligt det internationella klassifikationssystemet för läkemedel) som används på tre ålderdomshem, korrelerat med en sammanställning av forskningsresultat om i vilken utsträckning de olika läkemedlen har visat sig innebära en riskökning vid värmeböljor. Tre av de läkemedelstyper som är mest använda ligger inom kategorin med högst risk: Diuretika, antipsykotisk medicin och antidepressiv medicin. De båda sistnämnda används vid behandling av psykiatriska (i vid bemärkelse) tillstånd, vilket stämmer väl med resultaten som visades i Figur 367. Den farliga, antikolinergiska biverkningen av dessa medikament är minskad svettfunktion.



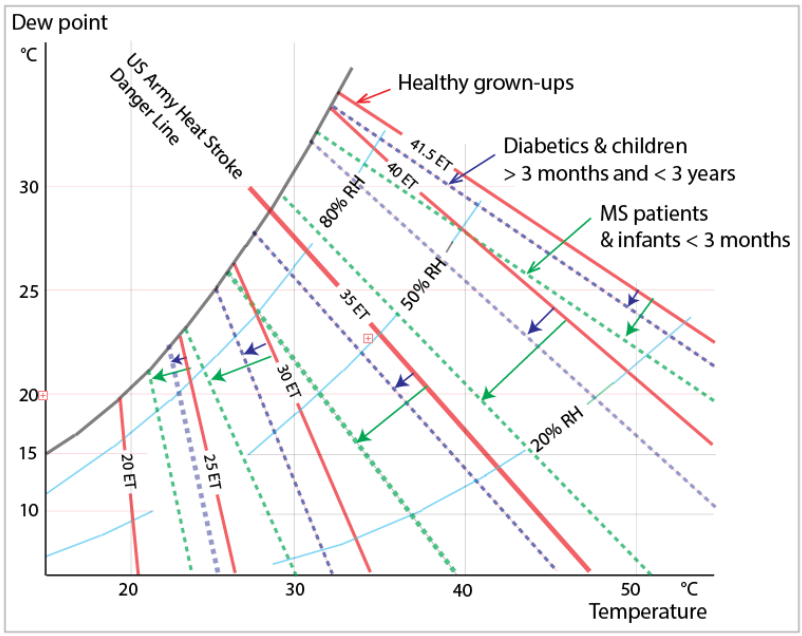


Figur 369: Vänster: Psykrometriskt diagram med linjer för Ekvivalent Temperature (ET). För bättre upplösning se motsvarande diagram i Figur 370. Höger: Heat Stress Index. Källa: Amerikanska myndigheten NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration).

När det gäller värmestress utomhus finns sedan länge ett stort antal mått som kvantifierar och klassificerar. Ett sådant mått är Equivalent Temperature, ET, Figur 369.

Syftet med begreppet Equivalent Temperature är att få ett enkelt mått som kvantifierar den kombinerade stressen av lufttemperatur och luftfuktighet. Måttet har konstruerats så att det vid RH = 50% blir lika med temperaturen. Linjernas lutning innebär att ju högre fukthalten är vid en given temperatur, dess större är stressen. Detta samband är ett resultat av att ett av kroppens sätt att reagera på för hög lufttemperatur är att ökat avdunstningen genom att svettas, och att avdunstningen hämmas av befintlig fukt i luften. Diagrammet konstruerades inom det amerikanska försvaret där man hade erfarenhet av svår värmestress och kunde genomföra experiment med friska personer. Man lägger märke till linjen ”Heat Stroke Danger Line”, 35 ET, markerat med rött i diagrammet, kring vilken det finns några observationspunkter.

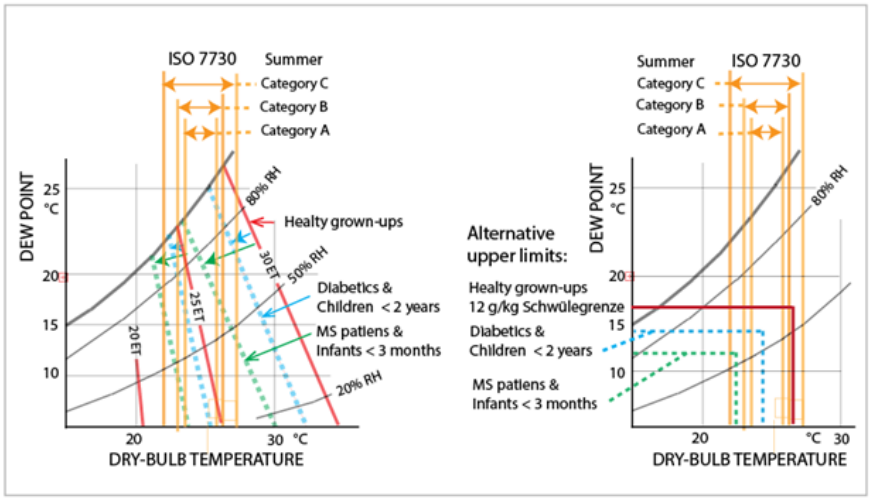
I USA har man sedan länge haft ett varselsystem för svår hetta, inklusive värmeböljor, till höger i Figur 369. Det baseras på ett Heat Stress Index som kvantifierar på ett sätt som är snarligt Equivalent Temperature. Ett tredje, liknande mått är Humidex som används i Kanada. I Tyskland använder den meteorologiska myndigheten Deutscher Wetterdienst ett komplicerat mått som tar hänsyn till ett flertal faktorer.



Figur 370: Psykometriskt diagram likt det vänstra i Figur 369, med förskjutn ET-linjer som kvantifierar ökad känslighet för värmestress hos diabetiker, MS-patienter och småbarn med olika ålder.

Figur 370 illustrerar ett uppslag till en metod att ange individuella, ekvivalenta temperaturer för olika grupper av människor som i större eller mindre grad har ökad känslighet för värmestress: Man utgår från ET och parallellförskjutar alla ET-linjer, mer eller mindre, beroende på vilket tillstånd det är frågan om, och eventuellt även graduerat med hänsyn till hur svårt tillståndet är mm.

I diagrammet görs antagandet (kvantifieringarna är än så länge endast gissningar) att spädbarn som är yngre än 3 månader har samma nedsättning av toleransen som en vuxen skleros-patient, och att ett något äldre barn har samma nedsättning som en vuxen diabetiker.



Figur 371: Vänster: Del av diagram i Figur 370, kompletterad med (för jämförelsens skull) linjer enligt norm ISO 7730. Höger: Ett annat sätt att ta hänsyn till olika gruppers ökade känslighet för värmestress.

I Figur 371 fokuseras på temperaturer som är vanliga inomhus i ett temperat klimat som det svenska. I diagrammet till vänster upprepas linjer från Figur 370 och jämförs med begränsningslinjer enligt normen ISO 7730. De modifierade ET-linjerna lutar avsevärt vilket innebär ett antagende om att fukthalten spelar en väsentlig roll. I diagrammet till höger i Figur 371 visas ett alternativt och enkelt sätt att sätta upp gränser som är individuella, en maximalt tillåten temperatur och en maximal daggpunkt (motsvarande en maximal specifik = absolut fukthalt).

I avsnitt 3.4 samt fördjupningsavsnitt 16 om ”Dimensionerande uteluftstillstånd” visas exempel på att den specifika fukthalten kan bli mycket hög även i Sverige. Som vi sett uppträder tropiska nätter särskilt vid hög luftfuktighet. I SMHI:s kriterier för varsel om värmeböljor tar man visserligen inte hänsyn till luftfuktighet, men man har tillkännagett att man arbetar med frågan, och att det är sannolikt att man längre fram kommer att innefatta luftfuktighet, som i bl.a. USA.

Man kan även hoppas att den medicinska forskningen kommer att kunna lämna ett kvantitativt underlag för att rita individuella diagram som tar hänsyn till ökad känslighet för värmestress hos olika befolkningsgrupper, av den typ som vi skisserat.

I dagsläget är det svårt att göra en kvalificerad bedömning av hur viktigt det är att kunna avfukta luft kraftigt i Sverige under extrema förhållanden vid värmeböljor. Men som vi redogör för i de övriga avsnitten i detta kapitel, finns det numera starka belägg för att rekommendera uppfuktning på vintern, även under svenska klimatologiska förhållanden. För att begränsa den härmed ökade värmeförbrukningen kan man överväga fuktåtervinning med ett sorptivt hjul, vilket då kan utnyttjas för avfuktning vid alltför fuktig väderlek på sommaren.

19.4 TORR LUFT OCH HÄLSA

Då möjligheten att minska förekomsten av torr luft inomhus med hjälp av fuktåtervinning utgör en viktig poäng med flera av våra innovativa lösningar, kommer vi nedan att ägna en del utrymme åt att argumentera för och allsidigt belysa varför det är angeläget att komma till rätta med torr luft.

Ett annat skäl till att behandla ämnet ganska fylligt är att det ofta ifrågasätts om torr luft egentligen är något större problem (att fuktig luft kan ge betydande problem ifrågasätts inte). Denna inställning finns t.ex. i hög grad inom tysk VVS-teknik, bl.a. uttryckt i den tyska ”VVS-bibeln” ofta refererad som ”Der Recknagel” (177). Inställningen finns även på många håll i Sverige. Om man fokuserar på svenska förhållanden måste man ta med i räkningen att vintrarna är mycket kalla i norra Sverige, vilket medför att luften här blir synnerligen torr inomhus under en avsevärd del av året om inte det sker en uppfuktning.

Ett tredje skäl är att traditionell uppfuktning fordrar en icke oväsentlig extra energitillförsel för uppvärmning, vilket ytterligare understryker att den som vill förorda uppfuktning har en betydande bevisbörda. På flera ställen i bl.a. tillkännagivanden från svenska myndigheter framhålls, inte enbart problemet med den ökade energiförbrukningen, utan även risken att uppfuktning kan medföra

mikrobiell tillväxt. Detta ger incitament att hitta innovativa sätt att uppfukta där man förebygger denna typ av problem.

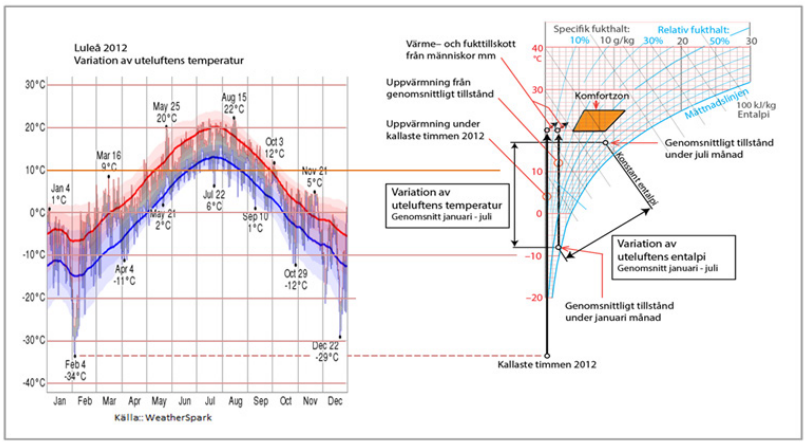
Slutligen motiveras den detaljerade behandlingen av att de tunga argumenten för att undvika torr luft främst hittas inom den medicinska facklitteraturen, mycket av den i vetenskapliga artiklar som ingenjörer (en huvudmålgrupp för denna rapport) normalt inte läser. Med utgångspunkt i uppdaterad sådan information kommer vi således att redovisa att det faktisk finns evidens för att torr inomhusluft måste betraktas som ett avsevärt hälsoproblem. Det är frågan om en rad besvär i form av torra ögon, hudbesvär, symptom från slemhinnor mm. Vi kommer främst att gå in på tre av dessa:

- Torra ögon: Det förefaller visserligen inte vara frågan om bestående skador i någon större omfattning, men många drabbas, det kan vara mycket obehagligt, och det kan medföra att människor måste lämna arbetsmarknaden i förtid. Evidensen är särskilt tydlig när det gäller denna typ av besvär.
- Ökad risk för överförande av smitta, särskilt med influensavirus: Här är situationen i viss mån den omvända: Hälsoproblemet kan vara allvarligt och stort, men evidensen er inte lika klar, även om argumenten är goda. Undvikande av torr luft inomhus kan utgöra ett väsentligt bidrag till att reducera spridningen av smitta, dels vid vanliga vinterinfluensaer, dels vid pandemier som utgör ett alvarligt hot mot hela mänskligheten.
- Inflammation av struphuvudet med heshet, laryngitis, en åkomma som främst drabbar lärare och som kan förorsakes av en inflammation eller av torr luft. Detta innebär att det finns goda argument för att inom skolor, förskolor mm introducera luftbehandling med komfortkyla baserad på sorptiv teknik som på vintern kan användas för fuktåtervinning på ett hygiensikt och energisnålt sätt. – En möjlig ny marknadsnisch för svensk fjärrvärmebransch.

I slutet av avsnittet kommer vi att relativt kortfattat diskutera en helt annan typ av problem: Skador på olika typer av fasta föremål, t ex trägolv som kan komma att knarra om det torkar ut på vintern och tar upp fukt på sommaren, och datorutrustning som (möjligen) kan drabbas av skador p.g.a. statisk elektricitet.

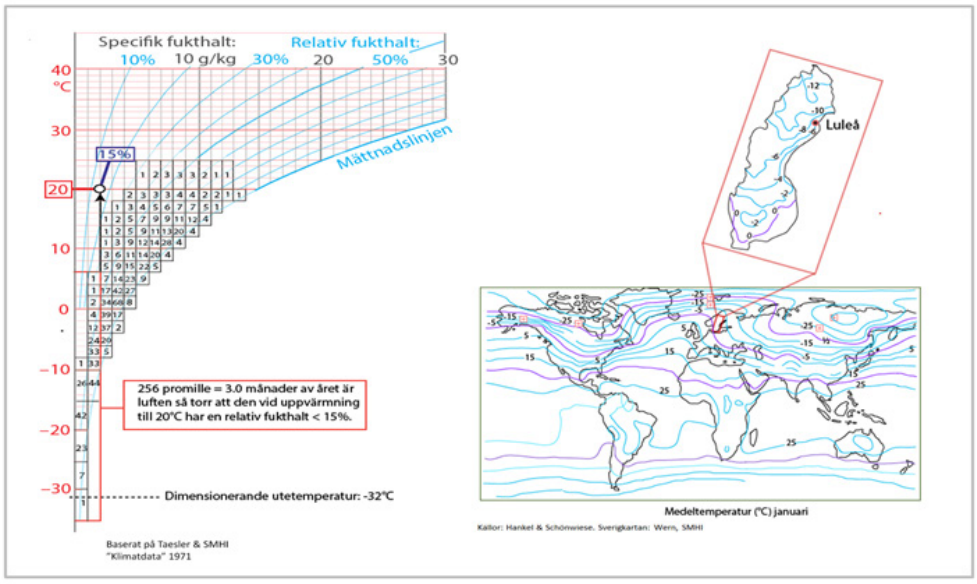
19.4.1 Läget i Sverige

I Figur 372 visar diagrammet till vänster ett förlopp av dygnsvariationer i ute-temperaturen i Luleå. Till höger visas ett Mollierdiagram med inritade tillstånds-förandringar för uteluften mellan sommar och vinter och förlopp vid uppvärmning av uteluften. Uteluftens medeltillstånd under juli månad är under ett genomsnittligt år 17°C, och den relativa fukthalten (de blåa kurvorna) 75 %. Under januari är värdena -8°C och 85%. En linje med pilar i båda ändor visar variationen mellan dessa båda tillstånd. Två andra linjer, likaledes med pilar i båda ändor, visar tillhörig temperatur- (ordinatan) och entalpivariation.



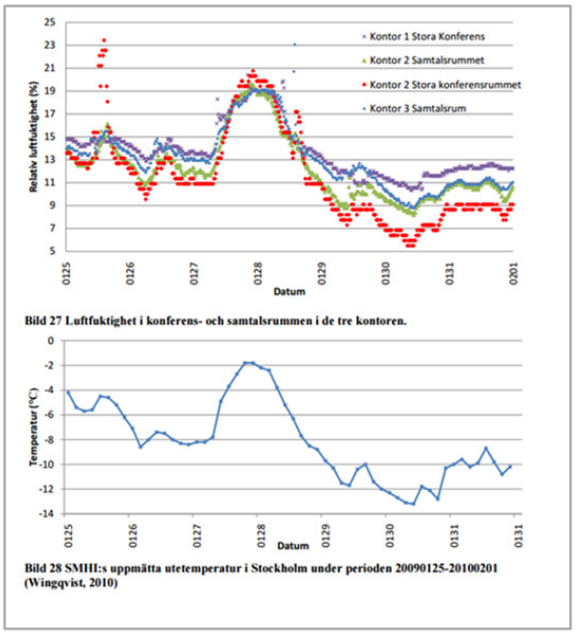
Figur 372: Vänster: Utetemperatur i Luleå 2012, (maximala och minimala timmedelvärden dygn för dygn inlagda i ett diagram med heldragna linjer för värden under ett medelår, jämte spridningsband för dessa maxima och minima, 25/75 och 10/90 percentiler). Höger: Mollierdiagram för olika utetillstånd och uppvärmningsförlopp, jämte värme- och fukttillskott inomhus.

Det visas två uppvärmningsförlopp, det ena från medeltillståndet under januari, det andra från den kallaste timmen under 2012. Båda linjer slutar vid en specifik fukthalt som ligger en bra bit till vänster om det område som benämns ”komfortzon” (se Bilaga A). En kort linje visar lite extra uppvärmning och viss uppfuktning p.g.a. tillskott från bl.a. människor. Då avståndet mellan ordinatan och mättnadslinjen snävas in allt mer ju längre man går ner i utetemperatur, kommer den relativa fukthalten inomhus efter uppvärmning från ett kallt utetillstånd att bli liten, även om den relativa fukthalten utomhus är stor. Genom att indysa vatten i tilluften kan man uppfukta den, men detta fordrar extra energitillförsel.



Figur 373:Vänster: Ett Mollier-frekvens-diagram för Luleå. Inom varje ruta anger siffran hur många promille av året man har den aktuella kombinationen (intervallindelad) av temperatur och specifik fukthalt utomhus. Vid uppvärmning till 20°C blir den relativa fukthalten på den tillförda luften < 15% under 3 månader av året. Höger: kartor med isotermer för medeltemperatur under januari månad. Källa: (155) och (156).

Figur 373 visar att den mycket torra luften inomhus i Luleå råder under hela vintern.

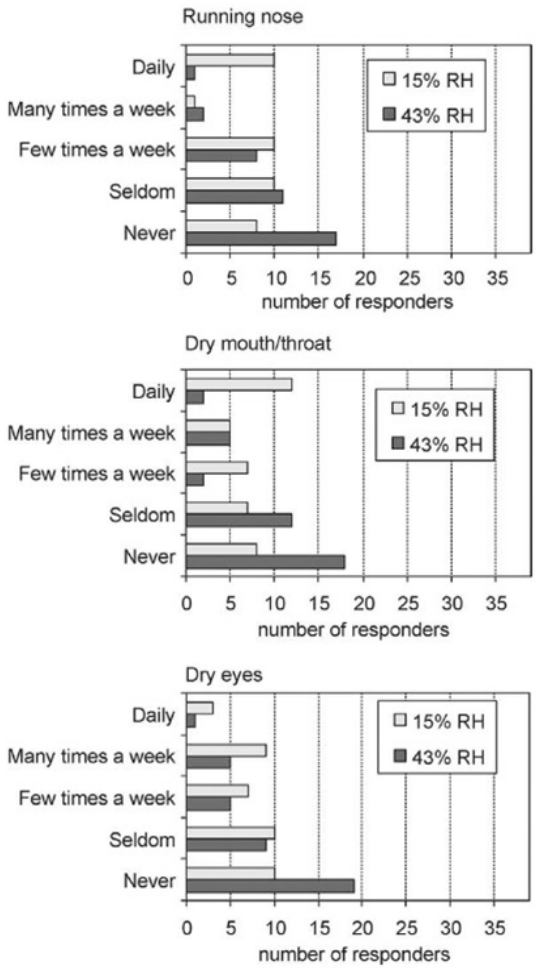


Figur 374: Förlopp av utetemperatur och fukthalt inne i kontorsfastighet i Stockholm. Källa: (178).

I Figur 374 visar de båda diagrammen uppmätta förlopp av utetemperatur och relativ fukthalt inom en kontorsbyggnad i Stockholm under några kalla dygn. Som i Figur 372 ser man att fukthalten kan bli extremt liten. Likväl var det mycket få av de personer som vistades i byggnaden, och som utfrågades om upplevelsen av inomhusklimatet, som hade kommentarer beträffande torr luft. Människans fysiologi är sådan att man har svårt att uppleva om luft är mycket torr, medan man mer omedelbart märker om den är mycket fuktig.

Stapeldiagrammen i Figur 375 härrör från en annan svensk undersökning. 39 kontorsanställda exponerades för två olika relativa fukthalter och ombads rapportera olika symptom. Man ser för alla tre typer av symptom som undersöktes finns det en klar tendens att de ökar vid liten fukthalt (RH = Relative Humidity).

Upplevelsen av torr luft kan inträffa med viss tidsförskjutning, men det är inte säkert att man hänför upplevelsen till den torre inomhusluften. Omvänt kan man mista sig på det sättet att det som egentligen är luftförorening upplevs som torr luft.



Figur 375: Sammanställning av svar på frågor om besvär vid exponering för torr och icke torr luft. Källa: (179).

Flera svenska myndigheter går in på hälsoproblemen med torr luft på en rad ställen. Formuleringarna är inte alla gångar särskilt precisa och är ibland inbördes motstridiga. Generellt är man i betydande grad beredd att acceptera torr luft.

Arbetsmiljöverkets bestämmelser ”Arbetsplatsens utformning” (180) säger:

> *(Våra understrykningar) ”Luftfuktighet: Luftfuktighetens betydelse för upplevelsen av det termiska klimatet är liten. Dess effekt på upplevelsen av besvär och på hälsotillståndet är mera svårbedömd. Erfarenheten har visat att en låg fuktighet i regel godtas i kontorslokaler med lufttemperaturer vintertid på 20°C. Om lufttemperaturen höjs med 2 grader eller mera uppkommer inte sällan obehag och klagomål på torr luft. Åtgärder bör därför i första hand inriktas på temperaturförhållandena. Endast i undantagsfall bör direkta åtgärder för att reglera fuktigheten vidtas. Vid klagomål på torr luft kan det även vara lämpligt att gå igenom städrutinerna och undersöka golvmaterialen för att undvika problem i samband med damm och elektricitet. Hög luftfuktighet riskerar att öka tillväxten av mögel m.m. Även gasavgivning från material och inventarier underlättas av hög luftfuktighet.”*

På Arbetsmiljöverkets websida (/www.av.se/inomhusmiljo, 2015-07-09) hittade vi på sidan ”Fördjupning – Ventilation och rumsklimat” ordalydelsen:

> *(Våra understrykningar) ”Ett annat problem är luftens fukthalt som brukar mätas som procent relativ fuktighet (% RF). Noll % RF, det vill säga absolut torr luft, förekommer aldrig och vid 100% dryper det av fukt. Vintertid är inomhusluften vanligen ganska torr (15-25% RF), beroende på att kall och torr utomhusluft tas in och värms upp. Vanliga nivåer i bostäder och kontor är 20-40% RF. Lägre nivåer kan uppfattas som ”torr och dammig” luft och väsentligt högre nivåer som ”klibbig” luft. Dammiga och illa städade lokaler ger lättare upphov till känslan av för torr luft. Om luften uppfattas som obehagligt torr bör man inte installera luftbefuktare, eftersom luftbefuktande anläggningar lätt kan sprida bakterier och andra mikroorganismer. Man bör så långt det är möjligt i stället satsa på dammfria kontor (goda städrutiner) och så låg temperatur som möjligt (till exempel 20°C) dragfritt och utan kallras. Individuellt anpassa lämplig klädsel (till exempel extra tröja) är ytterligare ett sätt.”*

Man anger här fem referenser, den senaste publicerad 2004. Som vi kommer att se, har det framkommit mycket ny kunskap under mellanliggande år, så det finns anledning att ompröva dessa rekommendationer. Varningen inför risker med luftbefuktning är fortfarande befogad, men formuleringarna som nästan innebär ett avrådande från att gå in på problemet med torr luft är diskutabla med den kunskap som finns tillgänglig i dag.

På sidan: ”Ögon- och synbesvär”, läser man under rubriken: ”Synproblem vid datorarbete”:

> *(Vår understrykning) När man tittar på en bildskärm hamnar oftare olika ljuskällor i synfältet än när man läser på ett papper på bordet, vilket kan orsaka bländning. Den uppåtriktade blicken medför att ögat öppnar sig lite mer. Detta kan leda till att ögats yta torkar ut. Torra ögon svider och irriterar. Torr och dammig luft kan ytterligare förvärra situationen.*

Under ”Arbetsförhållanden på callcenter”:

> *(Vår understrykning) ”Rumsklimatet är oftast bra i Sverige, men med sedvanliga problem med torr luft under vintertid. Detta är en oundviklig och svårlöst företeelse i vårt klimatområde, när man för in kall uteluft och värmer upp den till rumstemperatur. Torr luft kan medföra problem med torra slemhinnor i ögon, hals och luftvägar. Det ökar belastningen på dessa organ i detta syn- och rötskrävande arbete. Ögon- och halsbesvär är därför vanliga på callcenter. En vattenflaska att dricka finns på bordet hos nästan varje callcenteroperatör.” Nerladdad 2015-07-09.*

Socialstyrelsen säger i sin skrift: ”Temperatur inomhus” (181):

> *(Vår understrykning) ”Torr luft: Vid hög innetemperatur under den kalla årstiden blir den relativa fuktigheten låg. I fastigheter där luften förvärms kan den relativa luftfuktigheten under kalla perioder bli mycket låg, mindre än 15 procent. Torr luft med en RF på 20 procent och något lägre kan*

> *förekomma på vintern utan att orsaka besvär för människor. Torr luft kan påverka material t.ex. ytskiktet på linoleummattor.*
>
> *Åtgärder: Besvär av torr luft kan ofta avhjälpas genom en sänkning av temperaturen. Om det förekommer klagomål över torr luft och det inte kan anses bero på för låg relativ luftfuktighet får man undersöka om andra källor inverkar på slemhinnorna, t.ex. luftföroreningar i form av förbränningsavgaser, cigarettrök, emissioner från byggnader eller material inomhus."*

På Socialstyrelsens webbsida kan man (2015-07-09) läsa att olika råd, bl.a. råd enligt denna skrift upphört att gälla, och att ansvaret överförts till Folkhälsomyndigheten. Går man in på denna myndighets webbsite, finns här en hänvisning till Socialstyrelsens skrift som därmed måste antas fortfarande gälla. Det förefaller dock sannolikt att Folkhälsomyndigheten inom en överblickbar framtid kommer att revidera råden, bl.a. därför att skriften inte tar hänsyn till de forskningsresultat som framkommit sedan publiceringen 2005, och då den inte beaktar fukthaltens inverkan på smittrisk som Folkhälsomyndigheten länge haft som ett viktigt ansvarsområde. Folkhälsomyndigheten har publicerat råd om innetemperatur (utan att man där går in på frågan om fukthalt).

Centrum för arbets- och miljömedicin vid Stockholms Läns Landsting skriver (182):

> *(Vår understrykning) "Låg fuktighet – "torr luft": Människan har god tolerans mot variationer i luftfuktighet, även om idealet ligger i närheten av 40% relativ luftfuktighet. Inomhus, i välventilerade byggnader i Stockholmsområdet, brukar luftfuktigheten variera från ca 60% under juli och augusti och ner mot 15% under januari och februari. Luftfuktigheten påverkas i första hand av fuktinnehållet i utomhusluften. Hudbesvär som klåda, brännande känsla i huden (utan obejktiva fynd), nässelutslag samt fjällande dermatit i ansikte, hårbotten och öron har ett tydligt samband med låg relativ luftfuktighet.*
>
> *Konstgjord luftbefuktning skulle kunna motiveras vintertid för att motverka uttorkningen av slemhinnor och hud men är dyrbart och riskabelt på grund av faran för mikrobiell tillväxt i befuktningsanläggningen. Klagomål på "torr luft" är vanliga i problembyggnader men beror oftast inte på låg luftfuktighet utan på för hög temperatur eller på att luften är förorenad av partiklar eller gaser. Luftföroreningarna kan irritera slemhinnorna och ge en upplevelse av att luften känns "torr". Om luften är ren och inte för varm brukar de flesta människor kunna acceptera den låga luftfuktigheten vintertid."*

Samtidigt som man klart erkänner att torr luft kan vara ett hälsoproblem, pekar man i likhet med Arbetsmiljöverket på nackdelar med uppfuktning. Det stödjer vår bedömning att det kan finnas ett behov av våra innovativa, mikrobiellt säkra sätt att uppfukta.

Folkhälsomyndigheten säger på sin webbsida, sidan ”Sjukdomsinformation om influensa” (2015-07-09):

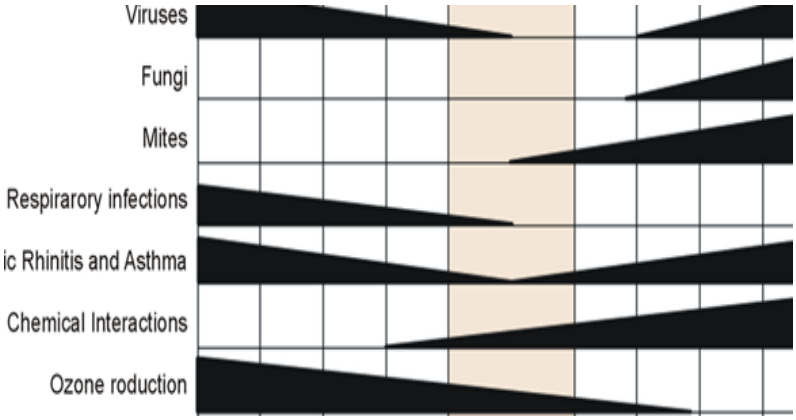
> *”Influensasjukdom orsakas av influensavirus. Vid influensainfektion finns smittämnet framförallt i svalget och övre luftvägarna och sprids främst som aerosolsmitta, men kan även smitta via direktkontakt. Virus sprids avsevärt effektivare genom aerosol än som droppkontakt. Torr luft gynnar aerosolbildning, och eftersom kall luft innehåller mindre fuktighet än varm sprids influensa i Sverige huvudsakligen under den kalla årstiden.”*

Man kan inte ur citatet utläsa i vilken mån man avser uteluft respektive inomhusluft.

Inneklimatinstitutet har rekommendationer om inneklimat där man endast anger gränser för inomhustemperaturen, inga gränser för fukthalten, varken uppåt eller neråt, se avsnitt 19.7.

19.4.2 Internationellt underlag om medicinska besvär

Figur 376 visar ett diagram som togs fram av kanadensiska forskare (Sterling m.fl.) redan 1985 och som ofta används, i lite olika varianter, för att åskådliggöra att det ur hälsosynpunkt finns ett optimalt intervall för luftfuktigheten inom vilket man i möjligaste mån minimerar problem som är förhärskande vid låg respektive hög fukthalt. Diagrammet, som innebär betydande förenklingar, avser främst hälso-problem relaterade till mikroorganismer, ett ämne vi återkommer till längre fram.



Figur 376: Sterlings diagram med optimalt intervall för luftfuktighet ur medicinsk synpunkt. Källa: (118).

I en uppsummering (183) från 2007 av forskningsresultat från en granskning av drygt 200 vetenskapliga artiklar dras slutsatsen att torr luft visserligen ofta uppträder tillsammans med luftföroreningar mm, men att det går att urskilja att torr luft i sig i allmänhet ökar olika typer av medicinska symptomer.

En tysk studie (184) från 2007 av 29 vetenskapliga artiklar kom fram till att det inte fanns någon studie som kunde motivera att man skulle fastställa en undre tillåten gräns, t ex 30%, för luftfuktighet. Dock var endast 2 av dessa artiklar publicerade efter år 2000, så denna studie kan i dag inte anses vara uppdaterad.

Även i den tyska ”VVS-Bibeln” (ref. (177), ”der Recknagel”): formuleras en skeptisk inställning:

(Översättning från tyska, vår understrykning) ”Paradoxalt nog har det i både tyska och internationala undersökningar visat sig att inomhusluft i ventilerade byggnader med uppfuktning till 40-50% relativ fukthalt ofta upplevs som obehagligt torr. Sannolikt har en av huvudorsakerna varit för hög temperatur, över 23°C. Enbart en sänkning av temperaturen till c:a 21°C ledde till en dramatisk förbättring av besvären. Även för höga lufthastigheter ger en uttorkningseffekt som ger obehag i ögonens tårfilm, särskilt hos personer som bär kontaktlinsor. En ytterligare källa till den paradoxala torrhetskänslan är allergena partiklar som retar slemhinnorna. I vanliga bostads- och arbetslokaler finns ur medicinsk synpunkt ingen anledning till uppfuktning, tvärtom kan det leda till Sick-Building-problem. Det bästa sättet att minimera torrhetskänslan är att undvika allergena partiklar och damm som retar slemhinnor, att se till att temperaturen ligger under 23°C och att luftbytet är tillräckligt”.

Inte heller här nämns problemet med ökat smitta i torr luft. I likhet med svenska myndigheter pekar man på att traditionell uppfuktning i sig kan medföra problem, här preciserat till allergogena partiklar.

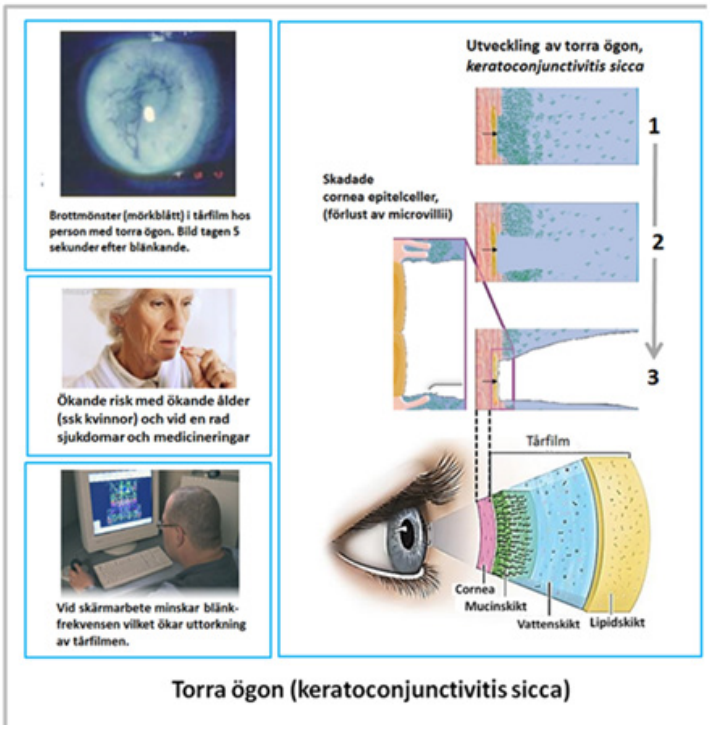
Frågan om huruvida det ska stipuleras en undre gräns för luftfuktighet inomhus har under åratal diskuterats i USA utan att det nåtts enighet i frågan. Den aktuella amerikanska VVS-tekniska föreningens (185) norm angav således länge en gräns om minimalt 4.5 g/kg specifik fukthalt, men i den senaste upplagan formuleras det så att det ur komfortsynpunkt inte ska finnas någon gräns, men att det väl kan finnas en sådan om man beaktar hälsoaspekter (torr hud, irritation av slemhinnor och torra ögon) och risken för statisk elektricitet. Det har kritiserats (186) att detta uttryckssätt inte är särskilt operationellt och kan leda till försök att legitimera att man helt bortser från hälsoaspekterna.

19.4.3 Torra ögon

Bland de tre typer av besvär som diagrammen i Figur 377 redovisar är torra ögon, keratoconjunctivitis sicca, den typ där dokumentationen i den internationella litteraturen för att torr luft i sig kan medföra problem är mest säker.

Tillståndet anses visserligen normalt inte leda till bestående skador, men det innebär sveda, verk och synstörningar som kan vara mycket besvärande och kan leda till frånvaro och i värsta fall till utestängning från arbetsmarknaden. Tillståndet kan primärt vara förorsakat av miljön eller bero på ett sjukdomstillstånd som har andra grundorsaker, men vars ögonsymptom kan förvärras av miljön. Ett exempel på ett sådant tillstånd är Sjögrens syndrom (upptäckt 1933 av den svenske oftalmologen Henrik Sjögren) som även yttrar sig i form av extrem trötthet och diffus allmän verk.

Andra orsaker kan vara en lång rad typer av sjukdomar, t.ex. diabetes, och medikament som används i behandlingar, t.ex. antidepressiv medicin. Tendensen till torra ögon ökar med åldern och drabbar i genomsnitt kvinnor vid lägre ålder.



Figur 377: Uppe till vänster: Foto av öga med sprickor i tårfilmen. Källa: (187). Till höger: Utveckling av torra ögon. Källa: (188).

Den centrala mekanismen vid torra ögon är att tårfilmen sprickar, se Figur 377. Detta kan en ögonläkare med sina instrument iaktta direkt (fotot längst uppe till vänster), och i vetenskapliga undersökningar har det gjorts omfattande kartläggningar med kvantifieringar av sådana observationer.

Vid arbete framför en bildskärm minskar blinkfrekvensen och därmed tillförandet av ny vätska. Då många i dag vistas timvis, ibland hela arbetsdagen, framför en PC innebär detta att risken för torra ögon finns hos en stor del av befolkningen.

Ju torrare luften är dess snabbare evaporerar tårfilmen. Genom att sänka luft-temperaturen kan man för given specifik fukthalt (x-axeln tidigare visad Figur 357) öka den relativa fukthalten som bestämmer evaporeringshastigheten. Detta går hand-i-hand med önskan om energisparande, men inte med beaktande av risk för spridning av smitta, se nedan.

Ett exempel på en empirisk undersökning (189) av problemet torra ögon avsåg australienska piloter av vilka 72% uppgav att de hade problem med ögonen under färden, och 50% att de även hade det vid andra tillfällen. I flygplan kan luften tidvis bli mycket torr om det inte finns utrustning för uppfuktning, vilket är vanligt. Typiska relativa fukthalter är 12% på ekonomiklass och 5% på första klass där koncentrationen av personer är liten, och fukttillförsel från personer därvid är minst (190).

En annan yrkesgrupp som utsätts för torr luft, ibland extremt torr (t.ex. 2 %), är personer som arbetar inom renrum där man tillverkar integrerade kretsar mm. I en taiwanesisk undersökning (191) med utfrågning av totalt 3000 personer jämförde

man personer som arbetade i renrum med måttligt torr luft med en representativ kontrollgrupp. Det visade sig att de som arbetade i renrummen hade en markant högre frekvens av torra ögon, förutom problem med hud, näsa och svalg.

Denna undersökning är intressant därvid att man länge varit osäker på i vilken utsträckning torr luft i sig kan medföra torra ögon, då torrheten i luften i regel är kombinerad med icke försumbara luftföroreningar eller närvaro av mikroorganismer, såsom vi sett att Arbetsmiljöverket tagit fasta på. Det gäller t.ex. inom flygplan.

En koreansk undersökning (192) avsåg totalt så mycket som 16 341 personer, fördelade på geografiska områden med olika klimat och olika grader av luftförorening (stad/landsort). Man konstaterade en systematisk tendens att besvär med torra ögon ökade med lägre genomsnittlig fukthalt och med ökad mängd solsken. Bland luftföroreningarna kunde man fastställa en statistiskt säker ökning med ökad koncentration av SO_2, men inte med ökning av partiklar (PM10).

2014 uppsummerade en internationell panel av oftalmologer hela kunskapsläget (olika diagnoser, behandlingsmetoder mm) beträffande torra ögon i en omfattande artikel (193) baserad på kring 300 referenser. Man konstaterade bl.a. att det är bevisat att avdunstning från ögon ökar i torr luft, och att detta är en riskfaktor.

I en annan uppsummerande artikel (194) från 2012 konstaterades likaledes, på basen av en genomgång av drygt 300 referenser, att det är fastställt att varaktig exponering för torr luft leder till skador på tårfilmen. En minskning av den relativa fukthalten med 10 % t.o.m. från en så pass hög relativ luftfuktighet som 45%, leder till ökad avdunstning. Mot denna bakgrund menar författaren att det finns vetenskapliga belägg för att rekommendera att fukthalten generellt bör uppgå till så mycket som minst 40 %.

19.4.4 Laryngitis, skolor, förskolor mm

Laryngitis är beteckningen på ett tillstånd av inflammation i struphuvudet och stämbanden. Åkomman förorsakas typiskt av en infektion eller av en överbelastning av rösten. Ett av kardinalsymptomen är heshet. Som vi sett, pekar Arbetsmiljöverket på att torr luft kan vara en orsak till besvär hos personal inom callcenter där man pratar under hela arbetsdagen. Det finns dock många andra yrken inom vilka man pratar mycket, och där denna problematik därför är aktuell. Den grupp som är mest representerat är lärare (195).

Den hygieniska miljön inom skolor har varit föremål för många undersökningar som har påvisat en mängd problem, inte minst till följd av fuktskador på sommaren (196).

Problemet med torr luft i skolor innebär en intressant aspekt ur bl.a. fjärrvärmebranschens synpunkt: Skolor är i dag normalt inte försedda med komfortkyla, även om det i många fall kan motiveras. Allmänt torde behovet vara av samma storleksordning som för kontorsbyggnader. Det är visserligen så att det är skolsemester under en stor del av sommaren, men å andra sidan är persontätheten och därmed internvärmegenereringen hög när det pågår undervisning, och ibland inträffar årets varmaste period trots allt efter

terminensstart på sensommaren. Skolor med komfortkyla skulle under svåra värmeböljor kunna utnyttjas som ”refugier” där man kunde samla ihop grupper av sårbara personer. Tekniskt sett kan inrättande av komfortkyla i många fall ordnas relativt enkelt då många svenska skolor är försedda med ventilationssystem.

Sådan kyla kan vara baserad på vanlig fjärrvärmedriven, sorptiv kyla eller på någon av våra hybridlösningar med sorptiv teknik, vilka kan utnyttjas för fuktåtervinning på vintern, se avsnitt 4.2 och 4.3. Samma teknik används för två syften.

19.5 SPRIDNING AV INFLUENSASMITTA

Influensa utgör den största risken för en allvarlig pandemi. Som vi kommer att visa här nedan, råder det visserligen inte full enighet bland medicinska experter, men det finns ändå starka indikationer på att risken för influensasmitta kan minskas genom att se till att luftbytet, lufttemperaturen och luftfuktigheten alla är höga.

Inom europeisk VVS-teknik finns det ingen tradition att fokusera på smitta inomhus. I den mån man undersökt hur mikroorganismer inomhus kan vara skadliga för människor har det framförallt varit knutet till allergiska reaktioner i samband med fuktbildning i byggnadskonstruktioner (”sjuka hus problematiken”). Man hittar således ganska litet om virus i den mest använda tyska VVS-handboken ”Der Recknagel” (177) och i det klassiska verket Rietschel: ”Der Raumklimatechnik” (164).

I den annars utmärkta svenska läroboken av Abel och Elmroth: ”Byggnaden som system” (10) kan man läsa:

> *”Här följer ett antal partikelformiga föroreningar som är av speciellt intresse från hälsosynpunkt: Virus (< 0.05 µm) förekommer ofta i kolonier eller bundna till andra partiklar. Virussjukdomar är mycket vanliga och förekommer oftast som okomplicerade förkylningar. Vissa slag av virus kan dock omvandla normala celler till tumörceller ”.*

Därmed förbigår man mässling, viral meningit mm, men framförallt influensa som är en relativt vanlig dödsorsak hos gamla människor på vintern.

I USA har man inom VVS-tekniken ägnat mer intresse åt frågeställningen. Således har t.ex. VVS-organisationen ASHRAE publicerat ett ”Position Document” om ”Airborne Infectious Diseaes” (197) Pandemirisken och risken för bioterrorism nämns explicit, även i en rad andra amerikanska publikationer.

Inom den medicinska vetenskapen och hos myndigheter är man observant på hur spridning av smitta, särskilt influensa, varierar med luftens temperatur och fukthalt. Men man går i regel inte in på den VVS-tekniska sidan av saken.

Således säger Folkhälsomyndigheten på sitt webbsite ”Sjukdomsinformation om influensa” (198):

> *”Influensasjukdom orsakas av influensavirus. Vid influensainfektion finns smittämnet framförallt i svalget och övre luftvägarna och sprids främst som aerosolsmitta, men kan även smitta via direktkontakt. Virus sprids avsevärt*

effektivare genom aerosol än som droppkontakt. Torr luft gynnar aerosolbildning, och eftersom kall luft innehåller mindre fuktighet än varm sprids influensa i Sverige huvudsakligen under den kalla årstiden."

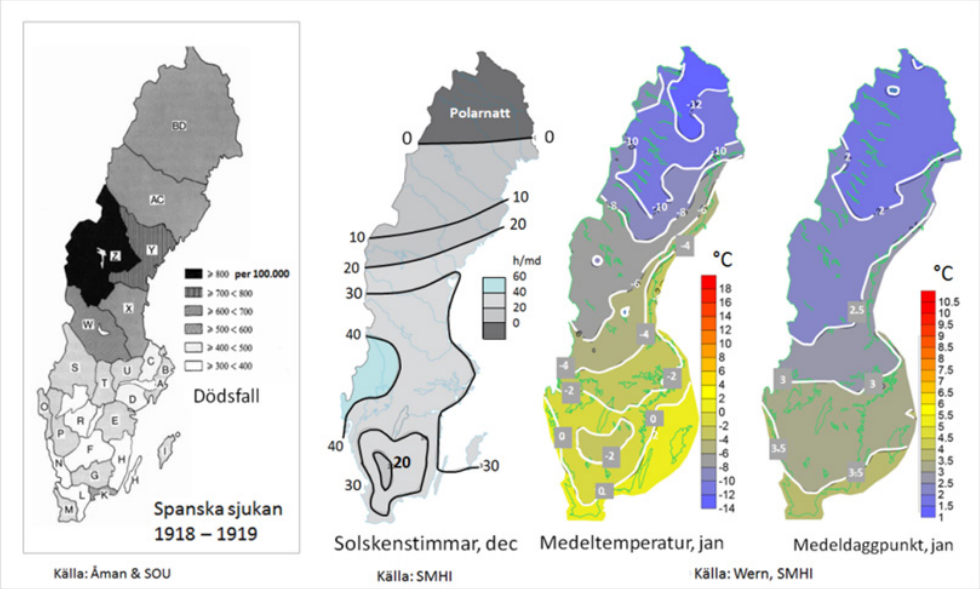
Frågan om i vilken grad smittsamheten för influensa påverkas av luftens temperatur och fukthalt har varit föremål för omfattande forskning.

En författare menar (199), baserat på en genomgång av 120 originalarbeten, att det inte finns något slutgiltigt stöd för att förutsätta att man genom att lämna föreskrifter om temperatur och fukthalt hos inomhusluft kan reducera smittsamhet av influensa inomhus. Samma författare kommer i en annan review-artikel (200) 2011, baserat på 107 originalarbeten) fram till att det inte heller finns underlag för att specificera ett visst minsta luftbyte. Men fyra andra review-artiklar drar mera handfasta slutsatser när det gäller vad man inom forskningen kommit fram till med hänsyn till temperatur och fukthalt: (201) behandlar 250 originalarbeten, (202) behandlar 63 originalarbeten, (203) behandlar 49 originalarbeten och (204), med svenska författare, som behandlar 68 originalarbeten. Då publikationsaktiviteten inom ämnet ständigt varit hög, även de allra senaste åren, är det rimligt att tillmäta de båda sistnämnda review-artiklarna relativt stor betydelse.

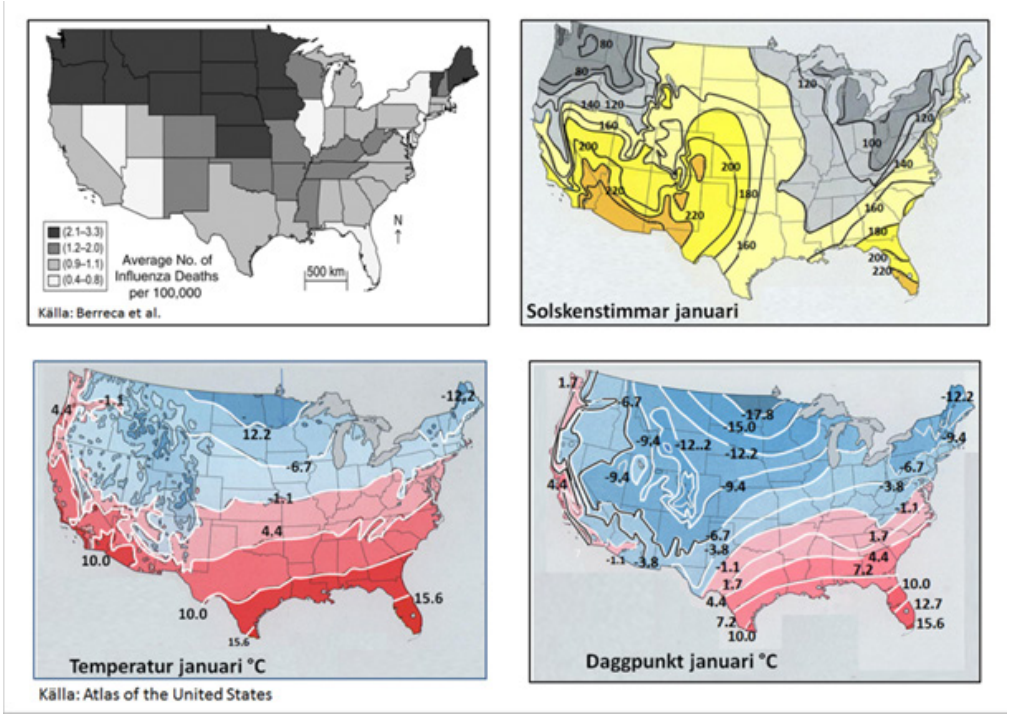
Det råder således stor enighet om att mycket låg fukthalt och låg temperatur ökar risken för smitta, och att risken minskar tämligen entydigt med ökande temperatur. Däremot finns motstridiga resultat beträffande högre fukthalt: I några studier fann man att ständigt ökande fukthalt på ett tämligen entydigt sätt innebär minskande risk. I andra studier fann man en minimal risk vid en medelfukthalt, men en högre risk vid hög fukthalt.

I AHSRAE´s tidigare nämnda Position Document citerar den skeptiska review-artikeln (197), på basen av vilken man (än så länge, kan man tolka) inte vill rekommendera något specifikt om lämplig temperatur och fukthalt. Ett argument som nämns är att det finns information som tyder på att högre fukthalt kan minska effektiviteten i eventuell antimikrobiell belysning med ultraviolett ljus.

Figur 378 och Figur 379 ger, för Sverige respektive USA, fingervisningar om möjliga samband mellan sjukdomsfrekvens och metereologiska parametrar. I Figur 378 finns längst uppe till vänster ett diagram som visar den länsvisa fördelningen av antalet dödsfall i Sverige förårsakade av den Spanska sjukan 1918-1919. Figur 379 upp till vänster visar den geografiska fördelningen av antalet dödsfall 1973-2002 i USA till följd av säsongsinfluensa (epidemier). I båda figurna Figur 378 och Figur 379 visas dessutom geografiska fördelningar av antalet solskenstimmar, lufttemperatur och daggpunkt under januari (/december). Den överordnade tendensen är, at ju lägre dessa parametervärden är, dess mer frekvent är dödligheten. Sambandet ser något mer övertygande ut när det gäller säsongsinfluensa, vilket kan sammanhänga med att säsongsinfluensa är ett utpräglat vinterfenomen, medan pandemisk influensa inte uppvisar ett sådant säsongsberoende.



Figur 378: Spanska sjukan i Sverige 1918-1919, dödstal länsvis. Ref. (205). Jämförelse med kartor över solsken lufttemperatur och daggpunkt på vintern.

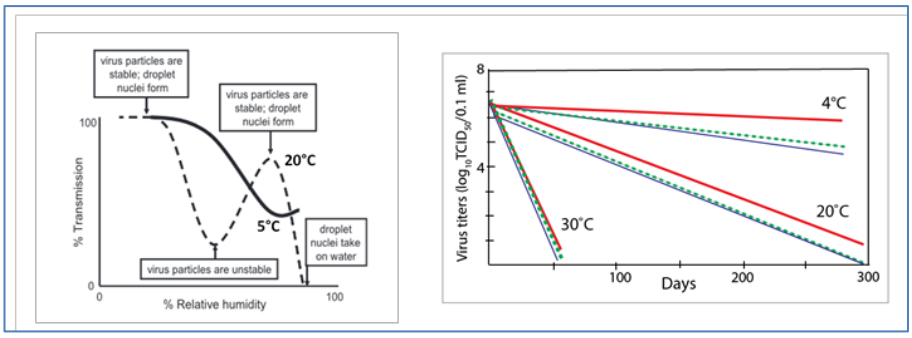


Figur 379: Säsongsinfluensa i USA, geografisk fördelning av antal dödsfall 1973-2002 (206). Jämförelse med kartor över solsken, lufttemperatur och daggpunkt (i °C) på vintern.

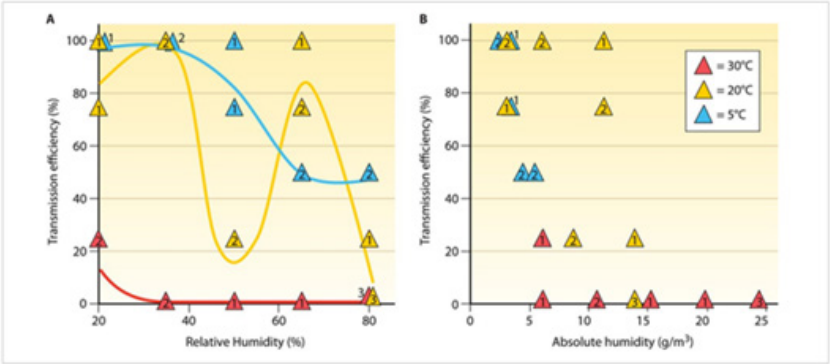
Ett samband med antalet solskenstimmar kan förväntas då solsljus innehåller ultraviolett ljus som har känd avdödande verkan på mikroorganismer. I figurerna kan man inte särskilja inflytandet av de tre parametrarna. Mängden solljus

inomhus är väsentligt mindre än utomhus. Här kan man på basen av figurerna förvänta en tendens att dödligheten ökar med, och endast med, temperaturen och fukthalten. Det är dock inte säkert, det är tänkbart att det inte finns något sådant samband alls, och att det generella sambandet är knutet till mängden ultraviolett ljus. En annan möjlig förklaringsorsak man hittar i litteraturen är att människors slemhinnor blir mer mottagliga när det råder kall väderlek.

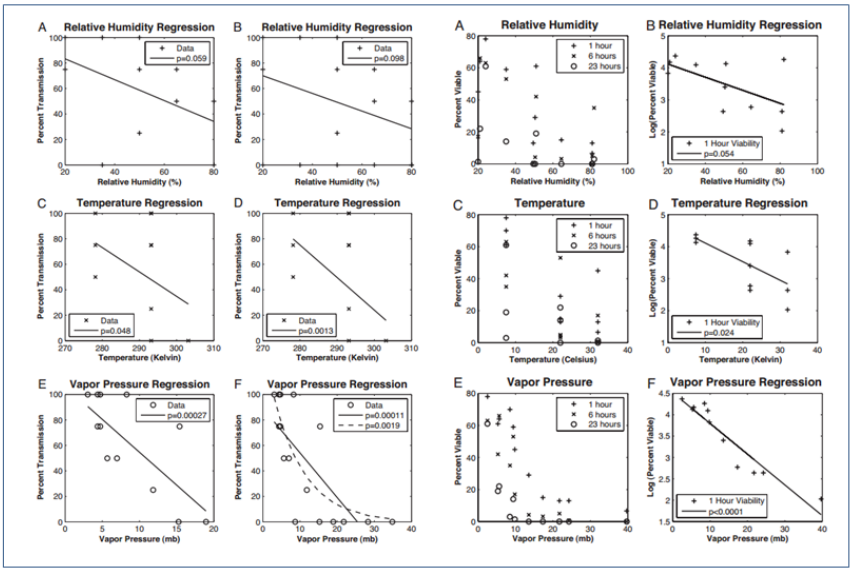
Figur 380, Figur 381 och Figur 382 visar resultat från fyra originalarbeten med försök inomhus. Figur 380 (207) visar till vänster variation i ”% Transmission”, ett mått på effektivitet i influensasmitta hos de marsvin som användes vid försöket. Sambanden som visas är komplexa, man skulle behövt flera punkter för att kunna beskriva en sammanhängande helhetsbild.



Figur 380: Försöksresultat. Ref: (207), vänster, och (208), höger.



Figur 381: Fler försöksresultat. Ref: (209).



Figur 382: Ytterligare försöksresultat. Ref: (210).

Till höger i Figur 380 (208) visas avdödningshastighet för tre varianter av högpatogent influensavirus i hönsägg vid olika temperaturer. Här är tendensen entydig och starkt. Diagrammet utgör vår komprimering av resultat som visas i tre diagram i referensen.

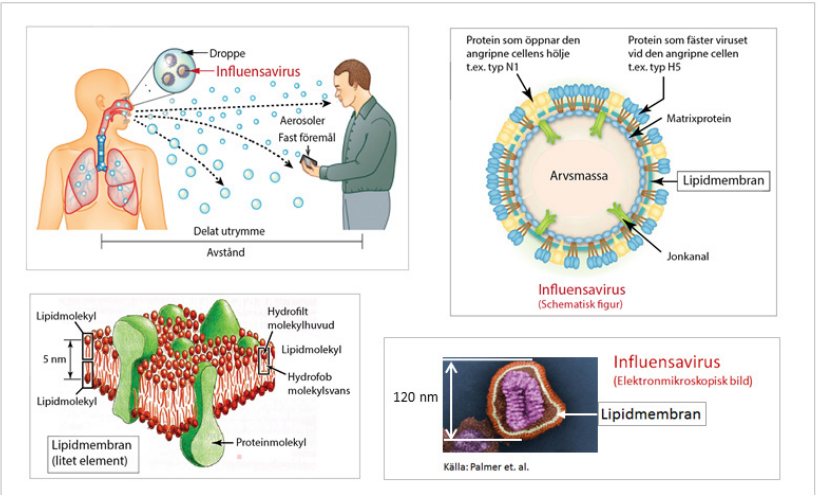
Figur 381 visar återigen resultat (209) avseende smitteffektivitet för influensa hos marsvin. I det vänstra diagrammet är abskissan relativ fukthalt, i det högre den absoluta (specifika) fukthalten. Det vänstra diagrammet uppvisar en bild liknande den vänstra i föregående figur. Komplexiteten minskar om man övergår till att ha absolut fukthalt på abskissan. Man ser redan i det vänstra diagrammet att relativt hög temperatur förhindrar transmission helt, utom vid låg fukthalt. Nu ser man att även hög absolut fukthalt stoppar transmissionen, oavsett temperaturen. 30°C är visserligen en hög temperatur att ha inomhus, men inte extremt hög. Vi återkommer till detta.

Figur 382 visar en omfattande systematisering av försöksresultat (210). Återigen ser man att övergång från abskissa relativ fukthalt till absolut fukthalt minskar spridningen i resultaten. Hög relativ fukthalt är ett effektivt sätt att minska, både virus-överlevnad och smittsamhet. I den här försöksserien fann man, i likhet med tidigare visade resultat att höjd temperatur har en (ur människans synpunkt) gynnsam effekt. Det finns ett litet tryckfel i figuren, i mittersta raden längst till höger: Det ska vara ”Temperature (Celcius)”, inte ”Temperature (Kelvin)”.

Resultaten lyfts fram i en helt färsk artikel (211) som har den lättolkade titeln (men det är ett seriöst vetenskapligt arbete): ”Influenza and humidity – Why a bit more damp may be good for you!”.

En annan referens (212) med en titel som är ett klart budskap: ” High Temperature (30°C) Blocks Aerosol but Not Contact Transmission of Influenza Virus”.

De genomgående tendenserna i den här redovisade litteraturen om inverkan av temperaturen och fukthaltens inverkan på influensavirus kan i stora drag förklaras med fysikaliska mekanismer:



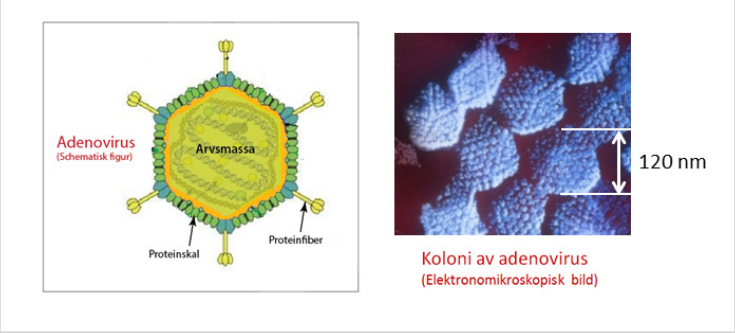
Figur 383: Smittväger och uppbyggnad av influensavirus. Ref: (213), överst vänster; Nature | Reviews, överst höger; (214), underst vänster; (215), underst höger.

Det finns fyra smittvägar för influensavirus, Figur 383 från referens (213), uppe till vänster. Den första (som inte syns i figuren) är direkt kroppskontakt mellan människor. Den andra sker via fasta föremål. De båda sista smittvägarna sker via droppar/partiklar i luften. Där avståndet mellan smittbäraren och den potentiellt smittade personen är mindre än några meter kan vederbörande nås av droppar som inte hunnit sjunka ner till golvnivå, och om innehållar virus som frigjorts, framförallt vid hostande eller nysande.

Det är välkänt (Stoke´s lag) att partiklar i stillastående luft sjunker desto fortare ju större de är, då tyngkraften ökar med dimensionen i tredje potents, medan det viskösa motståndet ökar med kvadratet på dimensionen, knutet till tvärsnittsarean. Distinktionen är inte helt skarp, men när man har aerosoler, vars diameter är mindre än 5 µm, är tendensen att sjunka extremt liten och lättstörd av luftrörelser. Då aerosoler kan innehålla, eller helt enkelt vara, influensavirus, utgör de en fjärde smittväg. Denna smittväg innebär en risk för personer som befinner sig på ett betydande avstånd från den smittade personen, och som i hög grad försvårar förebyggandet av smitta. Mässlingvirus är ett extremfall av aerosolburen smitta, aerosolerna sägs t o m kunna hitta väg genom brevspalten i en dörr.

Vid hög fukthalt fungerar viruspartiklar som kondensationskärnor, och vattendroppar bildade på det sättet har en tendens att gå ihop och därmed bilda tunga partiklar. Detta ger en förklaring på att hög fukthalt kan minska smittorisken.

En annan förklaring smittsamhetens beroende av både temperatur och luftfuktighet är att människans slemhinnor vid uttorkning i mindre grad har förmågan att hindra att virus tränger in i kroppen.



Figur 384: Adenovirus. Källa: Google pictures.

En tredje förklaring är knuten till det faktum att ytstrukturen i ett influensavirus omfattar ett lipidmembran, se de tre övriga delfigurerna i Figur 383. T.ex. har adenovirus (som förorsaker vanliga förkylningar) ett skal som består av protein-molekyler i stället för lipidmolekyler, Figur 384. Lipider är fettämnen som är olösliga i vatten. Med en avancerad experimentell metod (magnetisk resonansmätning) har man kunnat visa (216) att lipidmembranet vid en temperatur strax över vattnets fryspunkt är stelt, men at det mjukas upp vid högre temperatur, allt mer ju högre temperaturen är, med följden att viruset blir allt mindre stabilt.

I allmänhet uppvisar olika mikroorganismer med hänsyn till stabilitet och förmåga att överföra smitta mycket olika beroenden av temperatur och fukthalt. Inom VVS-tekniken är det välkänt att Legionellabakterier förökar sig som mest vid 30 - 40°C, ungefär människans kroppstemperatur. Förkylningsvirus anhopas och växer till sig i näsan där det råder en temperatur om 35°C.

Man kan lägga märke till att det i den schematiska figuren av ett influensavirus uppe till höger i Figur 383 anges att de båda typerna av proteiner som utgår från virusets yta kan vara av typerna H5 och N1, i vilket fall man har just den typ av influensavirus, typ H5N1 som f.n. är ett huvudbekymmer i relation till risken för en allvarlig pandemi.

De uppdaterade forskningsresultat som redovisats om influensasmittsamhet pekar på att det är bekymmersamt att luften är så pass torr på vintern inomhus i Sverige, i synnerhet inom landets norra delar. Tillsammans med bl.a. kunskapen om torr lufts tendens att förorsaka torra ögon, ger det ett starkt incitament att försöka hitta metoder att kunna uppfukta luft på vintern. När det gäller influensa är det inte enbart en fråga om besvär, utan även om överdödlighet. Som nämnts pekar även Folkhälsomyndigheten på problemet.

Det går i stick i stäv med råden i den tyska ”VVS-Bibeln” ”Der Recknagel” (177) och råden från Socialstyrelsen och Arbetsmiljöverket om att sänka temperaturen i händelse av upplevd besvär med torr luft och i det längsta undvika uppfuktning. Man kan därför inte förvänta att fastighetsägare i allmänhet kommer att ägna sig åt frågeställningen.

Om man utgår från att hypotesen att högt luftbyte, hög lufttemperatur och hög luftfuktighet minskar risken för influensasmitta inomhus kan man rekommendera

att man ställer in ett klimatiseringssystem i en byggnad för detta i händelse av en influensapandemi och eventuellt även vid säsongsinfluensa när den härjar som värst. Vid konkretiseringen av detta har man det problemet att alla tre åtgärder ökar värmeförbrukningen vintertid, och uttagen värmeeffekt är mer eller mindre begränsad. Tyvärr är det knappast möjligt att ge anvisningar på hur man ska prioritera.

Dock kan man i vart fall rekommendera att man suspenderar eventuella inställningar som syftar till energisparande under uppvärmningssäsongen. Då detta går stick i stäv med myndigheters rekommendationer under flera decennier fordrar det att de relevanta myndigheterna fokuserar på frågeställningen, och att andra aktörer (t.ex. Svensk Fjärrvärme) informerar på genomtänkta sätt.

Det måste understrykas att sådan manipulation med VVS-tekniken ska ses som ett led i ett åtgärdspaket, och att andra åtgärder säkert har större effekt. Men en influensapandemi kan bli så pass förödande att den föreslagne manipulationen därvid potentiellt ändå kan rädda ett stort antal människoliv.

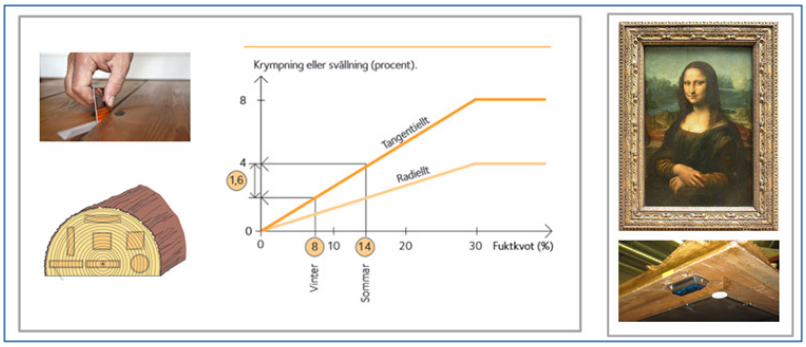
Man måste även ha beteendemässiga aspekter med i övervägandet av manipulationens berättigande: Som diskuteras senare i **bilaga C** om influensapandemier, finns risk att t ex betydande delar av personalen på sjukhus vägrar komma till arbetet vid en pandemi som har stor dödlighet. Höjning av temperatur och luftfuktighet, kombinerat med utlämnande av skyddsmaskor mm är ett sätt för en arbetsgivare att vädja till personalen om samarbetsvilja i ett krisläge. Genomförda intervjuundersökningar ger stöd för att denna tankegång inte är orealistisk.

Det är tänkbart att möjligheten att boosta värmeuttaget med användning av elvärmarelementet i pandemikopplingen kan utnyttjas för att minska abonnerad maximal fjärrvärmeeffekt om man med detta kan uppnå en tillräckligt stor reduktion av betalningen till energibolaget.

När man i syfte att undvika olika hälsoproblem på olika sätt uppfukter luft i/till en fastighet bör man naturligtvis beakta de risker i form av ökning av mängden kvalster, mögelbildning mm som kan bli en följd av hög inomhusluft. Det samlade kunskapsunderlaget pekar på att en relativ fukthalt inom intervallet 30 – 60 % representerar en bra kompromiss i normalfallet. Vid den extraordinära händelsen som en influensapandemi är bör smittspridning högprioriteras, även om mycket hög temperatur och relativt hög fukthalt kan medföra andra problem.

19.6 INVERKAN PÅ MATERIAL SOM TAR UPP FUKT OCH RISKER MED STATISK ELEKTRICITET

Trä, papper mm avger fukt under torra förhållanden och tar upp fukt i fuktig omgivning, vilket medför en volymvariation, se Figur 385, typiskt mellan sommar och vinter. Förloppet är trögt, i tjocka konstruktioner varierar fukthalten påtagligt mindre i kärnan. Detta medför att problemen kan öka om det inträffat en följd av år med särskilt kalla och torra vintrar.

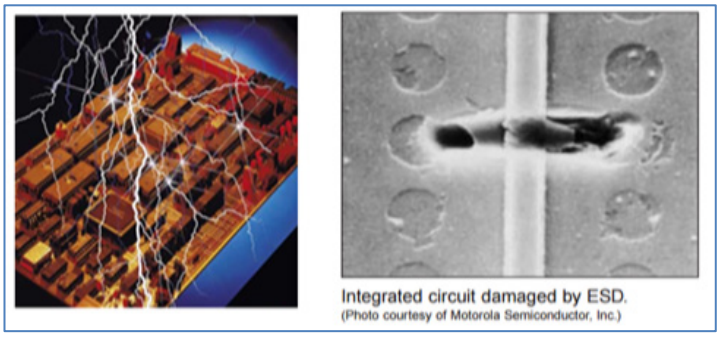


Figur 385: Vänster: Trä som påverkas av torr och fuktig luft. Källa: (217). Höger: Värdefull tavla och mätare som sparar information av uppmätt temperatur och fukthalt.

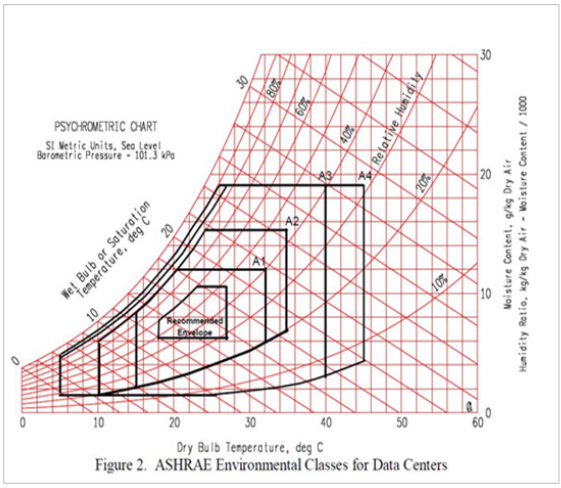
Detta kan t ex, beroende på hur pass bra konstruktionen är, medföra att ett trägolv kan komma att knarra när man går på det. Som man ser av Figur 385 nere till vänster varierar formstabiliteten för en bräda med dess orientering i förhållande til åderringarna.

På grund av risken för skador på tavlar, gamla böcker (pergament är särskilt känslig) mm har museer ofta ganska snäva gränser för tillåten variation i inneluftens relativa fukthalt, t.ex. 45% plus/minus 8%. När det gäller allmänna samlingar utan speciella föremål hittar man t.e.x. rekommendationen 30-60% relativ fukthalt (218). Välkonsoliderade företag har ofta värdefulla tavlor på väggen, t.ex. i receptionen eller i styrelserum; att utsätta sådana föremål för luft med endast 5% fukthalt (som vi såg kan uppträde i en vanlig kontorsbyggnad i Stockholm,i tidigare Figur 374) verkar något betänkligt; man borde t.ex. kontrollera vad försäkringsvillkoren säger om detta.

Idag är värdefulla tavlor på museer ofta försedda med en indviduell temperatur- och fuktmätare som är fäst på baksidan (fotot nere till höger under Mona Lisa i Figur 385) och därmed följer tavlan vid förflytning mellan olika museer mm.



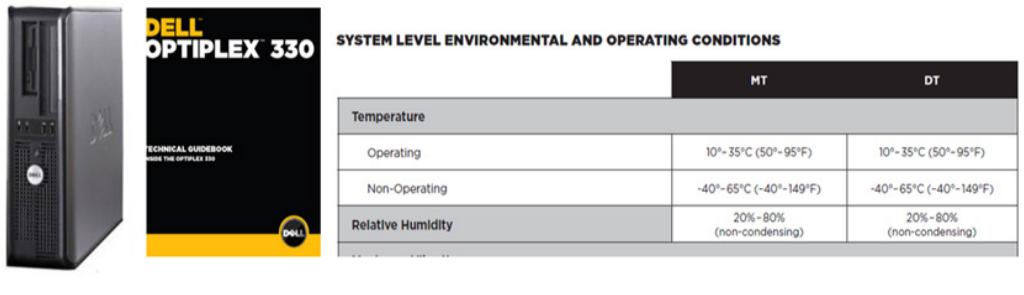
Figur 386: Statisk elektricitet som skadeorsak på digital utrustning.



Figur 387: Exempel på specifikation av tillåten variation av omgivningstemperatur och – fukthalt för digital utrusning.

Figur 386 och Figur 387 åskådliggör en annan typ av problem: Erfarenheten visar att torr luft kan innebära en ökad utveckling av statisk elektricitet som kan medföra ett obehagligt elektriskt överslag när man sätter handen på ett handtag i en dörr. Sambandet mellan uppkomsten av statisk elektricitet och luftens fukthalt förefaller dock inte vara så klar som det i regel påstås. I referens (219) sägs således att högre luftfuktighet endast leder till mindre statisk elektricitet i den mån fasta material tar upp en del av fukten; luftens fukthalt i sig är betydelselös, menar författaren.

Det finns en risk att statisk elektricitet kan skada elektronisk utrustning. På grund av denna risk har man traditionellt ofta föreskrivit en ganska hög minimalt tillåten fukthalt vilket t.ex. är en del av innebörden av det snävaste området i ASHRAE´s psykrometriska diagram i Figur 387 (220). Utvecklingen har dock gått i den riktningen att tillverkarna i större utsträckning accepterat variationer i tillåten temperatur och fukthalt. Därmed kan man spara energi. Diagrammet avser större datorutrustning, t.ex. i serverhaller, där man upprätthåller en särskilt anpassad termisk miljö, och där kraven på driftsäkerhet ofta har hög prioritet, men där energiförbrukningen samtidigt kan vara stor.



Figur 388: Utdrag av tabell från teknisk dokumentation för PC-datorn Dell Optiplex 330. Källa: Tillverkaren Dell's webbsida.

När det gäller datorutrustning mm som befinner sig inom vanlig kontorsmiljö eller inom privata hem torde det vara så att de flesta inte alls funderar på fukthaltens eventuella betydelse för utrustningen. Vi har i olika kataloger från Hewlett Packard, IBM mm gjort stickprov som visar att de variationer i lufttemperatur och fuktighet som tillåts skiljer sig ganska mycket från fall till fall.

Figur 388 visar som ett exempel en tabell ur en katalog från Dell. I princip skulle exponering för en för låg fukthalt kunna innebära att en produktgaranti upphör gälla. De 5-10% som kan uppträda vintertid i kontorsbyggnaden i Stockholm ligger lägre än det som Dell specificerar, med gränser på fukthalt 20-80 %. Vi har inte genomfört någon egentlig litteratursökning inom detta ämne, så det är ovisst i vilken utsträckning risken för skador är reell. Potentiellt kan de ekonomiska konsekvenserna vara betydande. Man skulle, utifrån ett safety-first-betraktelsesätt kunna resonera så, att man ser till att man i vart fall inte underskrider 20 %, då det verkar vara en ganska vanlig angiven gräns.

19.7 NORMER OCH RIKTLINJER FÖR TERMISK KOMFORT

När det gäller komfort i kontorsbyggnader, bostadsbyggnader mm, är det i Sverige vanligt att använda riktlinjer utgivna Svenska Inneklimatinstitutet, se Tabell 36, baserad på en internationell norm. I t.ex. Danmark finns det nästan identiska riktlinjer baserade på samma norm.

Det finns tre klasser att välja på; Den som används mest är TQ2 som överensstämmer med normen ISO 7730 som implementerats i Sverige som SS-EN ISO 7730. I t.ex. Danmark används samma system.

Tabell 36: Kvalitetsklasser för inomhusklimat enligt Svenska Inneklimatinstitutet och ISO 7730. Ref: (221).

	Faktorvärde i kvalitetsklass		
Inneklimatfaktor	TQ1	TQ2	TQ3
Operativ temperatur (t_o)			
Vinterfall 1)			
- högsta värde °C	23	24	26
- optimalvärde °C	22	22	22
- lägsta värde °C	21	20	18
Sommarfall 2)			
- högsta värde °C	25,5	26	27
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5
- lägsta värde °C	23,5	23	22
Lufthastighet inom vistelsezon 3)			
- vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15
- sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40
Vertikal temperaturdiff 4)			
- sommar-vinterfall °C	2,5	3,0	3,0
Strålningstemp. asymmetri			
- mot varmt tak °K	4	5	7
- mot kall vägg (fönster) °K	8	10	12
Temperaturändringshastighet °C/h	-	-	-
Luftfuktighet	-	-	-
Golvtemperatur			
- högsta värde °C	26	26	(32)
- lägsta värde °C	22	19	16
enl BFS 1988:18			
- högsta värde °C	27	27	27
- optimalvärde °C	24	24	24
- lägsta värde °C	16	16	16
Temperaturregleringsområde °C	± 2	(± 1)	-

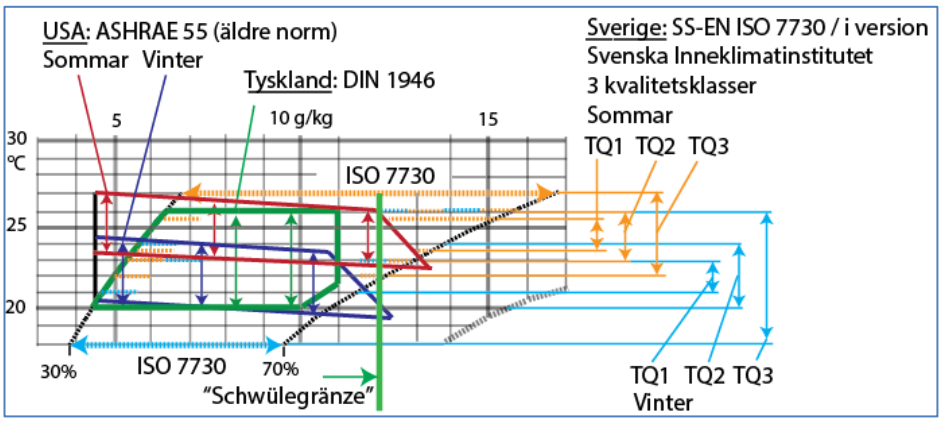
Tabell 3. *Termisk kvalitet och godtagbara värden för olika faktorer i olika kvalitetsklasser.*

1) Gäller vid en klädselfaktor på 1,0 clo.
2) Gäller vid en klädselfaktor på 0,5 clo.
3) Lufthastigheten är angiven som ett tidsmedelvärde under 3 min.
4) Mellan nivåerna 1,1 m och 0,1 m över golv.

ISO 7730 rekommenderar att den relativa fukthalten hålls inom intervallet 30 – 70 %. Kombinationen av ett temperaturintervall och ett fuktintervall ger en behaglighetszon som kan ritas in i Mollierdiagrammet.

Dessa riktlinjer och till viss dels även t.ex. motsvarande amerikanska normer har utvecklats på basen av en metodik som togs fram av dansken P.O. Fanger kallat

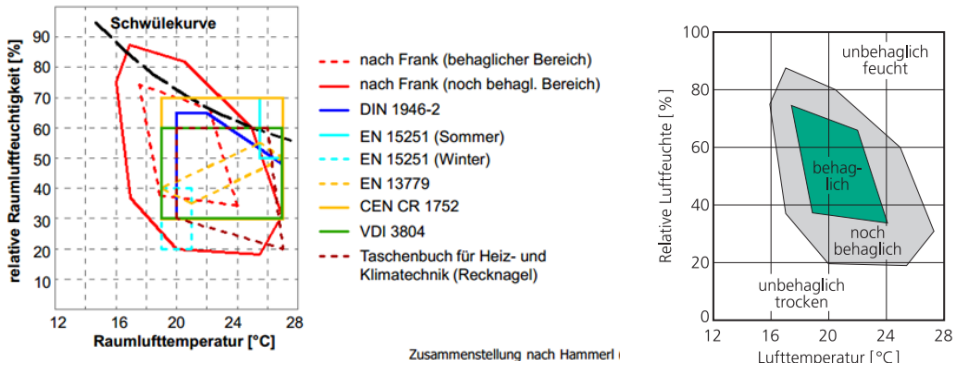
PPD = Predicted Percentage Dissatisfied. Den bygger på att statistiskt representativa grupper av människor (olika ålder, kön, klädsel mm) i en s k klimatkammare utsätts för olika, kontrollerade termiska inomhustillstånd, och utfrågas om i vilken grad de känner det behagligt. Normalt finns det inget tillstånd som alla är överens om att de är helt nöjda med. Däremot finns det tillstånd som representerar en minimal andel missnöjda och som kan användas som riktmärke vid formulering av normer.



Figur 389: Svenska, tyska och amerikanska normer för behaglighetszoner i Mollierdiagram (fokusering på det relevanta området).

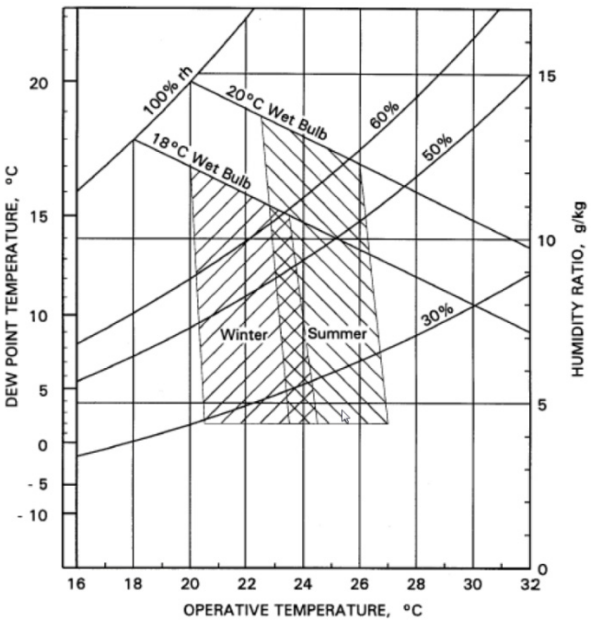
I Figur 389 har temperaturgränserna enligt tabellen ovan lagt in, tillsammans med gränser enligt tyska och amerikanska normer. Dessutom visas ett traditionellt, enkelt tyskt mått ”Schwülegränze” för när luften blir ”kvavig”, dvs när den överstiger 12 g ånga/kg torr luft (den lodräta gröna linjen).

I Figur 390 ser man en sammanställning av klimatzoner enligt olika tyska käller och europeiska normer. Några av de rekommendationer är tillkomna på förslag från individuella forskare. Ett exempel på detta hittar man till höger (samma finns inbäddat i figuren till vänster). Båda diagrammen har den relativa fukhalten som ordinata och temperaturen som abscissa, till skillnad från Mollierdiagrammet som är svårläst för lekmän.



Figur 390: Behaglighetszoner enligt olika tyska och europiska normer. Innehållet i diagrammet till höger finns med i diagrammet till vänster.

Den norm som reglerar inneklimatet i USA heter ASHRAE 55, och ska läsas i samverkan med en norm för inomhusluften i allmänhet med regler för luftbyte mm. Den har under årens lopp reviderats ett stort antal gångar. Den specificeras i ett psykrometriskt diagram, se Figur 391. Det översta diagrammet i figuren är en äldre variant som man ofta påträffar i internationell litteratur.



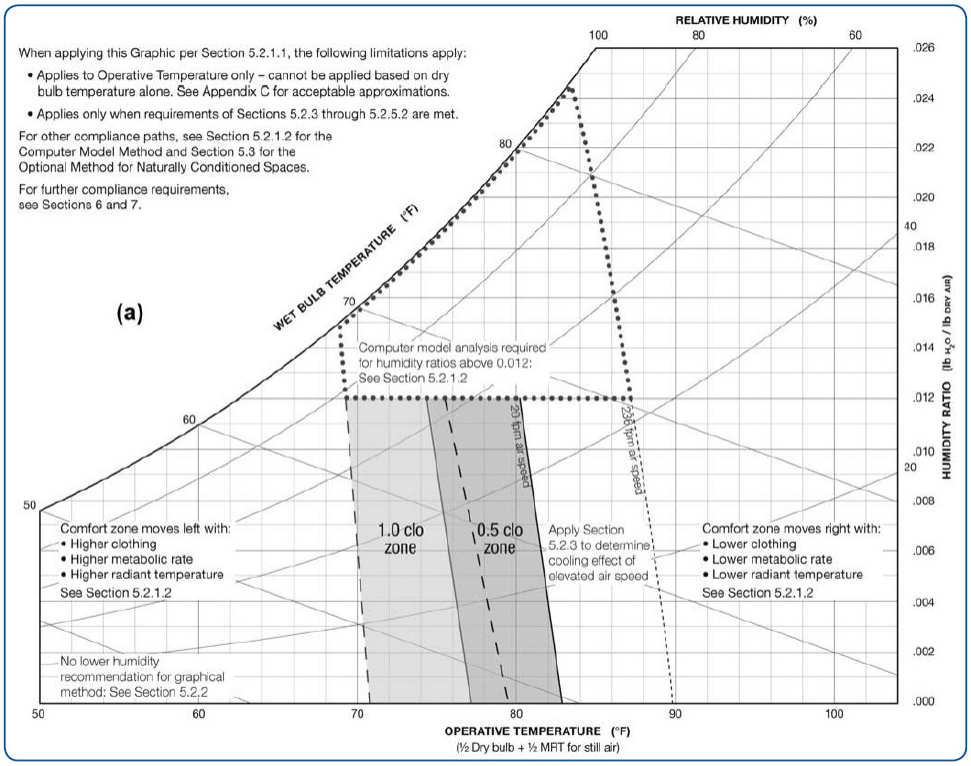


Figure 2: The new Graphic Comfort Zone Method, Figure 5.2.1.1 in Standard 55-2010 (IP version shown).

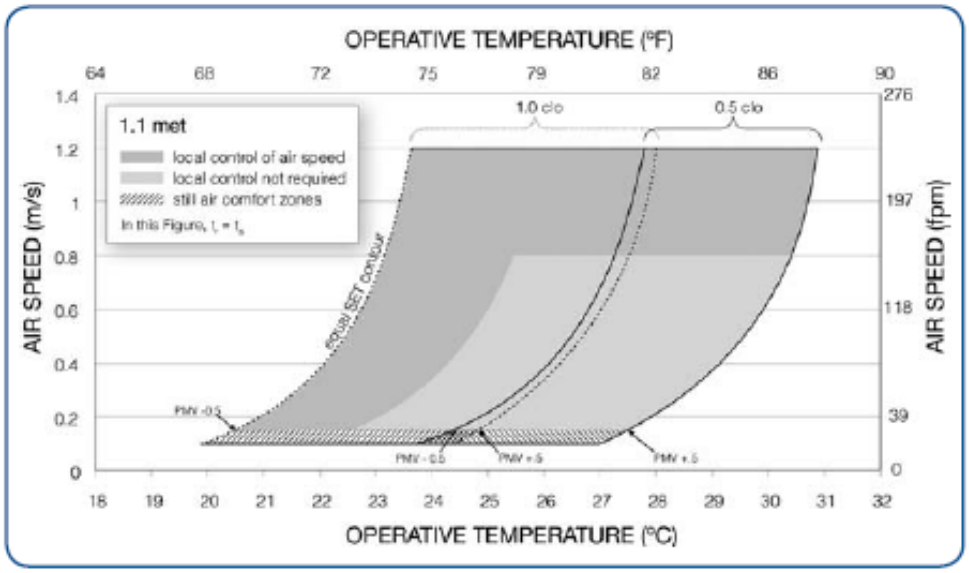


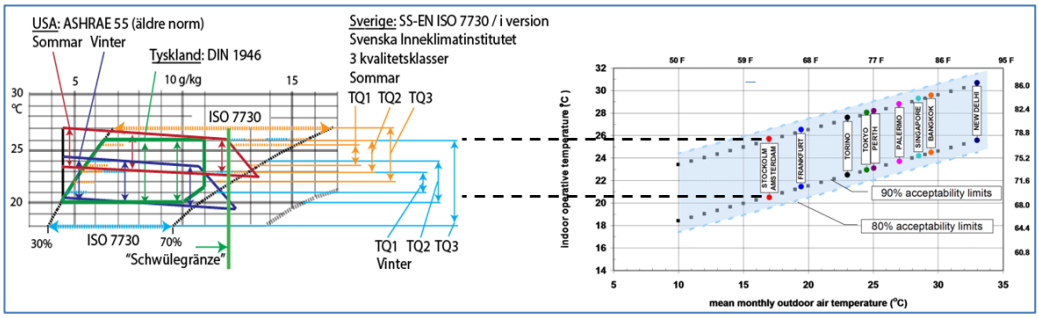
Figure 1: Acceptable range of operative temperature and air speeds for the comfort zone shown in *Figure 2*, at humidity ratio 0.010 (Standard 55-2010).

Figur 391: Exempel på behaglighetszoner enligt en äldre upplaga av amerikansk norm (ASHRAE 55) och (diagrammen i mitten och därunder) ur senaste upplaga som är avsevärt mer komplicerad, även om ett basalt mönster upprepas, då zonernas former liknar varandra.

Den skiljer sig från den enkla zonen enligt den äldre normen därvid att den (i kombination med i ord formulerade krav) anger tilläggszoner som innebär utvidgningar, både m h t högre maximal fukthalt och maximal temperatur som kan tillåtas om olika villkor är uppfyllda, t ex högre temperatur beroende lufthastigheten. I kommentarerna till normen preciseras att den ska läsas tillsammans med en annan norm som anger minimalt tillåtet luftbyte mm. Detta medför att man i många fall inte rekommenderas at gå högre med lufthalten än det som i det psykrometriska diagrammet anges som det normalt högsta.

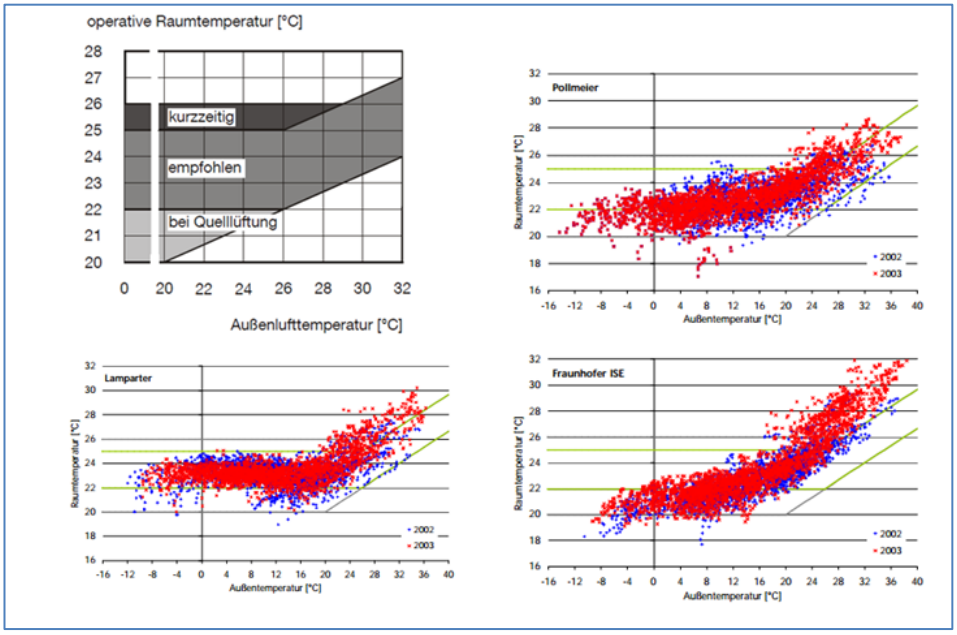
Även när det gäller den lägsta tillåtna fukthalten finns en brasklapp: Det preciseras att låga fukthalter ända ner till 0 är tillåtna enligt ASHRAE-55, men detta baseras enbart på vad man kommit fram till att människor upplever som mer eller mindre behagligt. Olika besvär, torra ögon mm, och andra problem, t ex ökad statisk elektricitet, kan leda till begränsningar neråt på den tillåtna fukthalten.

Generellt gäller i de olika normerna och rektlinjerna att det som specificeras som temperaturen är den ”operativa temperaturen”, ett internationellt vedertaget och väldefinierat (dock inte alltid enkelt tillämpbart) mått som beaktar att det termiska tillstånd en människa upplever inom en viss omgivning påverkas av utbyte av strålningsenergi med omgivningen. Även i åtskilliga av de andra nationella normerna, bl.a. den svenska, är det denna mer avancerade varianten av lufttemperaturen som gäller. Ett exempel där denna nyansering är viktig är den situation som föreligger vid användning av kyltak där strålningsutbytet mellan individ och de kalla ytorna medför att man kan tillåta en högre lufttemperatur, varvid behovet av kylenergi minskar.



Figur 392:Adaptivitet: När utetemperaturen överlag är högre, ligger även det temperaturvall inomhus som uppfattas som optimalt högre. Diagrammet till vänster är en upprepning av diagrammet i Figur 389.

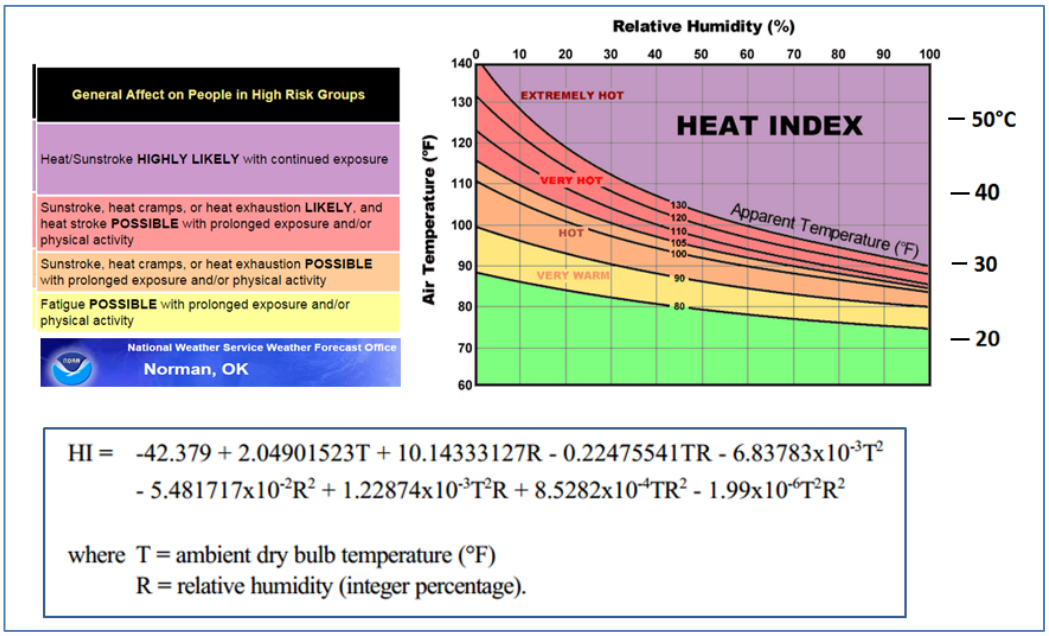
Det görs många försök att, som kort skisserats i relation till den aktuella amerikanska normen, nyansera kvantifieringarna av den termiska komforten. En gemensam nämnare för mycket av detta arbete är utmyntning av det som kommit att betecknas som adaptivitet. Diagrammet till höger i Figur 392 är en konkretisering av detta. Det har visat sig att människor är beredda att acceptera allt högre inomhustemperatur på sommaren, och fordrar allt högre inomhustemperatur på vintern, ju högre utetemperaturen i genomsnitt är inom en viss tidsperiod, i det aktuella diagrammet. I exemplifieringen med olika städer ligger Stockholm lägst och New Delhi högst.

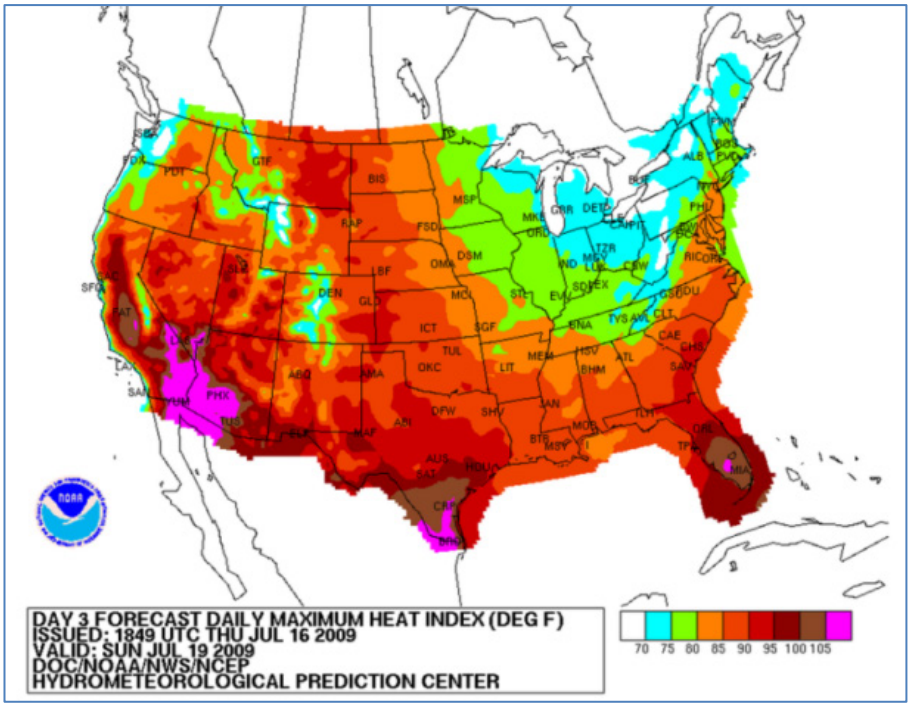


Figur 393: Adaptering till olika utetemperature enligt tysk norm DIN.

Även i den tyska DIN-normen anger man tillåten höjning av inomhustemperaturen vid höga utelufttemperatur, diagrammet uppe till vänster i Figur 393. De tre övriga diagrammen visar mätningar av innetemperaturer i tre tyska hus av typen passivhus, under 2002 och 2003 med den extrema europeiska värmeböljen som gav en unik möjlighet att se vad som händer även vid mycket

höga utemperaturer. Som man ser klarade dessa hus sig ganska bra, men så är det inte alltid, även när det rör sig om andra hus än passivhus.





Figur 394: Heat (stress) index (HI) enligt amerikansk praxis. Källa: NOAA.

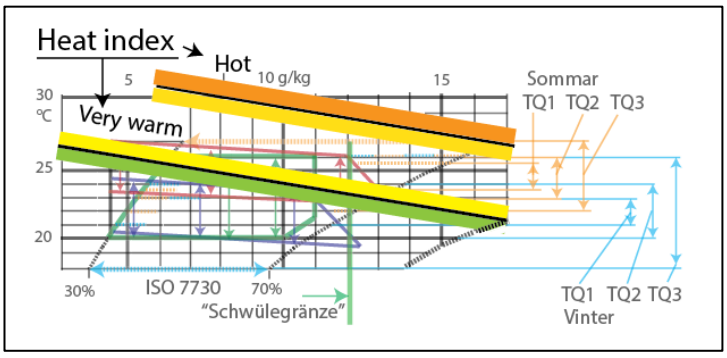
I USA har man fått hantera värmeböljor länge innan problemet blev högaktuellt i Europa. Det har skett med hjälp av begreppet ”Heat Stress” som den statliga väderlekstjänsten National Weather Service NOAA ända sedan 1979 använt som mått, bl.a. vid varsling om värmeböljor, se ett exempel på detta med kartan underst i Figur 394. Den värsta konsekvensen som nämns i tabellen uppe till

vänster är det akut livsfarliga tillståndet värmeslag. Indexet definieras och kan beräknas med den återgivna formeln.

Heat index ger en enkel kvantifiering som grund för råd vid t.ex. manuellt arbete utomhus vid het väderlek. Som man ser av diagrammet uppe till höger i figuren och av formeln undertill, innebär Heat Index att man korrigerar den uppmätta lufttemperaturen med ett inflytande från luftfuktighet, på så sätt att ökande luftfuktighet vid konstant temperatur ökar indexvärdet.

Tabellen i figuren anger en intervallindelning av Heat Index i fyra olika grader, med angivande av typiska värmerelaterade, akuta sjukdomstillstånd, varav det svåraste är värmeslag som är omedelbart livshotande. Som man ser, är den generella innebörden av Heat Index att hettan vid en given lufttemperatur blir allt mer besvärande ju högre den relativa luftfuktigheten är. Detta har den fysiologiska grunden, att den friska människokroppens primära sätt att motverka en skadlig höjning av kroppstemperaturen är att öka avdunstningen av vatten, primärt genom svettning, och att denna avdunstning blir allt svårare ju högre luftfuktigheten är.

I Kanada använder man ett med Heat index analogt index som kallas Humidex. Den tyska nationella meteorologiska myndigheten Wetterdienst använder vid varningar för heta dygn en relativt komplicerad modell som beskrivs som en avancerad variant av Heat index, dvs. det viktar bl.a. in luftfuktigheten. I Schweiz och Österrike använder de nationella meteorologiska myndigheterna Heat Index vid varningar för heta dygn. Se Figur 395. Gränskurvorna för områden mellan olika grader av Heat index blir transformerade till kurvor som är nära rätta linjer som lutar ganska mycket neråt mot höger och som skär genom bl.a. de helt horisontella linjerna för de olika kvalitetsklasserna enligt svensk praxis.



Figur 395: Gränser för områden enligt Heat index (enligt Figur 394) inlagda i Mollierdiagram med gränser enligt olika normer, se Figur 389.

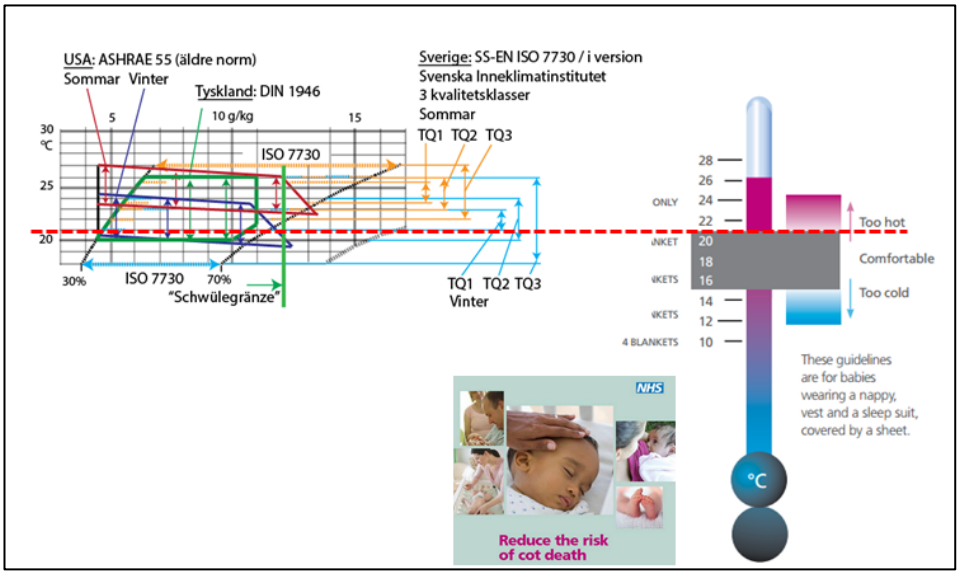
Heat index är – åtminstone i första hand – inte avsedda för att användas inomhus. Den högre känsligheten sammanhänger med att när man utomhus är exponerad för varm luft är man i många fall även exponerad för kraftig solstrålning. Dessutom är man ofta mera fysiskt aktiv; höga heat index-värden ska motivera att man ställer in arbete utomhus och idrottsaktiviteter.

Tendensen att den termiska belastningen på kroppen ökar med högre fukthalt gäller dock även inomhus. Det finns en klar koppling till fysiologiska fakta. När

luftfuktigheten ökar minskas kroppens möjlighet att avge fukt, den naturliga försvarsmekanismen. Vid tillräckligt hög fukthalt början man svettas, det vil säga det bildas makroskopiska droppar på huden.

I England har man, som konsekvens av att konstaterade problem med övervärmning av bostäder vid värmeböljor, infört ett normkrav om maximalt 26°C i sovrum och 28°C i övriga rum.

I det system för SMHI anserat för att avgöra när det föreligger en värmebölja eller inte, och hur svår en värmebölja ska anses vara, ingår luftfuktigheten inte. Dock uttalar SMHI en avsikt att i framtiden vilja innefatta fukthalten. Samma situation föreligger i England där ansvaret för varningar om värmeböljor åligger SMHI:s engelska motsvarighet, The Met Office.



Figur 396: Till vänster: upprepning av Mollierdiagrammet från Figur 389, jämför med officiella engelska råd om vilka temperaturer spädbarn bör exponeras för.

Figur 396 visar en annan intressant jämförelse. Den engelska motsvarighet till Socialstyrelsen, National Health Service, råder i en publikation föräldrar att se till att småbarn sover vid en temperatur som ligger kring 18°C, i vart fall inte över 21°C, för att minska risken för plötslig spädbarnsdöd, ”Sudden infant death syndrome”. Det finns anledning att tro att detta råd, som ges av den centrala, engelska myndigheten, baseras på seriösa medicinska undersökningar och bedömningar. Plötslig spädbarnsdöd är visserligen en ovanlig händelse, men den stora diskrepansen mellan rådet och gällande normer väcker eftertanke. Det finns andra, mycket vanligare medicinska fall att beakta, se avsnittet om värmeböljor.

20 Värmeböljors framtida betydelse

20.1 FÖREKOMST AV VÄRMEBÖLJOR

Värmeböljor har kommit allt mer i fokus då det blivit klart att de kan ge stora konsekvenser för folkhälsan i form av temporär, men betydande överdödlighet, särskilt inom gruppen av s k känsliga personer. Vår föreslagna typ av kundcentral, ”Kundcentral med selektiv återcikulation av returluft”, se avsnitt 8.8, bygger bl.a. på en systemanalys av värmeböljornas karaktär och konsekvenser.

Det har länge varit känt även kall väderlek har en tendens att innebära en förhöjd dödlighet, s k vintermortalitet (t ex enligt National Health Service, UK). En del av förklaringen till detta är att bostadslösa människor kommer i riskzonen när det blir kallt, t ex att temperaturen sjunker medan de sover på en bänk. När det gäller småbarn är en känd orsak till dödsfall i mycket varmt väder att småbarn ibland lämnas ensamma i bilar där temperaturen kan bli mycket hög när bilen stått länge solsken. Det är naturligtvis angeläget att förebygga tragiska händelser av detta slag, men det ligger utanför ämnet för detta projekt.

Att se till att det inte blir för kallt inomhus vid mycket kall väderlek inom tempererade klimat är primärt en fråga om rätt reglering av uppvärmningssystem, inte om systems basala uppbyggnad. När det gäller att undvika att det blir för kallt inomhus vid mycket varm väderlek är problematiken mer fundamental; i många fall är det frågan om kylning ska etableras eller inte.

Det är brukligt att skilja på ”klimatkyla” och ”processkyla”. Klimatkyla är kyla som tillförs för att åstadkomma ett bra klimat inne i fastigheter. Att det behövs klimatkyla beror på utomhustemperaturen och solinstrålning samt av att värme alstras inne i fastigheten av användarna. Processkyla är kyla som behövs för industriprocesser men även i bred mening, t ex för förvaring av livsmedel och för kylning av datorer. I stället för klimatkyla används ibland beteckningen ”byggnadskyla” eller ”luftkonditionering”.

Ytterligare en ungefärlig synonym till ”klimatkyla” är ”komfortkyla”. Det kan t ex vara frågan om att sommartid säkra en sådan rumstemperatur inom en kontorsbyggnad att en majoritet av arbetstagarna tycker att inneklimatet är behagligt. Detta kan i sin tur vara fördelaktigt för arbetsgivaren då det kan bidra till att arbetsprestationerna blir optimala.

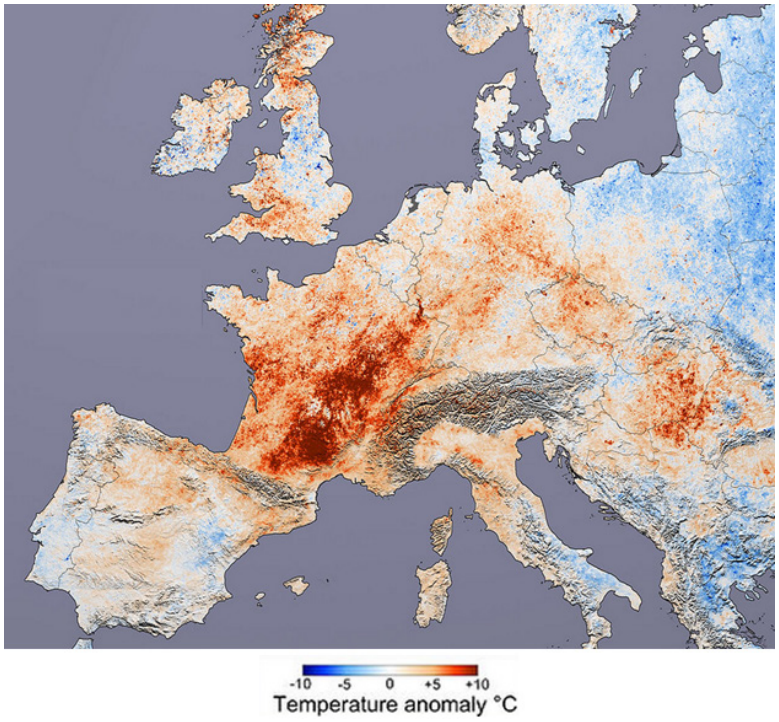
Detta är plusvärden. Å andra sidan är för många begreppet ”komfortkyla” övervägande negativt då man uppfattar det som en lyx som drar energi och därmed bidrar till klimatförändringar.

En ny aspekt av byggnadskyla som fått allt större betydelse de senaste åren (en trend som sannolikt fortsätter) är att insikten om värmeböljornas betydelse för folkhälsan medför tungt vägande argument för att föra etablera kylning i typer av byggnader som hitintills inte ansetts vara i behov av detta. Detta innebär nya affärsmöjligheter för fjärrvärmebranschen, men ställer delvis nya krav på kundcentraler inklusive sekundärsystem i byggnaderna. Vid övervägande av detta har vi kommit fram till en ”nygammal” lösning med möjlighet till återföring av

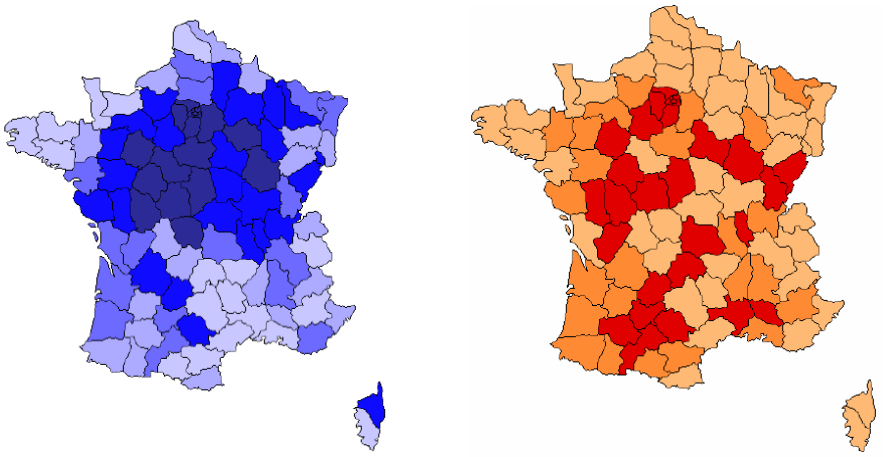
returluft i kombination med en ny typ av regleralgoritm som bl.a. ska reducera toppar i kyl- och värmelast mest möjligt, och som bl.a. innefattar skydd mot skadliga konsekvenser av att partiklar och ozon tillförs luften inomhus när koncentrationen är hög utomhus.

Värmebölja används vanligen som ett ganska vagt begrepp för en längre period med varma förhållanden, för en aktuell plats. Det förefaller pågå en utveckling som innebär att insikten om värmeböljornas karaktär och konsekvenser håller på att leda till ett paradigmskifte. I stället för ”komfortkyla” kan man således operera med ett begrepp som kan heta: ”komfort- och vårdkyla”, för att innefatta hur teknik för byggnadskyla kan bidra till att mildra konsekvenserna av värmeböljor. Fjärrkylan (i kombination med fjärrvärme) kan bidra till att detta sker på ett sätt som tillgodoser samhällets önskemål om hushållning med energi med ett maximalt utnyttjande av förnyelsebar energi.

Den i Europa värsta värmeböljan (sannolikt ända sedan en ännu värre som tros ha inträffat 1540) är den som inträffade i 2003, och som medförde kring 40.000 dödsfall (se Figur 397 och Figur 398) i framförallt Frankrike och Italien, och även i betydande omfattning i England som vanligtvis har somrar som är ganska likt de svenska; det var sannolikt mest tur att Sverige slapp lindrigt undan vid det tillfället.

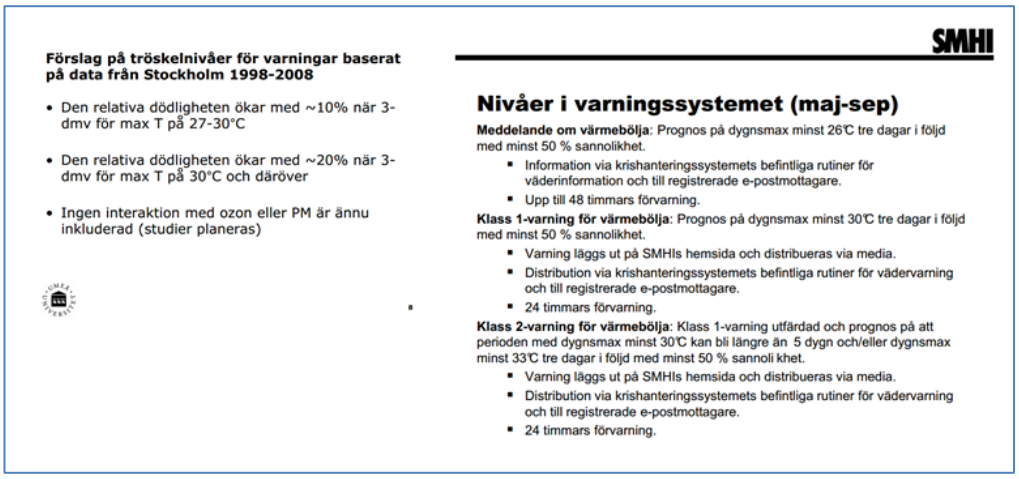


Figur 397. Den stora europeiska värmeböljan 2003: Anomalier, här som övertemperaturer i lufttemperaturen när värmeböljan var som värst. Källa: Wikipedia.



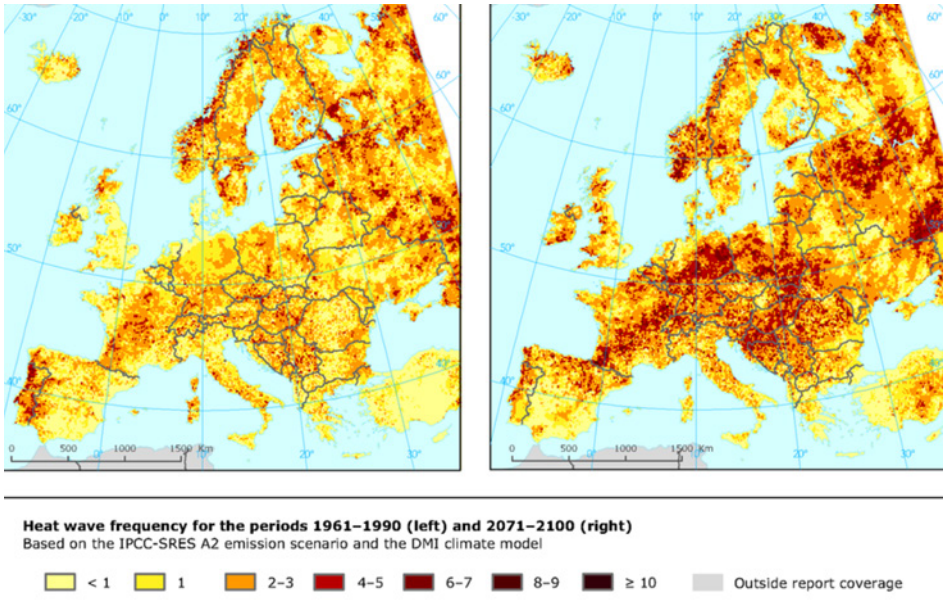
Figur 398: Ett nära geografiskt samband i Frankrike mellan dödlighet (karta till vänster) och antal ”mycket varma dagar” (karta till höger) under värmeböljan 2003 som varade 1-20 augusti. Källa: (222).

Värmeböljorna har kommit att få stor betydelse i klimatförändringsarbetet, då man förutspår att det ändrade klimatet kommer att medföra allt vanligare och allt kraftigare värmeböljor. SMHI startade 2011 utvecklingen av ett varningssystem för höga temperaturer. 2014 etablerade SMHI detta varningssystem baserat på bl.a. resultat från en undersökning som genomförts vid Umeå Universitet, se Figur 399. Kommentaren om interaktion med ozon eller PM är intressant; sambandet som ingår i vårt förslag på ny typ av kundcentral.

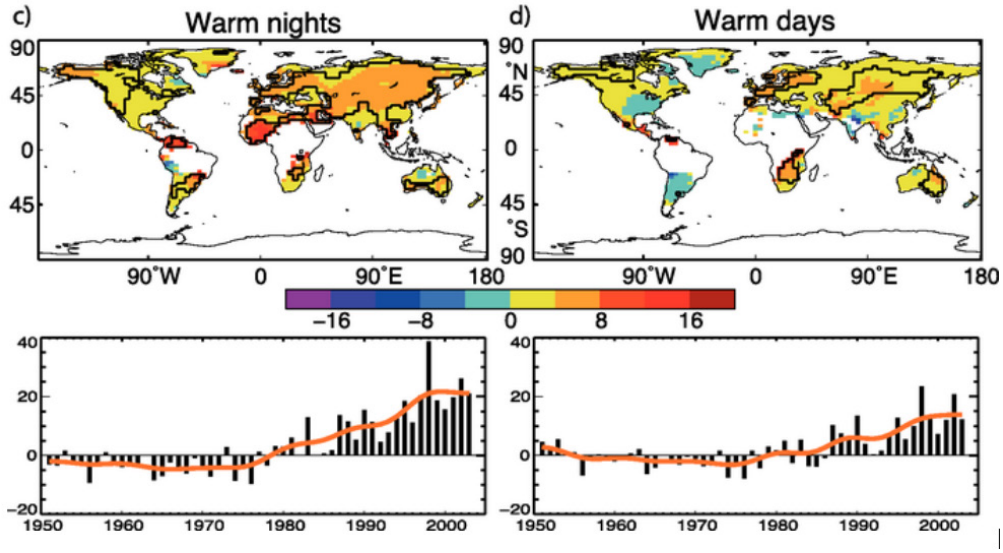


Figur 399: Vänster: Huvudpunkter i resultat från forskningsprojekt utfört av forskare vid Umeå Universitet. Höger: Huvudpunkter i varningssystem för värmeböljor som implementerats under innevarande år 2014. Källa: SMHI.

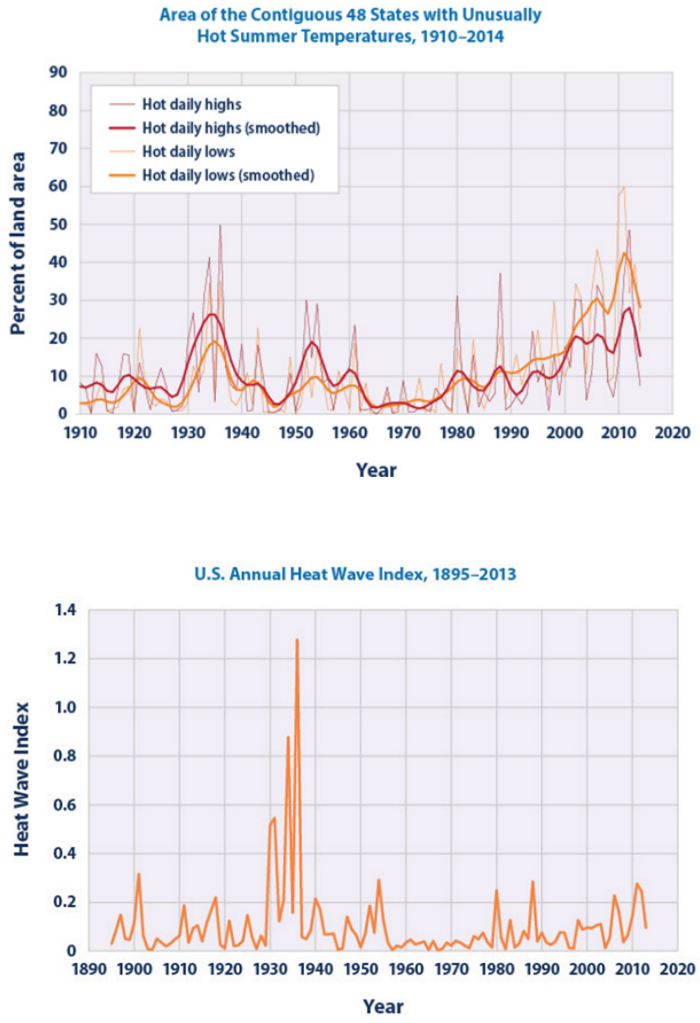
Figur 400 visar till vänster geografisk fördelning och frekvens av medeltalet av värmeböljor per år som inträffat i Europa inom andra hälften av 1900-talet, och figuren till höger visar en prognos för de tre sista decennierna av nuvarande sekel. En betydande förändring prognostiseras således.



Figur 400: Värmeböljefrekvens med en längd av 7 dygn under åren 1961-1990 samt en prognos för de tre sista decennierna av nuvarande sekel. Källa: European Environmental Agency.



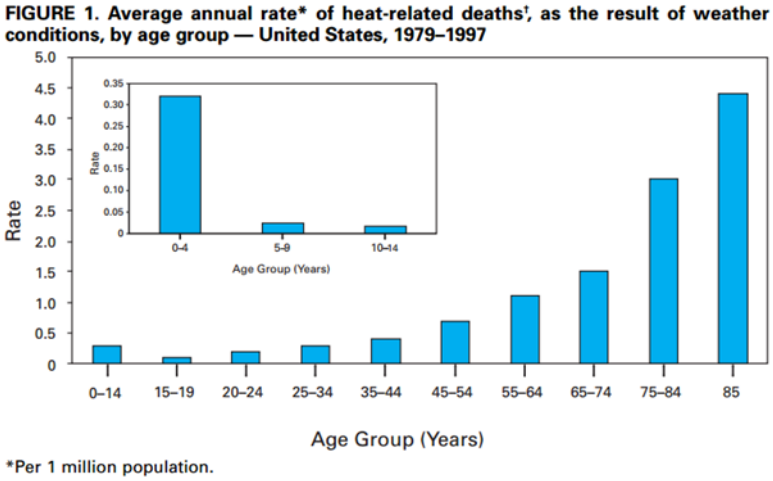
Figur 401: IPCC's redovisning av utvecklingen i varma nätter och varma dagar. Tyvärr börjar diagrammen först 1950, vilket leder till att man får ett överdrivet intryck av utveckingen mot ett varmare klimat. Källa: (154).



Figur 402: Historisk utveckling i värmeböljor det senaste seklet, kvantifierat enligt två olika kriterier. Källa: Environmental Protection Agency (den amerikanska energimyndigheten).

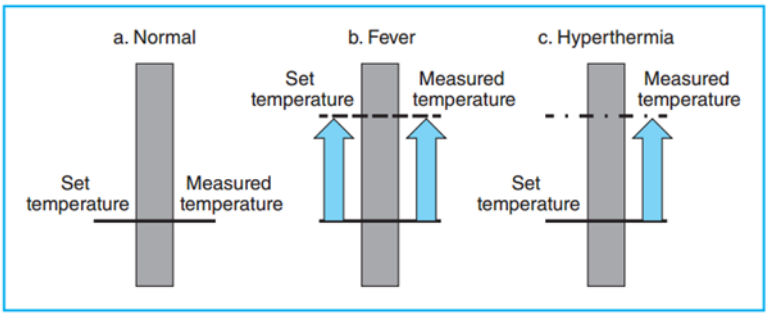
Figur 402 visar statistik av frekvens av värmeböljor för USA enligt två olika kriterier för kvantifiering av intensiteten i en värmebölja. I det övre diagrammet (som redovisar % av landområden) ser man en klart ökande tendens under senare delen av 1900-talet. Det finns en stor topp på 1930-talet, en topp som i det nedre diagrammet (där värmeböljeindex utgör y-axeln) är totalt dominerande. Detta nyanserar den bild som förmedlas i den allmänna debatten (att värmeböljorna nästan säkert kommer att bli allt värre), men våldsamheten i det som inträffande i USA på 1930-talet, i Europa 2003, och i Ryssland 2010 (då 70 000 människor anses ha omkommit i en värmebölja) tydliggör att värmeböljorna måste tas på allvar, även om den ökade växthuseffekten skulle visa sig vara av underordnad betydelse i sammanhanget. Den största värmeböljan under 1930-talet, som var katastrofal för jordbruket, blev i USA känd under benämningen ”The Big Dust Bowl” men den har idag fallit i glömska.

Värmeböljor utgör framförallt en risk för personer som i sammanhanget är känsliga. Således ökar dödligheten påtaglig med personens ålder, men även barn i åldergruppen 0-4 år löper en större risk, se Figur 403, från USA för perioden 1979-1997.



Figur 403: Frekvensen av dödlighet vid värmeböljor inom olika åldergrupper i USA. Källa: (169).

Gemensamt för småbarn och gamla är i detta sammanhang är att de båda här minskad förmåga att reglera kroppstemperaturen, se Figur 404. Samma sak gäller människor som lider av en eller flera sjukdomar, t.ex. diabetes, i synnerhet vid behandling med sådan medicin som har biverkan att den försämrar temperaturregleringen.



Figur 404: Normal och bristfällig reglering av kroppstemperaturen. Källa: (223).

Att i detta sammanhang använda begreppet ”komfortkyla” är direkt vilseledande: Det problematiska är här inte att personen ifråga känner obehag, utan ofta är det omvända, att han eller hon endast i begränsad omfattning, eller inte alls, känner sig besvärad och därför inte reagerar genom att t.ex. dra för persienner eller följa allmänna råd om att dricka mycket (dock inte alkohol). Dementa och förståndshandikappade kan inte utan vidare förväntas uppfatta och eller reagera på varningar.

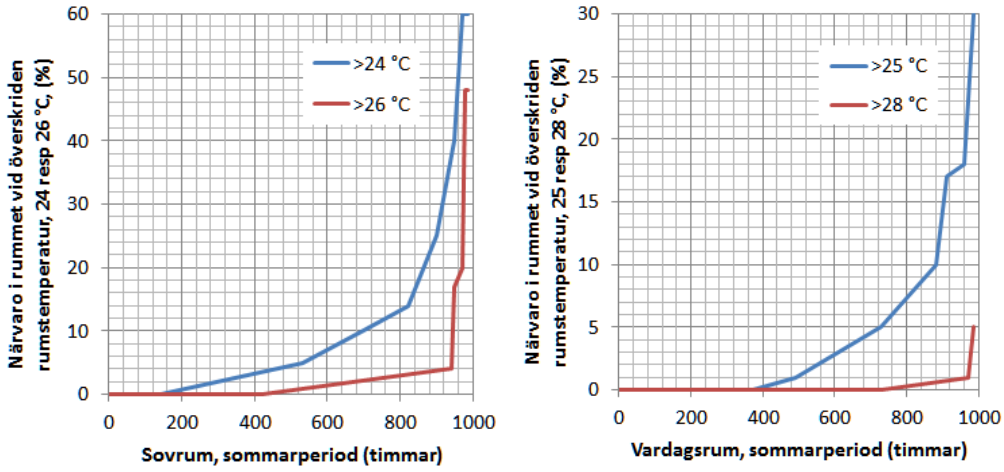
Principerna om ”längst möjligt kvarboende” för äldre och om ”understödjande av ett självständigt liv” för grupper av personer som förr vistades inom

”institutioner” som ligger till grund för svensk sociallagstiftning, liksom strävanden att allt mer vård av även svårt sjuka ska ske i hemmet, har medfört att antalet byggnader i vilka det finns personer som i någon mening tillhör kategorin övervärmningskänsliga personer har blivit stort.

20.2 ÖKAD AKTIVITET MED VÄRMEBÖLJEPLANERING

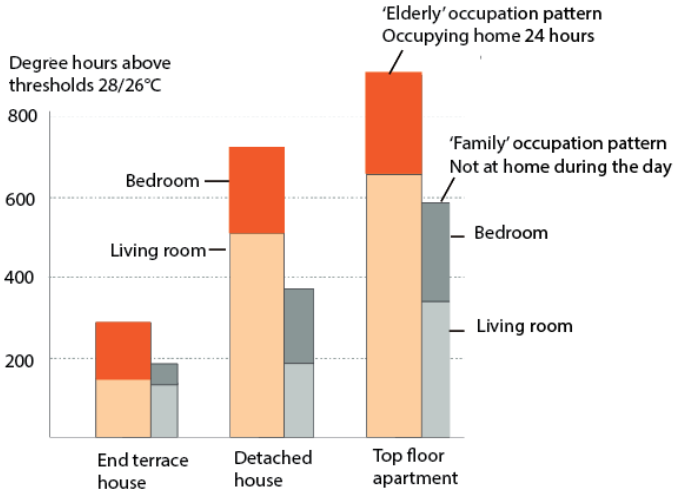
I Sverige har Folkhälsoinstitutet publicerat en omfattande genomgång, ref (173), av den internationella medicinska vetenskapliga litteraturen som dokumenterar sambandet mellan värmeböljor och hälsa. På nationell myndighetsnivå inom Europa har man kommit långt i arbetet med värmeböljor i framförallt England, både kunskapsmässigt och i form av åtgärdsprogram. England var ett av de första länder som introducerade en nationell ”Heat Wave Plan” 2014.

Det är anmärkningsvärt att man bl.a. kommit att fokusera på ”Overheating in Homes” som vid närmare undersökningar visat sig i betydande grad vara drabbade av problemet, se Figur 405. Detta är överraskande då internvärmegenereringen i allmänhet är väsentligt mindre i bostäder än i exempelvis kontorsbyggander med många PC, bildskärmar och skrivare samt stort behov av belysning och i allmänhet flera personer per kvadratmeter. Mindre överraskande är att lägenheter med stora fönster i fasader mot söder och takvåningar visat sig innebära relativt störst risk.



Figur 405 Varaktighetsdiagram för närvaro i sovrum (till vänster) resp vardagsrum (till höger) då den angivna temperaturen är överskriden. Källa: Fritt bearbetat utifrån diagram i ref (224).

Typiskt antal timmar per år som olika kategorier av boende i engelska lägenheter utsätts för övertemperaturer enligt gällande norm, se Figur 406.



Figur 406: Antal timmar per år med övertemperatur i bostäder medan den/de boende vistas där, i UK. Två boendekategorier visas. Källa: (225).

Vid närmare övervägande är en annan huvudanledning inte heller så förvånande: Medan t.ex. kontorsanställda och anställda i butiker endast vistas mindre än hälften av tiden på sina arbetsplatser, vistas många av de ”känsliga” personerna i sina bostäder större delen av tiden, i utpräglad grad t.ex.de som är rörelsehindrade, se igen se Figur 406. En arbetstagare vistas däremot mindre än hälften av tiden på sin arbetsplats och är i regel mobil, med möjlighet att lämna en byggnad (arbetsplatsen eller hemmet) om hettan blir oacceptabel. Vid extrem hetta kan en anställd legalt, med hänvisning till sanitär olägenhet, lämna arbetsplatsen.

20.3 AFFÄRSASPEKTER RELATERADE TILL VÄRMEBÖLJOR

20.3.1 Nya kundgrupper

En grupp av byggnader som i ljuset av kunskapen om värmeböljor framstår som särskilt intressant för den svenska fjärrvärmebranschen är äldreboenden och olika vårdbyggnader. Enligt Energimyndighetens kartläggning inom det s. k. ”Stil 2-projektet” (67) är den helt övervägande delen av dessa byggnader försedda med mekaniska ventilationssystem, vilket innebär goda möjligheter att tillföra kyla, en möjlighet som inte finns i samma omfattning i många andra länder, t.ex. England, där användning av mekanisk ventilation är mindre utbredd.

I sin redovisning ”Effekter av värmeböljor och behov av beredskapsåtgärder i Sverige” av ett regeringsuppdrag anger Socialstyrelsen i 2011, ref (226), en lista med förslag på åtgärder som avslutas så här, se Figur 407:

Solskydd/solavskärmning vid vårdinrättningar

Markiser, persienner, parasoller, plantering av skuggande träd och så vidare är praktiska exempel på sätt att skydda mot den direkta värmen från solen. Dessa är dessutom enkla och inte så kostsamma att införa men gör ändå stor skillnad vid en värmebölja.

Kylsystem och luftkonditionering

Kylsystem och luftkonditionering kräver större investeringar och långsiktig planering och är viktiga att ha i åtanke vid renoveringar och nybyggnation av sjukhus och andra vårdinrättningar. Klimat- och sårbarhetsutredningen föreslår att avkylningsmöjligheter på akut-, intensiv-, och hjärtavdelningar bör införas som standard över hela landet och att behovet av kylning för andra lokaler bör inventeras. Dessa åtgärder syftar både till en bättre vård och till en bättre arbetsmiljö.

Figur 407: Förslag på åtgärder för att hantera värmeböljor. Källa: (226).

Som många andra myndighetsuttalanden i Sverige och i andra europeiska länder präglas bedömningarna av en restriktiv inställning till luftkonditionering, men lämnar ändå utrymme för t.ex. ökad användning av fjärrkyla.

Mot den citerade skrivningen kan man invända, att persienner visserligen ofta är relativt billiga, men de är mindre effektiva än markiser som ofta är dyrbara, särskilt vid montage på byggnader där denna möjlighet inte förutsetts. Det finns intressanta idéer om värmedämpande effekter av plantering av växlighet på hustak, och god dokumentation för att parker inom storstäder kan minska värmeöeffekten. Således är det t.ex. bra att det i Stockholm finns Kungsträdgården och i London Hyde Park och Kensington Gardens, och vid planering av nya stadsdelar är det angeläget att reservera ytor för växtlighet. Men i befintliga, centrala delar av storstäder skulle ett effektivt utnyttjande av träd för dämpning av temperaturökningar fordra orealistiska rivningar i stor omfattning.

Den värsta värmeböljan i USA på decennier inträffade 1995 i Chicago och skördade kring 750 liv. I USA ligger dödstalen således på en mycket lägre nivå än i Europa, vilket utan tvekan sammanhänger med att luftkonditionering är utbredd i USA och endast används i begränsning omfattning i Europa, och sällan inom bostadssektorn. En stor del av dödsoffren i USA är socialt marginaliserade personer som ”suffer from lack of air conditioning”, för att återge en typisk formulering.

Vid utformningen av kundcentraler och system för kyldistribution inomhus ger frågan om värmeböljor anledning till nya överväganden. Hitintills har det varit praxis att tillåta en högre temperatur inomhus om utomhustemperaturen är hög. Detta är ganska välmotiverat ur komfortsynpunkt då människan (den friska och starka) har en anpassningsförmåga när det gäller obehag av höga eller låga temperaturer. Men när det gäller ”vårdkyla” i stället för ”komfortkyla” förefaller toleransen varit avsevärt mindre. Med befintlig teknik leder detta till en mer spetsig efterfrågesignatur vilket är ogynnsamt, bl.a. vid anslutning till fjärrkyla.

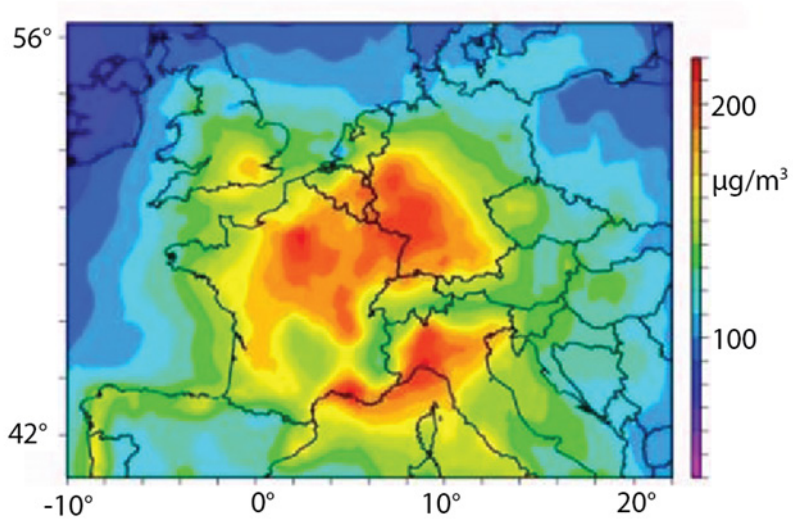
Av betydelse för affären fjärrkyla i form av vårdkyla finns två aspekter. Den första gäller frågan vilka ytor inom vårdsektorn kommer att bli klimatiserade. En ökning av respektive sjukhusyta som förses med kyla kan förväntas.

Den andra aspekten gäller var respektive sjukhus, vårdcentral eller äldreboende är lokaliserat i förhållande till ett lokalt nät för fjärrkyla, vilket är naturligtvis lokalt betingat. Problemen med övervärmning inomhus drabbar särskilt hus som ligger centralt i storstäder där det uppträder värmeöar, dvs. en lokalt högre temperatur jämfört med regionen i allmänhet, se Figur 313 och Figur 314.
Temperaturskillnaden kan bli mycket större på natten än på dagen. Detta utgör ett stort problem i framfört allt bostadsbyggnader där människor vistas på natten. Om kroppen inte får chansen att svalkas på natten ökar risken för skadliga hälsokonsekvenser, även om temperaturnivån är lägre än mitt på dagen. Detta talar för att se till att temperaturen nattetid blir så låg som möjligt inomhus (med någon lämplig nedre gräns, förstås), även om svängande temperatur kan medföra obehag. Det finns uppgifter som pekar på att svängande temperatur kan medföra andra typer av hälsoproblem än övervärmning. Det är således angeläget om man inom den medicinska vetenskapen kan ange hur energiteknikern ska prioritera från folkhälsosynpunkt.

20.3.2 Koppling till nya koncept

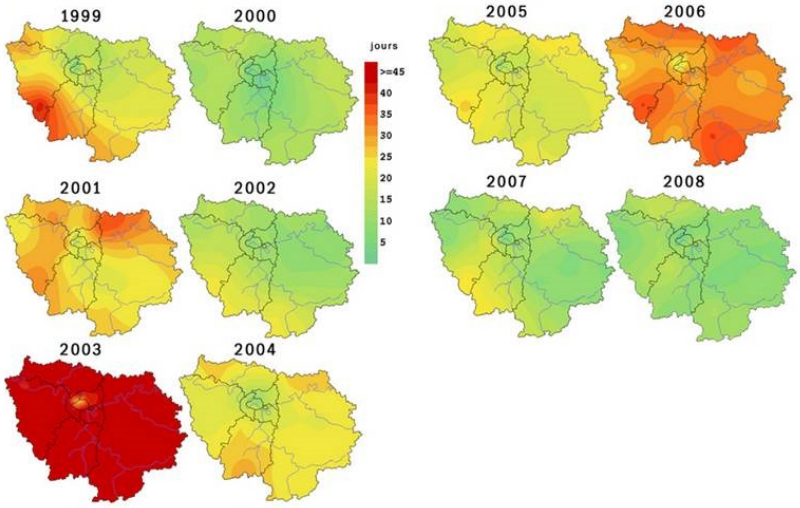
En typ av kundcentral som vi föreslår och som vi kallat ”Kundcentral med selektiv recirkulation av återluft”, Figur 165, kan bidra till hantering av värmeböljor. Den kan med fördel kombineras med användning av solskydd där investering i detta är befogad. Om solskyddet endast används vid hög kyllast kommer det att öka den genomsnittliga årliga tiden för utnyttandet av fjärrkylan. Att under långa perioder stänga av för inkommande solljus i ett land som Sverige, där vintrarna är långa och ofta dystra, är inte tilltalande. Det har visats att brist på ljus kan leda till den typ av depression som kallas Seasonal Affective Disorder (SAD).

Vi har tidigare i avsnitt 8.8 beskrivit kopplingen till att ”Kundcentral med selektiv recirkulation av återluft” i förlängningen har en positiv effekt på ozonhalten. Exempelvis under den extrema värmeböljan 2003, redovisas detta för centrala Europa med Frankrike i centrum från den 14 augusti i Figur 408.



Figur 408: Ozonhalt (mätt som µg/m3 enligt höger stapel) i Mellaneuropa under värmeböljan 2003, avser här den 14 augusti: Källa: Prev'Air France.

Figur 409 redovisar med en tydlighet för Paris hur extremt året 2003 var i antalet dagar med hög ozonhalt. Man ser av detta hur angeläget det är att kunna minska ozonhalten inomhus under extremt varma perioder. Orange färg representerar över 30 dagar och mörkt rött över 45 dagar per år med förhöjd ozonhalt i Paris.



Figur 409: Dygn med förhöjd Ozonhalt i Paris 1999-2008. Källa: AirParif, France.

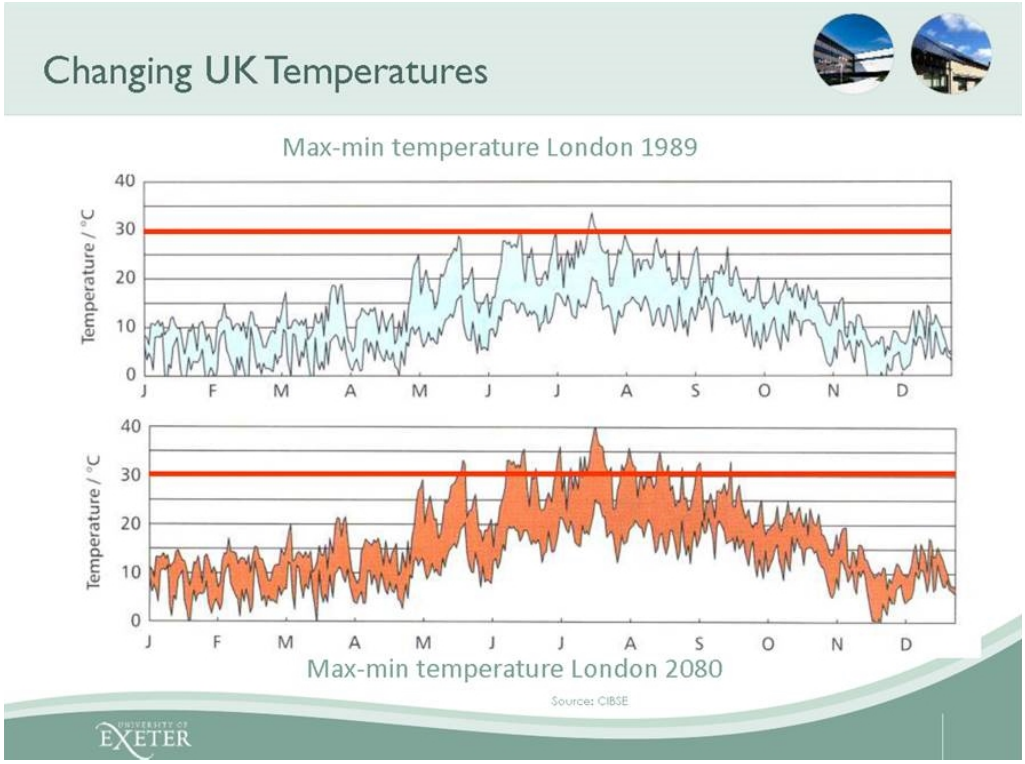
20.3.3 Framtida dimensioneringsförutsättningar

Vi har noterat en ökad aktivitet kring värmeböljeplanering. Främst identifierar vi denna ökade aktivitet från UK, Tyskland och Frankrike.

Som exempel kan nämnas "Heat wave planning 2014" från UK och hur man på det lokala planet tar in detta i planeringen av framtida energiförsörjning. En vanligt förekommande föreställning hos planerare för district energy som vi träffat inom

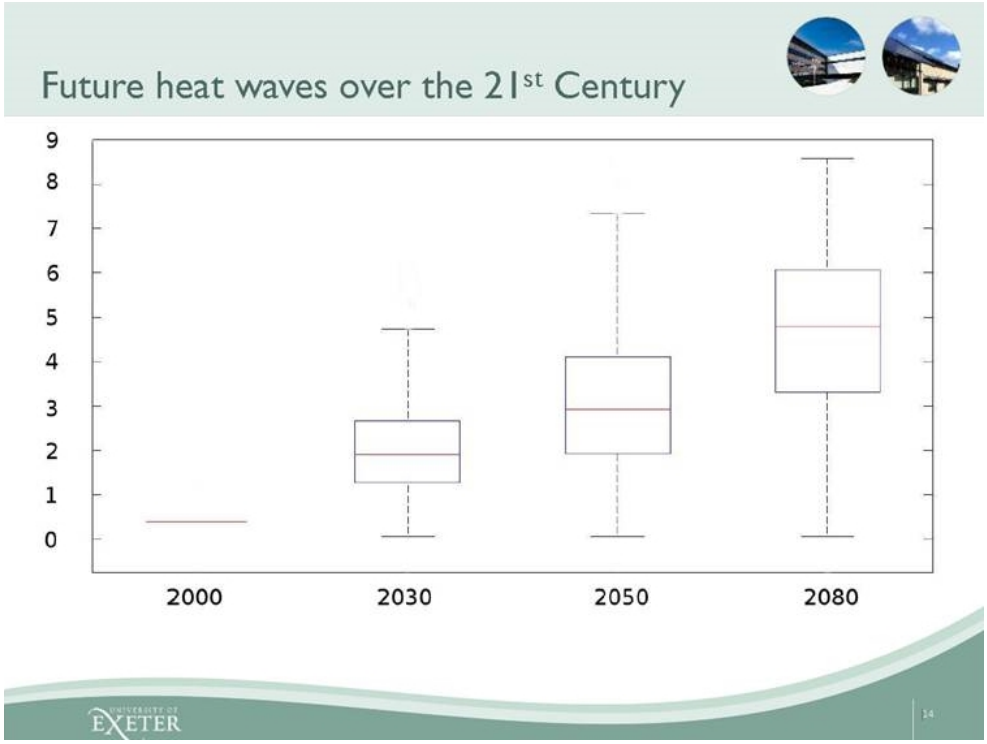
ramen för olika forskningsprojekt har varit ”behövs kyla i England?”. Att det funnits kylmedelskylare på många tak verkar man ha varit begränsat medveten om.

Exempel på studier kring klimatförändringar och konsekvenser har redovisats från Universitetet i Exeter. Figur 410 visar på en beräknad förändring av temperaturer i London med 1989 som referens och hur det statistiskt sett skulle kunna se ut år 2080.



Figur 410: Max och mintemperaturer från Londom 1989 och prognos från klimatstudier från Universitetet i Exeter: Källa Rescue Workshop i Woking 2014, Tony Norton (227).

Man prognostiserar, se Figur 411, att man från under en värmebölja per år går till en normal aktivitet på 3-6 st och med amplituder på 9 st för de varmaste åren.



Figur 411: Scenario över framtida värmeböljor i UK. Källa Rescue Workshop i Woking, Tony Norton (227).

För svenskt vidkommande har vi tidigare nämnt ref (173) och (226) med direkt koppling till framtida värmeböljeplanering (Folkhälsomyndigheten och Socialstyrelsen). I många länder finns sedan flera år tillbaka formella, detaljerade nationella beredskapsplaner för värmeböljor. Det gäller exempelvis Belgien, Danmark, England, Frankrike, Italien, Holland, Portugal och Spanien. Sverige har legat något efter i processen. I dag finns det nationella riktlinjer och varningssystem, jämte detaljerade regionala beredskapsplaner t ex i Skåne. Ett pilotförsök som skall mynna ut i detaljerad nationell vägledning för hantering av värmeböljor genomförs av Folkhälsomyndigheten tillsammans med Uppsala kommun under 2016, ref (228).

Det rekommenderas att dimensioneringskriterier för kyla tar in aspekten vad framtida värmeböljor kan ge för konsekvenser för kylabehoven.

21 Referenser

1. **Johansson, P.-O. Frederiksen, S. Wollerstrand, J.** *Kombinerad fjärrvärme och fjärrkyla.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2011. Fjärrsyn 2011:8.

2. **Kjällman, O. Hindersson, P. Nord, B.** *Effektivare distribution av fjärrkyla.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2004. FoU 2004:111.

3. **Werner, A. Jonsson, R.** *Optimerad användning av fjärrkyla.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2012. 2012:10.

4. *Fjärrkylcentralen - Utförande och instalaltion.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2012. F:102.

5. Teknikguide för inneklimat. u.o. : Swegon, 2014.

6. **Nilsson, Göran.** *Värmetröghet - så mycket mer än energi!* u.o. : Lunds tekniska högskola, 2012. TVBM-7212.

7. *Fjärrvärmecentralen - Utförande och installation.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2014. F:101.

8. *Psychrometric Chart Structure and Application .* u.o. : Siemens, 2010.

9. **Harriman, L.G. (Editor - III).** *The Dehumidification Handbook, 2nd ed.* u.o. : Munters, 2002. 2nd edition.

10. **Abel, E. & Elmroth, A.** *Byggnaden som system.* u.o. : Studentlitteratur, 2012.

11. **Frederiksen, S. och Werner, S.** *Fjärrvärme och fjärrkyla.* Lund : Studentliteratur, 2014.

12. **Pennington, Niels A.** *Humidity chamber for air conditioning. 2,700,537* 1955.

13. **Martin, Henning Hands.** "Solare Kälteerzeugung – ein Überblick". *https://www.hs-karlsruhe.de/fileadmin/hska/MMT/IKKU/ProSolar/Vortraege/02_Hans_Martin_Henning.pdf.* [Online] den 28 August 2014. H.-M. Henning: "Solare Kälteerzeugung – ein Überblick". Föredrag 2014-10-28. https://www.hs-karlsruhe.de/fileadmin/hska/MMT/IKKU/ProSolar/Vortraege/02_Hans_Martin_Henning.pdf. (Nerladdad 2016-01-16)..

14. *Steady state modeling of desiccant wheels.* **Bellemo, L et al.** u.o. : International Sorption Heat Pump Conference, March 31-April 3, 2014, 2014.

15. *Technical Development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning. A review.* **La, D.** 14 (130-147), 2010.

16. *An overview of solid desiccant dehumidification and air conditioning systems.* **Sultan, M. et al.** 46 (16-29), 2015.

17. **Eicker, U. et al.** *Experimental investigations on desiccant wheels.* u.o. : Allied Thermal Engineering, 2012.

18. *Performance analysis of desiccant dehumidification systems driven by low-grade heat source.* **Jeong, J. et al.** 34 (928-945), u.o. : Int. Journ. of Refrigeration 34 (2011) 928-945, 2011.

19. *Development of a novel rotary desiccant cooling cycle with isothermal dehumidification and regenerative evaporate cooling using thermodynamic analysis method.* **La, D. et al.** (778-791), u.o. : Energy, 2012, Vol. 44.

20. **Zha, C.** *Performance Modeling of Desiccant Wheel Design and Operation - Dissertation.* Pittsburg, USA : Carnegie Mellon University, 2008.

21. *Performance Modeling of Desiccant Wheels (1): Model Development.* **Zhai C, et al.** Florida USA : ES2008 Energy Sustainability 2008, August 10-12, 2008.

22. **Nia, F.E.** *Sustainable Air Handling by Evaporation and Adsorption - Dissertation.* Tehran, Iran : Technische Univeristeit Delft, & Sharif University of Technology, Tehran, 2011.

23. *Numerical and experimental performance analysis of rotary desiccant wheels.* **Yamaguchi, et al.** 60 (51-60), u.o. : International Joournal of Heat and Mass Transfer, 2013.

24. *Radiant Heating and Cooling Systems.* **Kim, K.W. et al.** February 2015 (p 28-37), u.o. : ASHRAE Journal, 2015.

25. *Hybrid Desiccant Cooling Systems.* **Said, M.H.i et al.** Jan 2006, u.o. : ASHRAE Journal, 2006, Vol. 49.

26. *Indoor Air Quality Guide, Best Practices for Design, Construction, and Commissioning.* u.o. : ASHRAE, 2009.

27. *Guidelines for Indoor Air Quality, Dampness and Mold.* u.o. : World Health Organization , 2009.

28. **Fjällström, P. et al.** *Åtgärder för att förbättra tilluftens kvalitet på kontor.* u.o. : IVL Svenska Miljöinstitutet, 2014. Rapport B 2166.

29. *Die Feuchteübertragung von Rotoren.* **Beck, E.** 5/2006, u.o. : Heizung Lüftung Klimatechnik , 2006.

30. **Fläkt Woods.** Teknisk Handbok. Luftbehandlingsteknologi. 2009.03-8399.

31. *Heat Exchanger and Heat Exchange Ventilator . 0168813 www.espacenet.com.* US, 2006. Heat Exchanger.

32. **Nilsson, H.** *Heat and humidity recovery in ventilation applications and solving latent efficiency with basis on sensible efficiency solving.* Lund, Sweden : 2010 MVK Heat and Mass Transport, 2010 May 10.

33. *Air Conditioning System with Desiccant Wheel for Italian Climates.* **Bellia, L. et al.** No 4 (p 193-213), u.o. : International Journal on Architectural Science, 2000, Vol. Volume 1.

34. *Experiences with a gas driven, desiccant assisted air conditioning system with geothermal energy for an office building.* **Casas, W. et al.** 37 (225) (p 493-501), u.o. : Energy and Buildings.

35. Cold Air Makes Good Sense. *Trane Newsletter.* u.o. : Trane , 2000. Vol. Vol 29, No 2.

36. Advances in Desiccant-Based Dehumidification. *Trane Engineering Newsletter .* u.o. : Trane, 2006. Vol. Volume 34-4.

37. *Thermally driven cooling: Technologies, Developments and Applications.* **Nunez, T.** No. 4, December, 2010, u.o. : Journal of Sustainable Energy, 2010, Vol. Vol. 1.

38. *Energy savings potential of chilled-ceiling combined with desiccant cooling in hot and humid climates.* **Niu, J.L. et al.** 34 (2292) (p 487-495), u.o. : Energy and Buildings 34 (2292) 487-495.

39. **Mumma, S.A.** *Condensation Issues With Radiant Cooling Panels.* u.o. : ASHRAE, 2001. IAQ Applications/Fall 2001.

40. **Mouchot, A.** *La chaleur et ses Applications Industrielles". Tysk utgåva: "Die Sonnenwärme und ihre industriellen Anwendungen.* u.o. : Olynthus Verlag, 1987.

41. *Solar Heat Worldwide, Markets and Contributions to the Energy Supply 2010.* **Weiss, W. et al.** u.o. : Heating & Cooling Programme, International Energy Agency, 2012.

42. *Review on solar powered rotary desiccant wheel cooling system.* **Ge, T.S. et al.** 39 (2014) (p 476-497), u.o. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014.

43. *Geothermal- and Solar Assisted Air Conditioning System.ity.* **Wrobel, J. et al.** Purdue University, USA : International Refrigeration and Air Conditioning Conference., 2012.

44. *Integration of Solar Assisted Open Cooling Cycles into Building Climatisation systems.* **Henning, H.-M. et al.** Freiburg, Tyskland : EuroSun 1996, 1996.

45. **Mälarens Vattenvårdsförbund.** Hydrodynamisk modellstudie av Mälaren. Lund : u.n., 2010.

46. **Vätternvårdsförbundet.** Årsskrift 2011. *Rapport nr. 112.*

47. **Filatov, N. et al.** Field Studies of Non-Linear Internal Waves in Lakes on the Globe. Nonlinear Internal Waves in Lakes. u.o. : Springer-Verlag, 2012.

48. **Lawrence Berkeley National Laboratory.** *SEAWATER SOURCE COOLING FOR AIR CONDITIONING COMMERCIAL BUILDINGS.* u.o. : California Energy Commission.

49. *Sustainable Building in China – A Green Leap Forward?* **Diamond, R.C. et al.** 2013, Buildings, Vol. 3(3), ss. 639-658.

50. *Distribution Features of the Yellow and Bohai Seas Temperature in Winter and Summer.* **Ruili J., Sun L.** 04 2002, Marine Science Bulletin, ss. 1-8.

51. *District cooling and heating with seawater as heat source and sink in Dalian, China.* **Zhen L., et al.** 2007, Renewable Energy 32, ss. 2603-2616.

52. **Stignor, C.H.** *Liquid Side Heat Transfer and Pressure Drop in Finned-Tube Cooling Coils.* Lund : Lunds Tekniska Högskola, 2002. Licentiatavhandling.

53. *Valve characteristics for motorized valves in district heating substations.* **Benonysson, A.; Boysen, H. (Danfoss A/S).** 7-8, Frankfurt a M. : Euroheat & Power, 1999, Euroheat & Power International, Vol. 6.

54. **Boysen, H.; Danfoss A/S.** District heating house substations and selection of regulating valves. *DBDH.* 2, 1999.

55. **Rosén, Per.** *Fjärrvärmespecialist, E.on Bussines Innovation.*

56. **Wollerstrand, J.** *Tappvarmvattensystem - egenskaper, dimensionering och komfort.* Stockholm : Svensk Fjärrvärmeförening, 2002. FoU 2002:75.

57. *Vattenkylning på japanskt vis.* Nr 9/2013, u.o. : Energi & Miljö, 2013.

58. Fördjupning om luft och ventilation. *Arbetsmiljöverket (www.av.se).* [Online] [Citat: den 21 Nov 2014.] https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/fordjupning-om-luft-och-ventilation.

59. Utsläpp i Europa orsakar marknära ozon. *SMHI Forskning.* [Online] http://www.smhi.se/forskning/forskningsnyheter/utslapp-i-europa-orsakar-marknara-ozon-1.15824.

60. **Markusson, Caroline.** *Energieffektivare ventilation i butiker - återluft.* u.o. : BeLivs - Energimyndighetens Beställargrupp Livsmedelslokaler, 2012.

61. **Bergsten, B., Aronsson, S.** *Energieffektivisering i komfortkylsystem.* u.o. : Effektiv, 2001. ISBN 91-7848-876-1.

62. **Persson, Siv. (FP).** Förbud mot återluft. *Motion till riksdagen 1994/95:Bo502.* 1994.

63. *Risker med luftvärme och FT-ventilation.* **Harrysson, Christer. (professor Örebro universitet.** 5/11, u.o. : Bygg & teknik, 20111.

64. Högmodern filtrering för sjukhuskirurgi. u.o. : airmail - Nyhetsmagasin från Camfil FARR, 2010. Nr 1 / 2011.

65. Kältemarktanalyse der Stadt Hamburg. *Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Hamburg, 2010.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.hamburg.de/contentblob/2338384/data/kaeltemarktanalyse.pdf.

66. **Fichter, K.** *Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren.* u.o. : Fallstudie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturshcutz und Reaktersicherheit, 2007.

67. *Energianvändning i kontorslokaler.* u.o. : Energimyndigheten, 2007. Statistik I lokaler (STIL2).

68. **Smith, E.** Global Mobile PC Forecasts by Form Factor Touchscreen and Operating System 2009-2018. *Strategy Analytics 2014.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] https://www4.strategyanalytics.com/default.aspx?mod=pressreleaseviewer&a0=5608..

69. *Trends in worldwide ICT electricity consumption from 2007 to 2012.* **Van Heddeghem, W. et al.** (p. 1-14), March 19, 2014., u.o. : Computer Communications, 2014.

70. New Technologies and Architecture for Efficient Data Center. *Report Yole Développement, July 2015.* [Online] July 2015. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.yole.fr/iso_album/illus_datacenter_jpowerneeds_yole_july2015.jpg..

71. *Enabling the Low Carbon Economy in the Information Age.* u.o. : Ge SI (2008): ”SMART 2020”. The Climate Group in behalf of the Global eSustainability Initiative (GeSI)..

72. **Coroama, V. et al.** Energy Consumed vx. Energy Saved by ICT – a Closer Look. *23rd International Conference on informatics for Environmental Protection.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/86925/---/l=1..

73. **Koomey, J. et al.** *Implications of Historical Trends in the Electrical Efficiency of Computing.* u.o. : IEE Annals of the History of Computing. 33, 3, (p. 46-54)..

74. **Mills, M.P.** The Cloud Begins With Coal, Big Data, Big Networks, Big Infrastructure, and Big Power. [Online] August 2012. http://www.tech-pundit.com/wp-content/uploads/2013/07/Cloud_Begins_With_Coal.pdf.

75. **B. Aebischer, at al.** The Energy Demand of ITC: A Historical Perspective and Current Methodological Challenges. [bokförf.] L.H. Hilty et al (EDS.). *ICT*

Innovations for Sustainability. Adbvances in Intelligent Systems and Computing. Heidelberg : Springer, 2014.

76. Districtenergy.org/blog/2014/01/29. [Online] den 29 Oct 2014. http://www.districtenergy.org/blog/2014/01/29/seattle-turns-to-tech%E2%80%99s-wasted-heat-as-a-neighborhood-district-heating-source/..

77. petapixel.com/2012/Google-lets-photographer-into-secretive-data-centers-beautiful-photos-ensue. *petapixel.com.* [Online] Petapixel, den 17 Oct 2012. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://petapixel.com/2012/10/17/google-lets-photographer-into-secretive-data-centers-beautiful-photos-ensue/.

78. Hamina, Finland. *Google Data Centers.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.google.com/about/datacenters/inside/locations/hamina/.

79. **Davies, G. et al.** Opportunities for Combined Heating and Cooling Using Data Centres. *CIBSE Technical Symposium, UCL London.* [Online] London South Bank University., April 2015. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.cibse.org/getmedia/ca94659b-2efc-4acb-9ec8-e098b93999f2/109-Davies-Sli.

80. London Heat Map. [Online] Greater London Authority. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.londonheatmap.org.uk/Content/home.aspx. .

81. Öppen Fjärrvärme. [Online] Fortum. http://www.oppenfjarrvarme.se/..

82. Banhof. [Online] https://www.google.dk/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=Ny+stor+datahall+bahnhof..

83. Green Data Center, Växjö. [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.veab.se/Pages/Page.aspx?pageId=917. .

84. **Hassan, A.F. et al.** *Free Cooling Investigation of SEECS Data Center.* u.o. : Energy Procedia. 75(2015) (p. 1406-1412).

85. Intel Cloud Builders Guide. *Cloud Design and Deployment on Intel Platforms: Data Center Energy Management with Dell, Intel, and Joulex.* [Online] 2011. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.intel.com/Assets/PDF/general/icb_ra_powermgmt_dell_joulex.pdf..

86. ENERGY STAR and eco labels. [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www8.hp.com/us/en/hp-information/environment/ecolabels.html#.VfwB8JdupZg. .

87. **Fitch, J.** Dell´s Next Generation Servers: Pushing the Limits of Data Center Cooling Cost Savings. *www.dell.com.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.dell.com/downloads/global/products/pedge/data_center_cooling_fresh_air.pdf..

88. 2011 Thermal Guidelines for Data Processing Environments – Expanded Data Center Classes adm Usage Guidance. [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://ecoinfo.cnrs.fr/IMG/pdf/ashrae_2011_thermal_guidelines_data_center.pdf..

89. **Isci, C.** Workload Adaptive Power Management with Love Phase Monitoring and Prediction. *Dissetation Pronceton Univerisity.* [Online] 2007. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://freepdfs.net/whole-thesis-pdf-canturk-isci/3cc4c04db57087359f079f8acaed3e9b/..

90. **Kaiserswert, M.** Meet Aquasar, A first kind hot-water cooled supercomputer. [Online] 2010. [Citat: den 16 Sept 2015.] *25. M. Kaiserswert: "Meet Aquasar, A first kind hot-water cooled supercomputer, Power Point. IBM 2010. https://www.eco.de/wp-content/blogs.dir/100929_data_center_kaiserswerth_ibm.pdf. Nerladdat 2015.09.16..

91. **Kandlikar, S.G.** *Single-phase liquid flow in minichannels and microchannels.* u.o. : Heat Transfer and Fluid Flow in minichannels and microchannels, 2006. (p. 87 – 136)..

92. **Greemeier, L. (IBM Research).** *Warm water Flowed Through Supercomputers to Cool Down The Heat.* u.o. : Sceintific American, 2010. April 15, 2010..

93. Zero Emission Data Center. IBM 2010. [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.zurich.ibm.com/st/server/zeroemission.html. .

94. *Aquasar: A hot water cooled data center with direct energy reuse.* **Zimmermann, S. et al.** u.o. : Energy, 2012. 43(2012), (p. 237-246)..

95. **Borkar, S. et al.** The future of Microprocessors. *Communications of the ACM.* 2011, May 2011, Vol. 54, no. 5, (p. 67-77).

96. **Wu, J. et al.** A Nanotechnology Enhancement to Moore's Law. *Applied Computational Intelligence and Sof Computing.* 2013, Vol. Vol. 2013, Article ID 426962, 13 pp.

97. **Hong, F.J. et al.** Conjugate heat transfer in fractal-shaped microchannel network heat sin for integrated microelectronic cooling application. *Int. Journ. of Heat and Mass Transfer.* 2007, Vol. *32. F.J. Hong et al: "Conjugate heat transfer in fractal-shaped microchannel network heat sin for integrated microelectronic cooling applicationVol. 50, Iissues 25-26, Dec. 2007, (p. 4986-4998).

98. *Closed Loop Liquid Cooling for High Performance Computer Systems.* **Kang, S. et al.** Vancouver : Proceedings of IPACK2007, 2007. ASME InterPACK '07, July 2007.

99. **Coles, H. et al.** *Direct Liquid Cooling for Electronic Equipment.* Orlando : Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2014. Report LBNL-6641E, March 2014..

100. **Ebrahimi, K. et al.** *A review of data center cooling technology, operating conditions and the corresponding low-grade waste heat recovery opportunities.* u.o. : Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. 31(2014) (p. 622-638)..

101. Seven innovative ways to cool a scientific computer. *Science Node.* [Online] [Citat: den 16 Sept 2015.] https://sciencenode.org/feature/seven-innovative-ways-cool-scientific-computer.php..

102. **Ge, H. et al.** *Low melting point liquid metal as a new class of phase chagne material: An emerging frontier in energy area.* u.o. : Renewable and Sustainable Energy review, 2013. May 2013, (p. 331 – 346)..

103. **Vattenfall.** Fjärde generationens kärnkraft. *www.vattenfall.se.* [Online] Vattenfall, den 05 Oktober 2012. [Citat: den 30 Mars 2016.] http://corporate.vattenfall.se/press-och-media/nyheter/import-nyheter/fjarde-generationens-karnkraft/.

104. Tablet and smartphone market trends. *Lazure Home Page 2015.08.04. https://lazure2.wordpress.com/2015/08/04/tablet-and-smartphone-market-trends/.* [Online] den 04 Aug 2015. [Citat: den 16 Sept 2015.] https://lazure2.wordpress.com/2015/08/04/tablet-and-smartphone-market-trends/.

105. US Patent application 2010/0296239 ”Thermal interposer liquid cooling system”. [Online] Asatek inc., den 23 March 2012. [Citat: den 16 Sept 2015.] http://www.bit-tech.net/news/hardware/2012/03/23/asetek-liquid-cooling-laptop/1.

106. *Human requirements in future air-conditioned environments.* **Fanger, P.O.** u.o. : International Journal of Refrigeration, 2001. March 2001, (p. 148 – 153)..

107. *Energy-Efficient colmfort with a heated/cooled chair: Results from human subject tests.* **Zhang, H. et al.** Jan. 2015, (p. 10 -21)., u.o. : Building and Environment, 2015.

108. *A review of the corrective power of personal comfort systems in non-neutral ambient environments.* **Zhang, H. et al.** Sept. 2015, (p. 15 – 41)., u.o. : Building and Environment, 2015.

109. *Heat Loss Through the Glabrous Skin Surfaces of Heavily Insulated, Heat-Stressed Individuals.* **Grahn, D.A. et al.** July 2009, (p. 071005-1 to 7)., u.o. : Journal of Biomechanical Engineering, ASME, 2009.

110. **Heller, H.C. et al.** Enhancing Thermal Exchange in Humans and Practical Examples. *Disruptive Science and Technology.* [Online] 2012. [Citat: den 24 Sep 2015.] http://www.avacore.com/wp-content/uploads/2015/08/Disruptive-Science-and-Technology-2012.pdf.. Vol. 1, No. 1, 2012..

111. **Grahn, D.A., et al.** *Methods and Devices for Prevention of Hypothermina in Mammal During Prolinged Exposure to Extreme Cold. US Patent 7,862,600* 2011.

112. —. *Method and Devices for Extracting Thermal Energy from the Body Core of a Mammal. US Patent 8,177,826* 2012.

113. *Work Volume and Strength Training Responses to Resistive Exercise Improve with Periodic Heat Extraction from the Palm.* **Grahn, D.A., et al.** Sept 2012, Journal of Strength and Conditioning Research, Vol. 9, ss. 2558-2569.

114. **Spector, G. et al.** *Heated glove. US Patent 4535482* US.

115. **Helenick, S.M.** *Thermal glove. US Patent 6141801* US.

116. **Suner, A. et al. (Apple Inc.).** *Highly tactile glove system. US Patent 7874021* US.

117. **Montain, A.J.** *Body thermoregulation using skin temperature feedback. US Patent 7837723* US.

118. **Arundel, A.V.** *Indirect Heath Effects of Relative Humidity in Indoor Environments.* u.o. : Environmental Health Perspectives. (p. 351-356).

119. strangbetong/koncept-komponenter/koncept/termodeck/. *Strängbetong.* [Online] http://www.strangbetong.se/koncept-komponenter/koncept/termodeck/.

120. Knauf.de/profi/referenzen/immer-cool-bleiben. *Knauf.* [Online] (www.knauf.de/profi/referenzen/immer-cool-bleiben.html.

121. Noda. *Noda.* [Online] www.noda.se.

122. **Euroheat & Power.** *Heat Roadmap Europe 2050 .- Pre-Study II .* Bryssel : Euroheat & Power, 2013. ISBN: 978-87-91 404 - 48 - 1 .

123. *Energilager och kalla fjärrvärmenät.* **Hellström, Göran.** 2015.

124. *Energimarknadsrapport biobränslen 2015.* u.o. : Energimyndigheten, 2015.

125. **Björe-Dahl, E. och Sjöqvist, M.** *Ökad resurseffektivitet i kraftvärmesystem genom säsongslagring av värme.* u.o. : Linköpings universitet, 2014.

126. **Nordell, B et al.** *Long-term evaluation of operation and design of the Emmaboda BTES.* u.o. : Luleå tekniska universitet, 2015. ISBN 978-91-7583-530-3.

127. **Yao, Guaxiao.** *Analys av trerörssystem för kombinerad distribution av fjärrvärme och fjärrkyla.* u.o. : Svensk Fjärrvärme, 2001. FOU 2001:59.

128. *Geothermal Energy Use, 2015 Country Update for Denmark.* **Røgen B., et al.** Melbourne, Australia : u.n. Proceedings World Geothermal Congress 2015. 19-25 April 2015.

129. **Goodchild, P.** *J. Robert Oppenheimer, Shatterer of Worlds.* Boston : Houghton Mifflin, 1980.

130. **Andersson, J. et al.** *VVS 2000 Tabeller och diagram - Meterologi och klimatologi.* u.o. : Förlag AB VVS, 2000.

131. Weatherspark. *Weatherspark.com.* [Online] https://weatherspark.com.

132. **Harderup, Eva.** *Klimatdata för fuktberäkningar.* u.o. : Lunds universitet, 1995. Rapport 3025.

133. **Swedblom Magnus, et al.** *District Cooling Customer Measurement.* u.o. : RESCUE - project, 2015.

134. *Varför sorptiv kyla.* **Andersson, Kjell.** u.o. : Mälaerenergi, 2014.

135. *DOD Engineering Weather Data - Air Force Handbook 32-1163.* u.o. : ASHRAE, 1999.

136. Stora K - Kunskap Klimat Kyla. u.o. : IV Produkt AB, 2008. ISBN 91-631-3972-3.

137. *Handbook - Fundamentals (SI).* u.o. : ASHRAE, 2005.

138. **Malmberg, Birgitta. et al.** *Beredskapsplan och varningssystem för värmeböljor/höga temperaturer i Skåne.* u.o. : Klimatsamverkan Skåne, 2014. Rapport nr 9/2014.

139. **Wienert, U.** *Untersuchungen zur Breiten- und Klimazonenabhängigkeit der urbanen Wärmeinsel: Eine städtische Analyse.* u.o. : Universität Essen, 2001.

140. Stadtklima Klimatkarte. *Geoportal Graz.* [Online] den 01 Februari 2015. http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10223258_5414865/69720572/Stadtklima_KLIMATOPKARTE.pdf.

141. VDI-Richtlinie: VDI 3785 Blatt 1 . *Umweltmeteorologie - Methodik und Ergebnisdarstellung von Untersuchungen zum planungsrelevanten Stadtklima.*

142. *Guide A - Environmental Design 2015.* u.o. : CIBSE, 2015.

143. **Staeger, T. et al.** *Statistisch-klimatologische Analyse des Hitzesommers 2003 in Deutschland.* 2003.

144. **Staedler, T. et al.** *Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Extremereignissen durch Klimaänderungen – Schwerpunkt Deutschland.* u.o. : Universität Frankfurt/Main, 2003.

145. ipcc. [Online] www.ipcc.org.

146. *Efter regnet .* **Bengtsson, M.** u.o. : Svensk Fjärrvärme - Distributionsdagarna 2015, 2015.

147. *Bacterial growth on a superhydrophobic surface containing silver nanoparticles.* **Heinonen, S., et al.** IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 47 (2013) 012064. 2nd International Conference on Competitive Materials and Technological Processes.

148. *Applications of Photocatalytic Disinfection.* **Gamage, J., Zhang, Z.** 2010, International Journal of Photoenergy. Article ID 764870.

149. **Gadelmoula, M., et al.** FORMATEX RESEARCH CENTER. [Online] den 30 mars 2016. http://www.formatex.info/microbiology2/1595-1600.pdf.

150. *Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review.* **Zhang, Y., et al.** 2011, Atmospheric Environment, Vol. 45, ss. 4329-4343.

151. **Werner, S.** *Tke European Heat Market - WP2.* u.o. : Euroheat & Power, 2006.

152. **Dalin, P. Nilsson, J. Rubenhag, A.** *The European Cold Market.* u.o. : The European Cold Market - WP2, 2006.

153. **Bilow, M.** *International Facades - Croft: Climate Related Optimized Facade Technologies .* u.o. : Createspace, 2012. ISBN: 9781475208399.

154. **IPCC.** *Fourth Assessment Report: Climate Change 2007.*

155. **Schönwiese, C.D.** *Klimatologie.* Uppl. 4. Stuttgart : Verlag Eugen Ulmer, 2013.

156. **Wern, L.** *Luftfuktighet Variationer i Sverige, SMHI.* 2013.

157. *Energy and water conservation from air handling unit condensate in hot and humid climates.* **Licina, D. och Sekhar, C.** u.o. : Elsevier, 2012, Energy and Buildings, Vol. 45, ss. 257-263.

158. *Will AC Put a Chill on the Global Energy Supply?* **Sivak, M.** 5, 2013, American Scientist .

159. **Kee, T.P.** *District cooling as an Energy and Economically Efficient Urban Utility.* u.o. : Singapore District Cooling Pte Ltd, 2010.

160. *District Cooling Plant with High Efficiency Chiller and Ice Storage System.* **Hida, Y., et al.** 2, u.o. : Mitsubishi Heavy Industries, June 2008, Technical Review , Vol. 45.

161. *An EGS/HSA concept for Singapore.* **Olivier, G.J.H.** Australian Geothermal Conference 2010.

162. EMSD DCS at KTD Presentation 20120504. [Online] http://www.hkia.net/UserFiles/File/BLA/EMSD%20DCS%20at%20KTD%20Presentation%2020120504.pdf.

163. **Great Lakes Cooperative Institute, USA.** *National Oceanic and Atmospheric Administration.* 2015.

164. **Esdorn, H. Rietschel & H.** *Raumklimatechnik. 1. Grundlagen.* u.o. : Springer-Verlag, 1994. P.O. Fanger, kapitel ”Mensch und Raumklima”.

165. **Dentel, U:, et al.** *Thermische Behaglichkeit – Komfort in Gebäuden.* Hamburg : HafenCity Universität, 2006.

166. *Sverige inför klimatförändringarna.* u.o. : Miljö- energidepartementet. Statens Offentliga Utredningar 2007:60.

167. *Energieffektivisering i stora kylsystem.* u.o. : Statens energimyndighet ET2013:23.

168. **Lau, C.L., et al.** *Sundhedsprofil 2013 – Kronisk Sygdom.* u.o. : Region Hovedstaden, Center for Sundhet.

169. *Deaths Attributed to Heat, Cold , and other Weather Events in the United States, 2006-2010.* u.o. : National Health Statistics Reports No. 76, July 2014.

170. *Ambient Heat and Sudden Infant Death: A Case-Crossover Study Spanning 30 Years in Montreal, Canada.* **Auger N., et al.** July 2015, Environmental Health Perspectives, Vol. 123.

171. *Who is sensitive to Extremes of Temperature?* **Schwartz, J:.** 2005, Epidemiology, Vol. 16(1), ss. 67-72.

172. *The Effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a mediterranean and a norhtern European city.* **Oudin Åström D., et al.** (2015), Environmental Health.

173. **Folkhälsomyndigheten.** *Hälsoeffekter av höga temperaturer. En kunskapssammanställning .* u.o. : Folkhälsomyndigheten, 2015. ISBN 978-91-7603-487-3 (pdf).

174. *The Indoor environment in relation to people with dementia.* **Van Hoof J., et al.** Copenhagen : u.n., 2008. Proceedings of the 11th International Conference on Indoor Air Quality and Climate.

175. *Värmeböljor och dödlighet bland sårbara grupper – en svensk studie.* Östersund : Statens folkhälsoinstitut, 2010. ISBN: 978-91-7257-712-1 .

176. **Krantz, Lena.** Stockholm Initiativet. Klimatupplysningen. *Klimatet dödar - även i Sverige.* [Online] den 24 10 2013. http://www.klimatupplysningen.se/2013/10/24/klimatet-dodar-aven-i-sverige/.

177. **Recknagel H., et al.** *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik.76 Auflage.* 2013 : Verlag Oldenburg.

178. **Svensson, A.** *Inneklimat vid luftburen värme. Utvärdering av en kontorsbyggnad.* u.o. : Examensarbete vid Institutionen för installationsteknik, KTH, 2010 maj.

179. **Gavhed, D. et al.** *Perceived problems and discomfort at low air humidity among office workers.* u.o. : Elsevier Ergonomics Book Series, 2005. Vol. 3, 2005, (p. 225-230)..

180. *Arbetsplatsens utformning.* u.o. : Arbetsmiljöverket, 2009. AFS 2009:2.

181. *Temperatur inomhus .* u.o. : Socialstyrelsen , 2005. http://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12940/temperatur-inomhus.pdf, nerladdad 2015-07-09. .

182. **Hillert, E. et al.** *Hälsobesvär av inomhusmiljön.* u.o. : Centrum för arbets- och miljömedicin, Stockholms Läns Landsting., 2014.

183. **Wolkoff, P. et al.** *The dichotomy of relative humidity on indoor air quality.* u.o. : Evironment Inernational, 2007. (p. 850 – 857)..

184. **Hahn, N. von.** *Trockene Luft und Auswirkungen auf die Gesundheit – Ergebnisse einer Literaturstudie. Gefahrstoffe.* u.o. : Reinhaltung der Luft, 2007. (p. 103 – 107).

185. **ASHRAE Standard 55-2010.** *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.* u.o. : ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2010..

186. **Martin, A.** *Restoring The Low Limit For Indoor Relative Humidity.* u.o. : Odell Associates Inc. http://www.odellassoc.com/blog/restoring-the-low-limit-for-indoor-relative-humidity. Nerladdad 2015-07-07..

187. **Wolkoff, P. et al.** *Udtørrer det moderne kontormiljø øjnene.* u.o. : Ugeskrift for læger, 2006. Nr. 45, (p. 3893 – 3896).

188. **Gayton, J.L.** *Etiology, prevalence, and treatment of dry eye disease.* u.o. : Clin. Ophthalmol, 2009. (p. 405 – 412).

189. **McCarty, D.J. et al.** *Survey of dry eye symptoms in Australian pilots.* u.o. : Clin. Experiment. Ophthalmol., 2000. (p. 169 – 171).

190. CTT Systems website. *CTT .* [Online] http://www.ctt.se.

191. **Su, S.-B. et al.** *Higher Prevalence of Dry Symptoms in Skin, Eyes, Nose and Throat among Workers in Clean Rooms with Moderate Humidity.* u.o. : Journal of Occupational Heath, 2009. (p. 364 – 369).

192. **Um, S.-B. et al.** *Spatial epidemiology of dry eye disease: findings from South Korea.* u.o. : Journal of Health Geographics, 2014. 13:31.

193. **Bron, A. et al.** *Rethinking Dry Eye Disease: A Perspective on Clinical Implications.* u.o. : The Ocular Surface, 2014. April 2014, Vol. 12, Issue 2, Supplement, (p. S1 – S31).

194. **Wolkoff, P. et al.** *Problems of the "Outer Eyes" in the Office Environment.* u.o. : Journal of Occupational and Environmental Medicine, 2012. (p. 621 – 631).

195. **Ohlsson, A.-C. et al.** *Prevalence of Voice Symptoms and Risk Factors in Teacher Students.* u.o. : Journal of Voice, 2012. (p. 629 – 634).

196. **Alsmo, T. et al.** *A Study of Hygiene in Swedish Schools and Pre-Schools – Sources of Air Pollution.* u.o. : Journal of Environmental Protection, 2013. (p. 1349 – 1359).

197. *Airborne Infectious Diseases.* u.o. : ASHRAE, 2014. Position Document.

198. Folkhälsomyndigheten. *Sjukdomsinformation om influensa.* [Online] den 14 april 2016. http://www.folkhalsomyndigheten.se/amnesomraden/smittskydd-och-sjukdomar/smittsamma-sjukdomar/influensa-/.

199. *Literature Review of the Effect of Temperature and Humidity on Viruses.* **Memarzadeh, F.** u.o. : ASHRAE, 2011. Annual Conference 2011.

200. **Memarzadeh, F.** *Literature Review: Room Ventilation and Airborne Disease Transmission.* Chicago : The American Society for Healthcare Engineering, 2013.

201. **Tang, J.W.** *The Effect of environmental parameters on the survival of airborne infectious agents.* u.o. : J.R. Soc. Interface, 2009. 6, (p. 737-746).

202. **Pica, N. et al.** *Environmental Factors Affecting the Transmission of Respiratory Viruses.* u.o. : Curr Opin Viro, 2012. 2(1): (p. 90-95).

203. **Nikitin, N. et al.** *Influenza Virus Aerosols in the Air and Their Infectiousness.* u.o. : Hindawi Publishing Corporation, Advances in Virology., 2014. Vol. 2014, Article ID 859090, 6 pages.

204. **Alsmo, T. et al.** *Ventilation and Relative Humidity in Swedish Buildings.* u.o. : Journal of Environmental Protection, 2014. 5, (p. 1022-1036).

205. **Åhman, M.** *Spanska sjukan: den svenska epidemin 1918-1920 och dess internationella bakgrund.* u.o. : Uppsala Universitet, 1990.

206. **Barreca, A.** *Absolute Humidity, Temperature, and Influenza mortality: 30 Years of County-Level Evidence from the United States.* u.o. : American Journal of Epidemology, 2012. 2012 Oct 1; 176 Suppl 7, (p. 114-22).

207. **Lowen, A.C.** *Influenza Virus Transmission Is Dependent on Relative Humidity and Temperature.* u.o. : PLoS Pathog. 3(10): e151, doc 10.

208. **Pack, M.R. et al.** *Survival rate of H5N1 highly pathogenic avian influenza viruses at different temperatures.* u.o. : Poul Sci 2010, 2010. Aug; 89(8): 1647-50..

209. *Roles of Humidity and Temperature in Shaping Influenza Seasonality.* **Lowen, A.C. et al.** u.o. : Journal of Virology, 2014, Vol. July 2014, Vol. 88, No. 14, (p. 7692-7695).

210. **Shaman, J. et al.** *Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality.* u.o. : PNAS, 2009. March 3, 2009, vol. 106, no. 9, (p. 3243-3248).

211. *Influenza and humidity – Why a bit more damp may be good for you!* **Metz, J.A. et al.** u.o. : J Infec., 2012, Vol. 2012 Jun, 71 Suppl 1: S54-8.

212. *High Temperature (30°C) Blocks Aerosol but Not Contact Transmission of Influenza Virus.* **Lowen, A.C. et al.** u.o. : Journal of Virology, 2008, Vol. June 2008, (p. 5650-5652).

213. *The Ongoing Battle Against Influenza: The challenge of flue transmission.* **Lakdawala, S.S. et al.** u.o. : Nature Medicine, 2012, Vol. (p. 1468 – 1470).

214. Lipid Membranes. [Online] http://math.lanl.gov/~yi/lipid.html.

215. **CDC.** Public Health Image Library. [Online] http://phil.cdc.gov/phil/details.asp?pid=10073.

216. *Progressive ordering with decreasing temperature of the phospholipids of influenza virus.* **Polozov, I.V. et al.** u.o. : Nature Chemical Biology, 2008, Vol. (p. 248 – 255).

217. *Att välja trä.* u.o. : Svensk Trä, 2013. 9de upplagan.

218. *Museum Microclimates.* u.o. : Conference in Copenhagen 19-23 November 2007., 2007.

219. **Elovitz, K.M.** Understanding what Humidity does and why. *ASHRAE Journal.* 1999, (p. 75 – 81).

220. *New Thermal Guidelines for Data Centers .* u.o. : ASHRAE TC 9.9, 2011. .

221. **Swegon AB.** Teknik_luftburna. [Online] http://www.swegon.com/Global/PDFs/Air%20diffusers/General/_sv/teknik_luftburna.pdf.

222. **Hémon, D., et al.** *Surmotalité liée à la canicule d'août 2003.* Rapportremis au Ministre de la Santé et de la Protection Sociale. 2004.

223. *Pathophysiology of Heat Illness: Thermoregulation, risk factors, and indicators of aggravation.* **Miyake, Y.** 2013, JMAJ, Vol. 56(3), ss. 167-173.

224. *National survey of summertime temperatures and overheating risk in English homes.* **Beizaee, A., et al.** 2013, Building and Environment, Vol. 65, ss. 1-17.

225. **Zero Carbon Hub.** *Overheating in homes; An introduction for planners, designers and property owners.* 2015.

226. **Socialstyrelsen.** *Effekter av värmeböljor och behov av beredskapsåtgärder i Sverige.* u.o. : www.socialstyrelsen.se, 2011. ISBN 978-91-86885-00-7 .

227. *Local action in Exeter.* **Norton, T.** Bath : Workshop 23-07-2014 in Rescue, EU-project., 2014.

228. **Folkhälsomyndigheten.** Pilot Uppsala. [Online] https://www.folkhalsomyndigheten.se/smittskydd-beredskap/krisberedskap/varmeboljor/pilot-uppsala/.

229. **FÖRSVARETS MATERIELVERK.** Avfuktningsteknisk materielhandbok (ATH). 2010.

230. **Armstrong International.** Steam Humidifiers in Central Systems. [Online] https://www.armstronginternational.com/common/hvacsolutionsource/centralsystems.pdf.

231. **Kaufmann, S.** *The New Plagues: Pandemics and Poverty in a Globalized World.* u.o. : The Sustainability Project, Elsevier, 2009.

232. *Fact or Fiction: The Ebola Virus Will Go Airborne.* **Maron, D.F.** September 16, u.o. : Scientific American, 2014.

233. *Influenza at the at human-animal interface, Summary and assessment as of 26 January 2015.* u.o. : WHO, 2015.

234. Emergence of a novel influenza A(H7N9) virus. *Eurosurveillance.* [Online] July 2013. [Citat: den 09 Aug 2015.] http://www.eurosurveillance.org/images/dynamic/es/v18n03/v18n03.pdf..

235. **Häfner, S.** Birds of ill omen – is H7N9 the harbinger of the next pandemic? *Microbes and infection.* 2013, Vol. Vol. 15, issues 6-7, June 2013, (p. 429-431).

236. *H1N-What? Wading Through the Alphabet Soup of Flu Names.* **Stone, J.** Jan. 30, 2014., u.o. : Scientific American, 2014.

237. *Insights from unusual aspects of the 1918 influenza pandemic.* **Shanks, G.D.** May-Jun, 13(3): (p. 217-222)., u.o. : Travel Med Infect Dis., 2015.

238. **Collins, S.D.** *Excess Mortality from Causes Other than Influenza and Pneumonia during Influenza Epidemics.* u.o. : Public Health Reports Vol. 84, 1932. No. 46 (Nov 11, 1932), (p. 2159-2179)..

239. *Spanska sjukans virus uppväckt från de döda.* **Elgh, F. & Tegnell, A.** Nr. 24 – 25 Volym 103.11111, u.o. : Läkartidningen.

240. *1918 Influenza: the Mother of All Pandemics.* **Taubenberger, J.K. & D.M. Morens, D.M.** Jan, (p. 15 – 22)., u.o. : Emerging Infection Diseases, 2006.

241. *Finding the real case-fatality rate of H5N1 avian influenza.* **Li, F.C. et al.** Jun,62(6):555-9., u.o. : J Epidemol Community Health, 2008.

242. *H5N1 influenza viruses: Facts, not fear.* **Palese, P. et al.** Vol. 109 no. 7 (p. 2211-2213)., u.o. : Proc of the Nat Acad of Sciences of the USA.

243. **Yong, E.** *Influenza: Five questions on H5N1.* u.o. : Nature News Feature, 2012. 21 June 2012..

244. Läkemedelsverket.se. *Läkemedelsverkets hemsida.* [Online] [Citat: den 09 Aug 2015.] https://lakemedelsverket.se/malgrupp/Allmanhet/Sjukdom-och-behandling/Behandlingsrekommendationer---listan/Influensa/..

245. **Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.** *Risker och Förmågor 2013 – Redovisning av regeringsuppdrag om nationell risk- och förmågebedömning.* Stiockholm : Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2013.

246. **Cabinet Office.** *National Risk Register of Civil Emergencies.* London : Cabinet Office, 2015. 2015 Edition.

247. **U.S. Department of Health and Human Services.** *HHS Pandemic Influenza Plan.* Washington D.C. : U.S. Department of Health and Human Services, 2005.

248. **Beredskabsstyrelsen.** *Det nationale risikobillede.* Köpenhamn : Beredskabsstyrelsen, 2013.

249. **Jonas, O.B.** Background Paper: "Pandemic risk". . *The World Bank.* [Online] Oct 2013. [Citat: den 09 Aug 2015.] http://www.worldbank.org/content/dam/Worldbank/document/HDN/Health/WDR14_bp_Pandemic_Risk_Jonas.pdf. .

250. **Rubin, H.** Future Global Shocks: Pandemics. *IFP Project on Future Global Shocks.* [Online] Jan 2011. [Citat: den 09 Aug 2015.] http://www.oecd.org/gov/risk/46889985.pdf..

251. Pandemic Potential Insurance Impacts. [Online] [Citat: den 09 Aug 2015.] https://www.lloyds.com/~/media/lloyds/reports/emerging%20risk%20reports/er_pandemic_insuranceimpacts_v2.pdf..

252. *Healthcare workers' perception of the duty to work during an influenza pandemic.* **Dramsery, et al.** 36(1): 12-18., u.o. : Journal of Medical Ethics.

253. **Gates, B.** Bill Gates - The next disaster we are not ready for the next pandemic. *TED-talk.* [Online] [Citat: den 09 Aug 2015.] https://www.ted.com/talks/bill_gates_the_next_disaster_we_re_not_ready//..

254. —. The next epidemic – lessons from Ebola. *New England Journal of Medicine 2015.* [Online] 2015. [Citat: den 09 Aug 2015.] http://www.nejm.org/doi/suppl/10.1056/NEJMp1502918/suppl_file/nejmp1502918_appendix.pdf.. 2015; 372:1381-4..

255. *Protecting Health Care Workers From Ebola: Personal Protective Equipment Is Critical But Is Not Enough.* **Fische, W.A. et al.** 161 (10) (p. 753-754), u.o. : Ann Int Med, 2014.

256. *Chemical control of electrical contact to sp2 carbon atoms.* **Frederiksen, T., et al.** 2014, Nature Communications , Vol. 5.

257. **Gudmundson T., et al.** *"Finnova" innovativ montage- och systemlösning för fjärrvärmeanslutning av villaområde.* u.o. : Svensk Fjärrvärme AB, 2007. Rapport | Värmegles 2006:26a-d.

258. **Fortum.** Förbättringsguide Fjärrkyla. Anpassning av befintliga kylsystem till fjärrkyla. [Online] Maj 2002. https://www.fortum.se/countries/se/sitecollectiondocuments/forbattringsguide_fjk_041021.pdf.

259. Data Center Map. [Online] [Citat: den 16 09 2015.] www.datacentermap.com.

260. **ILK Dresden & Technische Universität Berlin.** *Konzeptstudie zur Energie- und Ressourceneffizienz im Betrieb von Rechenzentren.* 2008.

261. *A comparison of overheating criteria for a range of building types.* **Bhaumik, D.C.L., et al.** CIBSE ASHRAE Technical Symposium, Dublin, Ireland, 3-4 April 2014 .

Bilaga A – Mollierdiagrammets användning

A1 INTRODUKTION

Inverkan av luftkvalitén på människans välbefinnande och arbetseffektivitet har varit känt i Sverige sedan länge. Ett sätt att beskriva aktuellt tillstånd på fuktig luft är med hjälp av Mollierdiagram. Vi kommer i kommande etapper av projektet att både utvärdera olika tekniska lösningar samt även beröra hygieniska gränser för inomhusklimat. Förståelsen av Mollierdiagrammet är därför en av våra grundstenar.

Mollierdiagram som ett verktyg för analys och projektering av luftbehandlings-apparater nämns redan så tidigt som 1937 i Teknisk Tidskrift med referat till en IVA konferens. Även om den nu används av många så är vår erfarenhet dock att många missuppfattningar råder. Svårigheten med diagrammet, även kallat i-x eller h-x diagram, är att många parametrar, i viss mån dubblerade, ingår, varför diagrammets alla funktioner kan vara svåra att genomskåda. Det som gör diagrammet komplicerat är främst det faktum att egenskaper hos en blandning av två gaser, luft och vattenånga, måste hanteras.

Andelen av vattenånga i luften är mycket liten i förhållande till luftens huvud-beståndsdelar som är c:a 78 % kväve, 21 % syre, knappt 1 % argon och 0,04 % koldioxid mm. Ångans mängd varierar mellan 0,001-0,1 % beroende på förhållandena. Likväl är vattenångans närvaro en mycket viktig omständighet när det gäller ventilation och luftkonditionering, av olika anledningar. Dels är luftens fukthalt som sagt viktig för vårt välbefinnande, dels påverkar den eventuellt oönskad biologisk tillväxt samt korrosionsbenägenhet hos olika material. Vidare, vattenångans kondenseringsvärme är stort i förhållande till luftens energiinnehåll, varför ändring av luftens fukthalt är energikrävande.

I och med att Mollierdiagrammet är så grundläggande för vårt ämne gör vi nedan ett försök att på ett överskådligt sätt förklara hur det är konstruerat och hur det fungerar. Vidare, grundläggande förlopp vid tillståndsförändringar av fuktig luft visas.

För den intresserade läsaren hänvisar vi till ännu mer detaljerad beskrivning i utmärkt pedagogiskt uppbyggt material från exempelvis:

- FläktWoods, Teknisk handbok – Luftbehandlingsteknologi (30)
- FMV, Avfuktningsteknisk handbok (229)

A1 GRUNDBEGREPP - DEFINITIONER

Torra termometerns temperatur (t)

Temperaturen som man mäter med en vanlig termometer, skyddad från strålning.

Våta termometerns temperatur (t_v)

Om känselkroppen på en termometer lindas in i tyg indränkt i vatten kommer avdunstningen av vattnet från tyget att kyla termometerns känselkropp, vilket kommer att medföra att termometern visar en lägre temperatur. Ju torrare luften är desto mer vatten kan avdunsta och desto mer sjunker temperaturen. På detta sätt kan våta termometerns temperatur användas som ett mått på relativa fuktigheten i luften. Lufthastighet över 2 m/s krävs.

Entalpi (h)

Entalpi uttrycks i kJ/kg och beskriver energimängden i luften. Enligt SI-systemet är entalpi för vatten och luft noll vid 0 °C (och allt vatten i form av vätska).

Vatteninnehåll (x)

Vatteninnehållet beskriver mängden vatten som finns i luften. Det uttrycks normalt som antal kilogram vatten per kilogram torr luft. Rumsluft innehåller omkring 5-10 gram vatten per kg luft.

Mättnad

Luftens mättnadsgrad mäts i procent och räknas fram genom att dividera det aktuella vatteninnehållet i luften med det vatteninnehåll luften har vid mättnad vid given temperatur.

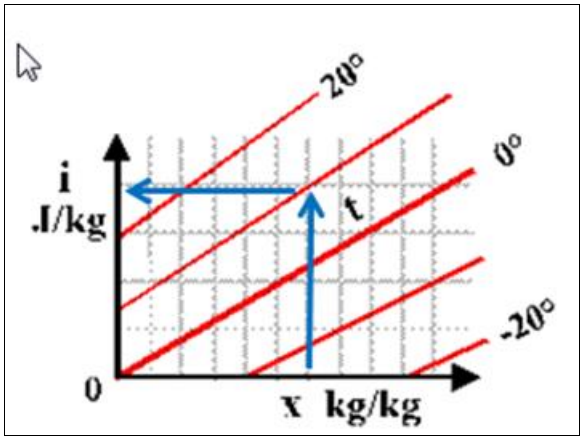
Relativ fuktighet (ϕ)

Luftens relativa fuktighet mäts i procent och är kvoten mellan vattenångans partiella tryck och vattenångans partiella tryck vid mättat tillstånd vid given temperatur. Kan även förklaras som andelen vattenånga i förhållande till den maximalt möjliga vattenångmängden i en viss volym.

A2 STEGVIS BESKRIVNING AV MOLLIERDIAGRAM

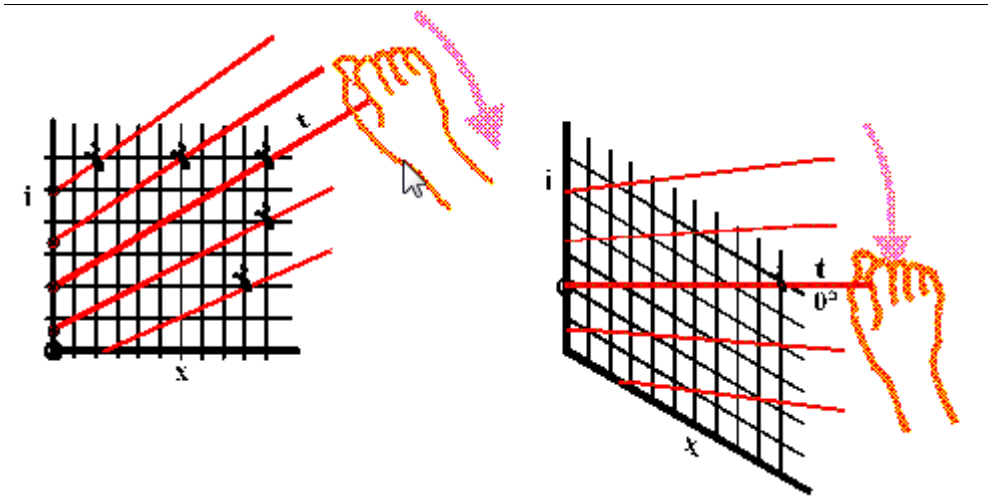
Mollierdiagrammet kallas även h-x diagram eftersom det avbildar den fuktiga luftens entalpi (energiinnehåll i kJ/kg torr luft) som funktion av luftens vatteninnehåll (g vattenånga/kg torr luft).

I normala fall föreställer man sig ett sådant diagram enligt fig. 1, med horisontellt och vertikalt löpande koordinater. Vid känt vatteninnehåll, x, avläses då luftens entalpi, h, på y-axeln (ordinatan) med luftens torra temperatur som parameter, se pilar i Figur 412.



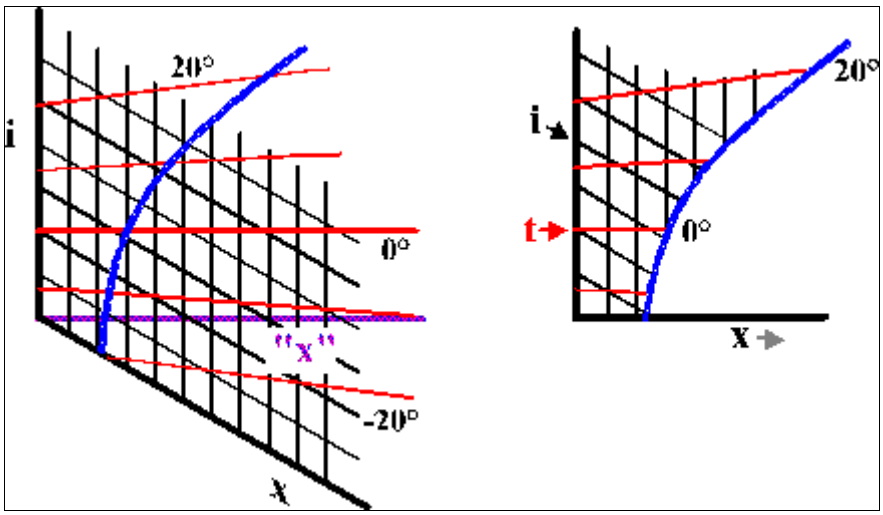
Figur 412: Traditionellt utseende hos ett entalpi-fuktdiagram (i-x eller h-x) (http://www.conservationphysics.org/mollier/moll1.php).

Vi ser dock att ett sådant diagram inte liknar det diagrammet vi är vana vid. Isotermer, som brukar löpa ungefär horisontellt, stiger brant här. Detta är opraktiskt för det krävs en rätt så stor diagramyta för att analysera förlopp vid en viss temperatur, t ex 20 °C. För att åtgärda detta har man bestämt sig transformera diagrammet enligt följande, se Figur 413.



Figur 413: Ett modifierat entalpi-fuktdiagram, där isotermen 0°C är horisontell i högra bilden.

Som vi ser, med y-axel fixerad, vrids hela diagrammet neråt till höger tills isotermen 0°C blir horisontell. Observera att isotermerna inte är helt parallella utan divergerar något, beroende på att luftens värmekapacitet stiger med ökande temperatur. Med det nya utseendet är diagrammet fortfarande skrymmande i och med att inga gränser för dess giltighet är inlagda. Vi vet dock att luften inte kan innehålla obegränsat med vattenånga. Därför ritas det in mättnadslinje (den tjocka blåa kurvan), se Figur 414, vänstra bild.

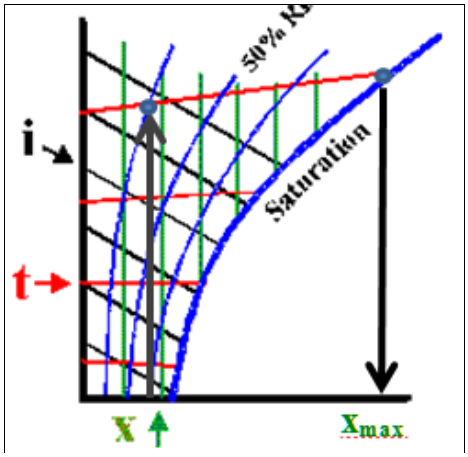


Figur 414: Modifierat entalpi-fuktdiagram, med mättnadslinje för fukt som avgränsning i högra bilden.

Observera nu att området under mättnadslinjen i det vänstra diagrammet inte kan nås i verkligheten eftersom oavsett om vi vill sänka luftens temperatur (förflyttning neråt) eller tillsätta mera fukt (förflyttning till höger i diagrammet) så kommer fuktöverskottet att börja kondensera ut så fort mättnadslinjen nås. Således kan alla linjer under mättnadskurvan tas bort och x-axeln kan rättas ut, se bild till höger i Figur 414.

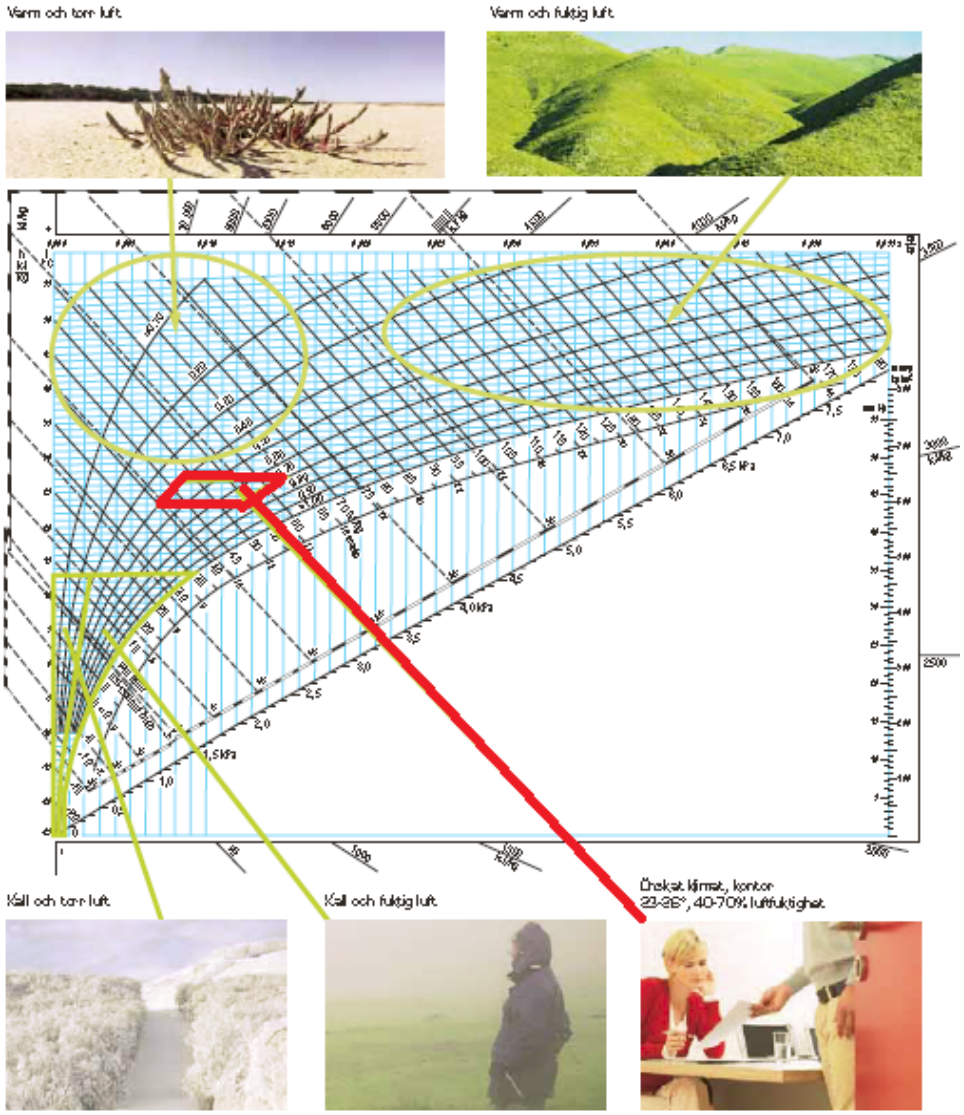
Diagrammet omfattar nu enbart området som är av praktiskt intresse. Det som fortfarande fattas är linjer för konstant relativ fukthalt (RH). Dessa är nödvändiga eftersom det är genom att mäta luftens relativa fukthalt och torra temperatur man hittar sin arbetspunkt i diagrammet. Att rita in RH-kurvorna är dock enklare än man skulle tro. Varje isoterm (röd linje) börjar vid vatteninnehåll noll (till vänster) och slutar vid mättnadslinjen. Vill vi hitta punkten RH=50% för en viss temperatur då räcker det att märka ut mittpunkten på respektive isoterm. Samma gäller andra fukthalter som kan märkas ut proportionellt. Förklaringen ligger i att vattenångas partialtryck, p, som avgör RH:s värde ändras proportionellt till vatteninnehållet i en referensvolym enligt sambandet $p \cdot v = m \cdot R \cdot T$, där v, R och T är konstanta och m motsvarar vatteninnehållet. Med kännedom om detta kan aktuella problemställningar lösas enligt följande:

För given temperatur läs av det maximala vatteninnehållet för skärningspunkten med mättnadskurvan. För att hitta exempelvis RH=25% vid den aktuella temperaturen i diagrammet hitta 25% av det avlästa värdet, x, på x-axeln och vidare hitta skärningspunkten med den aktuella isotermen, den översta i diagrammet i Figur 415.



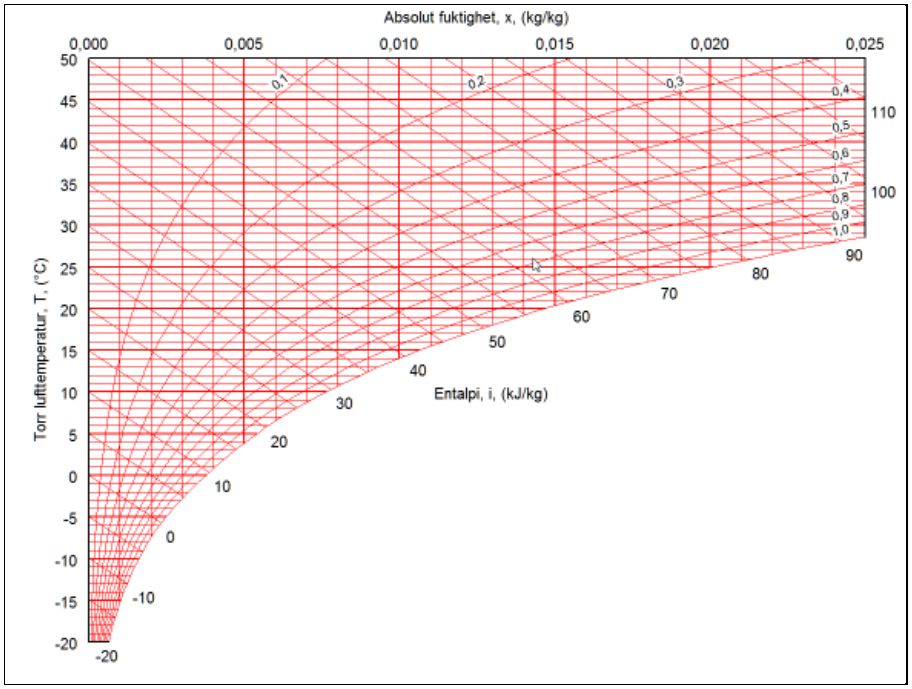
Figur 415: Bestämning av relativ fukthalt, RH=25%, vid given temperatur.

I diagrammet Figur 416 från FläktWoods (30) har ritats in, med rött, komfortzonen för vanligt kontorsarbete eller i bostäder. Vidare har normalt förekommande klimatzoners tillstånd ringats in. Detta visar på spännviden i vad som både händer när utomhusluft tillförs en byggnad samt behov av externa tillskott i form av uppfuktning alternativt avfuktning för att hamna i komfortzonen.



Figur 416: Komfortzon för kontorsarbete och bostäder inritad i ett h-x diagram. Källa: Fläkt Woods (30).

Slutligen bör det nämnas att diagramet i Figur 416 gäller vid bestämt lufttryck (referenstryck är 103,3 kPa) och att det kompletteras ofta med linjer för luftens specifika volym och våta temperatur. Man bör även påpeka att ett förenklat diagram, t-x istället för h-x, fungerar lika bra, se Figur 417. Skillnaden är att det är isentalper som divergerar något istället för isentroper.



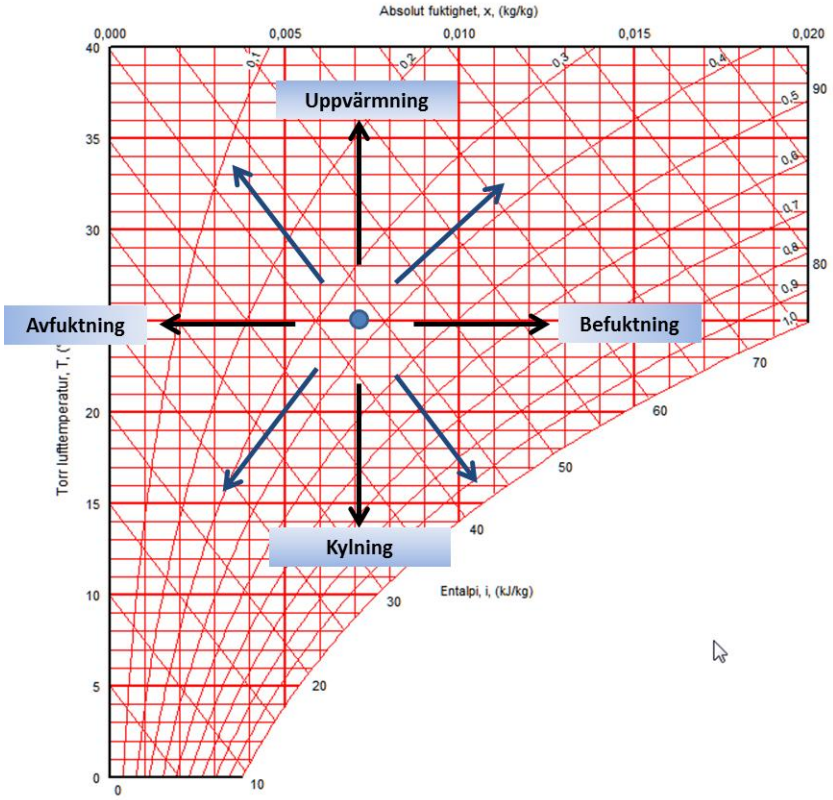
Figur 417: Ett t-x diagram för fuktig luft.

A3 FÖRKLARINGAR AV FÖRLOPP I MOLLIERDIAGRAM

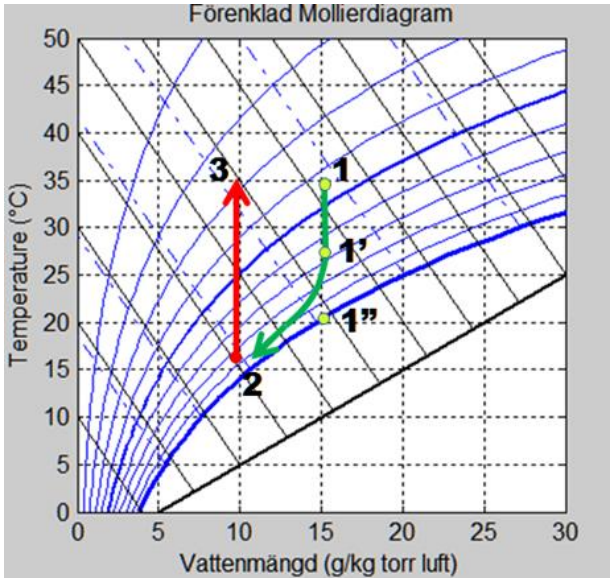
För att senare enklare följa redovisade resultat i Mollierdiagram med presenterade lösningar redovisar vi här några grundläggande processteg utifrån en sammanställning gjord i Figur 418.

Det mest grundläggande som sker i ett luftbehandlingsaggregat är uppvärmning eller kylning av mer eller mindre fuktig luft. Vid uppvärmning, förlopp 2-3 i Figur 419, blir förloppet on vertikal stigande linje då luftens temperatur ökar och dess vatteninnehåll blir oförändrat. Luftens energiinnehåll också ökar.

Kylningsfallet är något mer komplicerat. Så länge kylytans medeltemperatur är högre än luftens daggpunktemperatur (1" i Figur 419) så blir förloppet vertikalt fallande, så som vid uppvärmning. Men så fort yttemperaturen sjunker under daggpunktstemperaturen, punkt 1', påbörjas fuktutfällning och förloppet svänger mot vänster för att följa mättnadslinjen, mot punkt 2 i figuren. Avståndet mellan mättnadslinjen och kylningsförloppets väg beror på värmeväxlarens effektivitet eller så kallad by-passfaktor.



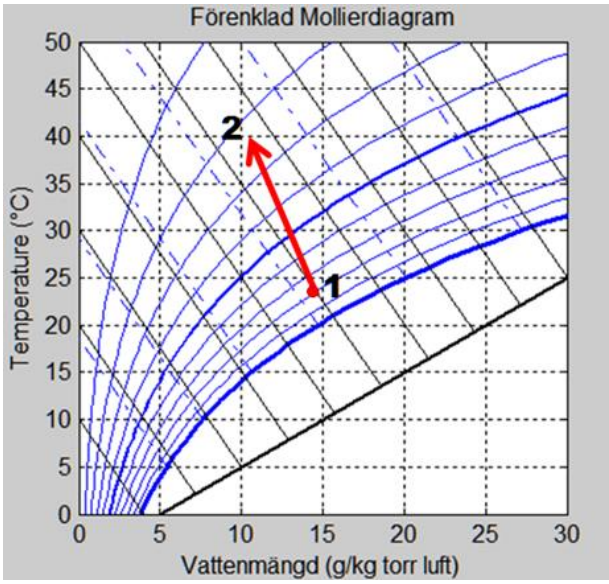
Figur 418: Grundläggande processsteg i Mollierdiagrammet.



Figur 419: Uppvärmning och kylning av fuktig luft i Mollierdiagrammet.

Avfuktning av luften kan även ske i ett s k sorptivt hjul och då blir förloppet annorlunda, se linje 1-2 i Figur 420. Den bortförda vattenångan avger sitt förångningsvärme till luften varför luftens temperatur ökar i motsvarande grad

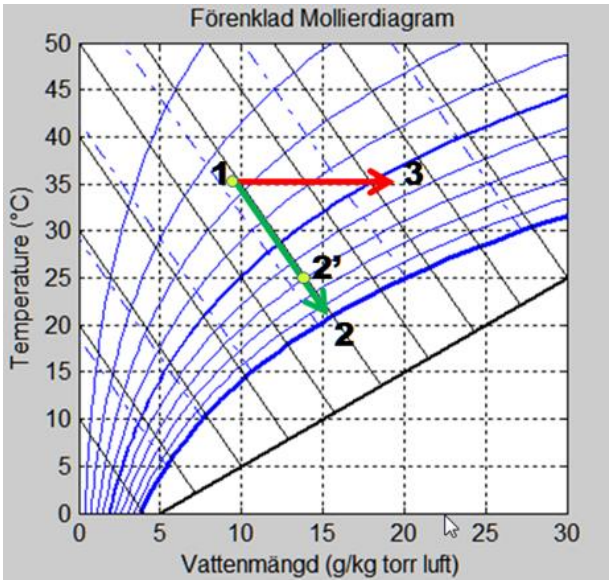
medan dess vattenmängd minskar, varför förloppet blir snett uppåt i diagrammet. Förloppet är ungefär parallellt med konstantenergilinjerna men inte riktigt p g a att till temperaturökningen bidrar även bindningsenergi avgiven av vattenångan i den sorptiva processen.



Figur 420: Sorptiv avfuktning av luft i Mollierdiagrammet.

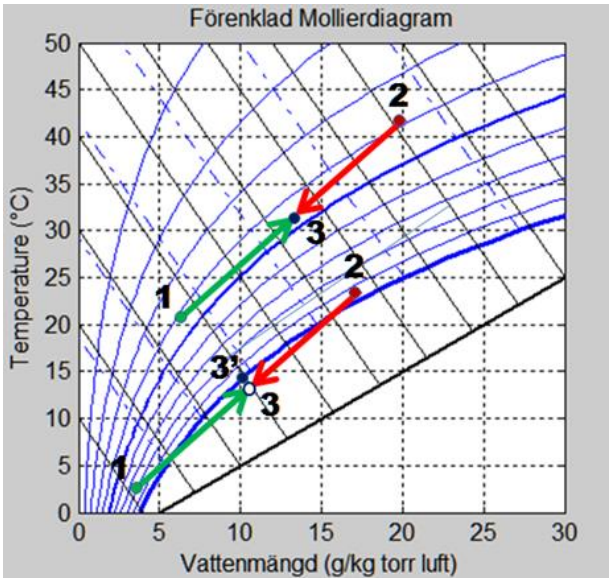
En annan ofta förekommande process är befuktning av luften som kan ske via avdunstning av vatten, linje 1-2'-2 i Figur 421, eller insprutning av vattenånga, linje 1-3. Insprutning av ånga förändrar inte luftens temperatur nämnvärt om det sker vid atmosfäriskt tryck. Energiinnehållet ökar däremot, beroende på ökad fukthalt (vattenmängd). Slutpunkten bestäms av hur mycket ånga sprutas in.

Vid vattenavdunstning måste förångningsenergin tas från själva luften, varför dess temperatur sjunker, medan energiinnehållet förblir konstant. Således följer förloppet konstantenergilinje, snett neråt, där 2' är processens slutpunkt medan 2 är det befuktande vattnets temperatur.



Figur 421: Befuktning av luft i Mollierdiagrammet.

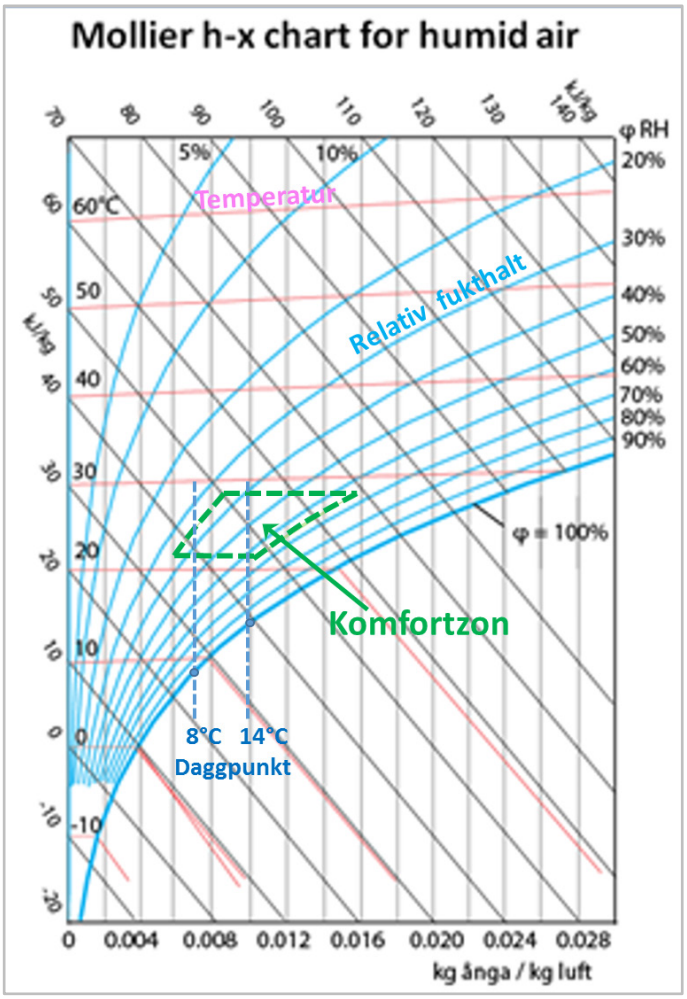
Slutligen förekommer det även blandning av två luftströmmar i luftbehandlingssystem. I Figur 422 visas det två förlopp, båda betecknade som 1-3-2. Det översta förloppet gäller då man befinner sig på avstånd från mättnadslinjen. Två luftströmmar med begynnelsetillstånd 1 resp 2 blandas och slutpunkten 3 som befinner sig på en rak linje mellan punkt 1 och 2 beror på massandelar av respektive luftström. Det understa förloppet visar vad som händer om den sammanbindande linjen 1-2 korsar mättnadslinjen och slutpunkten befinner sig under den. I det fallet dimma kommer att uppstå i luften och luftens vatteninnehåll kommer att reduceras så att dess sluttillstånd blir 3′ istället för 3.



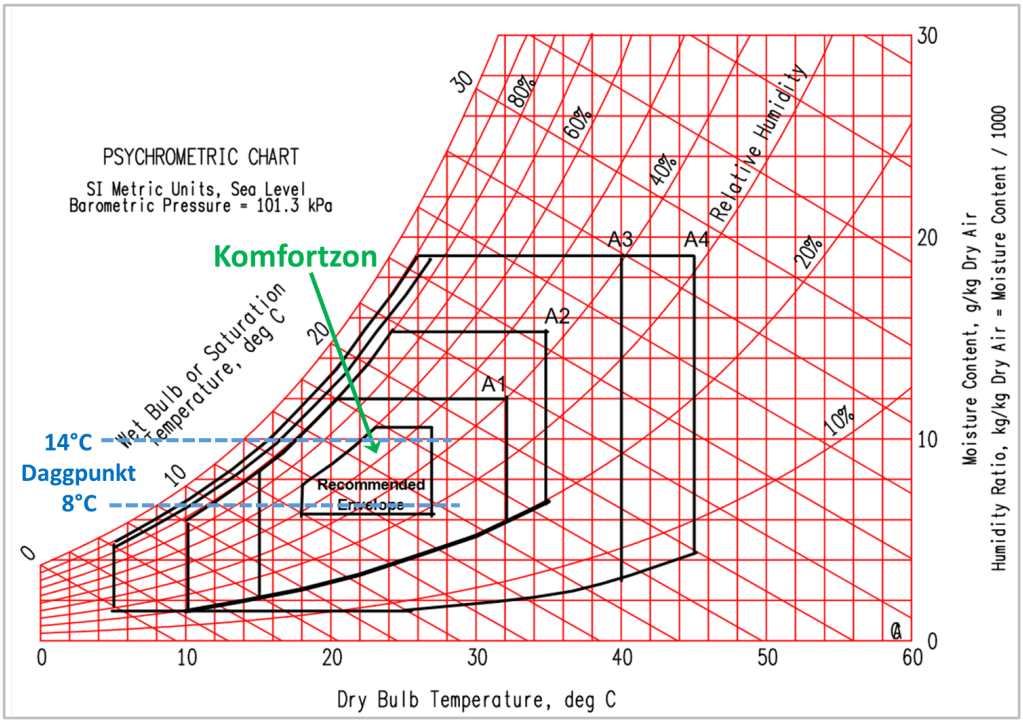
Figur 422: Blandning av luftströmmar i Mollierdiagrammet.

A4 KOMFORTZON I MOLLIER- OCH DET PSYKROMETRISKA DIAGRAMMET

I Europa brukar man avbilda tillstånd för fuktig luft i ett Mollierdiagram, medan man i USA (och Kanada) använder det Psykrometriska diagrammet. Figur 423 och Figur 424. De är principiellt (nästan) lika; det ena kan överföras i det andra genom att vrida det 90 grader och sedan spegla det.



Figur 423: Mollierdiagram med konfortzonen markerad.



Figur 424: Psykrometriska diagrammet med komfortzonen markerad.

I svenska källor hittar man visserligen i Mollierdiagram angiven komfortzon, men det är inte på samma sätt inarbetat i praktisk ingenjörsvetenskap som i amerikansk. I den mån man hittar det i Sverige har det ofta den form som exemplifierats ovan och som blir resultatet om man specificerar ett visst tillåtet temperaturband och ett av detta oberoende band för relativ fukthalt.

I USA har det lagts ner stora ansträngningar på att ta fram komfortzoner, vilket t.ex. speglas i att man definierat mer eller mindre strikta zoner. Ur europeiskt perspektiv kan man vara lite skeptisk till överförande av amerikansk praxis till Europa då det i viss mån är en vanesak vilket termiskt inneklimat som föredras. Ändå verkar de amerikanska riktlinjerna mer genomarbetade.

Ett skäl till att ha tilltro till de amerikanska riktlinjerna är att de även inkorporerar vetenskapliga rön från Europa, bl.a. framlidne professor P.O. Fangers banbrytande arbeten vid DTU (Danmarks Tekniske Universitet).

Enligt det ritade Mollierdiagrammet skulle t.ex. kombinationen 28°C och 65% fukthalt (nätt och jämt) vara acceptabelt, men detta ligger långt utanför den snävaste zonen i det Psychometriska diagrammet. Å andra sidan är Mollierdiagrammet striktare m.h.t. temperaturbandet vid låga daggpunktstemperaturer.

Enligt båda diagram är en daggpunktstemperatur om 10°C acceptabel inom ett brett temperaturband. Har man ett system med kombination av avfuktning av tilloppsluften i ett ventilationssystem och ett vattenburet ventilationssystem skulle man kunna avfukta luften ner till 8°C, och om man räknar med ett fukttillskott i

fastigheten från, personer samt in-läckande fukt utifrån mm, om minst 2°C skulle man kunna förutsätta att daggpunktstemperaturen blir minst 10°C.

Faktisk hittar man i amerikansk litteratur en rekommenderad daggpunktstemperatur om 8°C för tillförd luft inom fuktiga regioner, i syfte att undvika oacceptabla resulterande fukthalter inomhus.

I Sverige och Europa använder vi i design en marginal på inblåsningstemperatur, så ingen fuktutfällning sker. Man kan i litteratur från USA ofta läsa om lägre inblåsningstemperaturer än vad vi är vana med. I USA förekommer det en medveten inblåsning av luft under daggpunkten. Det betyder att man då måste installera droppplåtar under utsatt utrustning för att fånga upp den fukt i luften som kondenserar.

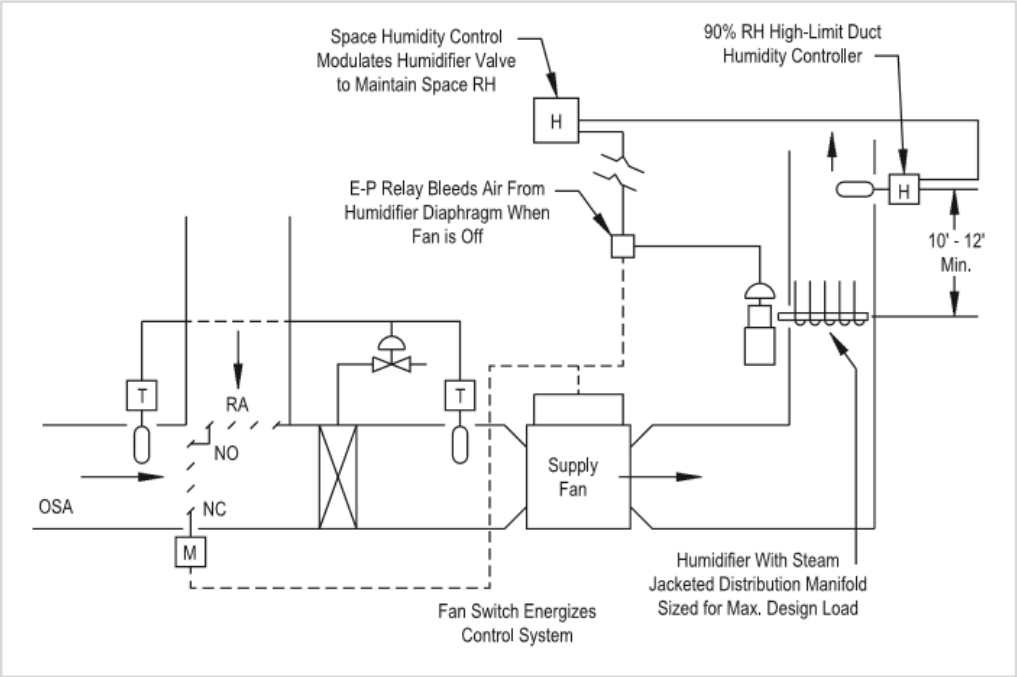
Även för svenska förhållanden skulle det kunna vara intressant med en så pass låg daggpunktstemperatur i tillförd luft från ett ventilationssystem, om man dessutom har ett vattenburet kylsystem: Med en låg inloppstemperatur till bafflar mm. kan man uppnå en hög returtemperatur i dessa, vilket då blir möjligt utan fuktutfällning.

Bilaga B - Uppfuktning

Syftet med detta avsnitt är att diskutera komplettering av sorptiv fuktåtervinning med uppfuktning. Om inte rummen tillförs tillräckligt med fukt blir uppfuktningen i det sorptiva hjulet för liten. Därför kan det behövas komplettering med uppfuktning. Fuktåtervinningen är dock fortfarande motiverat, då den minskar den energitillförsel som uppfuktning fordrar.

Uppfuktning av rumsluft och ventilationsluft som tillförs rummen i en byggnad har ofta varit förknippad med spridning av mikrobiella och mineraliska föroreningar. De mikrobiella föroreningarna kan dels vara mikroberna i sig själv, dels giftiga ämnen de bilder, endotoxiner som kan framkalla allergiska reaktioner. I särskilt olyckligt fall hade man försökt åstadkomma mikrobiellt problemfri uppfuktning genom att tillsätta ett bakteriedödande medel i vattenbehållaren. Tyvärr kom detta att medföra spridning av mycket farliga partiklar, varvid apparaten även blev människodödande.

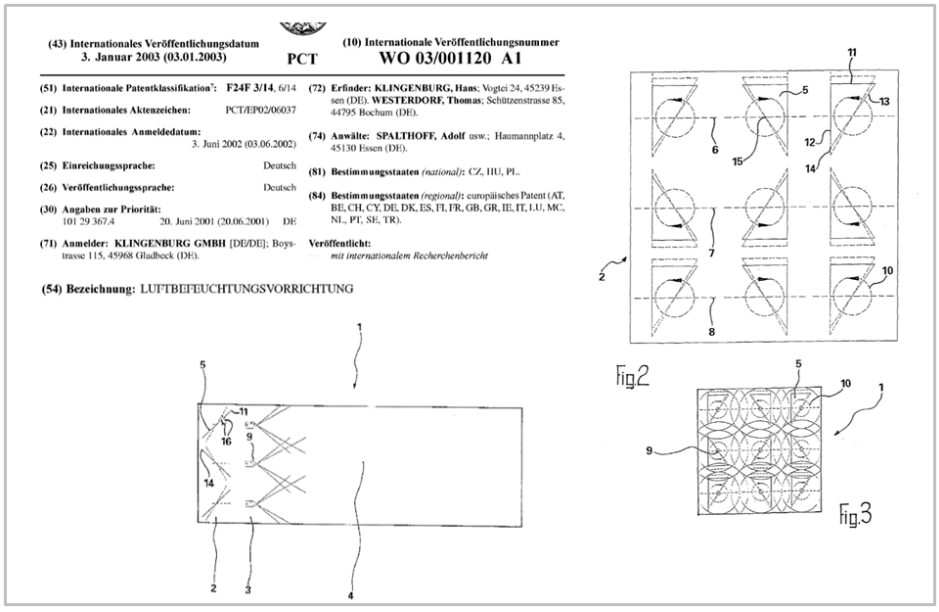
Det finns tre huvudtyper av uppfuktare: Ångbaserade Figur 425, vattenbaserade med mekanisk sönderdelning av vatten till aerosoler, och vattenbaserade med avdunstning av vatten, Figur 426. Ångbaserade är minst benägna att sprida mikroorganismer, men de fordrar normalt installation i en kanal, då kontakt med ångan kan ge brännskador. Installation i en kanal ger jämfört med uppfuktare som tillför fukten direkt till lokalen bättre möjligheter att kontrollera fukthalten i rummet och att åstadkomma en jämn fördelning av ångan i rummet, men kan innebära risk för mikrobiell tillväxt i kanalsystemet. Figur 427 och Figur 428 visar att det kan fordras omfattande utrustning för att säkra en jämn fördelning av fukten när den tillförs rummen direkt.



Figur 425: Ångbaserad uppfuktning i en ventilationskanal. Källa: (230).



Figur 426: Olika sorters vattenbaserade uppfuktare.



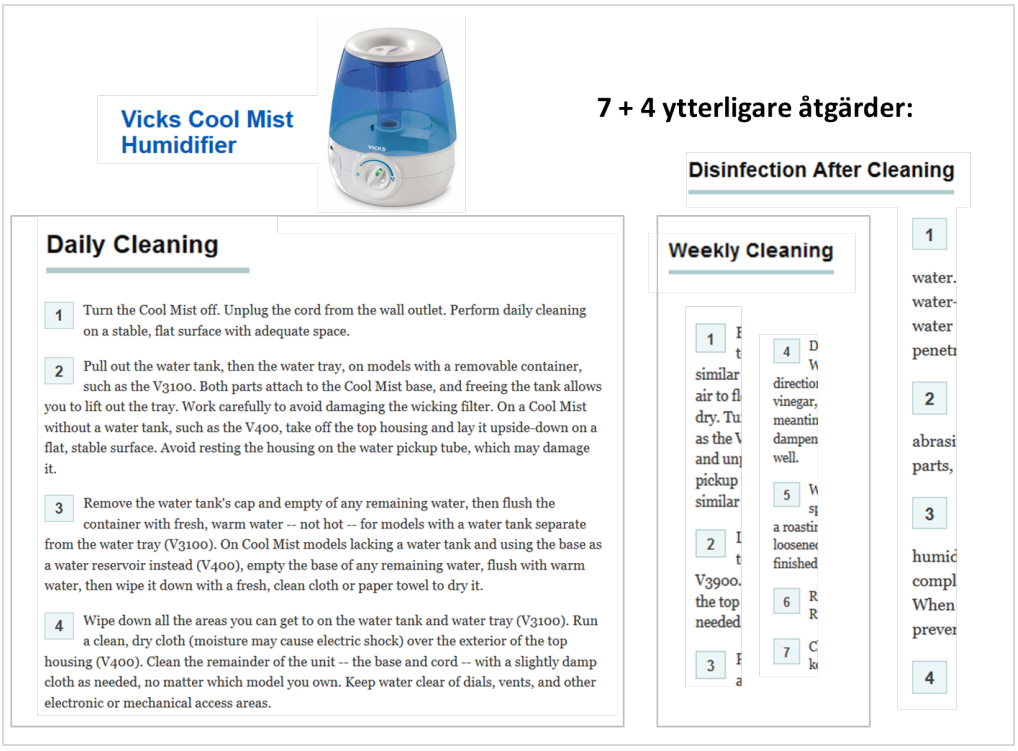
Figur 427: Patent relaterat till Figur 428.



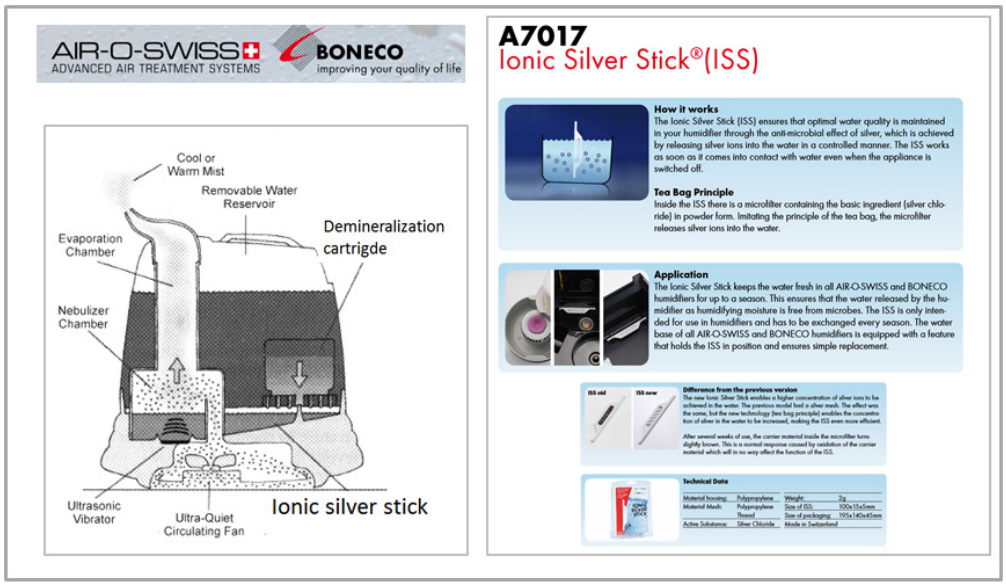
Figur 428: Stort antal indysningar i ett rum.

Figur 429 är ett exempel på skötselråd som syftar till att förebygga mikrobiella problem vid användning av en portabel uppfuktare. Det är ganska besvärligt och inte realistiskt att förvänta sig att de flesta kunder kommer att följa dessa råd.

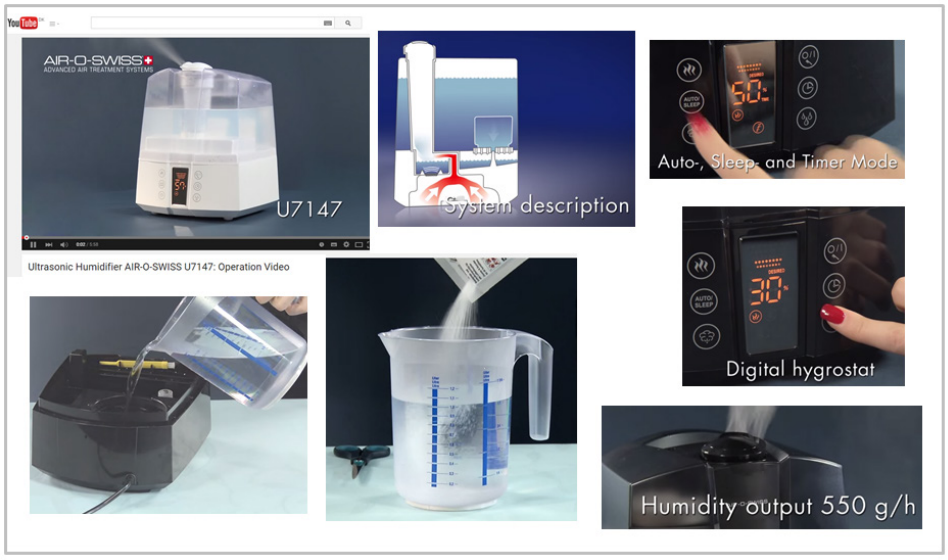
Därför har det pågått en intensiv utveckling i syfta att göra skötseln enkel utan att framkalla mikrobiella problem. Några av de utvecklade teknikerna har ett än mera ambitiöst mål, att både uppfukta och rena luften. Några exempel, Figur 430, Figur 431, Figur 432, Figur 433, Figur 434, Figur 435, Figur 436 och Figur 437.



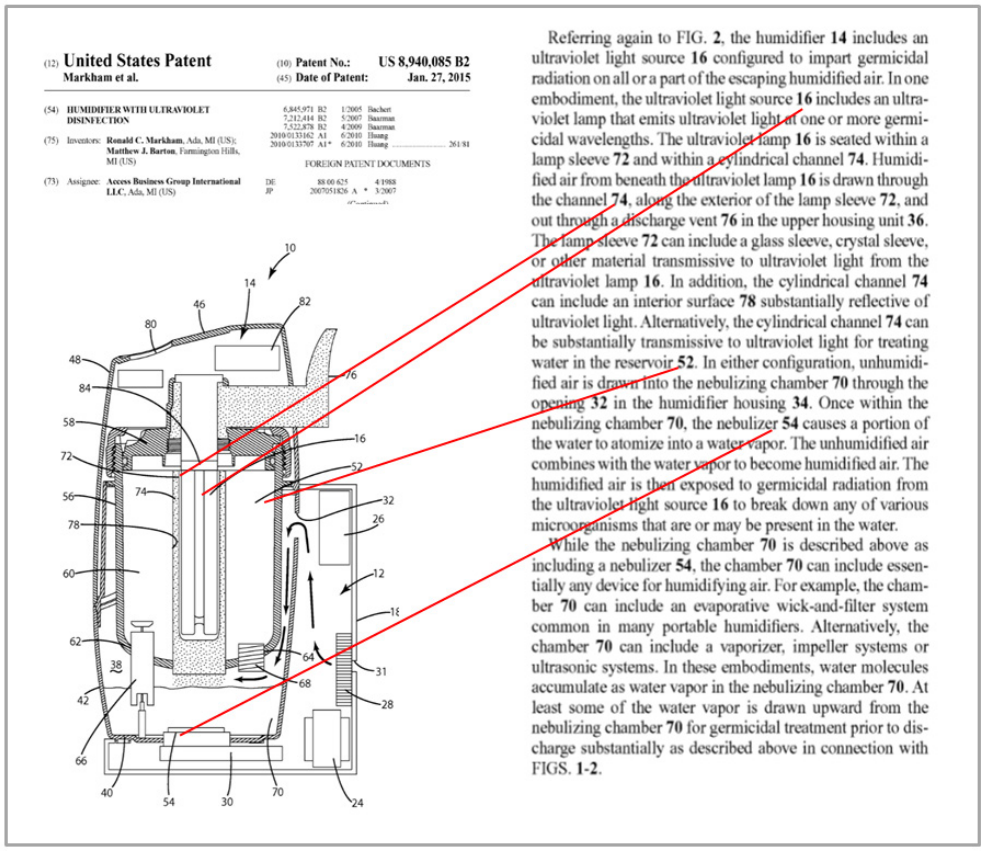
Figur 429: Komplicerad skötselanvisning av en ultraljudsluftfuktare fabrikat Vicks.



Figur 430: Avdödande av mikroorganismer med silverjoner. Ånga åstadkomms med en ultraljudsbaserad generator som är en standardmetod.



Figur 431: Klipp från YouTube-film om föregående produkt.



(12) **United States Patent**
Markham et al.

(10) **Patent No.: US 8,940,085 B2**
(45) **Date of Patent: Jan. 27, 2015**

(54) **HUMIDIFIER WITH ULTRAVIOLET DISINFECTION**

(75) Inventors: **Ronald C. Markham**, Ada, MI (US); **Matthew J. Barton**, Farmington Hills, MI (US)

(73) Assignee: **Access Business Group International LLC**, Ada, MI (US)

6,845,971 B2 1/2005 Bachert
7,212,414 B2 5/2007 Baarman
7,522,878 B2 4/2009 Baarman
2010/0133162 A1 6/2010 Huang
2010/0133707 A1* 6/2010 Huang 261/81

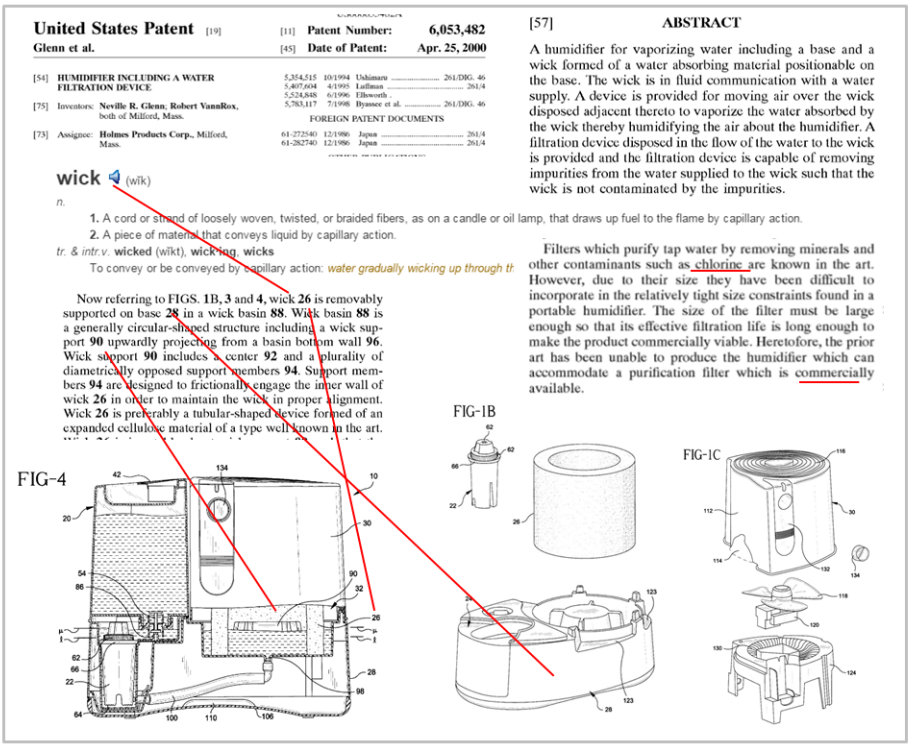
FOREIGN PATENT DOCUMENTS

DE 88 00 625 4/1988
JP 2007051826 A * 3/2007

Referring again to FIG. **2**, the humidifier **14** includes an ultraviolet light source **16** configured to impart germicidal radiation on all or a part of the escaping humidified air. In one embodiment, the ultraviolet light source **16** includes an ultraviolet lamp that emits ultraviolet light at one or more germicidal wavelengths. The ultraviolet lamp **16** is seated within a lamp sleeve **72** and within a cylindrical channel **74**. Humidified air from beneath the ultraviolet lamp **16** is drawn through the channel **74**, along the exterior of the lamp sleeve **72**, and out through a discharge vent **76** in the upper housing unit **36**. The lamp sleeve **72** can include a glass sleeve, crystal sleeve, or other material transmissive to ultraviolet light from the ultraviolet lamp **16**. In addition, the cylindrical channel **74** can include an interior surface **78** substantially reflective of ultraviolet light. Alternatively, the cylindrical channel **74** can be substantially transmissive to ultraviolet light for treating water in the reservoir **52**. In either configuration, unhumidified air is drawn into the nebulizing chamber **70** through the opening **32** in the humidifier housing **34**. Once within the nebulizing chamber **70**, the nebulizer **54** causes a portion of the water to atomize into a water vapor. The unhumidified air combines with the water vapor to become humidified air. The humidified air is then exposed to germicidal radiation from the ultraviolet light source **16** to break down any of various microorganisms that are or may be present in the water.

While the nebulizing chamber **70** is described above as including a nebulizer **54**, the chamber **70** can include essentially any device for humidifying air. For example, the chamber **70** can include an evaporative wick-and-filter system common in many portable humidifiers. Alternatively, the chamber **70** can include a vaporizer, impeller systems or ultrasonic systems. In these embodiments, water molecules accumulate as water vapor in the nebulizing chamber **70**. At least some of the water vapor is drawn upward from the nebulizing chamber **70** for germicidal treatment prior to discharge substantially as described above in connection with FIGS. **1-2**.

Figur 432: Ultraljudsbaserad generator för avdödning av mikroorganismer med UV-ljus.



United States Patent [19]
Glenn et al.

[11] Patent Number: 6,053,482
[45] Date of Patent: Apr. 25, 2000

[54] HUMIDIFIER INCLUDING A WATER FILTRATION DEVICE

[75] Inventors: Neville R. Glenn; Robert VannRox, both of Milford, Mass.

[73] Assignee: Holmes Products Corp., Milford, Mass.

5,354,515 10/1994 Ushimaru 261/DIG. 46
5,407,604 4/1995 Laliman 261/4
5,524,848 6/1996 Ellsworth 261/4
5,783,117 7/1998 Byassee et al. 261/DIG. 46

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

61-272540 12/1986 Japan 261/4
61-282740 12/1986 Japan 261/4

[57] ABSTRACT

A humidifier for vaporizing water including a base and a wick formed of a water absorbing material positionable on the base. The wick is in fluid communication with a water supply. A device is provided for moving air over the wick disposed adjacent thereto to vaporize the water absorbed by the wick thereby humidifying the air about the humidifier. A filtration device disposed in the flow of the water to the wick is provided and the filtration device is capable of removing impurities from the water supplied to the wick such that the wick is not contaminated by the impurities.

wick (wĭk)

n.
1. A cord or strand of loosely woven, twisted, or braided fibers, as on a candle or oil lamp, that draws up fuel to the flame by capillary action.
2. A piece of material that conveys liquid by capillary action.

tr. & intr.v. wicked (wĭkt), wicking, wicks
To convey or be conveyed by capillary action: water gradually wicking up through th

Now referring to FIGS. 1B, 3 and 4, wick 26 is removably supported on base 28 in a wick basin 88. Wick basin 88 is a generally circular-shaped structure including a wick support 90 upwardly projecting from a basin bottom wall 96. Wick support 90 includes a center 92 and a plurality of diametrically opposed support members 94. Support members 94 are designed to frictionally engage the inner wall of wick 26 in order to maintain the wick in proper alignment. Wick 26 is preferably a tubular-shaped device formed of an expanded cellulose material of a type well known in the art.

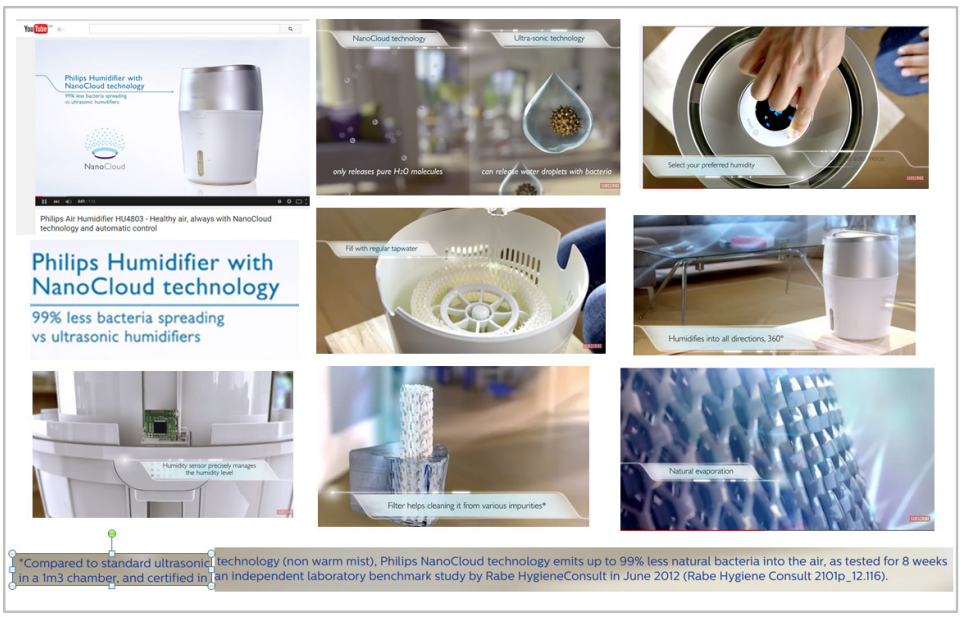
Filters which purify tap water by removing minerals and other contaminants such as chlorine are known in the art. However, due to their size they have been difficult to incorporate in the relatively tight size constraints found in a portable humidifier. The size of the filter must be large enough so that its effective filtration life is long enough to make the product commercially viable. Heretofore, the prior art has been unable to produce the humidifier which can accommodate a purification filter which is commercially available.

FIG-4

FIG-1B

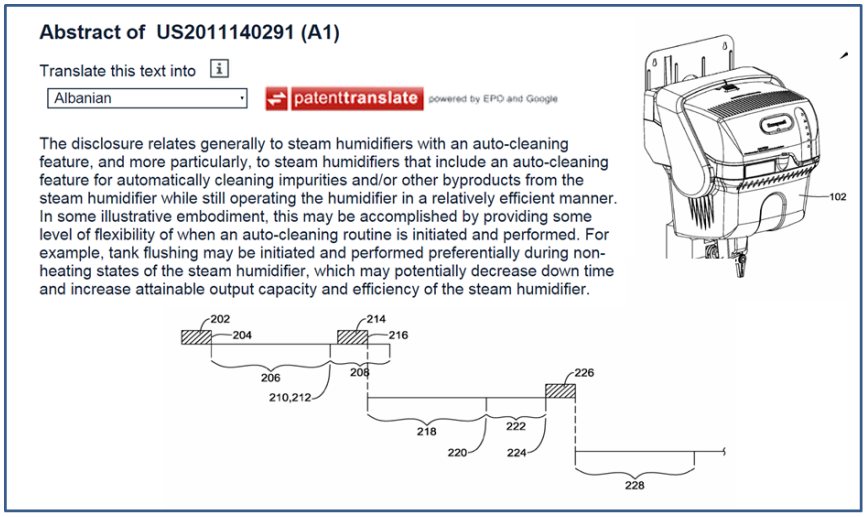
FIG-1C

Figur 433: Patent relaterad till Figur 434.

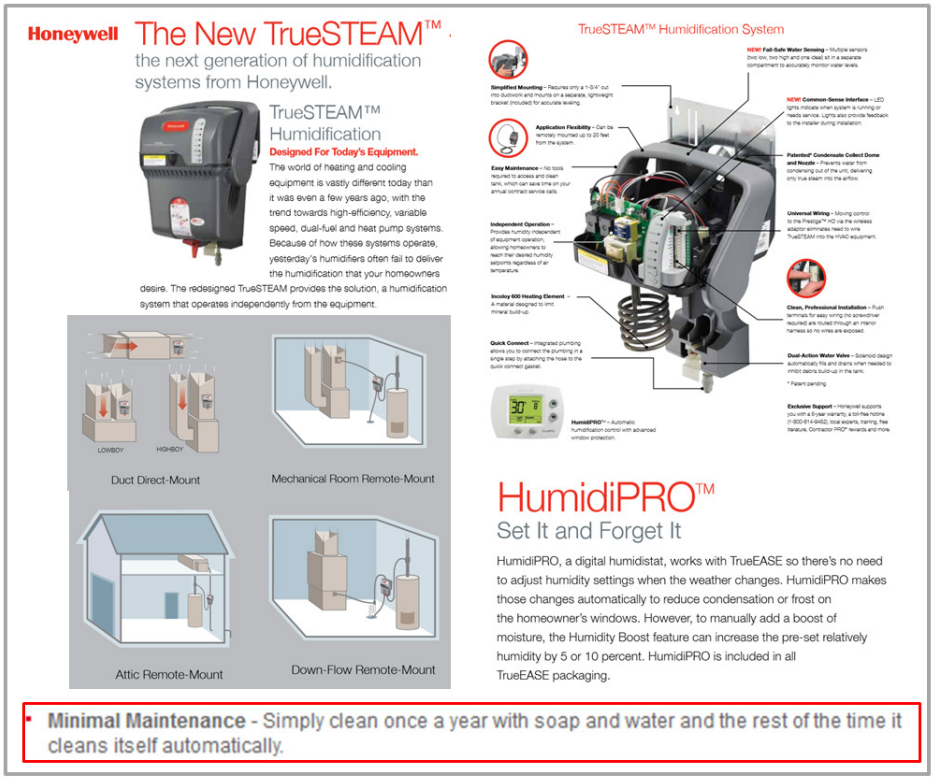


Figur 434: En speciell sorts filterteknik hävdas kunna avskilja både mikroorganismer och mineraler mycket effektivt. I patenskriften hävdas att ultraljustekniken inte ger tillräcklig finfördelning. Källa: Philips.

Nedanstående teknik Figur 435 kan användas, dels i centrala ventilationssystem, dels i separata kanaler i enskilda rum:



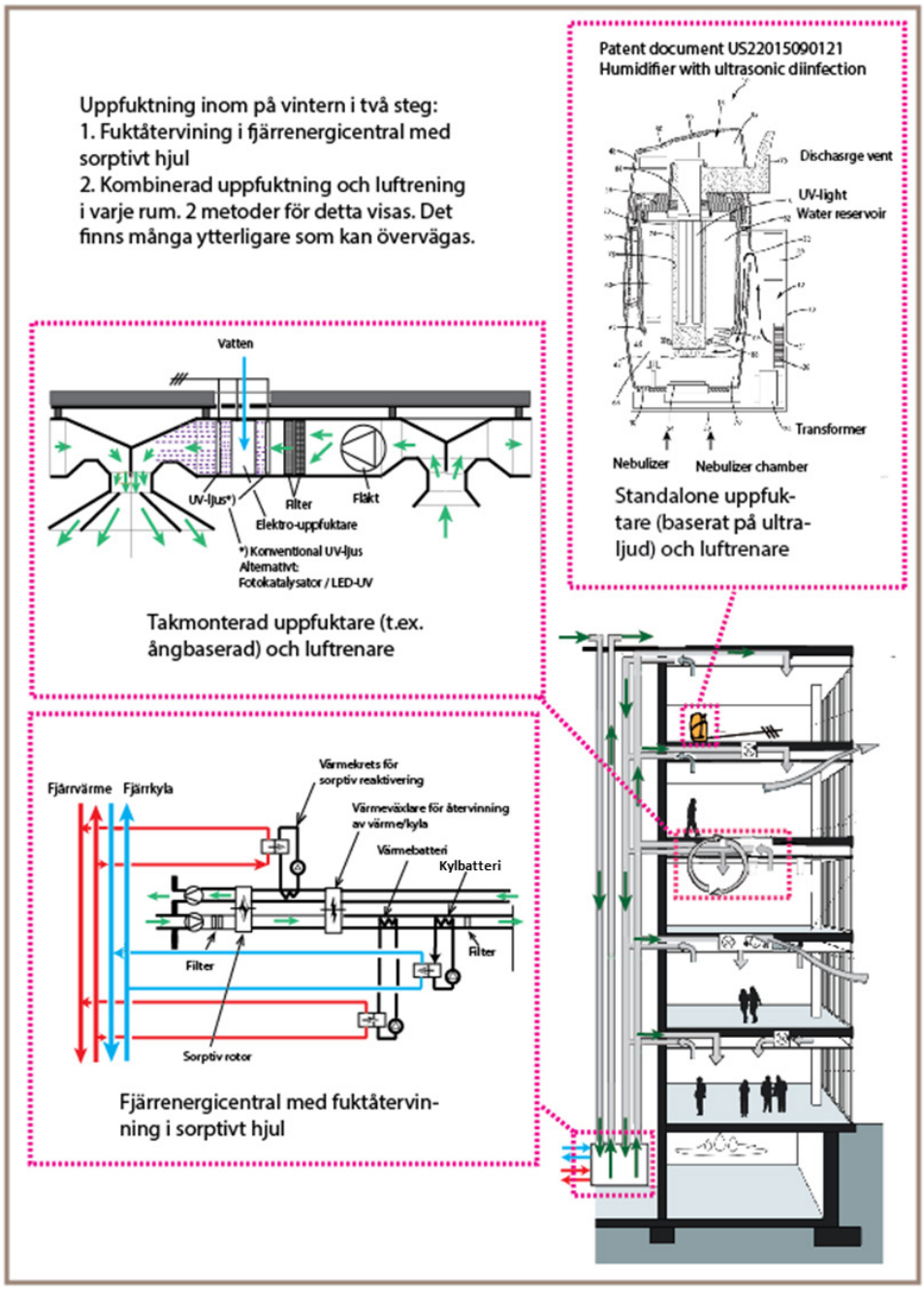
Figur 435: Patent relaterat till nästa figur. Algoritm för automatisk sköljning.



Figur 436: Uppfuktning med ånga som bildas med elvärmeelement. Den automatiska sköljningen hävdas kunna begränsa skötseln till enkel tvätt med tvål en gång om året.

Det verkar sannolikt att någon av de många utvecklade teknikerna för portabla uppfuktare kan ge tillfredsställande mikrobiell kvalitet. Inom ramen för detta

projekt finns dock inte utrymme att penetrera denna fråga på djupet. Figur 437 visar koncept baserade på detta antagande. På översta våningen finns den typen portabla uppfuktare som visades i Figur 432. På tredje våning finns som en alternativ lösning en rumsbaserad, fastmonterat ventilationsmodul med uppfuktning och luftrening.



Figur 437: Samlad lösning med sorptiv fuktåtervinning och kompletterande uppfuktning i de enskilda rummen.

När bostadsfastigheter byggs om till kontorshus (”kontoriseras”) är det ofta ett problem att det inte finns ett ventilationssystem. Figur 438 visar ett exempel som är ganska typiskt för Stockholm: I många fall finns det innergårdar. Inom dessa

monterar man ventilationskanaler på fasaderna. Fördelning på respektive våningsplan sker därmed från stigarschakten. Det ger frihet att vid exempelvis installation av en sorptiv hybrid att bygga ut ventilationsaggregatet med erforderliga extra batterier.



Figur 438: Exempel på Ventilationssystem på en innergård i Stockholm. Foto: Capital Cooling.

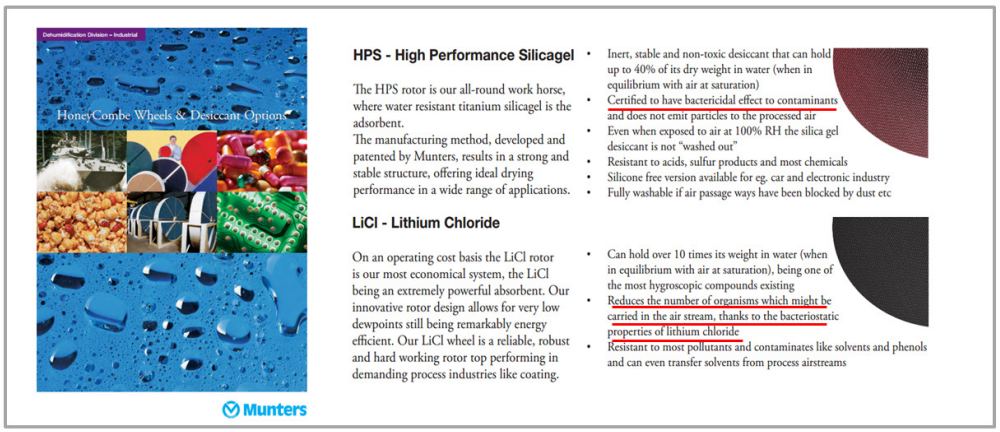
I systemet som visas i Figur 437 sker uppfuktningen av uteluften i två steg: Först i den termiska energicentralen i form av sorptiv fuktåtervinning och sedan – i mån av behov – individuellt i de enskilda rummen.

I den takmonterade modulen sker först filtrering, därefter UV-behandling, därefter uppfuktning med ånga som genereras med ett elelement, och slutligen ny UV-behandling. Att bestråla den uppfuktade luften är befogat då tillförsel av fukt gynnar tillväxt av olika typer av mikroorganismer typiskt på kanalytor där smuts kan avlagras. Komplettering med uv-bestålning före uppfuktningen motiveras av att t.ex. influensavirus är mer känslig för bestrålning om luften är torr.

Den totala kombinerade, takmonterade uppfuktande och renande apparaten är dyrare än en transportabel apparat, men möjliggör luft av hög kvalitet, inte minst när det gäller förebyggande av smitta med influensavirus. Apparaten och dess

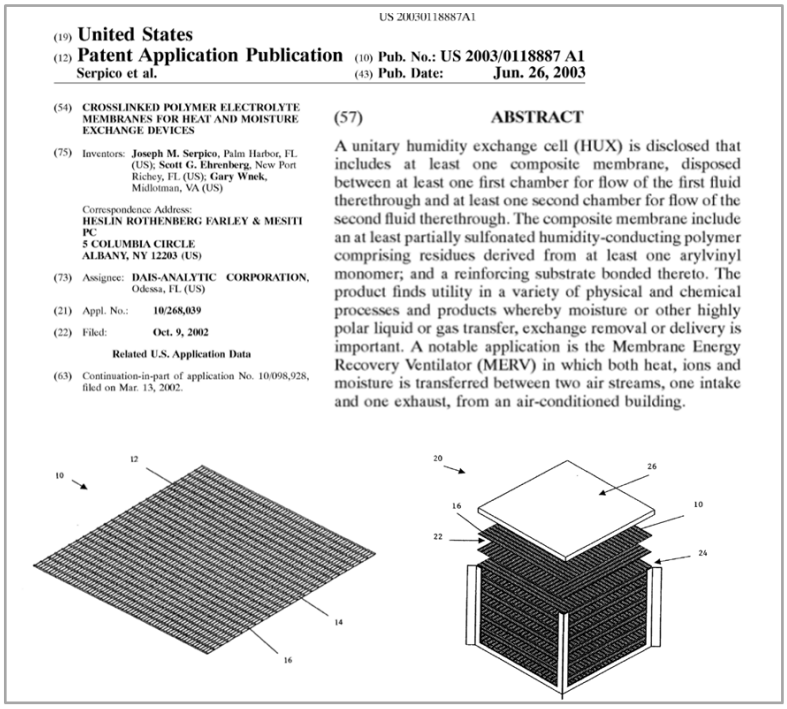
kombination med den sorptiva energicentralen utgör därför ett förslag på en samlad lösning som bl.a. kan bidra till att minska omfånget av en pandemi, se avsnitt 10. Det förefaller t.o.m. sannolikt att en takmodul som den visade eller någon variant av denna kan ge ännu bättre mikrobiell kvalitet än system där all luftbehandling sker centralt. Den mellanliggande ytan, där smuts och mikroorganismer kan frodas, minimeras. Då ytan är liten, skulle man kunna kosta på en sofistikerad yta som t.ex. är hydrofob (eller t o m superhydrofob) och som innehåller mikrobiellt avdödanden ämnen.

Systemet förutsätter att fuktåtervinningen är mikrobiellt oproblematiskt vilket inte är självklart. Bl.a. Munters hävdar att olika typer av sorptiva hjul verkar mikrobiellt avdödande, Figur 439:



Figur 439: Sorptiva hjul som är antimikrobiella. Källa: Munters.

En intressant, ovanlig teknik, som förefaller ge stor säkerhet mot läckaga av föroreningar mellan tilluft och returluft är fuktåtervinning med via ett stationärt membran med selektiv diffusion av vattenånga, Figur 440:



US 20030118887A1

(19) **United States**

(12) **Patent Application Publication** (10) **Pub. No.: US 2003/0118887 A1**

Serpico et al. (43) **Pub. Date: Jun. 26, 2003**

(54) **CROSSLINKED POLYMER ELECTROLYTE MEMBRANES FOR HEAT AND MOISTURE EXCHANGE DEVICES**

(75) Inventors: **Joseph M. Serpico**, Palm Harbor, FL (US); **Scott G. Ehrenberg**, New Port Richey, FL (US); **Gary Wnek**, Midlotman, VA (US)

Correspondence Address:
HESLIN ROTHENBERG FARLEY & MESITI PC
5 COLUMBIA CIRCLE
ALBANY, NY 12203 (US)

(73) Assignee: **DAIS-ANALYTIC CORPORATION**, Odessa, FL (US)

(21) Appl. No.: **10/268,039**

(22) Filed: **Oct. 9, 2002**

Related U.S. Application Data

(63) Continuation-in-part of application No. 10/098,928, filed on Mar. 13, 2002.

(57) **ABSTRACT**

A unitary humidity exchange cell (HUX) is disclosed that includes at least one composite membrane, disposed between at least one first chamber for flow of the first fluid therethrough and at least one second chamber for flow of the second fluid therethrough. The composite membrane include an at least partially sulfonated humidity-conducting polymer comprising residues derived from at least one arylvinyl monomer; and a reinforcing substrate bonded thereto. The product finds utility in a variety of physical and chemical processes and products whereby moisture or other highly polar liquid or gas transfer, exchange removal or delivery is important. A notable application is the Membrane Energy Recovery Ventilator (MERV) in which both heat, ions and moisture is transferred between two air streams, one intake and one exhaust, from an air-conditioned building.

Figur 440: Patent relaterat till Figur 441.

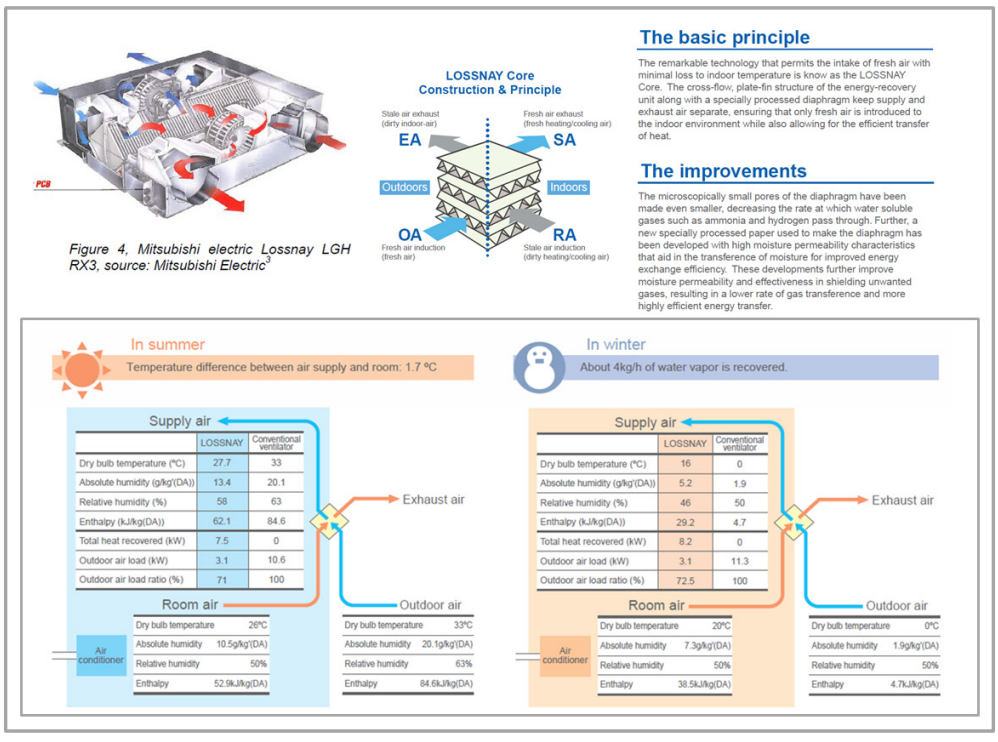
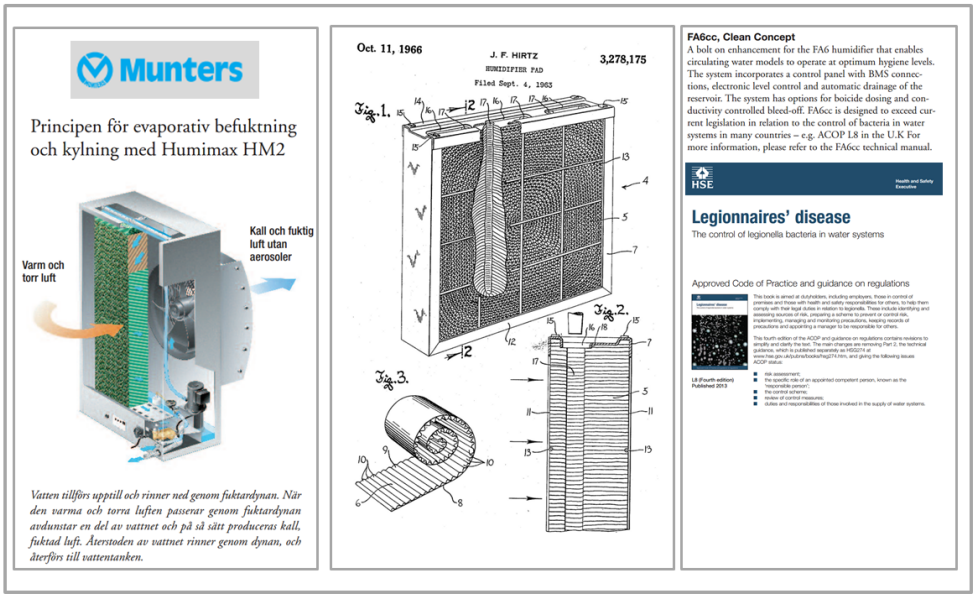


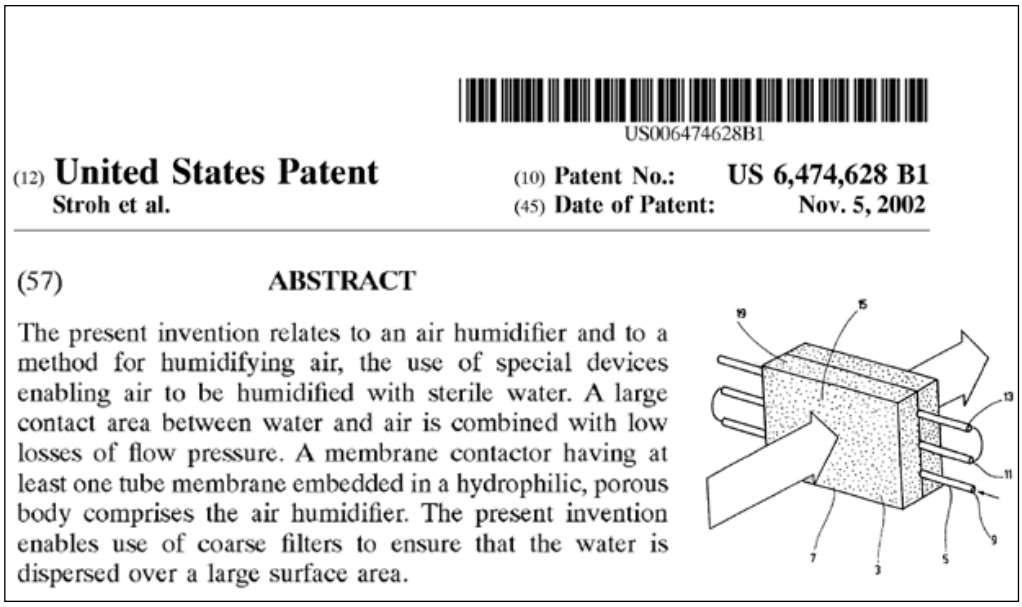
Figure 4, Mitsubishi electric Lossnay LGH RX3, source: Mitsubishi Electric[3]

Figur 441: Membranteknik för fuktåtervinning. Källa: Mitsubishi Electronics.

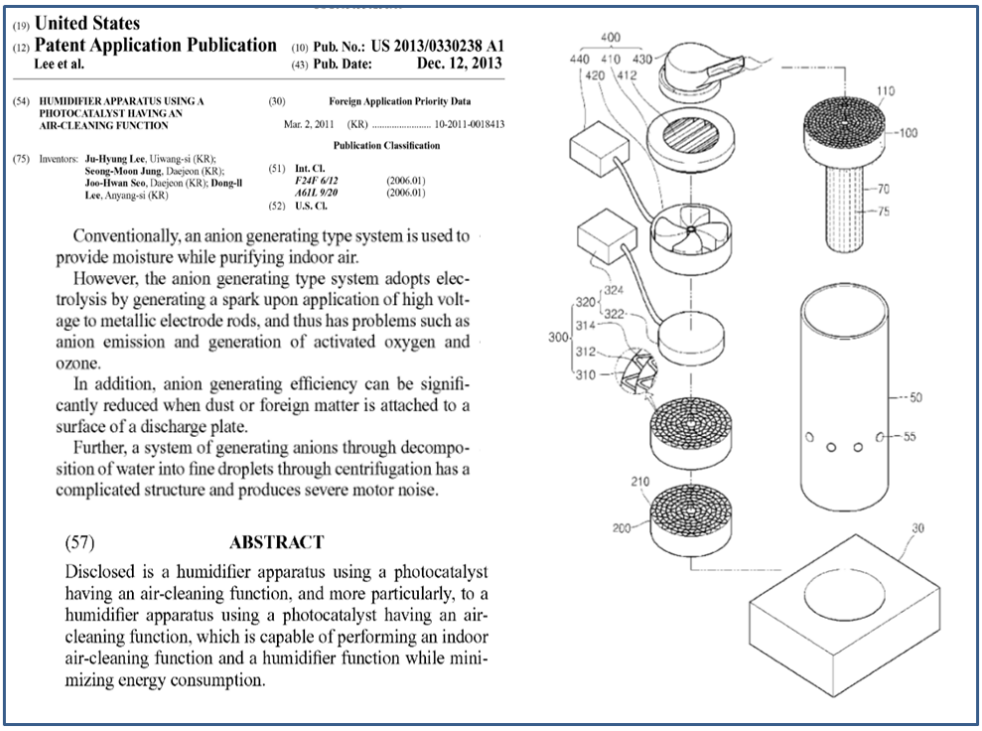


Figur 442: Munters uppfuktare HM2, som bygger på avdunstning på en dyna.

Figur 442 visar Munters' uppfuktare baserad på avdunstning på en dyna. I broschyren säger man att den testats mikrobiologiskt enligt bl.a. normer som syftar till att förebygga problem med Legionella, en av de i sammanhanget mest aktuella mikroorganismerna.



Figur 443: En variant av tekniken med dyna som visades i Figur 442.



(19) **United States**
(12) **Patent Application Publication**
Lee et al.

(10) **Pub. No.: US 2013/0330238 A1**
(43) **Pub. Date: Dec. 12, 2013**

(54) **HUMIDIFIER APPARATUS USING A PHOTOCATALYST HAVING AN AIR-CLEANING FUNCTION**

(30) **Foreign Application Priority Data**

Mar. 2, 2011 (KR) 10-2011-0018413

Publication Classification

(75) Inventors: **Ju-Hyung Lee**, Uiwang-si (KR); **Seong-Moon Jung**, Daejeon (KR); **Joo-Hwan Seo**, Daejeon (KR); **Dong-Il Lee**, Anyang-si (KR)

(51) **Int. Cl.**
F24F 6/12 (2006.01)
A61L 9/20 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.**

Conventionally, an anion generating type system is used to provide moisture while purifying indoor air.

However, the anion generating type system adopts electrolysis by generating a spark upon application of high voltage to metallic electrode rods, and thus has problems such as anion emission and generation of activated oxygen and ozone.

In addition, anion generating efficiency can be significantly reduced when dust or foreign matter is attached to a surface of a discharge plate.

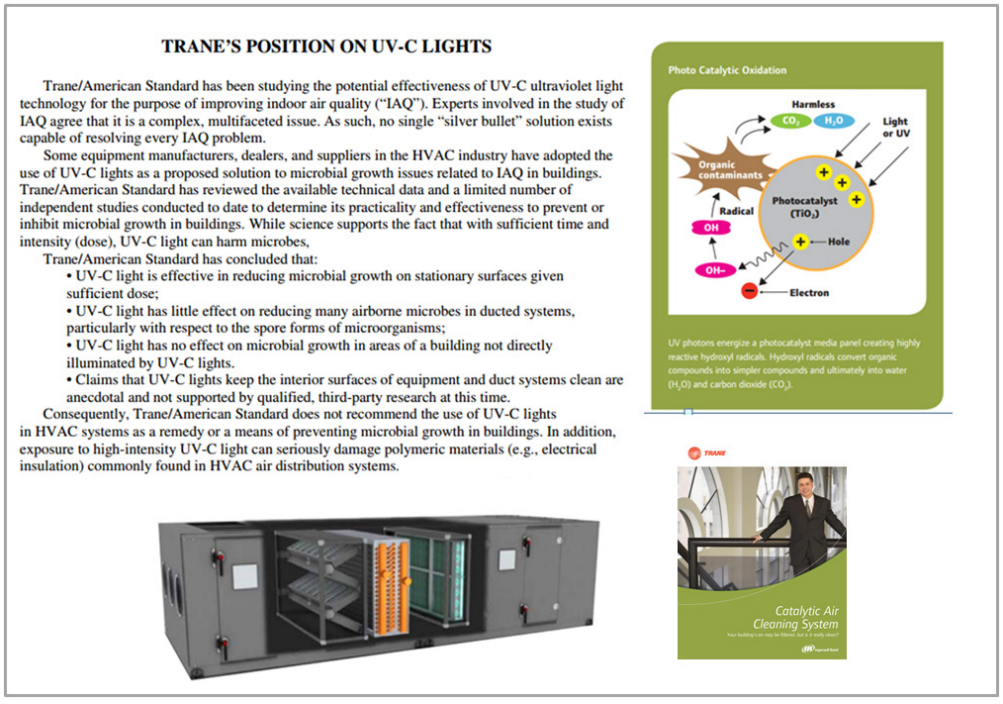
Further, a system of generating anions through decomposition of water into fine droplets through centrifugation has a complicated structure and produces severe motor noise.

(57) **ABSTRACT**

Disclosed is a humidifier apparatus using a photocatalyst having an air-cleaning function, and more particularly, to a humidifier apparatus using a photocatalyst having an air-cleaning function, which is capable of performing an indoor air-cleaning function and a humidifier function while minimizing energy consumption.

Figur 444: Portabel uppfuktare med fotokatalytisk rening.

Fotokatalys är en vidareutveckling av UV-behandling, Figur 444. I fotokatalys kan, förutom avdödning av mikroorganismer, ta bort alla andra organiska föroreningar, VOC, volatile organic compounds. Nackdelen är att det bildas en del ozon.



TRANE'S POSITION ON UV-C LIGHTS

Trane/American Standard has been studying the potential effectiveness of UV-C ultraviolet light technology for the purpose of improving indoor air quality ("IAQ"). Experts involved in the study of IAQ agree that it is a complex, multifaceted issue. As such, no single "silver bullet" solution exists capable of resolving every IAQ problem.

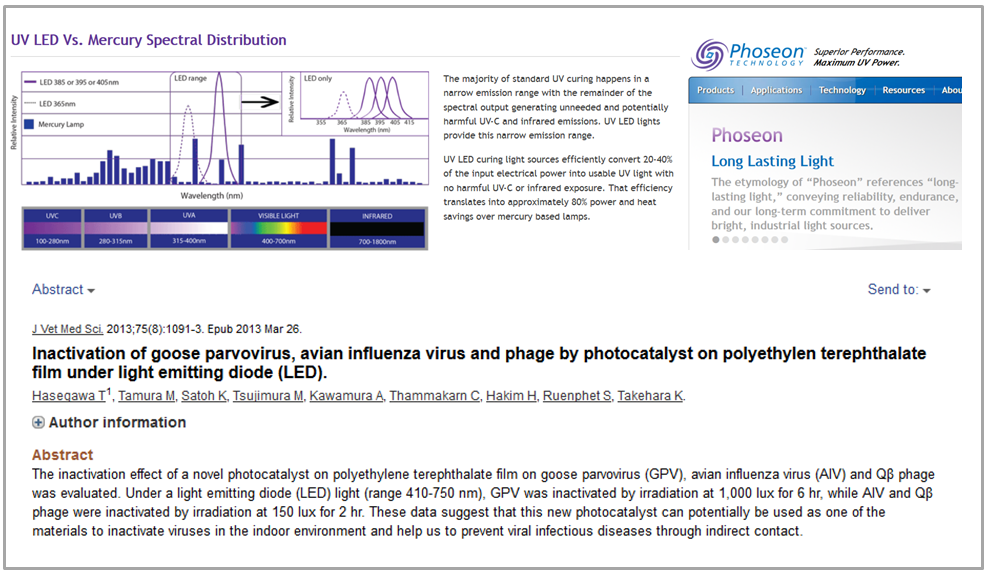
Some equipment manufacturers, dealers, and suppliers in the HVAC industry have adopted the use of UV-C lights as a proposed solution to microbial growth issues related to IAQ in buildings. Trane/American Standard has reviewed the available technical data and a limited number of independent studies conducted to date to determine its practicality and effectiveness to prevent or inhibit microbial growth in buildings. While science supports the fact that with sufficient time and intensity (dose), UV-C light can harm microbes,

Trane/American Standard has concluded that:

- UV-C light is effective in reducing microbial growth on stationary surfaces given sufficient dose;
- UV-C light has little effect on reducing many airborne microbes in ducted systems, particularly with respect to the spore forms of microorganisms;
- UV-C light has no effect on microbial growth in areas of a building not directly illuminated by UV-C lights.
- Claims that UV-C lights keep the interior surfaces of equipment and duct systems clean are anecdotal and not supported by qualified, third-party research at this time.

Consequently, Trane/American Standard does not recommend the use of UV-C lights in HVAC systems as a remedy or a means of preventing microbial growth in buildings. In addition, exposure to high-intensity UV-C light can seriously damage polymeric materials (e.g., electrical insulation) commonly found in HVAC air distribution systems.

Figur 445: Trane är motståndare till UV-ljus och föredrar fotokatalys.



Figur 446: Ljusdiod-teknik, LED med ultraviolett strålning. Den vetenskapliga referensen har i rubriken bl.a. ”avian influenza”! – dvs. den är möjligen mycket relevant för förebyggande av pandemier.

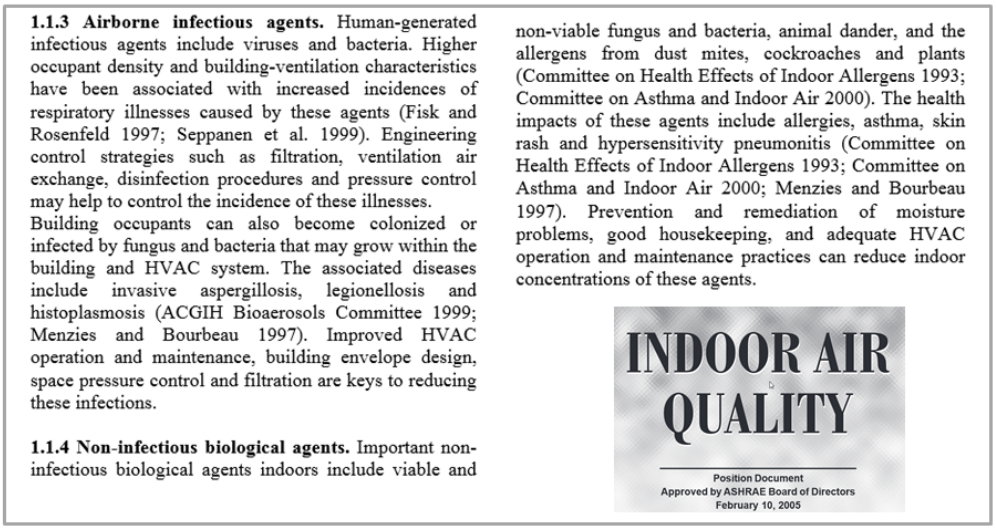
En för framtiden intressant annan variant är uv-strålning baserad på ljusdiodtekniken, LED ultraviolett strålning, som är under utveckling (149). Med denna teknik kan man anpassa ljusspektret så att det blir maximalt verksamt vid de specifika våglängder där de olika mikroorganismerna är särskilt känsliga. En annan potentiell fördel är att LED-lamporna, i likhet med LED-lampor med vanligt synligt ljus, kan ha en betydligt större livslängd än de lampor som traditionellt används och som typiskt måste bytas en gång om året. En tredje är att LED-tekniken är mycket flexibel m h t geometri.



Figur 447: Ett centralt arbete om rening av inomhusluft från 2011.

Figur 447 visar ett centralt arbete om rening av inomhusluft från 2011. I syfte att besvara den frågan som ställs i titeln har man samlat 26 000 referenser om ämnet och sållat i flera steg. Den enklaste formuleringen av svaret är enligt författarna att det inte är bevisat att någon metod klarar av att uppfylla kravet. Generellt är haken att förbättringar på en eller flera punkter kan medföra försämring på andra punkter, och att man endast dokumenterat förbättringarna.

Om man inte har ambitionsnivån att det ska bli optimalt bra på alla punkter, borde det dock vara möjligt att uppnå en hög grad av säkerhet för de skadliga komponenter man fokuserar på. Baserat bl.a. på AHSRAE's formuleringar, se Figur 448 nedan, verkar det sannolikt att det går att peka ut något koncept som är optimalt i relation till att avdöda influensavirus, och som fungerar åtminstone med någorlunda säkerhet i alla andra avseenden.



1.1.3 Airborne infectious agents. Human-generated infectious agents include viruses and bacteria. Higher occupant density and building-ventilation characteristics have been associated with increased incidences of respiratory illnesses caused by these agents (Fisk and Rosenfeld 1997; Seppanen et al. 1999). Engineering control strategies such as filtration, ventilation air exchange, disinfection procedures and pressure control may help to control the incidence of these illnesses.
Building occupants can also become colonized or infected by fungus and bacteria that may grow within the building and HVAC system. The associated diseases include invasive aspergillosis, legionellosis and histoplasmosis (ACGIH Bioaerosols Committee 1999; Menzies and Bourbeau 1997). Improved HVAC operation and maintenance, building envelope design, space pressure control and filtration are keys to reducing these infections.

1.1.4 Non-infectious biological agents. Important non-infectious biological agents indoors include viable and non-viable fungus and bacteria, animal dander, and the allergens from dust mites, cockroaches and plants (Committee on Health Effects of Indoor Allergens 1993; Committee on Asthma and Indoor Air 2000). The health impacts of these agents include allergies, asthma, skin rash and hypersensitivity pneumonitis (Committee on Health Effects of Indoor Allergens 1993; Committee on Asthma and Indoor Air 2000; Menzies and Bourbeau 1997). Prevention and remediation of moisture problems, good housekeeping, and adequate HVAC operation and maintenance practices can reduce indoor concentrations of these agents.

Figur 448: Utdrag ur ASHRAE rapport Indoor Air Quality från 2005.

Bilaga C - Pandemier

Pandemier utgör ett stort hot mot världssamhället och mot alla dess individer. Antalet omkomna vid en pandemi kan i ett land som Sverige vida överstiga det maximalt möjliga vid någon annan katastrof som är att räkna med under fredstid. Svenska myndigheter tar visserligen pandemirisken på stort allvar, men åtskilliga myndigheter i andra länder, ledande forskare och tunga internationella organisationer ännu mer bekymrade, även om det finns åsikter som går delvis i motsatt riktning. Sammantaget tyder litteraturen på att pandemihotet undervärderas, och att beredskapen är otillräcklig, både globalt och inom de som de enskilda nationerna, även de som formulerat de mest ambitiösa beredskapsplanerna.

Inom amerikansk VVS-teknik ägnas frågan om smitta inomhus större uppmärksamhet än i Europa, bl.a. på grund av tradtionen att ventilera nästan alla byggnader mekaniskt, och på grund av att man efter attentatet mot World Trade Center 11. september 2001 blivit mer orolig för bioterrorism.

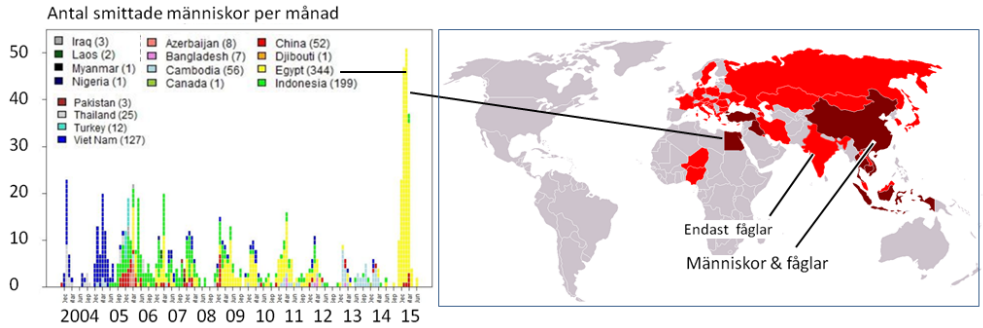
Amerikanske och andra referenser pekar på att den klass av patogena (sjukdomsframkallande hos människor) mikroorganismer som omfattar influensavirus, blir mindre smittsamma via luften när temperaturen och fukhalt är hög, eller i vart fall inte låg. Detta sker redan vid en temperaturökning från t.ex. 0 till 20°C, vilket innebär att dessa virus har helt andra preferenser än de flesta övriga mikroorganismer när det gäller temperatur. Således förökar sig t.ex. Legionella-bakterier vid den nämnde temperaturhöjningen. Genom att ta fasta på dessa egenskaper hos influenzavirus blir det möjligt att koncipera uppvärmnings- och kylsystem som kan bidra till att hejda spridningen av influensasmitta, se avsnitt 19.5.

Detta gör det motiverat att redovisa en förhållandevis fyllig genomgång av pandemiproblematiken. Genomgången ska bidra till göra det klart hur angelägna sådana lösningar är. Dessutom framkommer det vid genomgången detaljer som är viktiga att beakta vid konkretiseringen av idéerna.

Vi kommer således att försöka få ett grepp om pandemihotets reella omfattning, genom att stödja oss på källor som är seriösa, auktoritativa och besitter spetskompetens - personer och organisationer som representerar olika verksamheter – virologi, samhälsorganisation, försäkringsverksamhet mm. Därmed får vi en allsidig belysning, men en objektiv och indiskutabel sanning finns naturligtvis inte. Ämnet är känsloladdat, och man måste se upp att man inte förleds av aktörer som vill dramatisera eller som vill tona ner för att människor inte ska skrämmas up. En förutsättning för att man ska kunna optimera insatserna är att man har en nykter verklighetsbild.

Med pandemier menas i föreliggande sammanhang infektionssjukdomar som hastigt – inom någon eller några månader - drabbar hela jordklotet. Det finns även ”långsamma pandemier”, t.ex. malaria och aids som drabbat hårt, särskilt i Afrika. (231) gör en lättillgänglig och detaljerad genomgång av de viktigaste globala infektionssjukdomarna, även om den inte är helt up-to-date.

Den mikroorganism som på senare tid blivit mest uppmärksammad är Ebola, som spritt sig från Västafrika till bl.a. USA. Den har hög dödlighet (letalitet), men dess höga smittsamhet förutsätter direkt kontakt med en smittad person; smitten sprids inte via luften och därför inte på avstånd. Då Ebolaviruset dessutom ändrar sig (muterar) mycket långsamt, anser de flesta kvalificerade bedömare att risken att Ebola kan utvecklas till en allvarlig pandemi är liten (232).

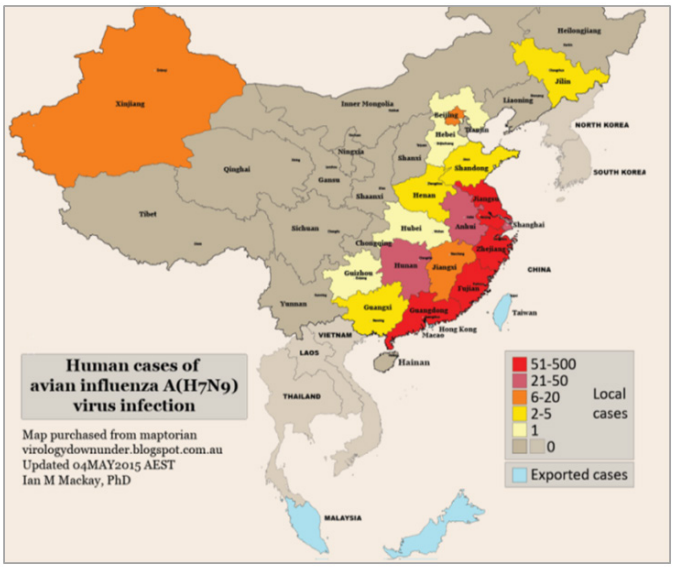


Figur 449: Läget när det gäller spridningen av högpatogent, snabbmuterande influensavirus H5N1. (233) och Wikipedia.

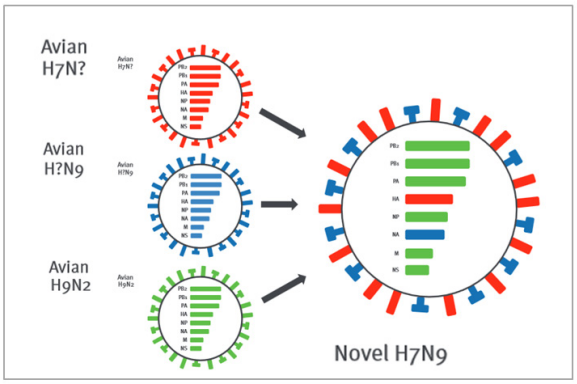
Det aktuella pandemihotet representeras i stället framförallt av det högpatogena (”fågel”)influensaviruset typ A H5N1 som hittills (september 2015), enligt rapportering till Världshälsoorganisationen WHO, drabbat drygt 800 människor, varav 55% har avlidit, se Figur 449. Än så länge smittar detta virus nästan uteslutande mellan fåglar och i begränsad omfattning från fåglar till människor, men nästan aldrig mellan människor. Risken är emellertid att viruset ska anpassa sig, genom mutation eller på annat sätt, så att det även blir mycket smittsamt genom luften bland människor. I motsats till Ebola är H5N1 snabbmuterande och det ligger inte många mutationer från det kritiska. Man förutser, att om det sker, kommer kring 30% av världsbefolkningen att smittas. Om viruset då har kvar sin höga letalitet innebär detta med enkel matematik att antalet dödsfall blir 1.1 miljarder globalt, och 1.6 millioner i Sverige. Lyckligtvis ser detta inte ut att vara ett sannolikt scenario, men tyvärr inte heller ett helt osannolikt. Och även om letaliteten vid smitta mellan mellan människor kommer att stanna vid 1/10 av den nuvarande, skulle det innebära en oerhörd katastrof.

Världshälsoorganisationen WHO bedömer läget så här (233):

> *”H5 viruses: Currently the most obvious threat to health: The highly pathogenic H5N1 influenza virus, which has been causing poultry outbreaks in Asia almost continuously since 2003 and is now endemic in several countries, remains the animal influenza virus of greatest concern for human health. From end of 2003 through January 2015, 777 laboratory-confirmed human cases of H5N1 virus infection have been reported to WHO from 16 countries. Of these cases, 428 (55.1%) have been fatal.”*



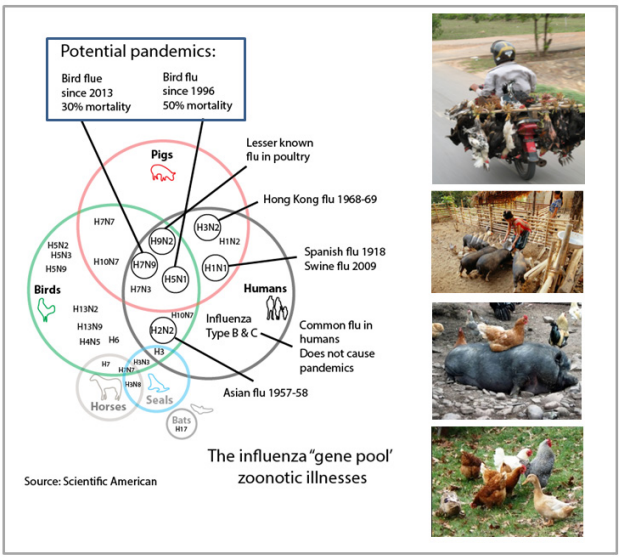
Figur 450: Spridningen av det andra högpatogena (mycket smittsamma mellan fåglar) influensaviruset H7N9, som i likhet med H5N1 dök upp först i Kina.



Figur 451: H7N9 bildades genom att befintliga virus utbytte genmaterial, (234).

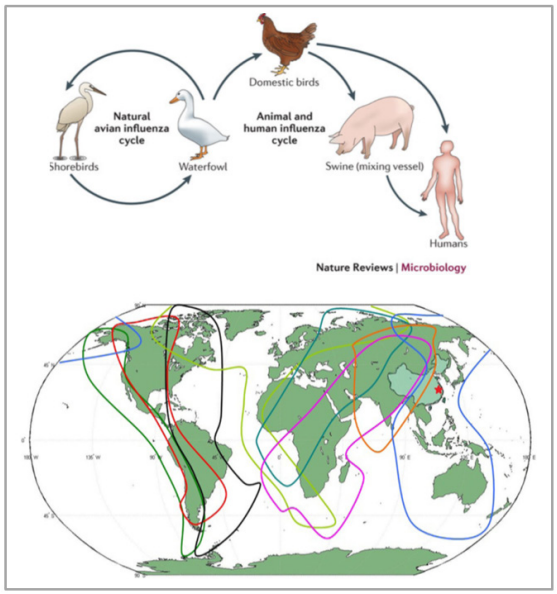
H5N1 identifierades första gången 1996. I 2013 identifierade man ett nytt, högpatogent, mycket smittsamt (dock i likhet med H5N1 än så länge inte mellan människor) influensavirus H7N9 som inlett sitt eget spridningsförlopp, Figur 450 och Figur 451, (235) och (236). De olika varianterna av influensavirus har alla en beteckning av typen HXNY, där X och Y karakteriserar varianter av två proteiner som finns på ett yttre skal kring virusets arvsmassa Figur 451.

Figur 452 visar olika typer av virus som kan uppträda gemensamt, i olika kombinationer, framförallt hos människor, svin och fåglar. Alla dessa lever i massiv omfattning nära in på varandra i det befolkningstäta Sydostasien.



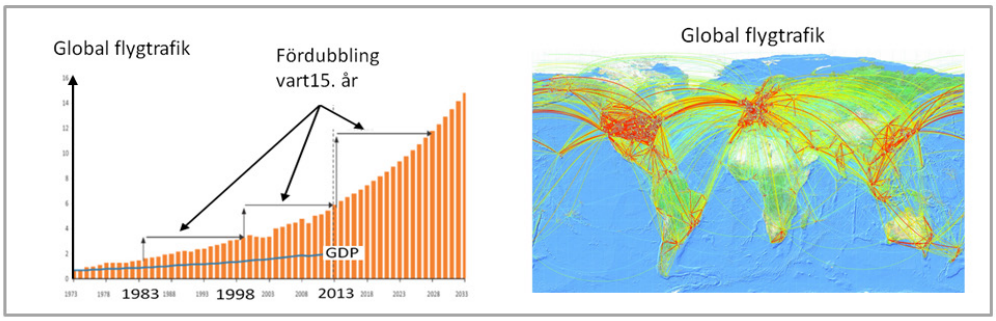
Figur 452: "Gene pool" (även kallad "smorgasbord") med olika typer av virus som kan uppträda gemensamt, i olika kombinationer, framförallt hos människor, svin och fåglar. Källa: (236).

Figur 453 Spridning av virus från tamfåglar till vildfåglar sker vid flyttningar och i nästa steg sprider virus till tamfåglar lokalt och vidare till människor. Det finns överlappningar mellan olika fågelarters flyttområden, varvid smitta kan spridas från art till art, och därmed globalt.



Figur 453: Spridning av virus från tamfåglar till vildfåglar sker vid flyttningar och i nästa steg sprids virus till tamfåglar lokalt och vidare till människor. Det finns överlappningar mellan olika fågelarters flyttområden, varvid smitta kan spridas från art till art, och därmed globalt. KÄLLA: Nature Reviews.

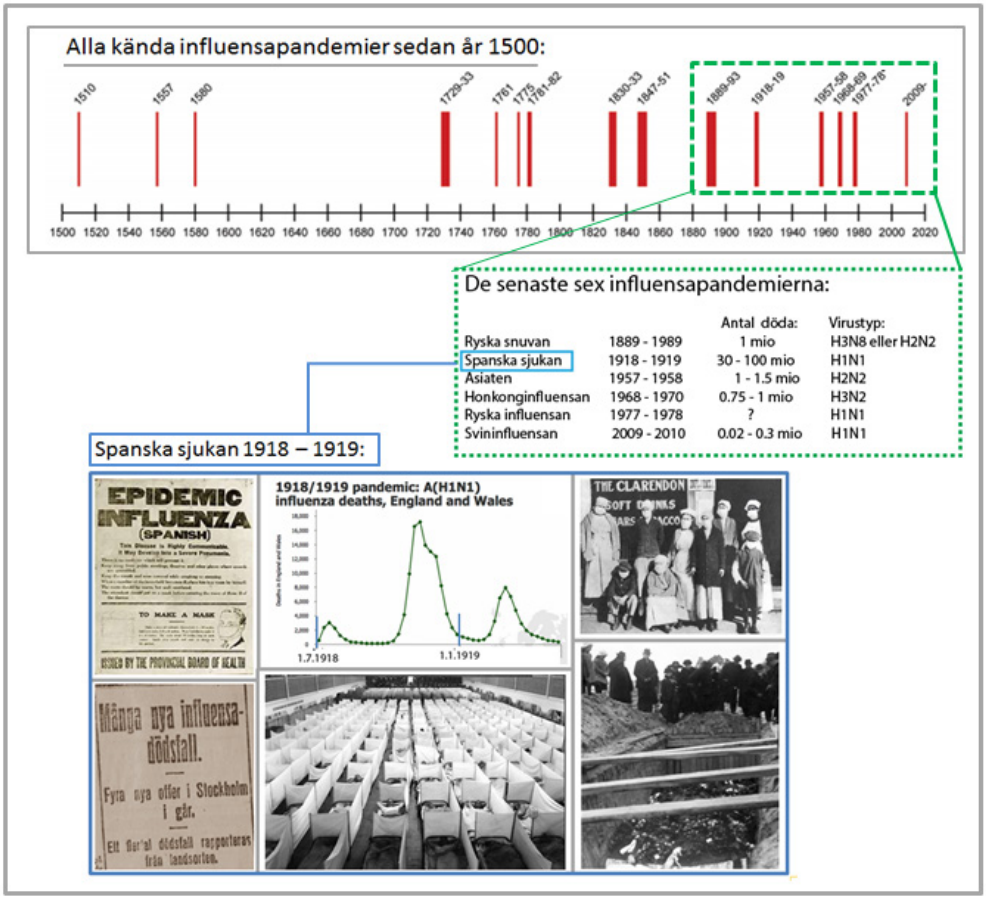
Ifall en mikroorganism smittar lätt via luften mellan människor, kommer den snabbt att spridas över hela jordklotet, som en följd av vårt omfattande resande, Figur 454.



Figur 454: (Vänster). Historik och prognos: Den globala flygtrafiken fördubblas vart 15 år. (Höger). Dagens globala flygförbindelser. Förbindelserna till Sydostasien (varifrån flertalet nya influensavirus kommer) byggs ut i snabb takt. KÄLLOR: ICAO och SAE International.

Sedan år 1500 har det inträffat 15 kända influensapandemier, i viss mån slumpvis, dock med en klar tendens om 3 – 4 de senaste 3 seklen. Det finns inget som tyder på att pandemierna skulle tagit slut. Sannolikheten att det kommer en ny inom de närmsta 30 åren är stor. Däremot är det mycket osäkert hur svår den kommer att bli.

Antalet i döda i ”Spanska sjukan” 1918 – 1919 var sannolikt mycket större än antalet omkomna under 1. Världskriget som avslutades vid ungefär samma tid. Siffran varierar, 50 millioner globalt nämns ofta i den medicinska facklitteraturen. Det innebär att överdödligheten blev 2.5% (om man lite förenklat räknar så att all den extra dödligheten inträffade inom ett år) av den dåvarande världsbefolkningen. I Sverige omkom 38.000 människor, motsvarande 0.6% av befolkningen.



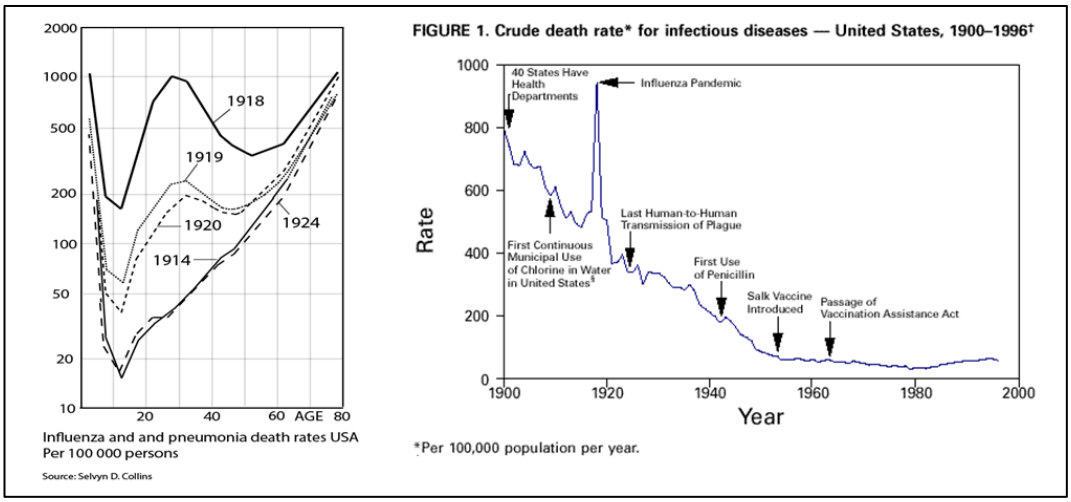
Figur 455: Kända influensapandemier sedan år 1500. Fotografierna från Spanska sjukan (som var sällsynt svår) har hämtats på nätet. De förmedlar intryck av den dagliga tillvaron under pandemin. Nödlasarett måste inrättas på skolor. Ibland måste flera döda läggas i samma grav. Människor bar skyddsmaskor. Sjukdomsutbrotten och dödsfallen kom i tre vågor. Källa: (205) är en doktorsavhandling som behandlar Spanska sjukan i Sverige.

I de flesta länder kom influensan i tre vågor, varav nr. 2 i regel var den värsta, se Figur 455. Koncentrationen i tid medförta att man var tvungen att inreda nödlasarett, typiskt på skolor. Man kan lägga märke till att våg nr. 2 uppträdde på vintern, men inte de båda andra. Till skillnad från den årligt återkommande säsonsinfluensan, som enbart uppträder på vintern, är den pandemiska influensan inte årstidsbunden.

I USA sjönk den förväntade medellivslängden temporärt med så mycket som 13 år. Det berodde på att de som dog ofta var unga, i motsats till det mönster som är vanligt vid säsongsinfluensaer som inträffar varja vinter, och där dödsfallen i huvudsak är koncentrerade till gamla människor. Man räknar med att den avvikande åldersprofilen under Spanska sjukan berodde på att det starka immunförsvaret hos från början helt friska unga människor överreagerade med en s k ”cytokinstorm” som bröt ner den egna kroppen (237).

Den avvikande åldersprofilen, som är typisk för influensapandemier, innebar att antalet förlorade levnadsår blev stort. Figur 456 visar åldersfördeling för dödsfall i influensa och lunginflammation under olika år i USA. Dödligheten i USA, och alla

infektionssjukdomars, utveckling under 1900-talet redovisas i det vänstra diagrammet. I det högre visas utvecklingen under 1900-talet av dödlighet i alla infektionssjukdomar i USA. Spanska sjukan och olika behnadlingsframsteg har markerats. Många föräldrar förlorade sina minderåriga eller vuxna barn. Samhället drabbades av att många som behövdes inom arbetsmarknaden rycktes bort. Hos en del av offren inträffade så pass massiva inre blödningar att det förorsakade en svår och dödlig syrebrist i blodet (cyanos) som långsamt kvävde patienten; huden kom att färgas blåsvart. Ibland sprutade blodet ur näsan med sådan kraft att det träffade vårdpersonalen. Flertalet dog dock av en bakteriell lunginfammation som följde på den försvagning som den initiala, virala inflammationen hade förorsakat.



Figur 456: (Vänster). Åldersfördelning för dödsfall i influensa och lunginflammation under olika år i USA. Källa: (238). (Höger). Dödligheten i USA, alla infektionssjukdomar, utveckling under 1900-talet. Årtalen för olika behandlingsframsteg och Spanska sjukan har markerats med pilar.

Å andra sidan utgjorde Spanska sjukan, sett i ett lite längre perspektiv, inget hot mot samhällena i sig; det blev en snabb återhämtning. På det sättet var Första Världskriget en större katastrof, då det bl.a. medförda ekonomisk kollaps i Tyskland och därmed skapade förutsättningar för omvandlingen till en totalitär stat, judeutrotelsen och Andra Världskriget.

Referens (239) är en bra och lättbegriplig översikt av globala smittssjukdomer, pågående eller utrotade.

Den stora frågan i dag är: *Om H5N1 muterar så att det blir smittsamt mellan människor, hur stor blir då letaliteten*? Om detta råder det oenighet bland ledande influensaforskare. Många tar utgångspunkt i en pandemi av ungefär samma svårighetsgrad som Spanska sjukan, en del räknar med möjligheten av en ännu svårare eller t o m mycket svårare pandemi, andra anser att farhågorna är överdrivna.

J.K. Taubenberger, som var den som lyckades genomföra den genetiska kartläggningen (sekvensering av dess RNA) av viruset som förorsakade Spanska sjukan, ställer (tillsammans med en medförfattare, ref. (240)) frågan: ”*Could a 1918-like pandemic appear again?*” och svarar bl.a.:

> *"Until we can ascertain which of these factors gave rise to the mortality patterns observed and learn more about the formation of the pandemics, predictions are only educated guesses. We can only conclude that since it happened once, analogous conditions could lead to an equally devastating pandemic". Och: "Even with modern antiviral and antibacterial drugs, vaccines and prevention knowledge, the return of a pandemic virus of 1918 would likely kill > 100 million people worldwide. A pandemic virus with the (alleged) pathogenic potential of some recent H5N1 outbreaks could cause substantially more deaths".*

I (241), hittar man nedanstående bedömning. Seriositeten framgår av att förste författaren, F.C. Li, är verksam vid den centrala kanadensiska hälsomyndigheten, Canadian Public Health Agency, även om han i denna publikation antagligen inte formellt företräder myndighetens uppfattning:

> *"While the real H5N1 case fatality rate (letalitet på svenska) could be lower than the current estimate 60%, it is unlikely that it will be at the 0.1 – 0.4% level currently embraced by many pandemic plans. We suggest that, based on surveillance and seroprevalence studies conducted in several countries , the real H5N1 case fatality rate should be closer to 14 – 33%".*

Andra forskare menar att WHO's statistik, som baseras på inrapporterade dödsfall, är bedräglig; i verkligheten är letaliteten avsevärt lägre än 55%, då det finns många mildare fall som inte inrapporteras, räsonerar man. Denna uppfattning uttrycks bl.a. i (242), publicerad i den ansedda tidskriften Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, där man även läser:

> *"It is known that H5 viruses have been circulating in poultry for at least 50 years (probably much longer) and that they cause natural infection and even transmit between some mammals such as pigs, dogs, and cats … Despite regular human contact with animal reservoirs and virus' propensity to mutate, strains able to cause sustained disease in humans have not emerged. In fact, in humans, only influenza viruses of the subtypes H1, H2, and H3 have circulated during the past 100 years, suggesting that other subtypes may not easily become significant humans pathogens."*

Den senaste pandemin, en "svininfluensa", inträffade 2009. Den blev relativt mild. WHO har i efterhand anklagats för att överdramatisera dess allvarlighet efter påtryckningar från läkemedelsindustrin. Oavsett hur det förhåller sig med den saken finns det ett farligt "vargen-kommer-"problem: Många människor har fått ett intryck av att pandemier egentligen inte är så farliga. Uppkomsten av den farliga sjukdomen SARS 2002 och dess snabba utrotande redan året efter kan bidra till denna bild.

År 2012 publicerades resultat från två forskningsprojekt, ett holländskt och ett amerikanskt, inom vilka man lyckats förändra det befintliga H5N1-viruset till ett som blev mycket smittsamt mellan däggdjuren illrar (och därmed genetisk närmra människan än fåglar) (243). Illern är det vanligaste försöksdjuret inom influensaforskningen då den nyser och hostar på sätt som liknar människans reaktioner, dock med mer nysande hos illrarna. Man förmoder att de båda nya

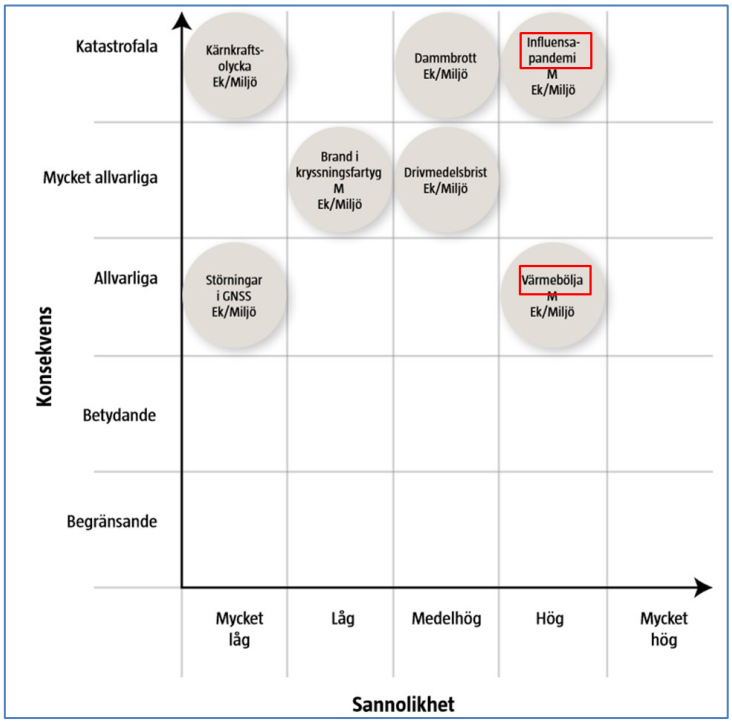
varianterna av H5N1 potentiellt är ungefär lika patogena och har ungefär samma höga letalitet som bland illrarna, men av etiska skäl kan detta naturligtvis inte testas.

Dessa försök är mycket kontroversiella: Ett läckage från ett laboratorium som framställar ett sådant farligt virus skulle kunna leda till en katastrofal pandemi, det ultimativa skräckscenariet. En annan risk är att kunskapen om hur det de farliga virusen framställs skulle kunna utnyttjas av terrorister eller av extremistiska nationer, t.ex. Nordkorea, i syfte att avsiktligt förorsaka en epidemi, med pandemi som konsekvens. En självmordsterrorist kommer inte nödvändigtvis att hesitera inför den boomerangeffekt det senare innebär.

Forskarna argumenterar att försöken ger kunskap som kan utnyttjas för att ta fram läkemedel. Ett stort problem vid influensapandemier är att man inte (som är brukligt vid säsongsinfluensa) på förhand kan ta fram ett vaccin; 3 – 6 månader räknar man med att det kommer att dröja, dvs. man måste räkna med att under pandemins första månader finns inget verksamt vaccin. Det finns antivirala läkemedel (”Tamiflu” mm), men de har inte full effekt.

Svenska Läkemedelsverket säger på sin hemsida att: ”*Tillgången på vaccin kommer förmodligen att vara begränsad i början av pandemin*”, (244). Denna formulering rimmar illa med den övriga information om frågan som vi tagit del av, och framstår som allt för optimistisk. Sverige missgynnas av att det inte finns nämnvärd inrikes produktionskapacitet för vaccin. I ett katastrofläge kan man inte utesluta att regeringar väljer att reservera inhemskt producerad medicin för det egna landets medborgare. Många fattiga länder kan få svårigheter att få medicin överhuvudtaget.

Figur 457 visar den svenska, officiella värderingen av olika samhällsrisker i form av en riskmatris, jämte en tabell över innebörden av olika konsekvenser (ordinatan i matrisen). Man ser att ”influensapandemi” anses som den allvarligaste händelsen. Matrisen är baserat på ett scenario med 10.000 döda.

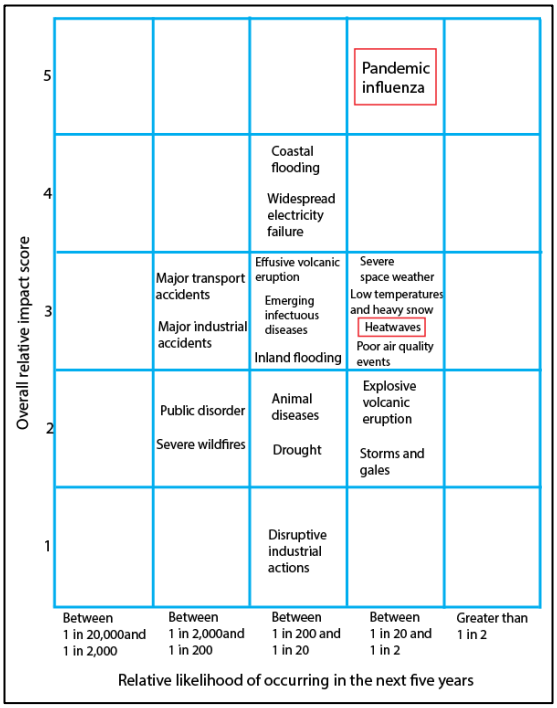


Skalor för konsekvensbedömning			
Skala i riskmatrisen	Skalor för respektive konsekvenskategori		
	Kvantitativ skala, Människa	Kvantitativ skala, Ekonomi/ Miljö	Kvalitativ skala, Politiska/ Sociala
Katastrofala	>500 döda och/eller 2500 allvarligt skadade	>50 miljard SEK	Katastrofala
Mycket allvarliga	100-500 döda och/eller 500-2500 allvarligt skadade	5-50 miljarder miljard SEK	Mycket allvarliga
Allvarliga	30-99 döda och/eller 100-499 allvarligt skadade	0,5-5 miljarder	Allvarliga
Betydande	5-29 döda och/eller 25-99 allvarligt skadade	50-500 miljoner	Betydande
Begränsade	<5 döda och/eller <25 allvarligt skadade	<50 miljoner	Begränsade

Tabell 5. Konsekvensskalorna i den nationella risk- och förmågebedömningen.

Figur 457: Riskmatris enligt officiell svensk klassifikation och klassifikationskriterier m h t konsekvenser 2013, Källa: (245).

Även om man tar fasta på denna siffra, som ligger vida under de 240.000 som skulle kunna inträffa vid en ”Spanska-sjukan-pandemi”, är klassifikationen problematisk: Gränsen mellan ”Mycket allvarliga” och ”Katastrofala” konsekvenser ligger vid en så pass låg siffra som 500 döda. Rimligen borde det funnits (minst) en högre konsekvens-kategori, såsom det finns i den motsvarande engelska riskmatrisen, Figur 458.



Figur 458: Officiell engelsk riskmatris, 2015. Källa: (246).

Table 1. Number of Episodes of Illness, Healthcare Utilization, and Death Associated with Moderate and Severe Pandemic Influenza Scenarios*

Characteristic	Moderate (1958/68-like)	Severe (1918-like)
Illness	90 million (30%)	90 million (30%)
Outpatient medical care	45 million (50%)	45 million (50%)
Hospitalization	865,000	9,900,000
ICU care	128,750	1,485,000
Mechanical ventilation	64,875	742,500
Deaths	209,000	1,903,000

*Estimates based on extrapolation from past pandemics in the United States. Note that these estimates do not include the potential impact of interventions not available during the 20th century pandemics.

Figur 459: Två scenarier enligt officiell amerikansk beredskapsplan, 2005. Källa: (247).

Figur 459. Den amerikanska beredskapsplanen utgår från två scenarier, varav det allvarligaste är ”1918-like”; här räknar man med 1.9 millioner dödsfall, vilket motsvarar 0,7% av befolkningen. Det svenska scenariet innebär att antalet döda utgör endast 0,1% av befolkningen.

Den officiella danska riskanalysen (248) ger inga kvantifieringar alls. Det finns ett diagram som antyder att pandemiers konsekvenser för liv, hälsa och välfärd är i paritet med t. ex. transportolyckors och är lite större än konsekvenser av orkaner, stormar och översvämningar. Ett störtande jumboplan med 500 människor som omkommer är en stor tragedi, men en liten händelse i jämförelse med vad pandemier kan förorsaka. Danmark slapp mycket lindrigt undan Spanska sjukan, ännu lindrigare än Sverige, men det finns ingen garanti att detta kommer att upprepas.

Världsbanken, World Bank Group, har utarbetat analyser (249) av pandemirisken och av dess konsekvenser för bl.a. ekonomi. I januari 2015 presenterade dess ordförande, Jim Yong Kim, en plan för hur försäkringsbolag, regeringar, organisationer, företag och internationella hjälporganisationer kan samarbeta om att bygga upp ett system som kan hjälpa alla länder att förbereda för potentiella hälsomässiga katastrofer. I sitt anförande uttalade han:

> *"The World is dangerously unprepared for future pandemics".*

I regi av samarbetsorganisationen OECD har det publicerats (250) en ingående analys av pandemier och beredskapen inför dessa hos myndigheter i olika länder. En av de många kritiska slutsaterna blev:

> *"There is a dramatic lack of forward thinking and planning for the creation and distribution of medical countermeasures – including drugs, vaccines and surge capacity, which, in part, arises because of lack of real-time information".*

Jämföra med citatet tidigare redovisat från Läkemedelsverkets bedömning.

Forsäkringsbolaget Lloyds har publicerat en studie (251) vars huvudsyfta var att, i linje med Världsbankens insatser, undersöka de potentiella ekonomiska konsekvenserna av en pandemi, med speciellt forkus på försäkringsaspekter. En av slutsaterna var:

> *"1918 may not be a worst case. It is certainly true that the 1918 event was extreme relative to other pandemics in history. However many published "worst case" scenarios take 1918 as a base. There is a danger that we over optimise this one scenario. There are other forms of pandemic than influenza, some have a higher case mortality. Pandemic preparedness should consider a range of scenarious to ensure plans are appropriately flexible."*

Ett icke-influensa virus som innebär pandemihot är det s k coronavirus som förorsakar sjukdomen MERS, som börjat spridas från Mellersta Östen 2012. 1000 sjukdomsfall har registrerats, varav 40% varit dödliga. Helt nya typer av farliga mikroorganismer dyker ibland upp. "*Expect the unexpected*" är en fras som många bedömare använder. Mikroorganismerna debuterade på den evolutionära scenen för 3 miljarder år sedan, Homo Erectus så pass sent som för drygt 2 miljoner år sedan, så mikroorganismerna har en betydligt längre record när det gäller att bevisa överlevnadsförmåga. En "generation" inom mikroorganismernas värld är inte mer än storleksordningen 1 timme, så möjligheterna till snabb evolution i olika riktningar är stora, och de uppvisar stor uppfinningsrikedom. De är ett mål som ständigt flyttar på sig när man vill bekämpa dem.

I en rad undersökningar har man utfrågat hälsopersonal om hur pass beredd den skulle vara att komma till arbetet i händelse av en svår pandemi där detta kommer att utsätta dem själva för en betydande smittorisk. I en engelsk utfrågning (252) svarade 30% av sköterskorna, 25% av lasarettsläkarna och 18% av allmänpraktiserande läkare att de inte ansåg sig ha en skyldighet att arbeta om detta skulle innebära en risk för dem själva eller deras familj.

Man kan förvänta att en del av personalen kommer att stanna hemma för att vårda sjukt barn eller åldriga föräldrar som t.ex. inte får tag på viktig medicin. Gränsdragningen mellan i vanlig arbetsrättslig mening legitim och illegitim frånvaro kommer att suddas ut. Om man är rädd att smittas på arbetet kan det vara bekvämt att motivera frånvaro med en skyldighet att ta hand om sjukt barn. Om systemet slutar behandla allvarligt sjuka anhöriga kan det bli frågan om ett nödläge och en etiskt mycket svår situation för den anställde som man måste ha förståelse för. Vid en pandemi är skolor och daghem smittohärder och måste därför sannolikt stängas. Detta kommer i sin tur att medföra att personer inom alla verksamheter i samhället, inklusive sjukvården, stannar hemma för att ta hand om sina barn, även om de inte är sjuka. Det blir antagligen även nödvändigt att ställa in den kollektiva trafiken, vilket kommer att medföra ytterligare frånvaro. Dessutom måste de som själva drabbas av infektion stanna hemma. Sammantaget kommer en betydande del av arbetsstyrkan inom den extremt belastade vården att vara frånvarande under kortare eller längre tid.

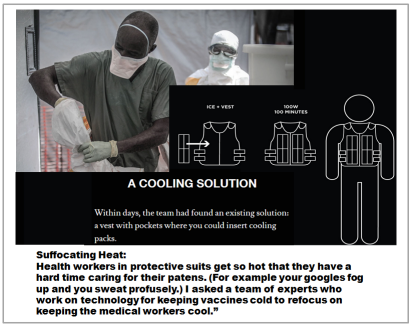
De nämnda intervjyundersökningarna visade dock även att sjukhuspersonalens benägenhet att komma till arbetet ökar avsevärt om arbetsgivaren ansträngt sig för att reducera smittorisken. Detta sätt att reagera är säkert inte begränsat till sjukhuspersonal. Det gäller förmodligen även kontrollrumspersonal på kraftverk, fjärrvärmeverk, vatten- och avloppsverk, polis, m.fl. personer som måste finnas på plats för att viktiga samhällsfunktioner inte ska kollapsa. Det betyder, att kan vi minska smittorisken inomhus, kommer detta att ha en dubbel effekt på personalens närvaro på arbetsplatsen: Sjukfrånvaron kommer att minska, och personalen kommer troligen i mindre utsträckning att hålla sig hemma av andra anledningar än egen sjukdom.

Bill Gates har genom stiftelsen Bill och Melinda Gates Foundation donerat stora belopp till bekämpning av bl.a. malaria, tuberkulos och HIV-AIDS i utvecklingsländer och ägnar sig på heltid åt den praktiska implemeteringen av program för dessa insatser. Stiftelsen har även donerat medel till vetenskapliga forskningsprojekt om de stora infektionssjukdomarna. I ett av dessa projekt utvecklades en spridningsmodell som Bill Gates använt för att simulera förloppet av en influensapandemi. Resultatet blev 33 miljoner döda globalt. Den omfattande internationella trafiken medför att sjukdomen sprider sig till alla större städer i världen inom 60 dagar.

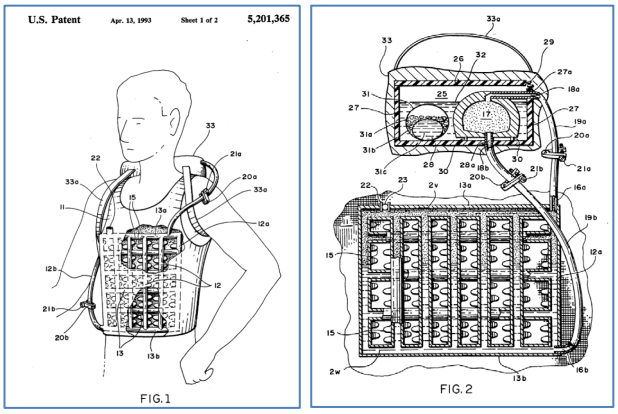
Bill Gates som skapat Microsoft är en synnerligen erfaren organisatör, med insikt i infektionssjukdomar och med global överblick. Under våren 2015 gick han i olika medier (TED-talk, YouTube mm) ut med budskapet ”*We are not ready for the next pandemic*” (253) Han har dessutom skrivit en artikel (254) till den medicinska tidskriften New England Journal of Medicine där han, baserat på erfarenheter med att bekämpa spridning av Ebola, ger förslag på åtgärder som bör vidtas för att reducera omfattningen av den kommande pandemin. Han menar bl.a. att man kan utnyttja militärens kunnande och kapacitet när det gäller logistik.

Han går även in på praktiska detaljer och visar i de populära filmarna ett exempel på en av erfarenheterna från Ebola-arbetet, Figur 460, framtagande av en kyld skyddsdräkt. Som Gates säger, det är i och för sig bekant teknologi; det framgår t.ex. av ett patentdokument, Figur 461, som vi hämtat ur en patentdatabas. Det

finns en klar risk att värmeobehag ibland medför att hälsopersonal undanlåter korrekt användning av skyddsklädsel vid behandling av Ebolapatienter och därvid själv kommer att smittas, (255). Kanske har de kylda skyddsdräkter som i dag finns i marknaden nackdelar som talar mot den användning som omedelbart ser ut att vara den uppenbart rätta lösningen, eller dräkterna anses vara för dyra, eller man har inte screenat produktutbudet tillräckligt. I vilket fall illustrerar exemplet hur viktigt det är att kunskap och innovativ förmåga från många håll utnyttjas för att bekämpning av epidemier och pandemier ska bli så effektiv som möjligt.



Figur 460: Framtagande av kyld skyddsdräkt enligt Bill Gates.



Figur 461: Exempel på figurer ur ett patent på kyld skyddsdräkt.

Gates har en annan poäng med koppling till militära aspekter: Pandemier, skapade av naturen eller av bioterrorister, utgör i dag ett större akut hot mot mänskligheten än krig. Likväl är de investeringar som har gjorts för att begränsa pandemier små jämfört med vad som investerats i militär.

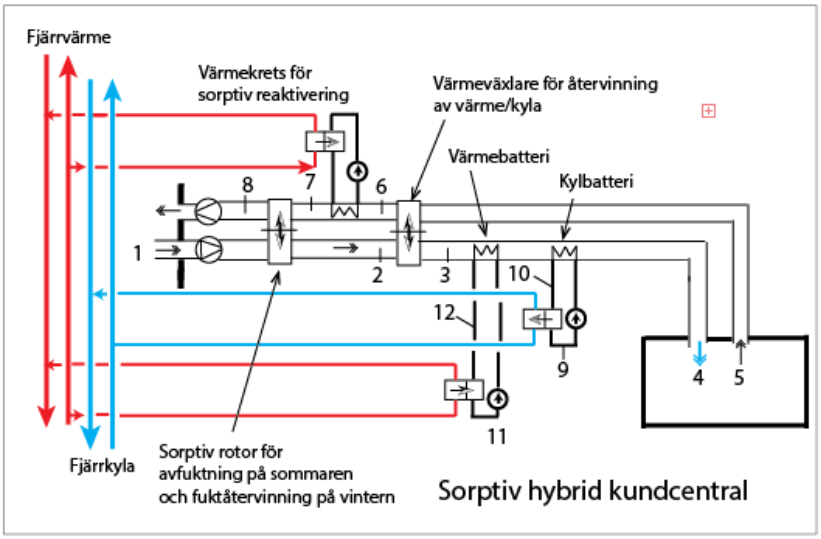
Man kan även jämföra med de omfattande insatser som gjorts för att undersöka alla tänkbara aspekter av klimatförändringar och anpassningar till dessa. Obalansen i förhållande till det som investerats i att undersöka och hejda de minst lika farliga pandemierna är påtaglig.

Bilaga D – Sorptiva hybriden under året

D1 INLEDANDE FÖRUTSÄTTNINGAR OCH ANTAGANDEN

Under tidigare teknikavsnitt 4.2 har redovisats beräknade värden av returtemperaturen från den sorptiva hybriden vid dimensionerande tillstånd. För att få en bild av potentialen för tekniken krävs en insikt i hur tekniken fungerar på årsbasis. Detta avsnitt beskriver hur vi med rimliga metoder och uppskattningar tar fram relevant värde på årsreturtemperaturen för utnyttja i värderingen av kundnyttan respektive energibolagets nytta, i avsnitt 12. Att beräkna detta med en detaljeringsnivå på årets alla drifttimmar är ett alltför omfattande arbete, och ej meningsfullt för föreliggande värdering av tekniklösningen. Baserat på de redovisade månadsmedelvärdena för utelufttemperaturen och luftfuktighet i Stockholm enligt tidigare visade Tabell 5 och Tabell 6 har vi nedan för några utvalda belastningsfall gjort kontrollberäkningar.

Som underlag till beräkningarna av lastfallen krävs kännedom om de ingående komponenternas funktioner under varierande betingelser. Förutom detaljkännedom om dessa komponenter krävs ett antal avvägningar och antaganden. Som framgår av principkopplingen för den sorptiva hybriden, Figur 462 behövs information kring värmeöverföringen vid den sorptiva rotorn, den roterande värmeväxlaren för återvinning av värme/kyla samt de ingående värme- och kylbatterierna.



Figur 462: Systemkoppling med sorptiv hybrid kundcentral.

Följande grundläggande antaganden görs för beräkningarna:

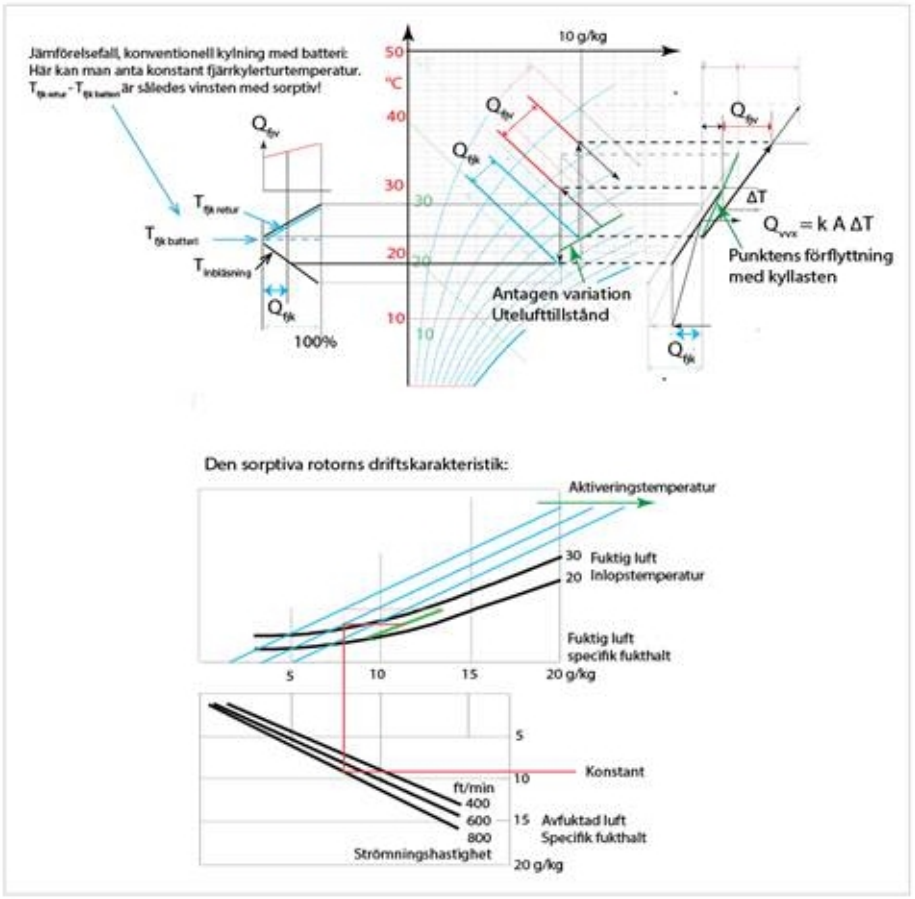
- A1: Ventilationsflödet är konstant, variation i tillförd kyleffekt sker med variation av inblåsningsluftens temperatur
- A2: Inomhustillståndet är konstant.
- A3: Utelufttillståndet varierar längs en rak linje i Mollierdiagrammet *)

- A4: I luft-luft-värmeväxlaren är k-värdet konstant. Därmed blir temperaturskillnaden ΔT proportionell mot den överförda värmeeffekten.
- A5: Fjärrkyle-returtemperaturen ligger ett par grader lägre än temperaturen i punkten 3 (den tillförde lufttemperaturen i utloppet från luft-luft-värmeväxlaren = inloppstemperaturen till kylbatteriet).
- A6: Aktiveringstemperaturen uppskattes med en antagen driftskarakteristik enligt diagram. Det är en gissad modifikation av Munter´s diagram för en rotor med mycket högre aktiveringstemperatur.
- A7: Ingen hänsyn tas till energiåtervinning i form av återcirkulation av returluft.

*) Det bör egentligen verifieras/kompletteras med beräkningar där man varierar fukthalt och temperaturer på andra sätt. Men blir alltför komplicerat att ta hänsyn till i dessa överslagsberäkningar.

D2 GRUNDLÄGGANDE BERÄKNINGSSTEG

Då beräkningarna är komplicerade har vi valt att beskriva dem stegvis. Vår förhoppning är att detta ändå skall ge insikt hur beräkningarna gått till.



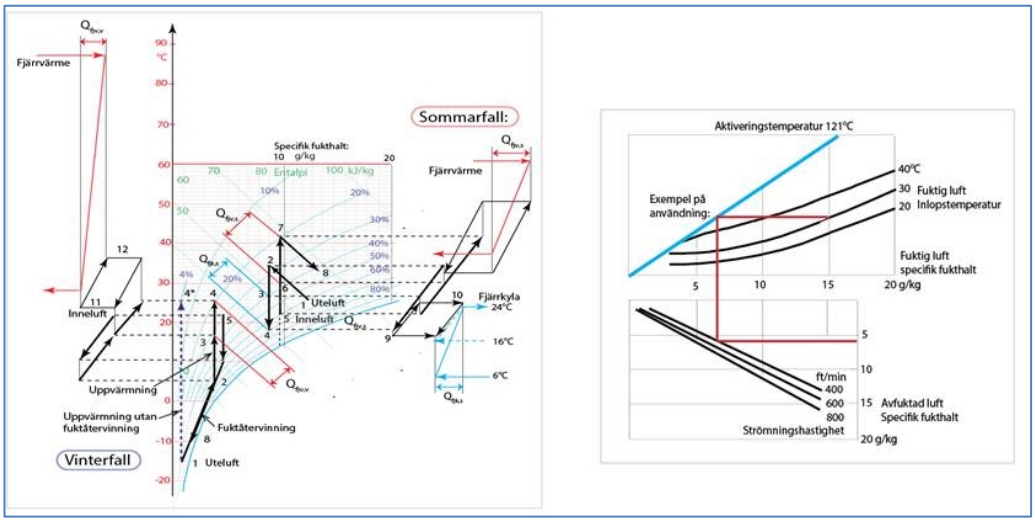
Figur 463: Grundtillstånd vid valt basfall och inverkan av en sorptiv rotor.

Man kan anta att en konventionell kylbatterilösning (utan kylåtervinning) har konstant fjärrkyle-returtemperatur. Vinsten med den sorptiva är 0 vid 0 kyllast och ökar proportionellt med kyllasten.

Överst till vänster i Figur 463 utgår man från ett jämförelsefall konventionell kylning med ett kylbatteri. Tillskottet från sorption representeras av temperaturskillnaden som från Mollierdiagrammet sedan utläses som kyleffekt resp värmeeffekt. Den nedre delen av Figur 463 visar hur en sorptiv rotor fungerar vid olika valda strömningshastigheter.

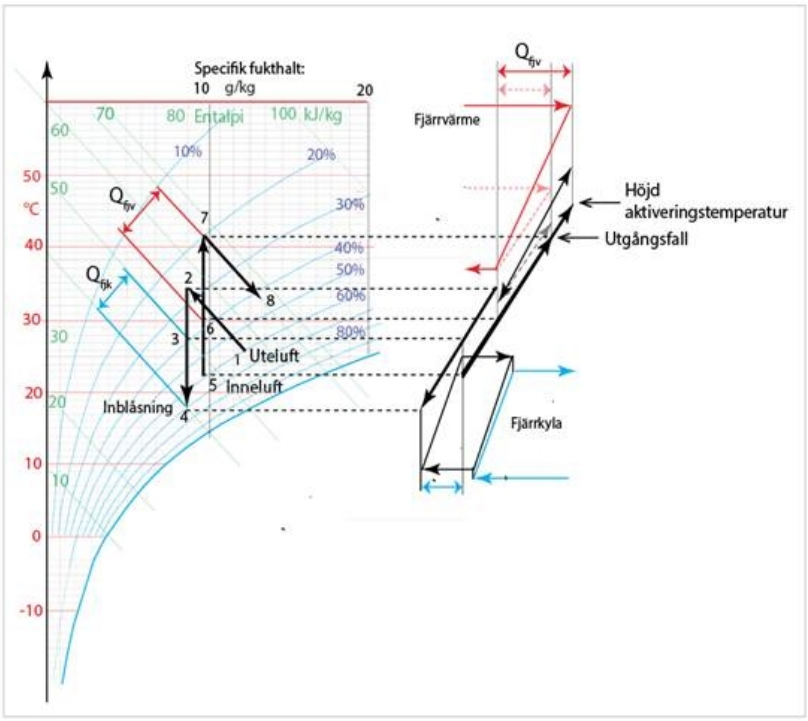
(17) i avsnittet 4.2 med presentation av den sorptiva säger att det finns rotorer med mycket låg aktiveringstemperaturer, ca. 30°C. Frågan om lämplig temperatur bör dock övervägas. Många andra antaganden kan naturligtvis i hög grad diskuteras. En tanke bör sannolikt även ägnas by-pass drift för luften vid låga laster. Men vi bortser här från detta. Komplexiteten är tillräckligt hög ändå.

Figur 464 är hämtade från teknikavsnittet med presentation av den sorptiva hybriden:



Figur 464: Grunddiagram med sorptiv hybrid med sommar- och vinterfall samt sorptiva rotorns funktion med varierande inloppstemperatur.

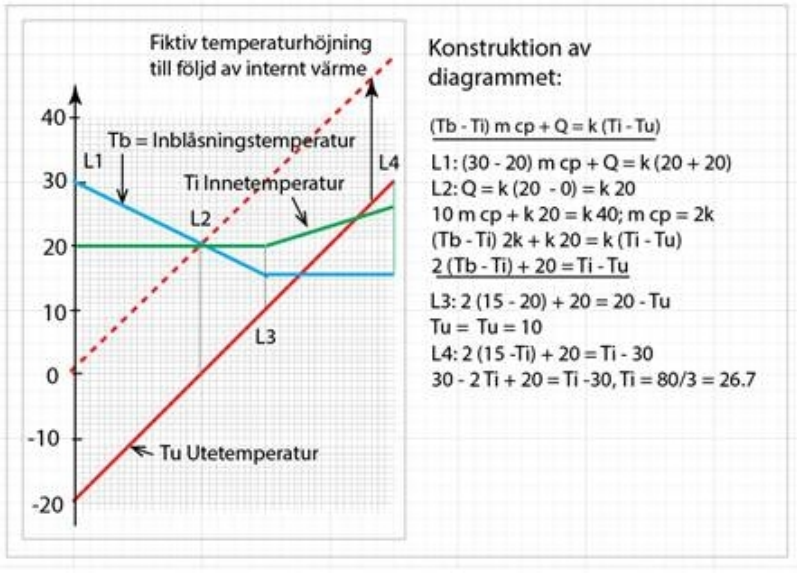
I Mollierdiagrammet till vänster har placerats in två exempel med vinter respektive somamrfallet. Där vi kan utläsa en returtemperatur för fjärrkyla på 24°C. Den högra delen av figuren redovisar den sorptiva rotorns funktion med olika inloppstemperatur på den fuktiga luften.Vi har tillämpat en aktiveringstemperatur på 30°C för den valda sorptiva rotorn. Vid högre aktiveringstemperatur förflyttar man sig längs den högra delen av Figur 465.



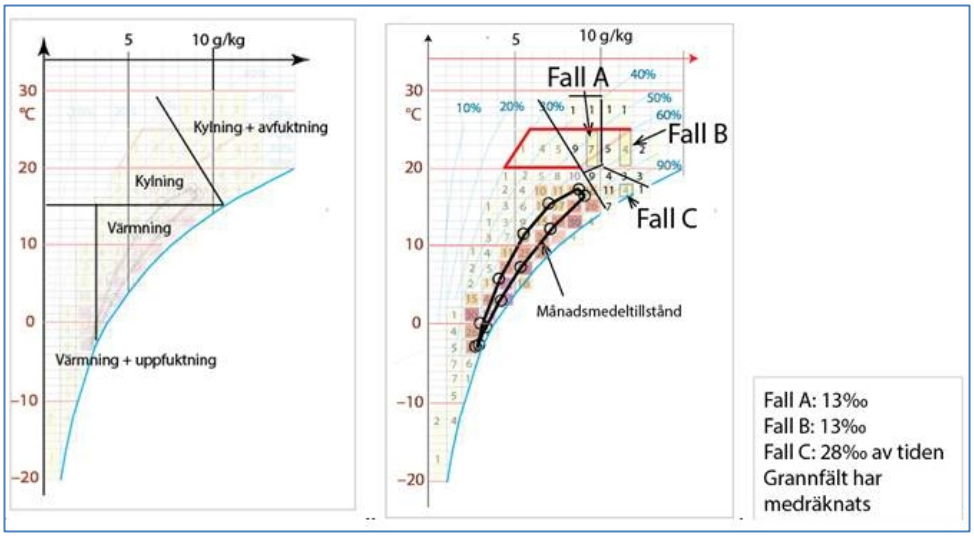
Figur 465: Inverkan av olika aktiveringstemperatur för en sorptiv rotor.

D3 EXEMPEL DRIFTKARAKTERISTIK VID SOMMARFALLET

Figur 466 visar på samband mellan utetemperatur, inomhustemperatur och inblåsningstemperatur som bestäms enligt formlerna till höger i figuren.



Figur 466: Samband mellan utetemperatur, inomhustemperatur och inblåsningstemperatur.



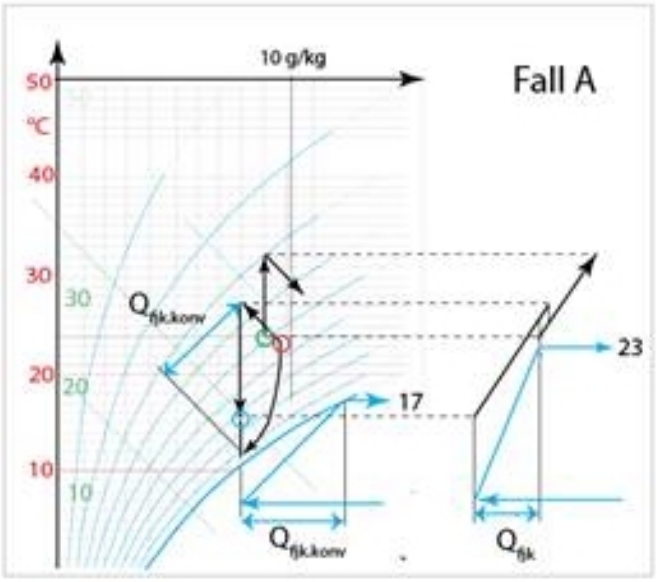
Figur 467: Val av tre lastfall under året och vid vilka tidpunkter man har de fyra lastområdena, kylning, värmning, kylning med avfuktning resp värmning med uppfuktning.

Vi väljer nu att tillämpa tre representativa lastfall med utnyttjande av Mollier-digrammet. Mollierdiagrammet delas in i 4 områden, den vänstra delen av Figur 467 I området uppe till höger tillämpas avkylning och sorptiv avfuktning. Vi fokuserar till en början detta. Det delas grovt in i 3 fält (längre fram räknas finare, för varje ruta). I varje fält väljs ett driftfall mitt i en ruta i den högra delen av Figur 467. Lastfallen anses representera hela fältet. Här har nu även inritats månadsmedelvärdena på utelufttillstånd från Tabell 5 och Tabell 6. Genom att räkna ihop siffrorna i varje ruta (ibland del av ruta) får man för ett antal promille som kan användas vid viktning.

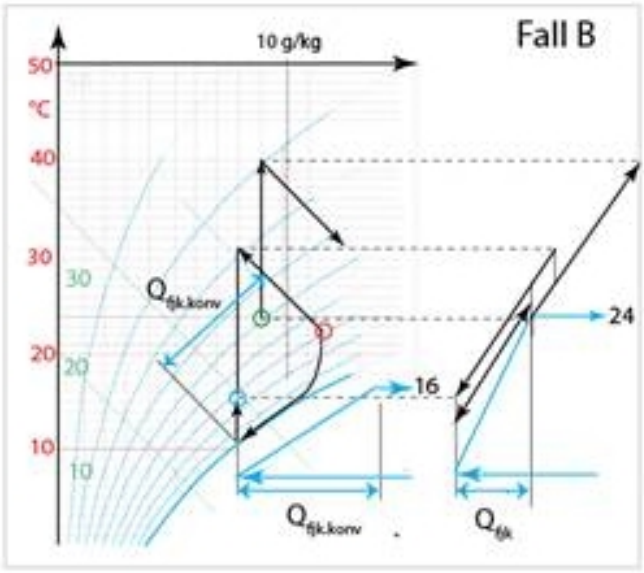
För de tre fallen har grafiska konstruktioner genomförts. Av tidigare framtagen figur för både sommar- och vinterfall och kopplingsschema ser man hur diagrammen har konstruerats. I vardera fallen har process för konventionellt kyhlbatteri ritats med gissat ΔT. I samtliga tre fall har den sorptive mindre kylbehov (men tillkommande värme för regenerering) och mycket större ΔT.

Figur 468, Figur 469 och Figur 470 visar på de valda lastfallen A, B och C enligt tidigare där det nu erhålls fjärrkylereturer på 23, 24 resp 21°C.

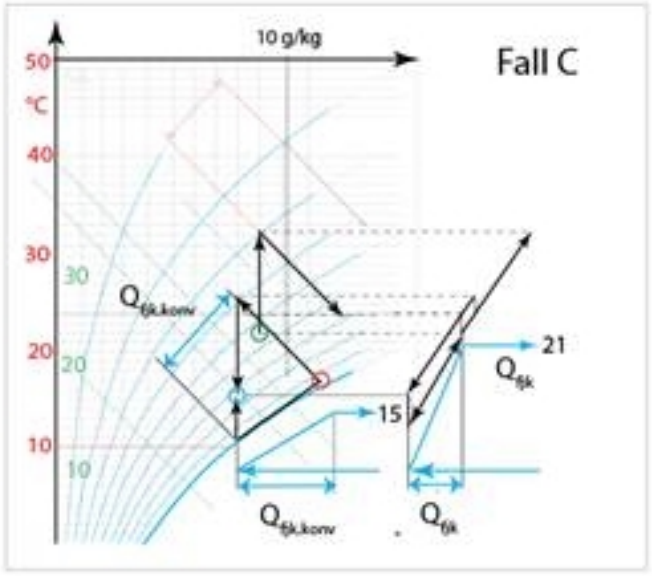
Det intervallindelade Mollierdiagrammet kan jämför med temperaturförlopp och isopletdiagram som redovisas på de kommande sidorna.



Figur 468: Fjärrkylereturtemperatur med lastfall A.

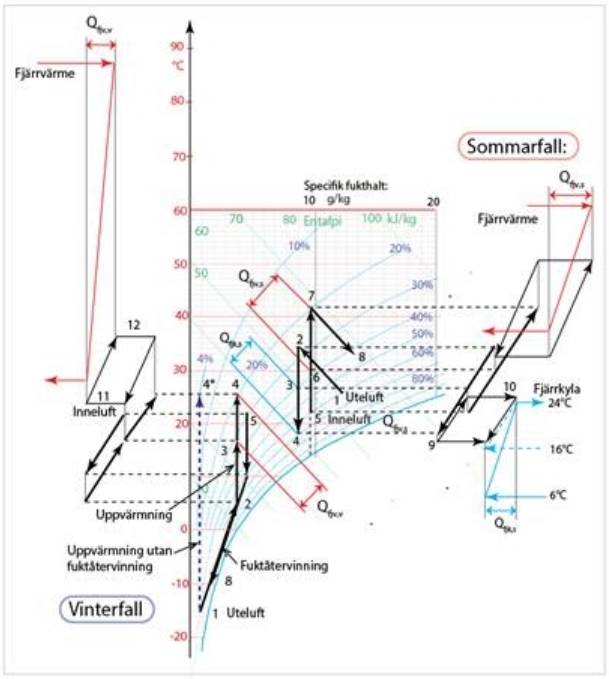


Figur 469: Fjärrkylereturtemperatur med lastfall B.

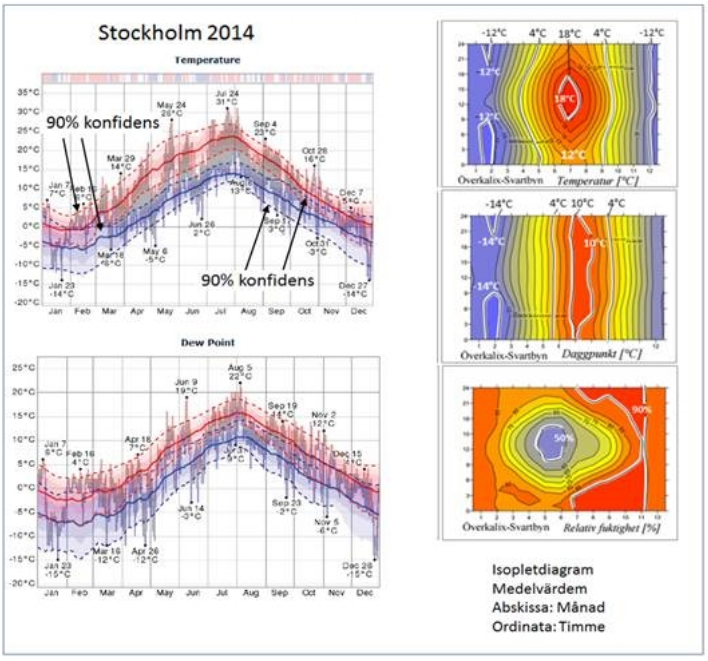


Figur 470: Fjärrkylereturtemperatur med lastfall C – kylning med avfuktning.

Nästa steg i beräkningen blir att i diagrammet enligt Figur 471, från utelufttillståndkurvorna på temperatur och luftfukltighet under året, för Stockholmsfallet, med en statistisk noggrannhet finna hur stor del av tiden som de olika lastfallen gäller, Figur 472. Avsikten är att bedömma hur stor del av året valda tillstånd i beräkningarna gäller.



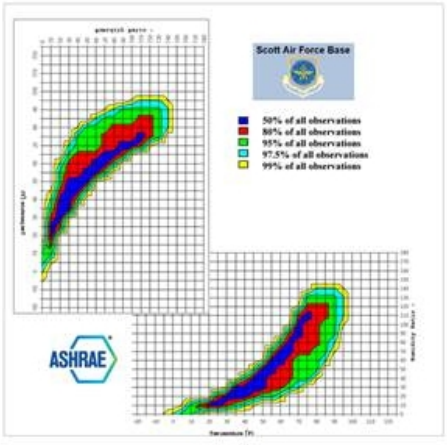
Figur 471: Grundfall med Mollierdiagram för DUT tillstånd.



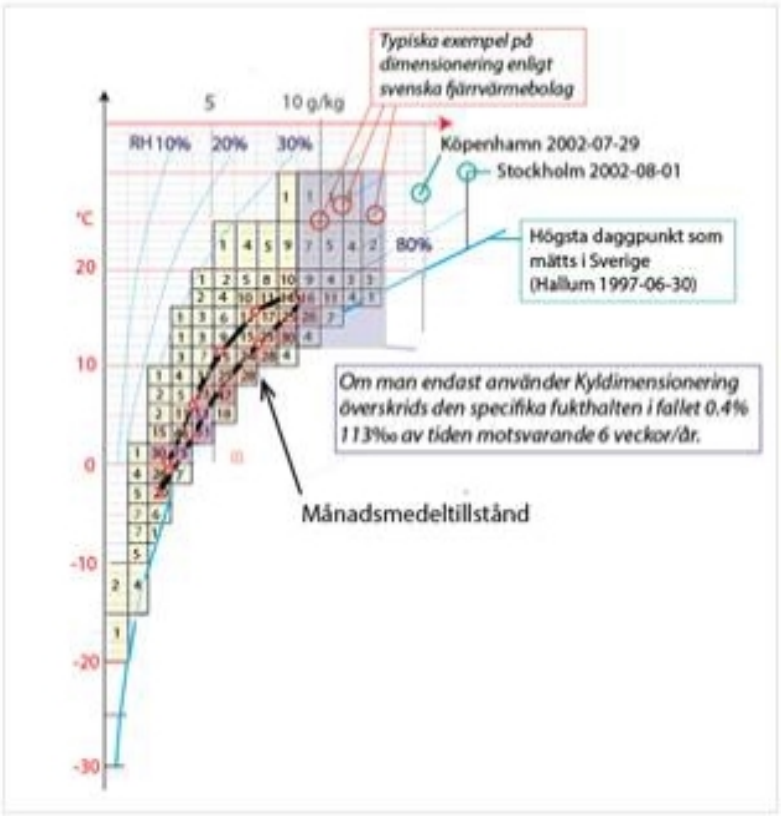
Figur 472: Införandet av konfidensintervall för utnyttjade lastfall under året. Källa: Weatherspark och (156).

D4 ÅRSDRIFTSTATISTIK FÖR SORPTIV HYBRID KUNDCENTRAL

I kapitel 16 om dimensioneringstillstånd redovisades i Figur 303 en jämförelse mellan ett inverterat psykrometriskt diagram (som kan sägas vara ett Mollierdiagram) och data för en amerikansk väderstation. Man ser att formen på det innersta, blåa fältet är snarlikt ”apelsinskalet” för Malmö. Det blå fältet, övre vänstra fältet i Figur 473 kan nu jämföras med månadsmedelfältet markerat i Figur 474.

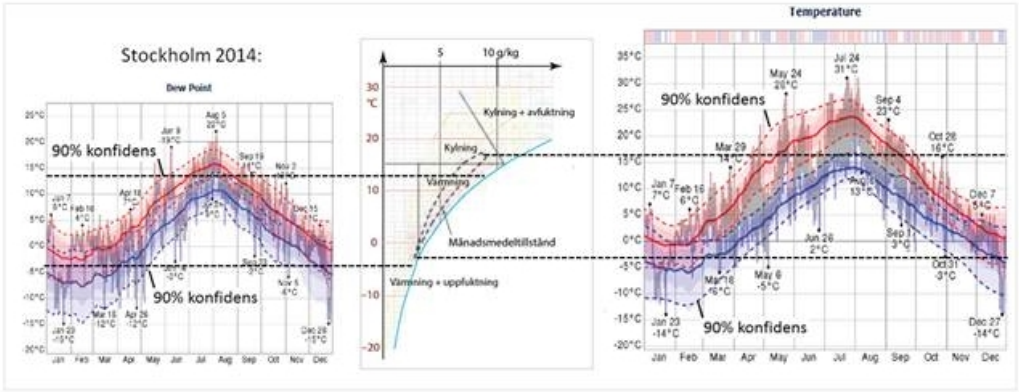


Figur 473: Det undre intervallindelade psychometriska diagrammet omvandlas till ett likalydande Mollierdiagram Egentligen gällande för en stad i USA med snarlikt klimat som Malmö. Källa ASHRAE.



Figur 474: Svenskt fall baserat på månadsmedeltillstånden.

I tidigare avsnitt visades i Figur 311 intervallindelat Mollierdiagram för Malmö har vi nu i Figur 474 lagt in en sluten kurva, ett ”apelsinskal” för månadsmedeltillstånd för Stockholm. För våra överslagsberäkningar bortser vi från skillnader i klimat mellan Malmö och Stockholm.



Figur 475: Figur Jämförelse av årsförlopp i Stockholm i Mollierdiagrammet i mitten och luftfuktighet till vänster och utetemperatur till höger.

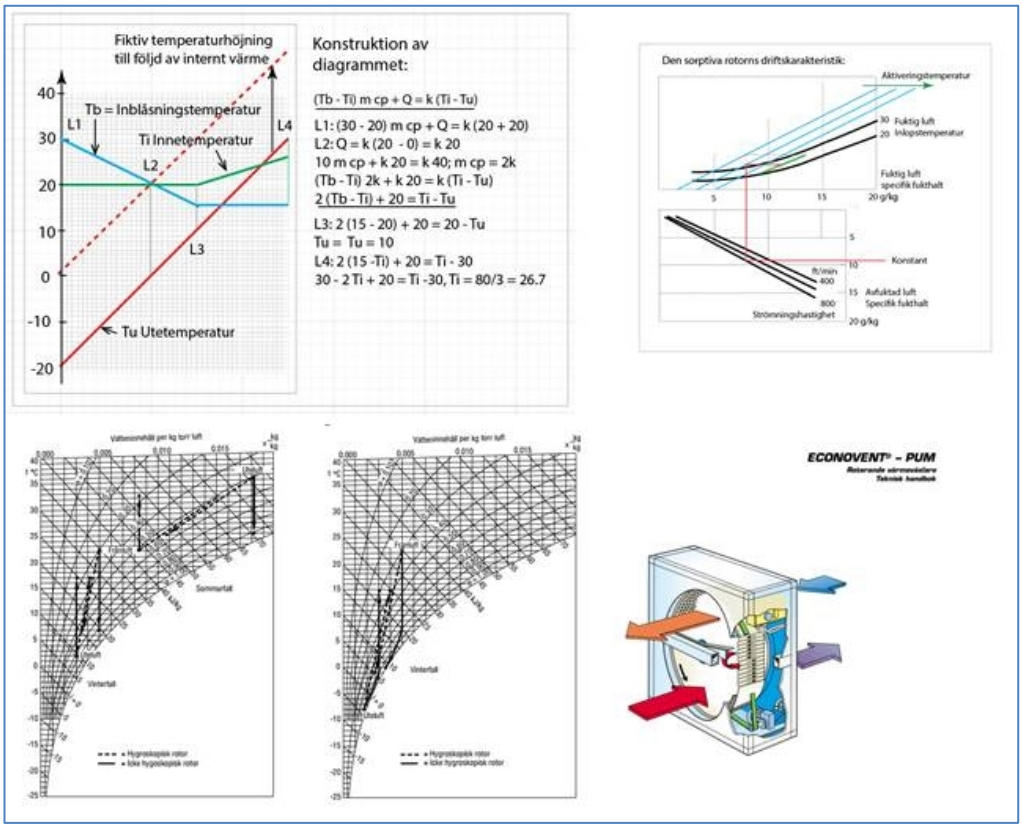
Ovan Figur 475 en annan jämförelse: ”apelsinskalet” med ett exempel på ett årsförlopp av utetemperatur och daggpunkt. Överensstämmelsen är bra (Frånsett

skillnaden Stockholm-Malmö som vi bortser från). Mollierdiagrammet har enligt tidigare delats in i fyra fält m h t luftbehandlingsmetod.

Med valda gränser utnyttjas det sorptiva hjulets fuktöverföringsförmåga endast i liten utsträckning vid månadsmedeltillstånd, men utgör likväl väsentliga förbättringar jämfört med konventionell värmning och kylning i batterier. Jämför man de båda Mollierdiagrammen ovan ser man, att andelen driftstimmar med uppfuktning är betydande. Fördelar vid höga kylbehov framgår enligt, Figur 476.

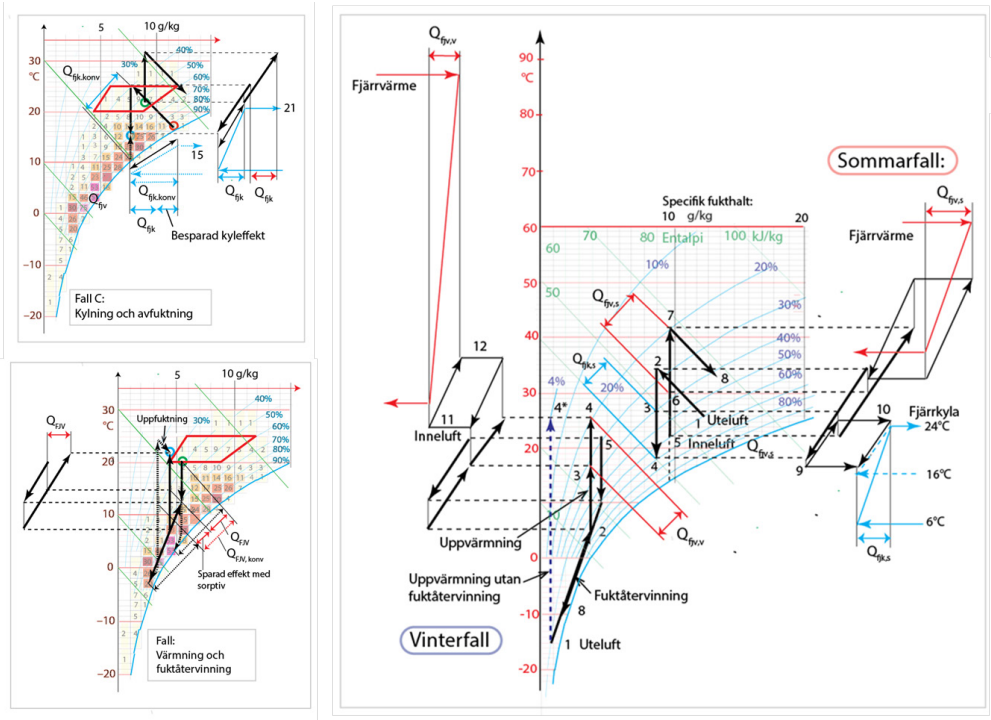
Vi väljer att låta ventilationsflödet vara konstant året runt och att föreskriva variationen i inblåsningstemperatur utifrån linjära förlopp och en värmebalans. Det innebär en undervärdering av kylbehovet vid hög utelufttemperatur – ”internt värme” i diagrammet ovan Figur 3 innefattar instrålning av solvärme.

Figur 476 sammanfattar nu lastfallen A, B och C enligt tidigare i de två Mollierdiagrammen.



Figur 476: Sammanfattning av lastfallen.

Det sorptiva hjulets karakteristik vid avfuktning kvantifieras grovt baserat på en extrapolation av ett av Munters´ diagram till låga aktiveringstemperaturer. Uppfuktningsförloppet på vintern väljs med ledning av diagram publicerade av Fläkt Woods – både för ett sorptivt hjul och ett icke-sorptivt.

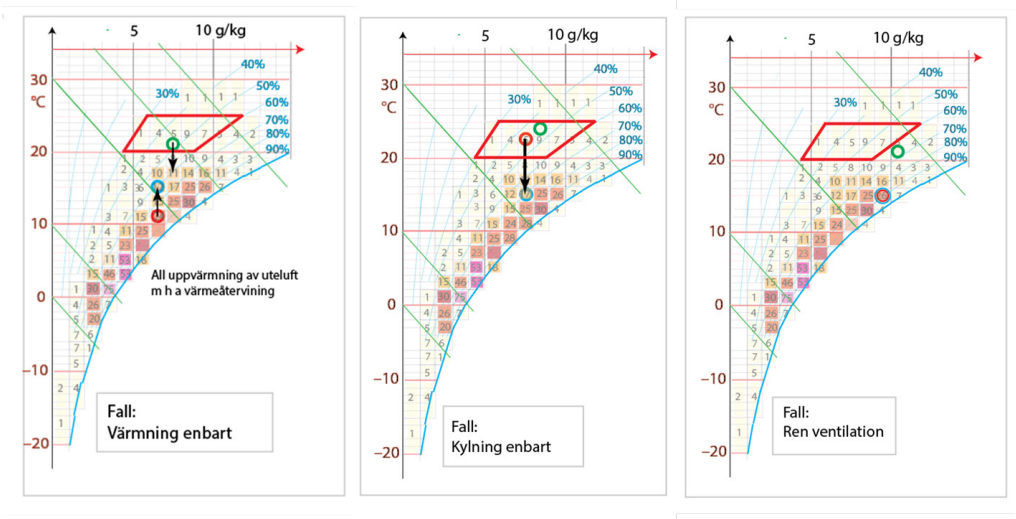


Figur 477: Lastfallen (övre till vänster) valda sommarfallet C med kylning och avfuktning samt (nedre till vänster) vinterfall med värmning och uppfuktning. Högra jämförelse med grunddimensioneringsdigrammet.

Figur 477 visar lastfallen (övre till vänster) valda sommarfallet C med kylning och avfuktning samt (nedre till vänster) vinterfall med värmning och uppfuktning. Högra jämförelse med grunddimensioneringsdigrammet

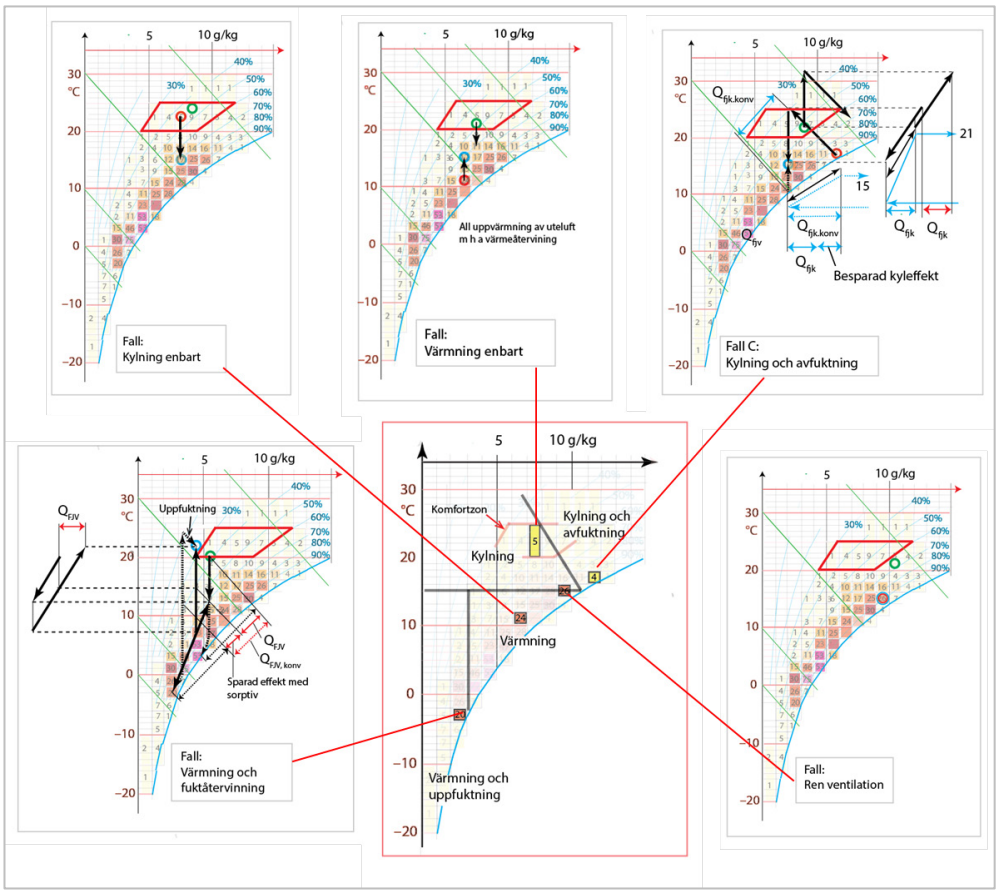
Baserat på detta har vi valt ett vinter- och sommarfall med utnyttjande av det sorptiva hjulet för av- och uppfuktning enligt de båda diagrammen till vänster. Till höger upprepas, för att underlätta tolkningen, tidigare visat diagram för den sorptiva hybrida kundcentralen. I båda fallen jämförs med konventionell batterilösning. I sommarfallet är ΔT mycket bättre för den sorptiva, och kylbehovet är mindre. I vinterfallet fordrar den konventionella uppfuktning för att man skall komma upp i samma fukthalt inomhus, även om det trots allt sker viss fuktåtervinning även i det icke-sorptiva hjulet.

Figur 478 visar tre lastfall; ren kylning, ren uppvärmning samt ett fall med ren ventilation.



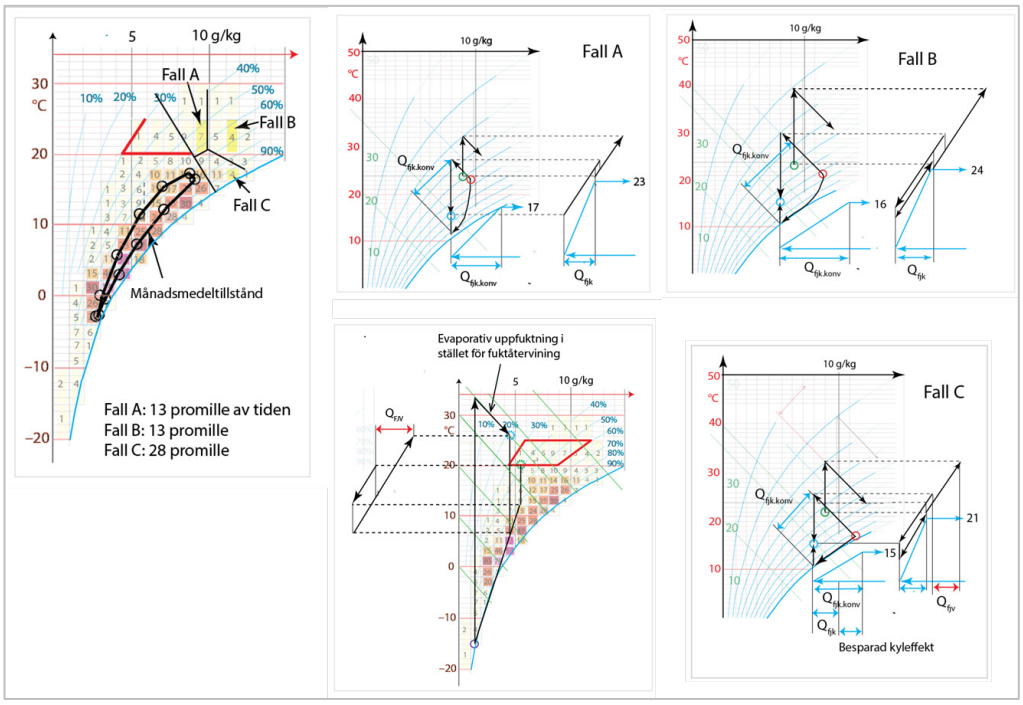
Figur 478: lastfallen, värmning, kylning samt ren ventilation.

Dessa tre ytterligare fall där den sorptiva kundcentralen fungerar som den konventionella, har nu även sammanställts. I Figur 479 har samtliga fem fall ställts ihop för att underlätta överblicken:



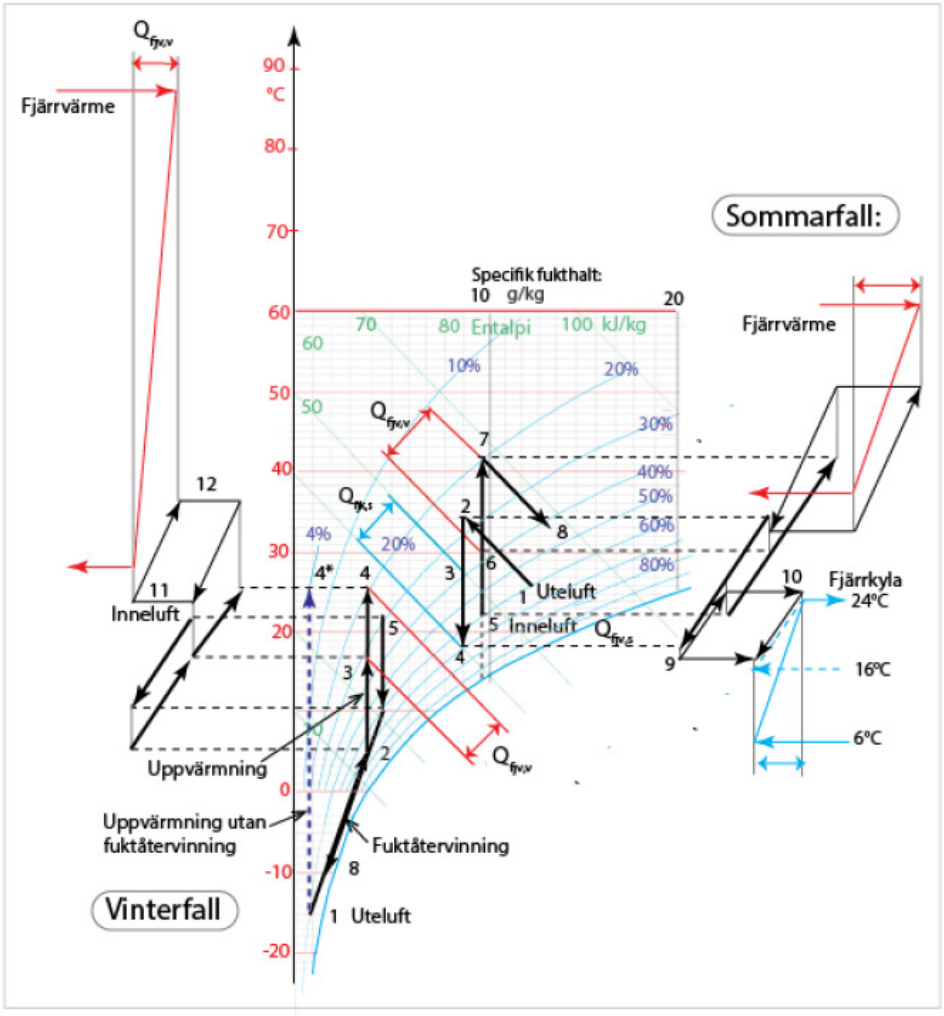
Figur 479: Redovisning av var de valda lastfallen ligger i Mollierdigrammet.

Fältet ”Kylning och avfuktning” underdelas i tre. Inom varje underfält väljs ett fall för närmare djupare analys: Se Figur 480 för fall A, B och C.



Figur 480: Summering av del av året med lastfall A, B och C.

I de två Mollierdigrammet har beräkning av tiden för lastfallen beräknat. Man kan med utgångspunkt från månadsmedelvärden av uteluftstillstånd och lastförhållanden konstatera att fjärrkylereturen uppvisar små variationer under året. Baserat på beräkningarna väljer vi för värderingsmodellen att tillämpa 22°C som fjärrkylereturtemperatur som årsmedelvärde. Lastfallen kan sättas i relation till DUT data från teknikbeskrivningen, enligt Figur 481.

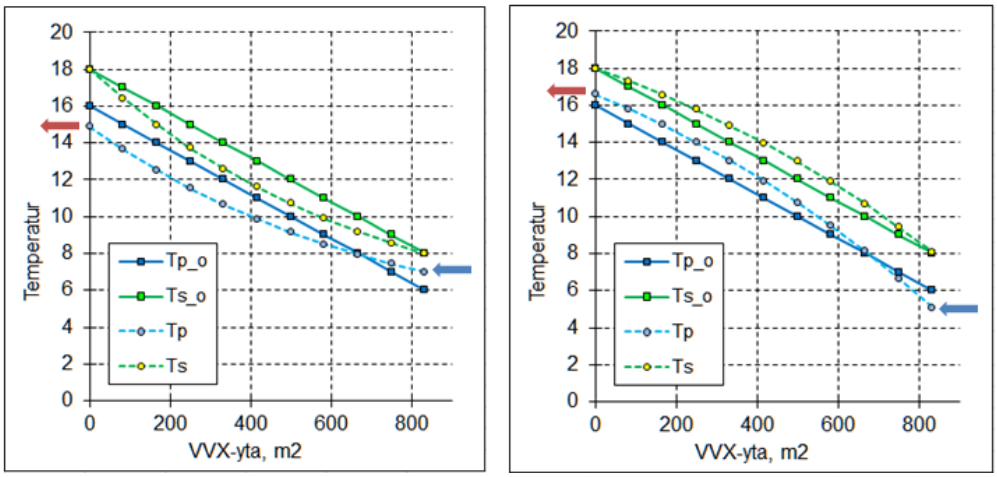


Figur 481:Redovisning av lastförhållanden med sorptiv hybrid. Ljusblåkurvor för 10 till 80 % dellast är inritade.

Den sorptiva ger väsentligt bättre ΔT för fjärrkyla, även om de visade värdena för det konventionella fallet med enbart kylbatteri inledningsvis endast har uppskatts mycket grovt. Kylbehovet reduceras väsentlig, till priset av att det måste tillföras värme. Om värmet finns billigt tillgängligt kan den ekonomiska vinsten av det mindre kylbehovet vara väsentlig.

Förutom kylenergi måste man beakta dimensioneringsfallet. Både det högre ΔT och den mindre kyleffekten möjliggör klenare anslutningar, vilket bör premieras med smart val av prismodeller för fjärrkylan.

D5 HUR PÅVERKAS FJÄRRKYLCENTRALEN AV TEMPERATURVARIATIONER PÅ PRIMÄRSIDAN?



Figur 482: Inverkan av ändrad primär framledningstemperatur på den primära returen vid konstant last på sekundärsidan.

Figur 482.Ökad framledning 6->7 °C resulterar i sänkt retur 16->14,9°C, diagram till vänster. Primärflödet ökar med 27% och pumpeffekten fördubblas. I diagram till höger sänks den primära framledningen med en grad istället. Den primära returen höjs då 16->16,4°C, flödet sjunker med 14% och pumpeffekten minskar med 36%.

Bilaga E - Patentdokument

E1 ALLMÄNT OM FJÄRRENERGIPATENT AKTIVITET

Patentdokument är en ofta bortglömd informationskälla. Det är således relativt sällsynt att de utnyttjas på det sättet, t o m i arbeten i vilka det annars gjorts en omfattande litteraturinventering, t ex i doktorsavhandlirear. Det är synd, då patentdokument ofta innehåller Synnerligen detaljerad information om tekniska lösningar, och i många fall även bra beskrivningar av det allmänna teknikläget relaterat till uppfinningen.

Patent har karaktären av ett kontrakt mellan samhället och uppfinnaren:

Ordet ”patent” kommer från latin, där det betyder ”öppet brev”. Användningen av ordet syftar på att uppfinnaren, som en av motprestationerna för att erhålla en ensamrätt, är skyldig att lämna så pass fyllig och detaljerad information, att den kan tjänstgöra som ett ”recept" som – när patentet inte längre gäller – kan användas av andra för att praktiskt nyttja uppfinningen. Det räcker alltså inte med övergripande beskrivningar, uppfinnaren måste vara precis och mycket detaljerad i sin dokumentation, han/hon måste verkligen ”avslöja sina hemligheter”.

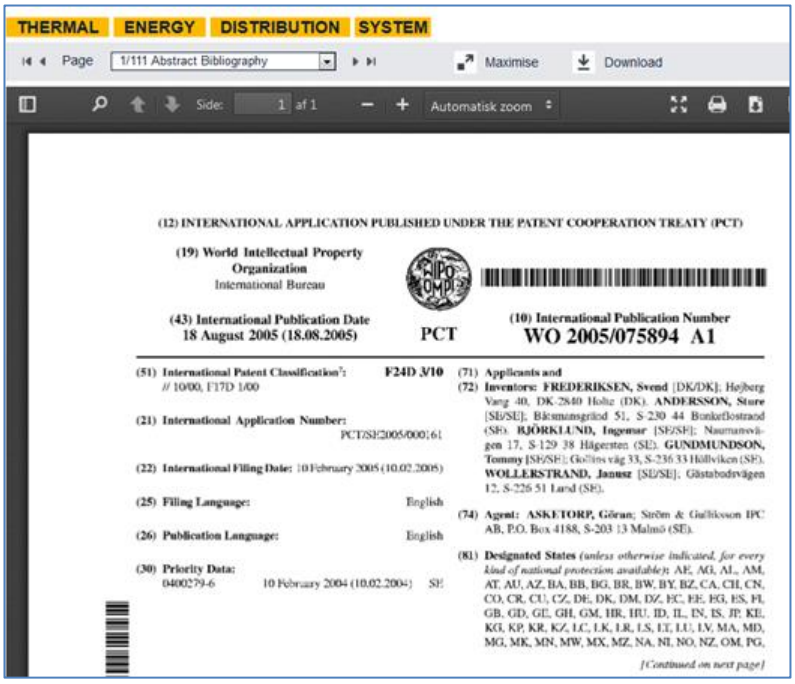
Den ensamrätt som uppfinnaren erhåller är alltså tidsbegränsad (vanligen 20år från inlämnande av patentansökan). Den är även begränsad geografiskt. För varje land/ geografisk region måste man som patentsökande/innehavare av patenträtt betala en årlig avgift till patentmyndigheten ifråga. Det finns ofta stora delar av världen där uppfinnaren av kostnadsskäl har valt att avstå från patentskydd och andra därför kan använda uppfinningen fritt. Där rättigheten gäller, täcker den alla typer av affärsmässigt utnyttjande av uppfinningen: Produktion, försäljning, import mm.

Vi har hittat ett betydande antal patentdokumentav relevans för rapportens tema. En del av dessa har redan presenterats; nedan kommer vi att redovisa ytterligare ett antal.

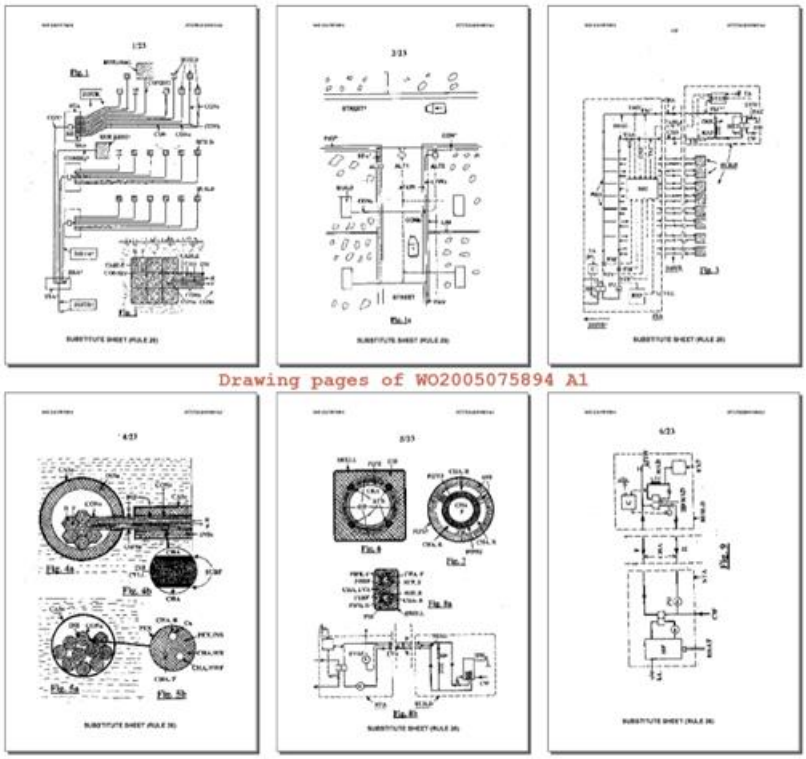
Dessutom kommer vi att ge en kvantitativ överblick av den internationella patenteringsaktiviteten, dels generellt, dels inom fjärrvärme- och fjärrkyletekniken. Det har visat sig att inte minst koreanska uppfinnare varit produktiva inom detta teknikområde.

De patentdokument som blir allmänt tillgängliga är inte bara beviljade patent utan även ansökningar 8 månader efter inlämnande av patentansökan. En konsekvens av detta är att när ansökan givits upp (det är dyrt att upprätthålla patenträttigheter) andra kan utnyttja uppfinningen och det ”recept" som finns i patentansökan. Ett exempel på detta är en egen ansökan, en skrift på 111 sidor, se Figur 483 och Figur 484.

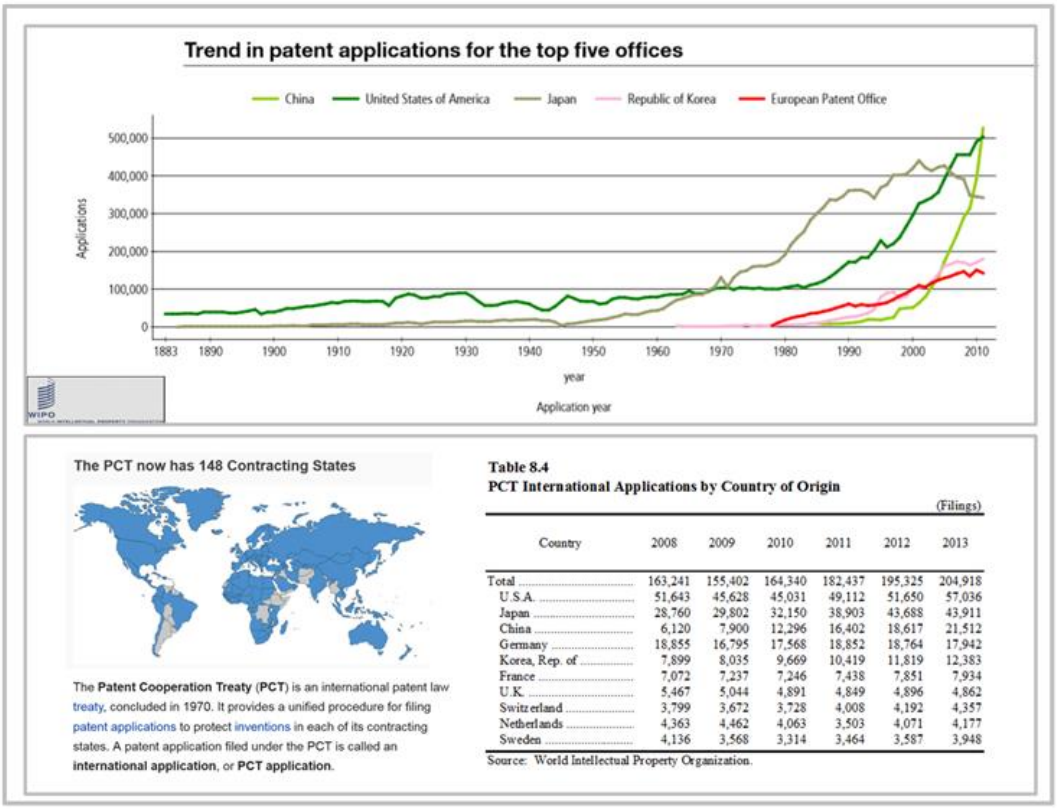
Oerfarna patensökande kan vara frestade att försöka dölja de kanske mest intressanta delarna av en uppfinning men det kan dels innebära en risk att man inte uppnår patent, dels att det kan bli svårt att försvara den eventuellt beviljade rättigheten i en domstolsprocess.



Figur 483: Patentansökan avseende Thermal Energy Distribution System kopplad till projektet Värmegles fjärrvärme.



Figur 484: Figurer från ansökan enligt Figur 483.



Figur 485: Trend över patentaktivitet i världen.

Figur 485 visar utvecklingen i det årliga antalet patentansökningar vid de fem största patentkontoren, oavsett nationalitet. Figur 485 visar att den globala patenteringen är i ständig ökning och detta gäller inte bara de nytillkomna länderna utan gäller även USA (mörk grön linje). Man kan tydligt se att Kina (ljus grön linje) har haft en dramatisk ökning, följt av Japan där det länge rått en ekonomisk depression, med en sjunkande trend (grå linje). Från år 1980 har aktiviteten ökat markant från Sydkorea, (skär linje), med fler patentansökningar än via den europeiska patentmyndigheten.

Tabellen under diagrammet som presenteras i Figur 485 visar utvecklingen i antalet ansökningar uppdelat enligt sökandens nationalitet oavsett ansökningsplats. *Patent Convention Treaty* (PCT) är en konvention som sätter samma förutsättningar och regler för patentansökningar i samtliga länder. En viktig regel är att som sökande får man ett år på sig att besluta om i vilka länder eller regioner man vill lämna in sin ansökan.

Table A.3.3.1 Number of patent applications by office and origin: top offices and origins, 2011

Origin	Office														
	CN	US	JP	KR	EP	DE	IN	RU	CA	AU	GB	FR	MX	HK	SG
Australia	621	3,767	464	167	837	16	341	70	462	2,383	109	8	123	172	188
Austria	598	1,849	288	190	1,734	836	269	195	243	212	35	17	62	54	34
Belgium	592	2,115	457	263	1,994	53	323	192	324	281	241	76	180	162	88
Canada	1,033	11,975	751	466	2,346	35	583	197	4,754	548	203	8	278	353	126
China	415,829	10,545	1,401	752	2,548	91	976	393	352	383	118	71	203	544	167
Denmark	781	1,974	418	187	1,798	24	411	149	312	287	76	8	169	124	75
Finland	964	2,551	319	334	1,571	116	451	225	273	172	52	4	62	75	40
France	3,973	10,563	3,447	1,753	9,632	230	1,669	1,033	1,793	806	127	14,655	546	312	422
Germany	11,422	27,935	6,773	3,598	26,230	46,986	4,097	2,302	2,723	1,698	372	590	1,252	931	667
India	202	4,548	170	109	473	12	8,841	56	141	169	24	2	80	50	55
Israel	532	5,436	413	212	1,053	15	330	97	308	240	96	3	88	118	83
Italy	1,245	4,282	753	358	3,982	109	700	409	498	298	29	61	241	196	99
Japan	39,231	85,184	287,580	15,234	20,568	3,001	5,048	1,931	1,794	1,691	616	128	759	1,729	1269
Netherlands	2,999	4,418	2,374	1,045	5,610	65	1,513	989	666	606	203	20	445	188	173
Republic of Korea	8,129	27,289	5,007	138,034	4,889	999	737	318	338	339	143	39	183	86	105
Russian Federation	120	719	38	31	168	39	55	26,495	47	16	4	18	13	23	8
Sweden	1,730	4,140	1,342	573	3,610	232	854	340	472	441	77	21	206	243	149
Switzerland	2,665	4,086	2,139	1,073	6,405	853	1,652	803	1,326	1,111	242	213	820	732	516
United Kingdom	1,876	11,279	1,739	737	4,764	111	1,142	404	1,286	1,214	15,343	69	403	450	388
United States of America	28,457	247,750	23,414	12,139	34,987	4,499	10,575	3,707	15,342	11,002	2,525	417	6,182	5,901	3594
Other / Unknown	3413	31177	3323	1669	7594	1122	1724	1109	1657	1629	1624	326	1760	1050	1548
Total	526,412	503,582	342,610	178,924	142,793	59,444	42,291	41,414	35,111	25,526	22,259	16,754	14,055	13,493	9,794

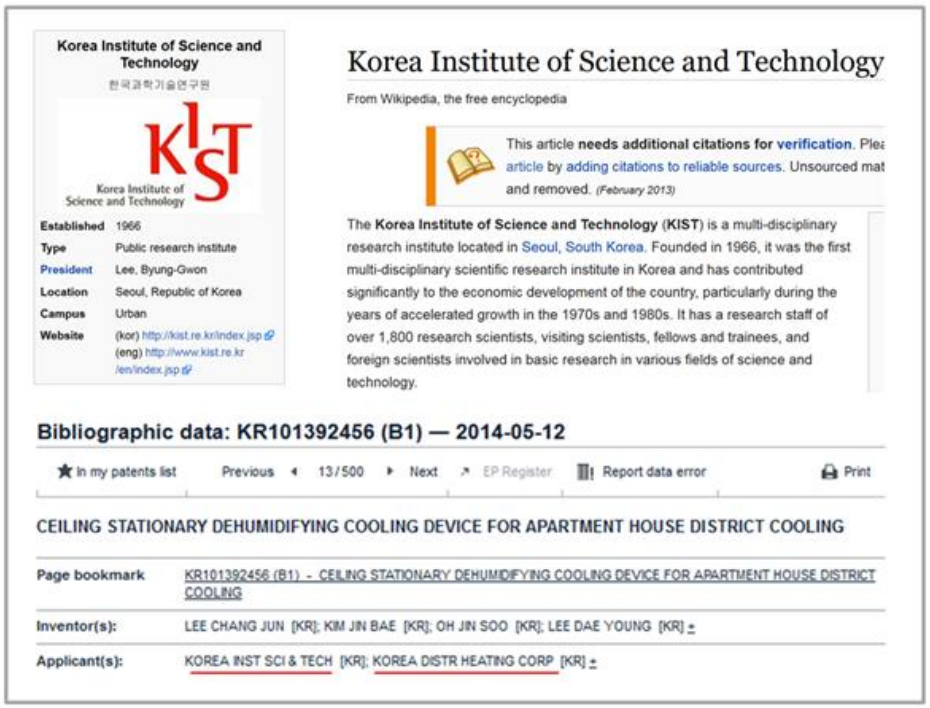
Note: CN (China), US (United States of America), JP (Japan), KR (Republic of Korea), EP (European Patent Office), DE (Germany), IN (India), RU (Russian Federation), CA (Canada), AU (Australia), GB (United Kingdom), FR (France), MX (Mexico), HK (China, Hong Kong (SAR)) and SG (Singapore)

Source: WIPO Statistics Database, October 2012

Figur 486: Antal patentansökningar uppdelade på ursprungsländer och patentmyndigheter. Röda linjer indikerar de patentkontor vi undersökt i vårt arbete.

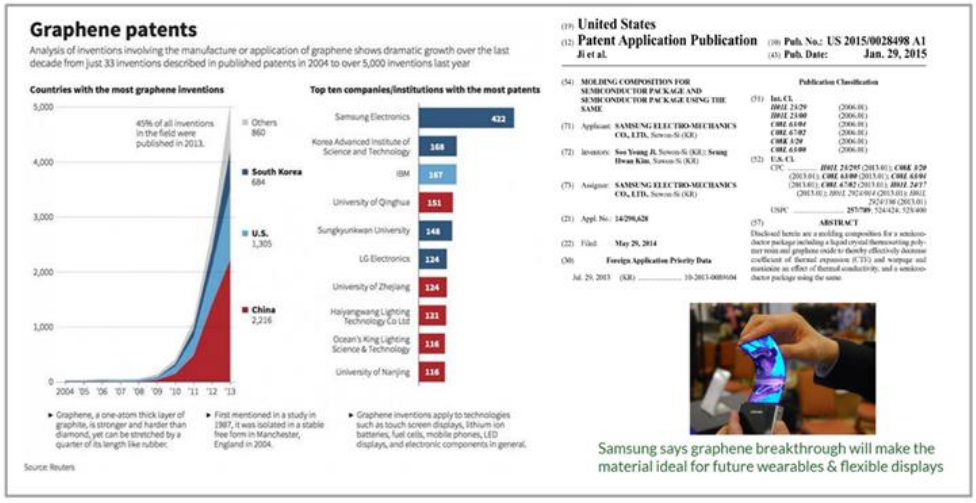
Figur 486 visar det globala antalet patentansökningar 2011 uppdelade på ursprungsland och patentmyndighet. Man ser tydligt att de kinesiska patentsökande håller sig till hemlandet samt att japaner är flitiga på att lämna in ansökningar; däremot är den reella patenteringsomfånget i Japan minder än det intryck tabellen förmedlar då det handlar om småansökningar samt att japaner är den nationalitet som söker flest patent i USA.

I den starka japanska teknikutvecklingen under flera decennier efter Andra Världskriget spelade MITI (Ministry of International Trade and Industry) en mycket aktiv nyckelroll. En liknande funktion, fast förmodligen mer på marknadsmässiga villkor, har institutet KIST i Korea. I den undre delen av Figur 487 finns ett exempel med data för en av de ur vårt projekts synvinkel intressanta koreanska patentansökningarna. Man ser att just KIST, jämte den koreanska fjärrvärmeföreningen, står som sökande.

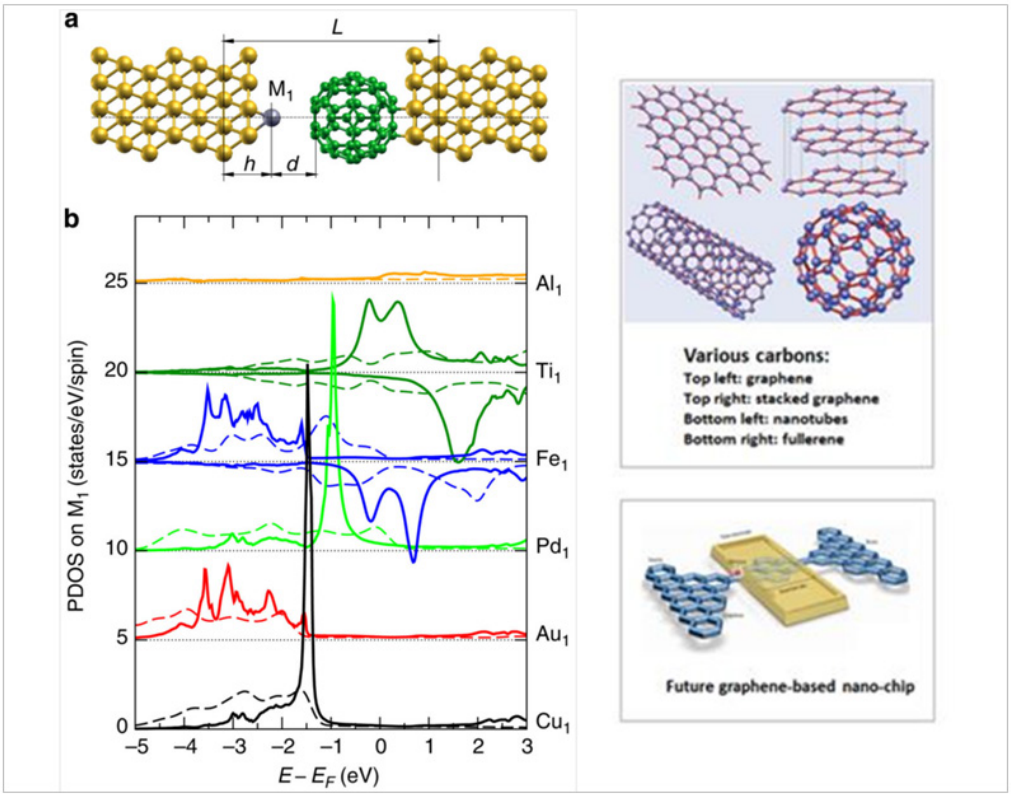


Figur 487: Det sydkoreanska statliga utvecklingsbolaget Korea Institute of Science and Technology med ett exempel på inlämnad patentansökan (avseende takplacerad avfuktning) med bl.a. detta som sökande.

Sydkorea är känt för sin hårda satsning på utveckling och patentering inom olika teknikområden, speciellt inom typen av nanoteknik som bygger på grafener; tvådimensionella, artificiella kolmolekyler, se Figur 488. Samsung har på basen av denna teknologi tagit fram produkter med speciella typer av display.



Figur 488: Mest aktiva företag med patentansökningar från Sydkorea. Källa: Reuters och Espacenet.



Figur 489: Patentansökan avseende grafenteknik. Källa: (256) och Google Images.

Grafener utgör en av fyra huvudtyper av syntetiska grafitmolekyler, se Figur 489. Bilden ovanför diagrammet i figuren visar en fulleron mellan två elektroder vars avstånd varierar. Med hjälp av bl.a. skanning-tunnel-mikroskopi kan man laborera med rent mekaniska förflyttningar av enskilda atomer, varvid det är så pass små dimensioner att det måste beräknas med kvantmekanik. När avståndet varierar, varierar även olika elektriska egenskaper, bl.a. motståndet mellan elektroderna, på ett mycket olinjärt sätt som påminner om halvledares egenskaper. Såsom bilden längst nere till höger illustrerar, är det en förhoppning att sådana egenskaper kommer att utnyttjas för att skapa nanochips som kan göra det möjligt att fortsätta på den snabba vägen som Moore's lag predikterar, dvs. fördubbling av kapaciteten vart andra år.

När det gäller t.ex. Samsungs patentering av grafenteknik är det i hög grad frågan om internationell patentering. Särskilt USA brukar vara förstahandsvalet även för mindre sökande, främst på grund av den stora marknaden som innebär en potentiellt gynnsam kvot mellan utdelning och insatser. Ett annat är en rättstradition för bra de facto skydd i vilket avseende USA är långt bättre än t.ex. Kina där man kan förmoda att domare t.o.m. kan mutas.

USA framstår som mer trovärdig i detta avseende än Europa, där skadeståndena vid patentkränkningar brukar vara mindre än i USA. Man ser oftare att storföretag struntar i patentskydd som innehas av mindre sökande. Om man i USA medvetet kränker ett patent kan konsekvenserna bli stora, Microsoft är ett exempel på ett

företag som har förlorat flera mål och har fått betala mer än en miljard USD i skadestånd.

Man såg i anslutning till tabellen i Figur 486 att t.ex. de flesta kinesiska patentsökande begränsar sig till hemlandet. Man har konstaterat att samma sak gäller koreansk fjärrvärmepatentering, åtminstone så här långt i utvecklingen. Detta innebär att det är fritt fram för alla andra att utnyttja patenten utanför Kina respektive Korea, man sitter t o m med en publikation som ger – ofta ingående – information om hur man ska förfara.

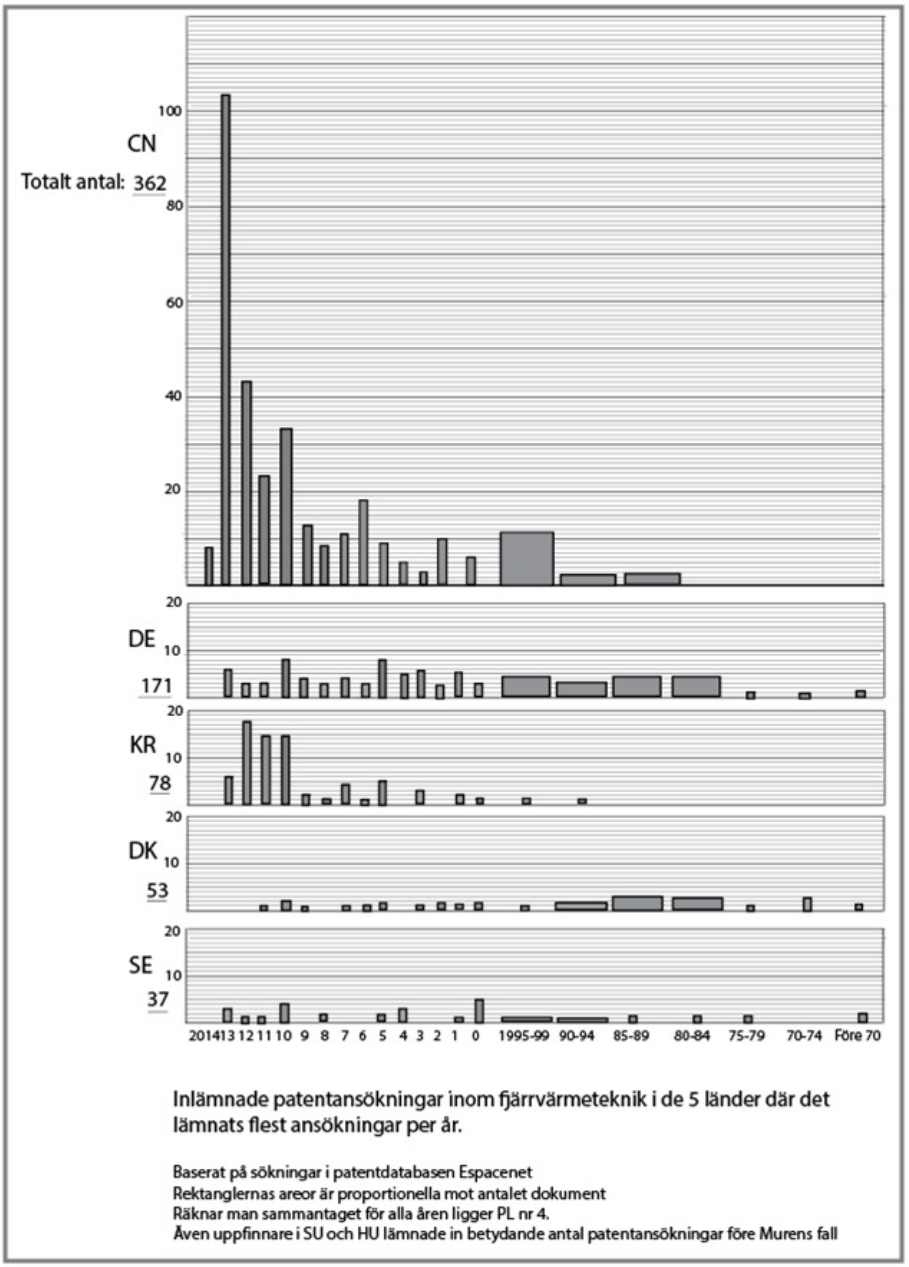
Varför accepterar så många sökande detta? Det gäller inte enbart sökande i nytillkomna patentländer; det är t.ex. inte ovanligt att tyska företag nöjer sig med att söka i Tyskland.

Ett svar är att man som uppfinnare i värsta fall kan råka ut för att andra genom patentering kan förhindra att man kan utnyttja sin egen uppfinning, vilket är dock ovanligt. En annat och mer vanligt skäl är att man kan förhindra att andra kan ta ut patent på uppfinningen, s k patentprofylax.

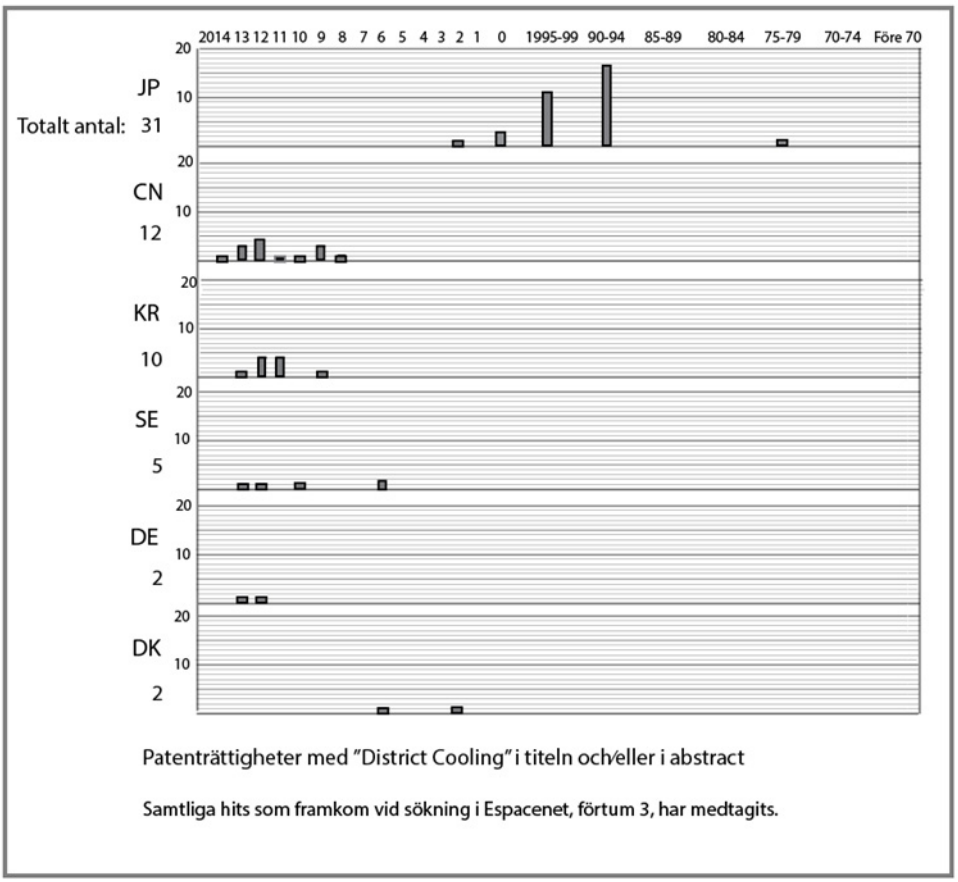
Det mest vanliga skälet borde dock vara en ”leben-und-leben-lassen” attityd. Man vill begränsa patenteringskostnaderna och koncentrerar sig på hemmamarknaden, särskilt när det gäller Kina där hemmamarknaden är stor. Den koreanska hemmamarknaden är avsevärt mindre vilket ger koreanska företag större incitament att se till att man patenterar även utanför hemlandet.

Det finns delade uppfattningar angående nyttan med patent, det som talar emot en uppfinnare att patentera en uppfinning brukar framförallt vara kostnaderna. När det gäller vår ovannämnda ansökan stoppades förloppet i ett tidigt skede då kostnaderna hade kommit upp i 200.000 kr. Vi gjorde bedömningen att då det var frågan om en uppfinning som avsåg ett system och inte en komponent, skulle det dröja ett flertal år innan uppfinningen kunde förverkligas. Tekniken hade tagits fram i ett projekt inom Svensk Fjärrvärmes forskningsprogram ”Värmegles fjärrvärme” (257).

Ur samhällets synvinkel är patent en förträfflig inrättning. Ett av de mest uppenbara områden är läkemedelspatenteringen. Det tar många år att utveckla och få ett nytt läkemedel godkänt och det blir ofta misslyckande trots stora insatser. Vem vill då investera åtskilliga hundra miljoner kronor i en utveckling som leder till en produkt som kan marknadsföras och utnyttjas fritt av alla?



Figur 490: Patenträttigheter med sökkriteriet ”District Heating” i olika regioner.



Figur 491: Patenträttigheter med sökkriteriet "District Cooling" i olika regioner.

Vi har genomfört en sökning på "district heating" och "district cooling" i den europeiska world-wide patentdatabasen och Figur 490 och Figur 491 visar de länder där det tagits ut mest patent inom området och utvecklingen under årens lopp.

Det måste understrykas att bilden säkert behöver justeras av en rad skäl. De enskilda patenten måste gås igenom för att åtminstone sålla bort sådant som inte alls eller endast perifert kan sägas ha med fjärrvärme att göra. Sannolikt måste man göra statistiken på grundval av flera alternativa kriterier. Ledningsteknologin är mycket mera (dock inte helt) specifik för fjärrvärme än vad t.ex. kundcentral teknik är. Hur ska man dra gränserna?

Ett annat problem är att bortfallet på kring 200 fjärrvärmepatent kan snedvrida bilden, om dem inte som antagits domineras av gamla patent. Detta kan åtminstone till viss del kontrolleras med sökningar för "district heating" + GB, "district heating" + DE etc.

Man får 100 sökresultat med "district heating" + EP (Europeiskt patent), varav Tyskland 42, Danmark 15 och Sverige 12, och resterande länder inte mer än 5. Redan detta visar Tysklands starka ställning inom Europa gentemot Danmark och Sverige. Man måste även räkna med att ganska många tyska sökanden nöjer sig

med sitt hemland, vilket är mindre vanligt i Danmark och Sverige. Samtidigt bevisar detta att Danmark och Sverige delar andra och tredje plats inom Europa, däremot Finland knappast kommer upp i samman nivå.

Stickprov med andra termer än ”district heating”, t.ex. ”urban heating” tyder på att man särskilt för Kinas del kan vänta sig att siffrorna kommer att ligga högre om man tar hänsyn till terminologin, men återigen måste man gå igenom dokumenten i tur och ordning.

Kina och framförallt Korea har trappat upp kraftigt de senaste åren. Om man söker på ”district heating” + KR ser man, att 61% har tillkommit så pass sent som 2010 eller senare motsvarande för Kina 34% och för EU 25%.).

Den utveckling på senare tid som faller mest i ögonen är den våldsamma satsningen i Korea. Det märks att Korea har valt ut fjärrvärme och fjärrkyla som ett speciellt insatsområde, likt det som är fallet med grafener, fast i mycket mindre skala.

Noterbart är att det är påfallande få patent att finna med sökord ”district heating” eller ”district cooling” från USA. Eller kanske inte så märkligt. Det kanske är så att det speglar det historiskt relativt svaga intresset för fjärrvärme och fjärrkyla i USA. Gör man en sökning på ”Air conditioning” eller ”AC” finner man en enorm patentaktivitet.

E2 GRANSKNING AV RELEVANTA PATENTDOKUMENT

Syftet med detta avsnitt är att redovisa (summariskt) ett antal relevanta uppfinningar, hur man kan utnyttja patentdokument för att få information samt att få en viss överblick av patenteringsaktiviteten inom aktuellt teknikområde.

Inom projektet söktes informationen mycket brett mha olika typer av källor: Svenska forskningrapporter, internationella tidskriftsartiklar, doktorsavhandlingar, standardhandböcker, firmabroschyrer, hemsidor och patentdokument mm. Sökningen gjordes på svenska, engelsk- och tyskspråkiga referenser.

Som nämnts förut är patentdokument en relativt outnyttjad informationskälla, även inom forskningsprojekt som tar fram nya tekniker då man uppenbart bör bekanta sig med existerande uppfinningar. Med lite vana är det lätt att söka i databaser, men för den ovana verkar patentdokument ofta krångliga. Man hittar emellertid mycket precis information om produkter, information som annars inte är tillgänglig. För att få ett bra patent måste uppfinnaren nämligen i regel verkligen ”avslöja” vad det rör sig om i detalj och precist.

Vi använde oss i första hand av den världstäckande databasen www.espacenet.com som adminstreras av den europeiska patentmyndigheten *European Patent Office* (EPO), och i andra hand den amerikanska myndigheten *United States Patent and Trademark Office* (USPTO) som avser enbart amerikanska dokument.

Vi valde att främst (dock inte helt) söka på uppfinningar som avser sorptiv teknik.

Informationen i detta avsnitt är indelad i fem ämnen:

1. Exempel på sökförfarande.

Hitta patentdokument för en viktig produkt (Pinnacle) inom marknaden, sökvertyget demonstreras.

2. Kinesiskt patentdokument.

Exempel på dokument där det finns maskinell översättning.

3. Sökning: Desiccant kombinerad med fjärrvärme eller solvärme.

Det visar sig att det finns ett betydande antal uppfinningar med solvärme och desiccant, man hittar endast en med fjärrvärme. Det finns ett koreanskt dokument som explicit avser fjärrvärme, och som ser mycket relevant ut. Det finns en sammanfattning på engelska, men resten är tyvärr endast på koreanska, det går inte att översätta maskinellt just i det här fallet.

4. En mycket originell uppfinning som många utnyttjat.

Är intressant, men något udda i förhållande till fjärrvärme/fjärrkyla.

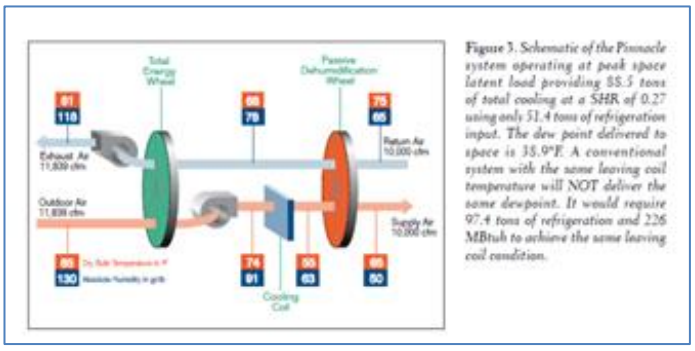
5. Patentdokument från sju av huvudaktörerna, ett från var och en.

Alla är potentiellt användbara för fjärrvärme/fjärrkyla, även om det inte refereras till denna möjlighet. Det är endast ett urval, vi har hittat många fler som innehåller relevant information.

Ytterligare information om relevanta patent rörande laststyrning och effektbegränsning mm lämnas på slutet av avsnittet.

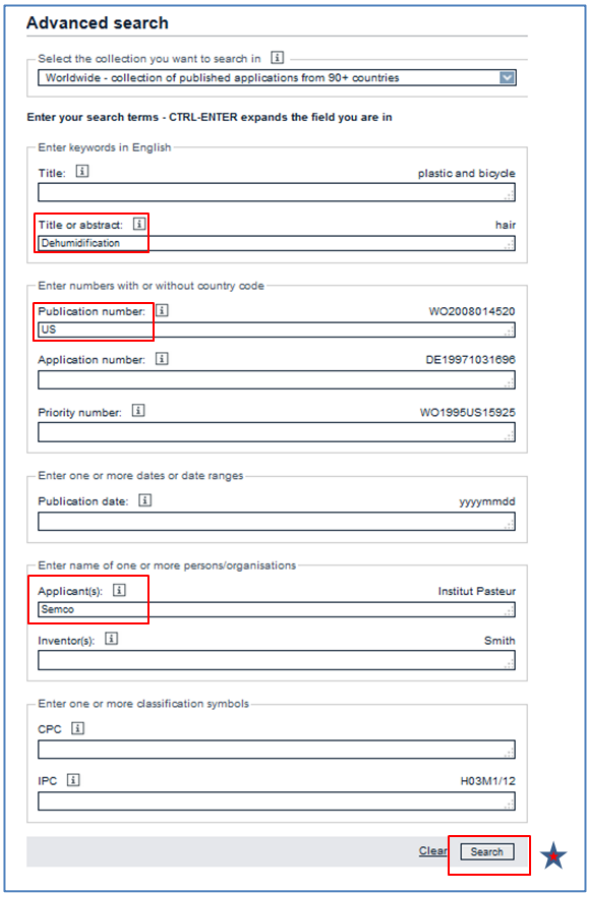
E2.1 Exempel på sökförfarande

Steg 1. Man är intresserad av information om Semcos system Pinnacle Figur 492 med avfuktning baserad på (sorptivt) entalpihjul som desiccant:

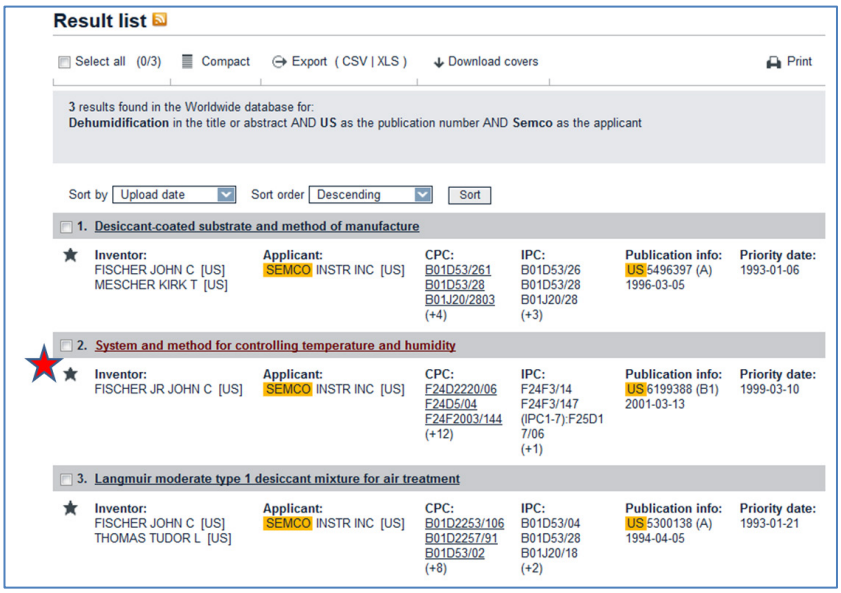


Figur 492: Semcos system ”Pinnacle” för avfukning med rotor. Figuren utgör ett utdrag från tidigare visad Figur 21.

Man söker på ordet ”dehumidification”, amerikanskt dokument: ”US” och applicant ”Semco”, se sökmotorns inställning, Figur 493:

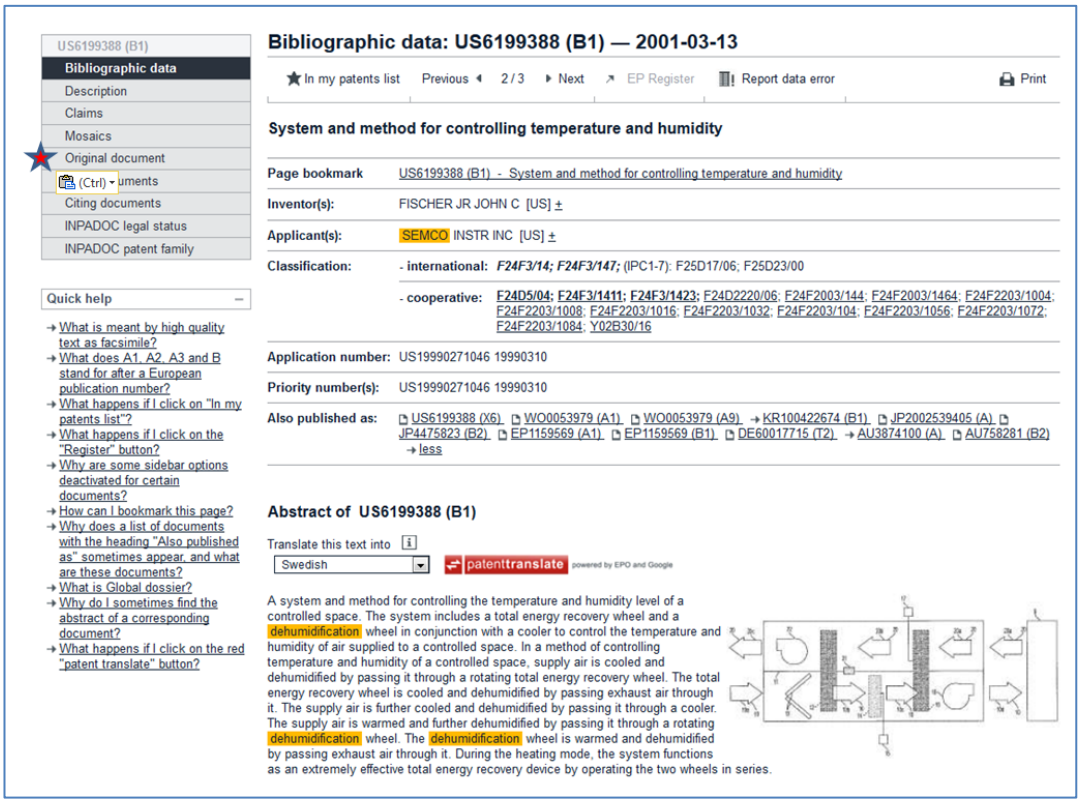


Figur 493: Sökning i patentdatabas.



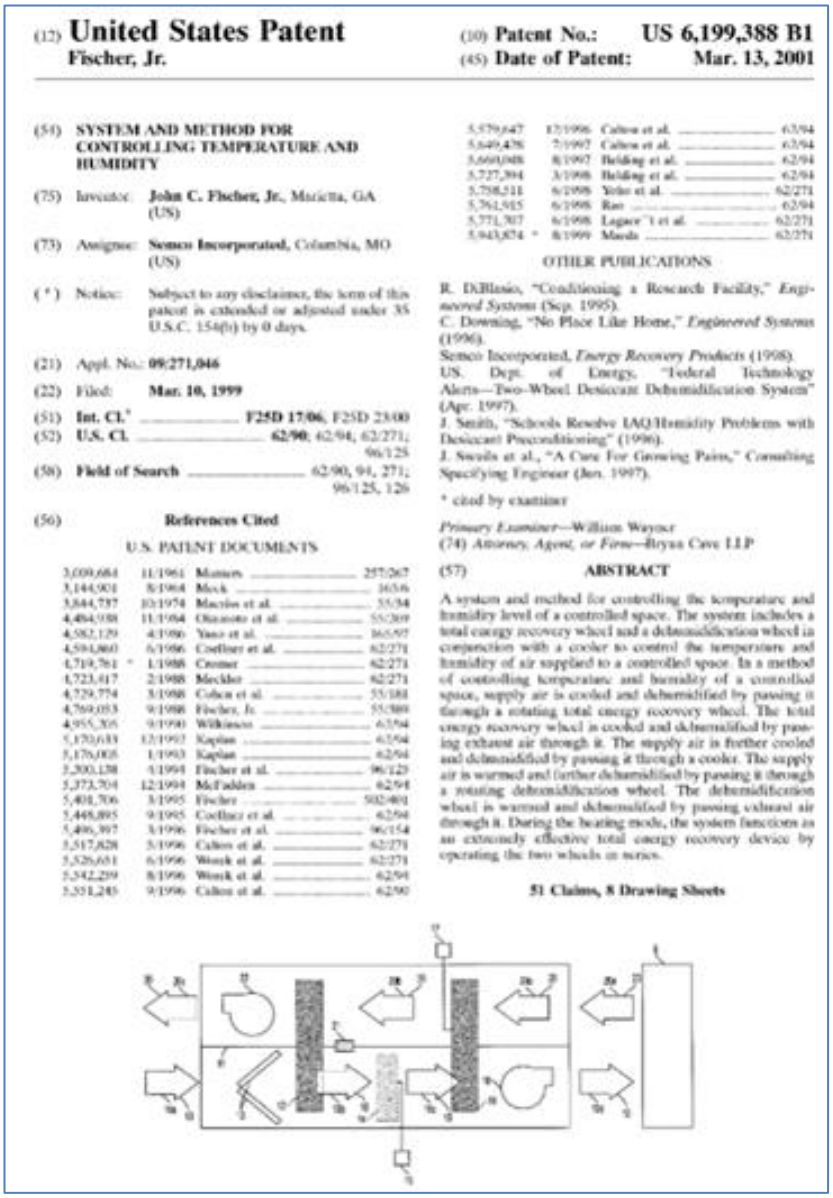
Figur 494: Val av Semco träffen för mer information. Där träff nr 2 har mest intressanta titeln.

Steg 2: Man granskar alla tre dokumenten och märker att andra dokumentet är relevant



Figur 495: Sammanfattande information av titel nr 2.

Steg 3: Patent har sökts i USA, Korea, Japan, Europa, Tyskland och Australien. Man granskar ”Original document” (USA)



(12) **United States Patent**
Fischer, Jr.

(10) **Patent No.: US 6,199,388 B1**
(45) **Date of Patent: Mar. 13, 2001**

(54) **SYSTEM AND METHOD FOR CONTROLLING TEMPERATURE AND HUMIDITY**

(75) Inventor: **John C. Fischer, Jr.**, Marietta, GA (US)

(73) Assignee: **Semco Incorporated**, Columbia, MO (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/271,046**

(22) Filed: **Mar. 10, 1999**

(51) **Int. Cl.**[7] **F25D 17/06**; F25D 23/00

(52) **U.S. Cl.** **62/90**; 62/94; 62/271; 96/125

(58) **Field of Search** 62/90, 94, 271; 96/125, 126

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

3,009,684	11/1961	Munters	257/267
3,144,901	8/1964	Mock	165/6
3,844,737	10/1974	Macriss et al.	55/34
4,494,938	11/1984	Okamoto et al.	55/269
4,582,129	4/1986	Yano et al.	165/97
4,594,860	6/1986	Coellner et al.	62/271
4,719,761 *	1/1988	Cromer	62/271
4,723,417	2/1988	Meckler	62/271
4,729,774	3/1988	Cohen et al.	55/181
4,769,053	9/1988	Fischer, Jr.	55/389
4,955,205	9/1990	Wilkinson	62/94
5,170,633	12/1992	Kaplan	62/94
5,176,005	1/1993	Kaplan	62/94
5,300,138	4/1994	Fischer et al.	96/125
5,373,704	12/1994	McFadden	62/94
5,401,706	3/1995	Fischer	502/401
5,448,895	9/1995	Coellner et al.	62/94
5,486,397	3/1996	Fischer et al.	96/154
5,517,828	5/1996	Cohen et al.	62/271
5,526,651	6/1996	Wenk et al.	62/271
5,542,259	8/1996	Wenk et al.	62/94
5,551,245	9/1996	Cohen et al.	62/90
5,579,647	12/1996	Cohen et al.	62/94
5,649,428	7/1997	Cohen et al.	62/94
5,660,048	8/1997	Belding et al.	62/94
5,727,394	3/1998	Belding et al.	62/94
5,758,511	6/1998	Yetka et al.	62/271
5,761,915	6/1998	Rao	62/94
5,771,707	6/1998	Lagace' I et al.	62/271
5,943,874 *	8/1999	Meeks	62/271

OTHER PUBLICATIONS

R. DiBlasio, "Conditioning a Research Facility," *Engineered Systems* (Sep. 1995).
C. Downing, "No Place Like Home," *Engineered Systems* (1996).
Semco Incorporated, *Energy Recovery Products* (1998).
US. Dept. of Energy, "Federal Technology Alerts—Two-Wheel Desiccant Dehumidification System" (Apr. 1997).
J. Smith, "Schools Resolve IAQ/Humidity Problems with Desiccant Preconditioning" (1996).
J. Swedis et al., "A Cure For Growing Pains," *Consulting Specifying Engineer* (Jan. 1997).

* cited by examiner

Primary Examiner—William Wayner
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Bryan Cave LLP

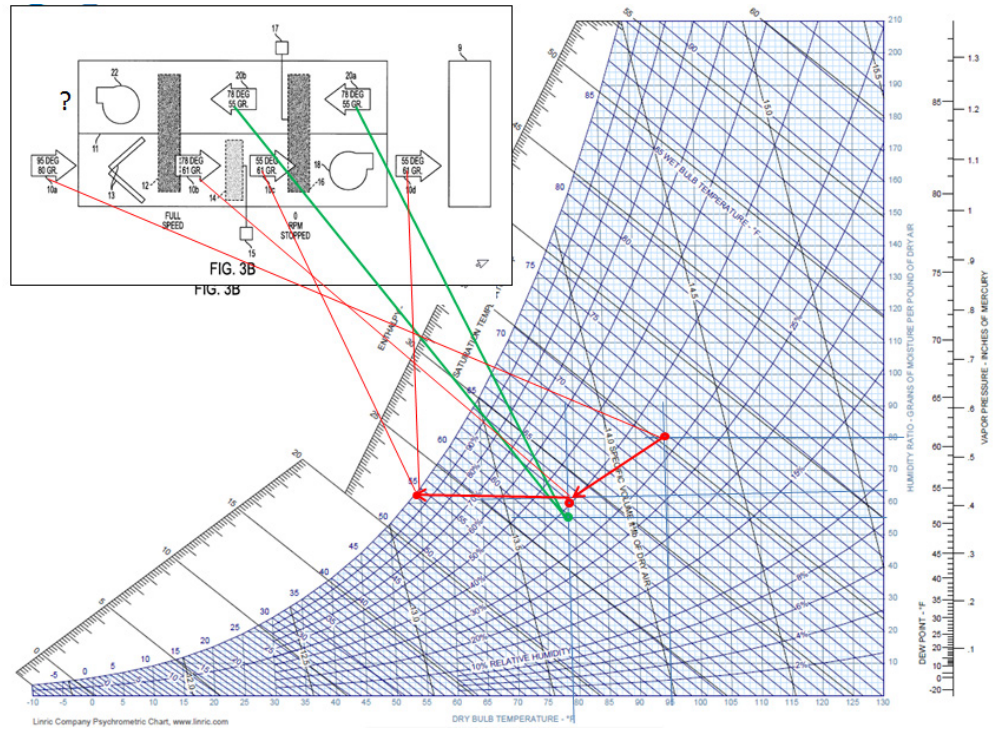
(57) **ABSTRACT**

A system and method for controlling the temperature and humidity level of a controlled space. The system includes a total energy recovery wheel and a dehumidification wheel in conjunction with a cooler to control the temperature and humidity of air supplied to a controlled space. In a method of controlling temperature and humidity of a controlled space, supply air is cooled and dehumidified by passing it through a rotating total energy recovery wheel. The total energy recovery wheel is cooled and dehumidified by passing exhaust air through it. The supply air is further cooled and dehumidified by passing it through a cooler. The supply air is warmed and further dehumidified by passing it through a rotating dehumidification wheel. The dehumidification wheel is warmed and dehumidified by passing exhaust air through it. During the heating mode, the system functions as an extremely effective total energy recovery device by operating the two wheels in series.

51 Claims, 8 Drawing Sheets

Figur 496: Patentdokumentet från Semco.

Steg 4. I detta hittar man en rad driftfall som analyseras med hjälp av det psykrometriska diagrammet, t.ex.

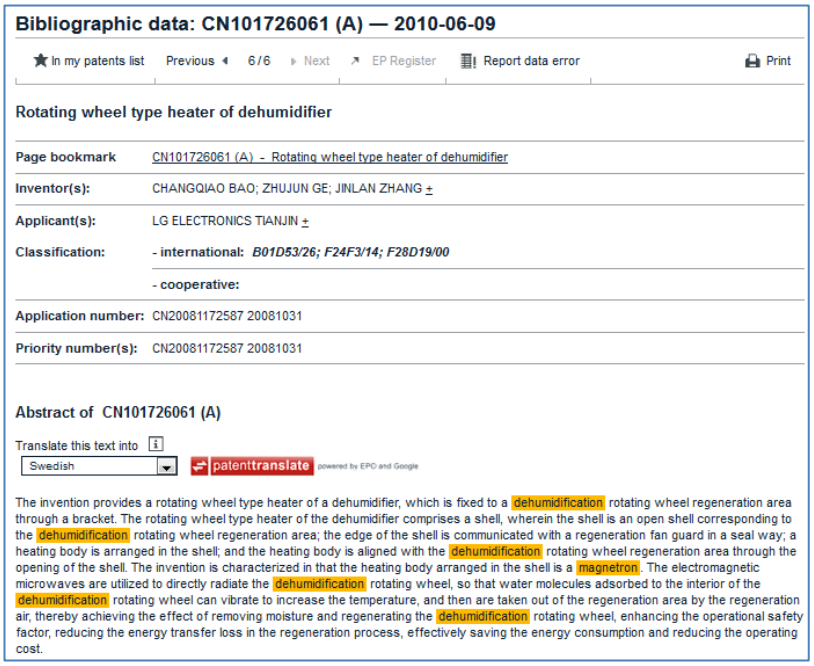


Figur 497: Figur med driftfall från Semco patentdokumentet.

E2.2 Kinesiskt patentdokument

Ett exempel med dokument som avser sorptiv avfuktning där värmekällan är en megatron, samma teknik som används i mikrovågsugnar. Det är något udda och inte inriktat på fjärrvärme / kyla, dock inte helt irrelevant. Vi har en avsikt att försöka hitta kinesiska dokument som direkt relaterar sig till vårt specifika ämne. Kina är det land där det f.n. installeras mest fjärrvärme.

Det finns möjlighet att göra en maskinell översättning av hela dokumentet till en rad språk, bl.a. svenska.



Bibliographic data: CN101726061 (A) — 2010-06-09

In my patents list | Previous 6/6 | Next | EP Register | Report data error | Print

Rotating wheel type heater of dehumidifier

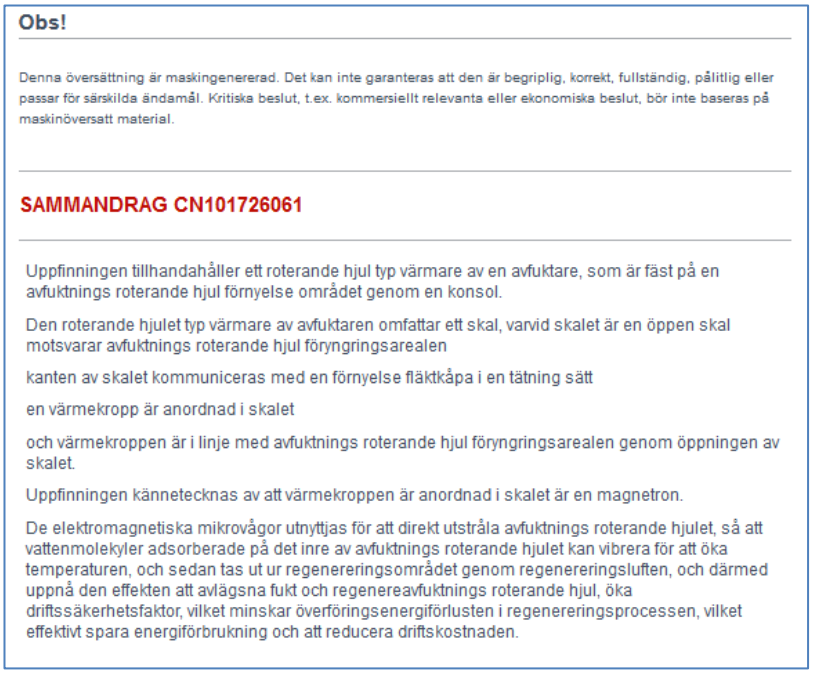
Page bookmark	CN101726061 (A) - Rotating wheel type heater of dehumidifier
Inventor(s):	CHANGQIAO BAO; ZHUJUN GE; JINLAN ZHANG +
Applicant(s):	LG ELECTRONICS TIANJIN +
Classification:	- international: *B01D53/26; F24F3/14; F28D19/00*
	- cooperative:
Application number:	CN20081172587 20081031
Priority number(s):	CN20081172587 20081031

Abstract of CN101726061 (A)

Translate this text into Swedish — patenttranslate powered by EPO and Google

The invention provides a rotating wheel type heater of a dehumidifier, which is fixed to a dehumidification rotating wheel regeneration area through a bracket. The rotating wheel type heater of the dehumidifier comprises a shell, wherein the shell is an open shell corresponding to the dehumidification rotating wheel regeneration area; the edge of the shell is communicated with a regeneration fan guard in a seal way; a heating body is arranged in the shell; and the heating body is aligned with the dehumidification rotating wheel regeneration area through the opening of the shell. The invention is characterized in that the heating body arranged in the shell is a magnetron. The electromagnetic microwaves are utilized to directly radiate the dehumidification rotating wheel, so that water molecules adsorbed to the interior of the dehumidification rotating wheel can vibrate to increase the temperature, and then are taken out of the regeneration area by the regeneration air, thereby achieving the effect of removing moisture and regenerating the dehumidification rotating wheel, enhancing the operational safety factor, reducing the energy transfer loss in the regeneration process, effectively saving the energy consumption and reducing the operating cost.

Figur 498: Patentdokument från Kina avseende rotor för avfuktning.



Obs!

Denna översättning är maskingenererad. Det kan inte garanteras att den är begriplig, korrekt, fullständig, pålitlig eller passar för särskilda ändamål. Kritiska beslut, t.ex. kommersiellt relevanta eller ekonomiska beslut, bör inte baseras på maskinöversatt material.

SAMMANDRAG CN101726061

Uppfinningen tillhandahåller ett roterande hjul typ värmare av en avfuktare, som är fäst på en avfuktnings roterande hjul förnyelse området genom en konsol.

Den roterande hjulet typ värmare av avfuktaren omfattar ett skal, varvid skalet är en öppen skal motsvarar avfuktnings roterande hjul föryngringsarealen

kanten av skalet kommuniceras med en förnyelse fläktkåpa i en tätning sätt

en värmekropp är anordnad i skalet

och värmekroppen är i linje med avfuktnings roterande hjul föryngringsarealen genom öppningen av skalet.

Uppfinningen kännetecknas av att värmekroppen är anordnad i skalet är en magnetron.

De elektromagnetiska mikrovågor utnyttjas för att direkt utstråla avfuktnings roterande hjulet, så att vattenmolekyler adsorberade på det inre av avfuktnings roterande hjulet kan vibrera för att öka temperaturen, och sedan tas ut ur regenereringsområdet genom regenereringsluften, och därmed uppnå den effekten att avlägsna fukt och regenereavfuktnings roterande hjul, öka driftssäkerhetsfaktor, vilket minskar överföringsenergiförlusten i regenereringsprocessen, vilket effektivt spara energiförbrukning och att reducera driftskostnaden.

Figur 499: Översatt beskrivning av patentdokument från Kina, från föregående Figur 498.



(19) 中华人民共和国国家知识产权局

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 101726061 A
(43) 申请公布日 2010.06.09

(21) 申请号 200810172587.9

(22) 申请日 2008.10.31

(71) 申请人 乐金电子（天津）电器有限公司
地址 300402 天津市北辰区兴淀公路 9 号

(72) 发明人 葛佳军 鲍长桥 张金兰

(74) 专利代理机构 天津三元专利商标代理有限责任公司 12203
代理人 胡婉明

(51) Int.Cl.
F24F 3/14 (2006.01)
F28D 19/00 (2006.01)
B01D 53/26 (2006.01)

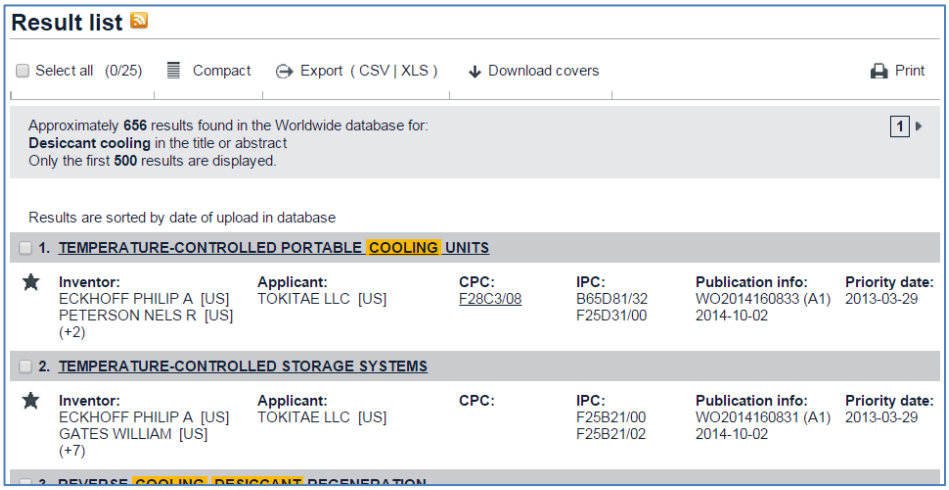
图 1

图 2

Figur 500: Originalt utseende av patentansökan från Kina.

E2.3 Sökning: Desiccant kombinerad med fjärrvärme eller solvärme

Exempel på patentansökningar med koppling roterande hjul och fjärrvärme eller solvärme. Figur 501, Figur 502 och Figur 503.



Result list

Select all (0/25) | Compact | Export (CSV | XLS) | Download covers | Print

Approximately **656** results found in the Worldwide database for:
Desiccant cooling in the title or abstract
Only the first **500** results are displayed.

Results are sorted by date of upload in database

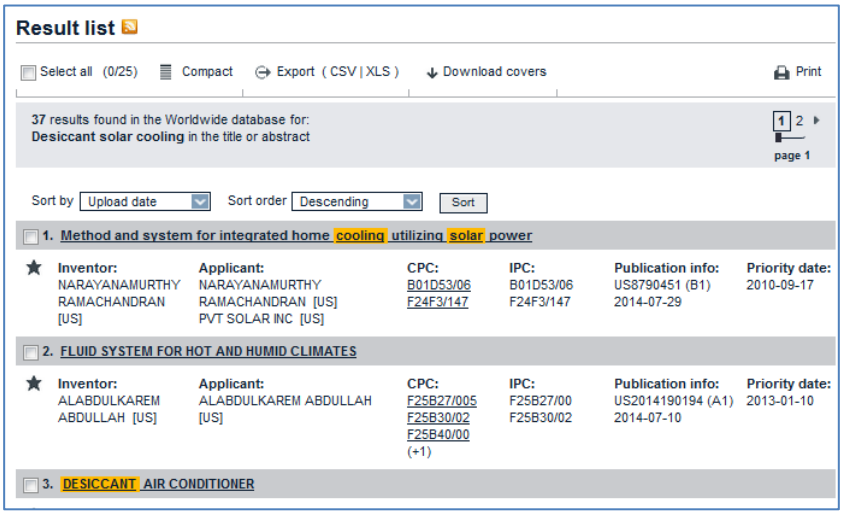
1. TEMPERATURE-CONTROLLED PORTABLE COOLING UNITS

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
ECKHOFF PHILIP A [US] PETERSON NELS R [US] (+2)	TOKITAE LLC [US]	F28C3/08	B65D81/32 F25D31/00	WO2014160833 (A1) 2014-10-02	2013-03-29

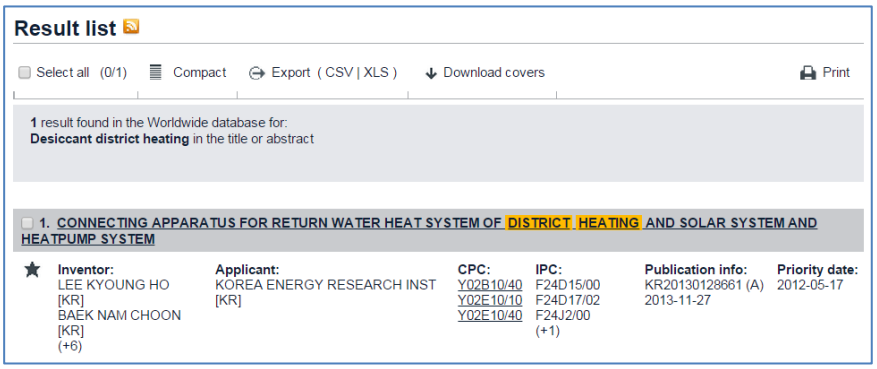
2. TEMPERATURE-CONTROLLED STORAGE SYSTEMS

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
ECKHOFF PHILIP A [US] GATES WILLIAM [US] (+7)	TOKITAE LLC [US]		F25B21/00 F25B21/02	WO2014160831 (A1) 2014-10-02	2013-03-29

Figur 501: Patentansökan rörande “Desiccant cooling”.



Figur 502: En till patentansökan rörande "desiccant cooling".



Figur 503: Patentansökan från Korea avseende desiccant cooling och fjärrvärme.

Sökningar på det överordnade "Desiccant cooling" gav ca. 656 sökresultat. Det mera specifika "Desiccant solar solar cooling" gav 37 sökresultat, medan "Desiccant district heating" gav endast ett enda sökresultat.

Det faktum att det endast blev ett sökresultat exemplifierar att fjärrvärme och fjärrkyla endast utgör en liten tekniknisch som delar mycket av sin hardware med andra teknologier, och som då gynnas av utveckling inom dessa andra teknologier. Det har publicerats mycket om soldriven kyla, t.ex. ett antal dissertationer som finns tillgängliga på nätet. Detta är sökresultatet: Figur 504 och Figur 505.



공개특허 10-2013-0128661

(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0128661
(43) 공개일자 2013년11월27일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F24D 15/00 (2006.01) *F24J 2/00* (2006.01)
F24J 3/08 (2006.01) *F24D 17/02* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0052553
(22) 출원일자 2012년05월17일
심사청구일자 2012년05월17일

(71) 출원인
한국에너지기술연구원
대전 유성구 장동 71-2
(72) 발명자
이경호
대전광역시 유성구 진잠동 삼성푸른아파트 112-1306
백남훈
대전광역시 유성구 봉산동 휴먼시아아파트 106-1801
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
진용석

전체 청구항 수 : 총 8 항

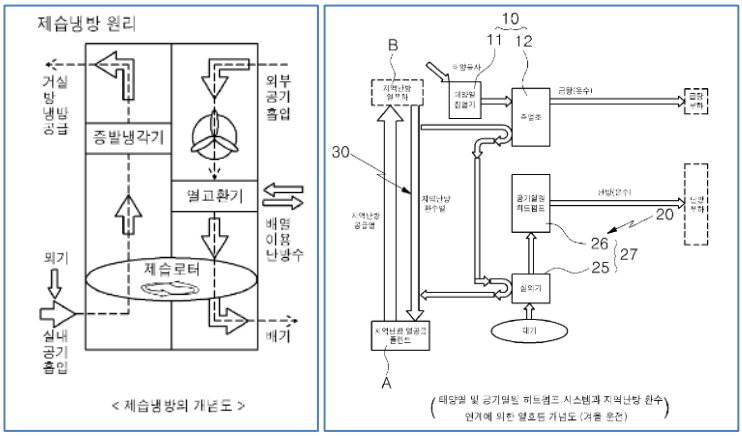
(54) 발명의 명칭 **태양열 및 열원 히트펌프장치와 지역난방 환수열장치의 연계장치**

(57) 요 약

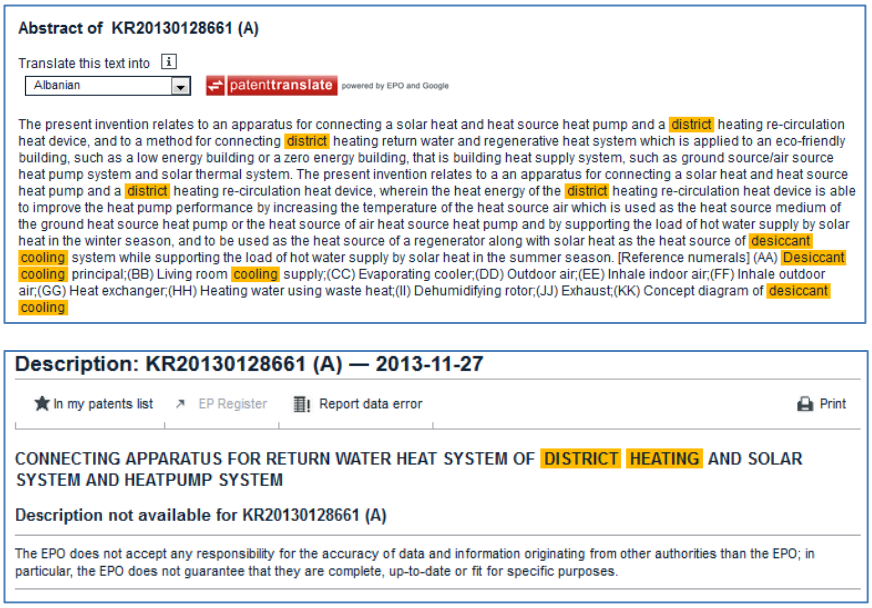
본 발명은 태양열 및 열원 히트펌프장치와 지역난방 환수열장치의 연계장치에 관한 것으로서, 저에너지건물이나 제로에너지건물과 같이 친환경건물에 적용되는 재생열시스템 즉 태양열시스템과 지열원/공기열원 히트펌프 시스템 등과 같은 건물 열공급시스템과 지역난방의 환수를 연계하는 방법에 대한 것이다. 지역난방 환수가 갖는 열의 너지는 겨울철에는 태양열이 담당하는 급탕부하를 보조하고, 지열원 히트펌프의 열원대체 또는 공기열원 히트펌프의 열원으로 사용되는 열원공기의 온도를 승온시켜 히트펌프 성능을 향상시킬 수 있으며, 여름철에는 태양열의 급탕부하를 보조하는 동시에 제습냉방 열원으로 태양열과 함께 지생기의 열원으로 사용할 수 있는 태양열 및 열원 히트펌프장치와 지역난방 환수열장치의 연계장치에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1

Figur 504: Sökresultat rörande patent med soldriven kyla.



Figur 505: Sökresultat rörande patent med soldriven kyla.



Abstract of KR20130128661 (A)

Translate this text into
Albanian
patenttranslate powered by EPO and Google

The present invention relates to an apparatus for connecting a solar heat and heat source heat pump and a district heating re-circulation heat device, and to a method for connecting district heating return water and regenerative heat system which is applied to an eco-friendly building, such as a low energy building or a zero energy building, that is building heat supply system, such as ground source/air source heat pump system and solar thermal system. The present invention relates to a an apparatus for connecting a solar heat and heat source heat pump and a district heating re-circulation heat device, wherein the heat energy of the district heating re-circulation heat device is able to improve the heat pump performance by increasing the temperature of the heat source air which is used as the heat source medium of the ground heat source heat pump or the heat source of air heat source heat pump and by supporting the load of hot water supply by solar heat in the winter season, and to be used as the heat source of a regenerator along with solar heat as the heat source of desiccant cooling system while supporting the load of hot water supply by solar heat in the summer season. [Reference numerals] (AA) Desiccant cooling principal;(BB) Living room cooling supply;(CC) Evaporating cooler;(DD) Outdoor air;(EE) Inhale indoor air;(FF) Inhale outdoor air;(GG) Heat exchanger;(HH) Heating water using waste heat;(II) Dehumidifying rotor;(JJ) Exhaust;(KK) Concept diagram of desiccant cooling

Description: KR20130128661 (A) — 2013-11-27

In my patents list | EP Register | Report data error | Print

CONNECTING APPARATUS FOR RETURN WATER HEAT SYSTEM OF DISTRICT HEATING AND SOLAR SYSTEM AND HEATPUMP SYSTEM

Description not available for KR20130128661 (A)

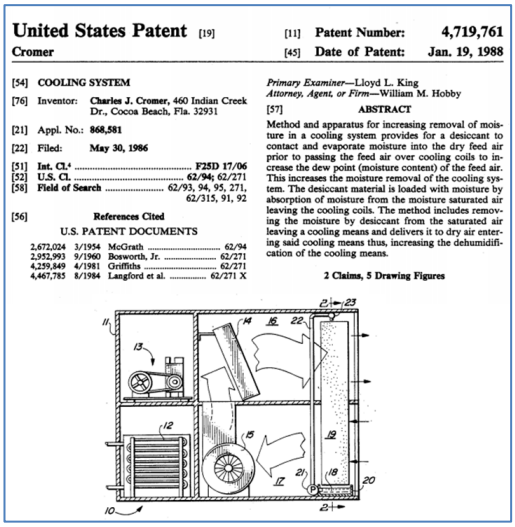
The EPO does not accept any responsibility for the accuracy of data and information originating from other authorities than the EPO; in particular, the EPO does not guarantee that they are complete, up-to-date or fit for specific purposes.

Figur 506: Korea Energy Research Institute – koreansk patentansökan.

Figur 506 ser mycket relevant ut. Tyvärr finns det ingen möjlighet att översätta beskrivningen eller patentkraven.

E2.4 En mycket originell uppfinning

Det rör sig om en enkel apparat för kylning och torkning, se Figur 507, Figur 508 och Figur 509.



United States Patent [19]
Cromer

[11] **Patent Number: 4,719,761**
[45] **Date of Patent: Jan. 19, 1988**

[54] **COOLING SYSTEM**

[76] Inventor: **Charles J. Cromer**, 460 Indian Creek Dr., Cocoa Beach, Fla. 32931

[21] Appl. No.: **868,581**

[22] Filed: **May 30, 1986**

[51] **Int. Cl.**[4] **F25D 17/06**
[52] **U.S. Cl.** **62/94**; 62/271
[58] **Field of Search** 62/93, 94, 95, 271, 62/315, 91, 92

[56] **References Cited**
U.S. PATENT DOCUMENTS

2,672,024	3/1954	McGrath	62/94
2,952,993	9/1960	Bosworth, Jr.	62/271
4,259,849	4/1981	Griffiths	62/271
4,467,785	8/1984	Langford et al.	62/271 X

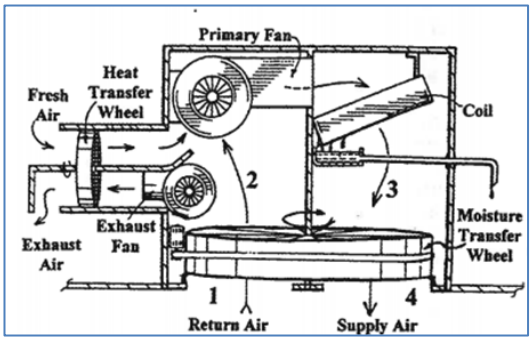
Primary Examiner—Lloyd L. King
Attorney, Agent, or Firm—William M. Hobby

[57] **ABSTRACT**

Method and apparatus for increasing removal of moisture in a cooling system provides for a desiccant to contact and evaporate moisture into the dry feed air prior to passing the feed air over cooling coils to increase the dew point (moisture content) of the feed air. This increases the moisture removal of the cooling system. The desiccant material is loaded with moisture by absorption of moisture from the moisture saturated air leaving the cooling coils. The method includes removing the moisture by desiccant from the saturated air leaving a cooling means and delivers it to dry air entering said cooling means thus, increasing the dehumidification of the cooling means.

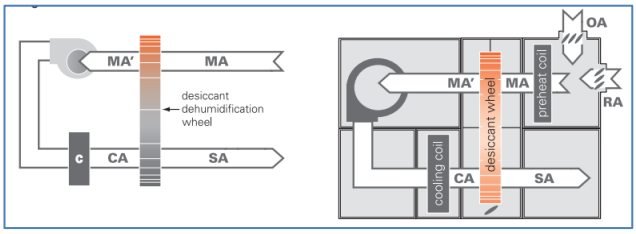
2 Claims, 5 Drawing Figures

Figur 507: Privat USA-patent.



Figur 508: Liknande apparat för kylning och torkning.

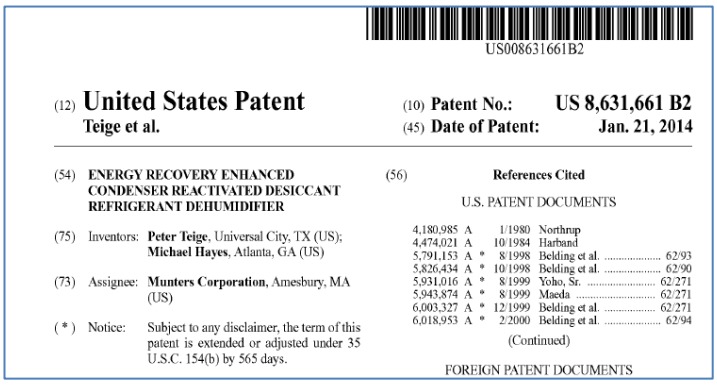
En av Tranes huvudprodukter är baserad på denna uppfinning:



Figur 509: Här med apparaten enligt Figur 507 i en av Tranes produkter.

E2.5 Patentdokument från sju av huvudaktörerna

Alla de beskrivna teknikerna är relevanta för vårt ämne, men inget av dokumenten går specifikt in på fjärrvärme/fjärrkyla. Se Figur 510, Figur 511, Figur 512, Figur 513, Figur 514, Figur 515, Figur 516, Figur 517 och Figur 518.



US008631661B2

(12) **United States Patent**
Teige et al.

(10) **Patent No.: US 8,631,661 B2**
(45) **Date of Patent: Jan. 21, 2014**

(54) **ENERGY RECOVERY ENHANCED CONDENSER REACTIVATED DESICCANT REFRIGERANT DEHUMIDIFIER**

(75) Inventors: **Peter Teige**, Universal City, TX (US); **Michael Hayes**, Atlanta, GA (US)

(73) Assignee: **Munters Corporation**, Amesbury, MA (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 565 days.

(56) **References Cited**

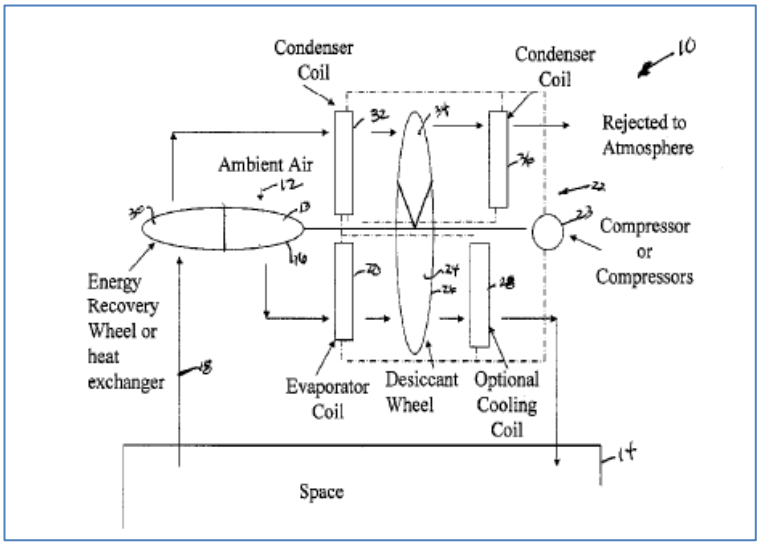
U.S. PATENT DOCUMENTS

4,180,985	A		1/1980	Northrup
4,474,021	A		10/1984	Harband
5,791,153	A	*	8/1998	Belding et al. 62/93
5,826,434	A	*	10/1998	Belding et al. 62/90
5,931,016	A	*	8/1999	Yoho, Sr. 62/271
5,943,874	A	*	8/1999	Maeda 62/271
6,003,327	A	*	12/1999	Belding et al. 62/271
6,018,953	A	*	2/2000	Belding et al. 62/94

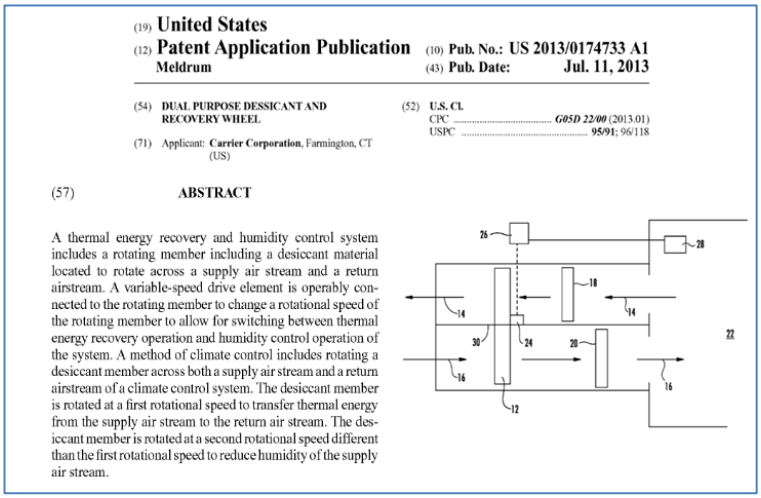
(Continued)

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

Figur 510: Munters Corporation – USA-patent. Se även Figur 511.



Figur 511: Munters Corporation. Enligt USA-patent i Figur 510.



(19) **United States**
(12) **Patent Application Publication**
Meldrum

(10) **Pub. No.: US 2013/0174733 A1**
(43) **Pub. Date: Jul. 11, 2013**

(54) **DUAL PURPOSE DESSICANT AND RECOVERY WHEEL**

(71) Applicant: **Carrier Corporation**, Farmington, CT (US)

(52) **U.S. Cl.**
CPC ***G05D 22/00*** (2013.01)
USPC **95/91**; 96/118

(57) **ABSTRACT**

A thermal energy recovery and humidity control system includes a rotating member including a desiccant material located to rotate across a supply air stream and a return airstream. A variable-speed drive element is operably connected to the rotating member to change a rotational speed of the rotating member to allow for switching between thermal energy recovery operation and humidity control operation of the system. A method of climate control includes rotating a desiccant member across both a supply air stream and a return airstream of a climate control system. The desiccant member is rotated at a first rotational speed to transfer thermal energy from the supply air stream to the return air stream. The desiccant member is rotated at a second rotational speed different than the first rotational speed to reduce humidity of the supply air stream.

Figur 512: Carrier Corporation – USA-patentansökan.

(12) **United States Patent**
Felber et al.

(10) **Patent No.: US 6,355,091 B1**
(45) **Date of Patent: Mar. 12, 2002**

(54) **VENTILATING DEHUMIDIFYING SYSTEM USING A WHEEL FOR BOTH HEAT RECOVERY AND DEHUMIDIFICATION**

(75) Inventors: **Steven M. Felber**, Eagan; **Timothy J. Smith**, Minneapolis; **Brad A. Terlson**, Maple Grove, all of MN (US)

(73) Assignee: **Honeywell International Inc.**, Morristown, NJ (US)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 0 days.

(21) Appl. No.: **09/518,924**

(22) Filed: **Mar. 6, 2000**

(51) **Int. Cl.**[7] **B01D 53/06**

(52) **U.S. Cl.** **95/10**; 95/11; 95/113; 95/126; 96/111; 96/112; 96/125; 96/127; 96/130; 96/150; 96/154

(58) **Field of Search** 95/10, 11, 107, 95/113, 117, 121, 126; 96/111, 112, 124–130, 146, 150, 154

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,200,243	A *	5/1940	Newton et al.	96/111 X
2,328,974	A *	9/1943	Guler	96/112
2,680,492	A *	6/1954	Kopp	96/125
2,700,537	A	1/1955	Pennington	
2,946,201	A *	7/1960	Munters	96/125 X
3,398,510	A *	8/1968	Pennington	96/125 X
3,774,374	A *	11/1973	Dufour et al.	96/112
3,844,737	A *	10/1974	Macriss et al.	96/125 X
4,180,985	A *	1/1980	Northrup, Jr.	62/94
4,341,539	A *	7/1982	Gidaspow et al.	96/127
4,474,021	A	10/1984	Harband	
4,574,872	A *	3/1986	Yano et al.	96/125
4,769,053	A *	9/1988	Fischer, Jr.	55/389
4,926,618	A *	5/1990	Ratliff	96/111 X
4,952,283	A	8/1990	Besik	165/4
5,148,374	A *	9/1992	Coellner	96/112 X
5,179,998	A *	1/1993	Des Champs	165/1
5,238,052	A *	8/1993	Chagnot	96/125 X
5,584,916	A *	12/1996	Yamashita et al.	96/130
5,752,323	A	5/1998	Hashimoto et al.	
5,791,153	A	8/1998	Belding et al.	62/93
5,826,434	A	10/1998	Belding et al.	62/90
6,199,388	B1 *	3/2001	Fischer, Jr.	96/125 X

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

EP	0462828 A2	12/1991
WO	WO0011409 A	3/2000

* cited by examiner

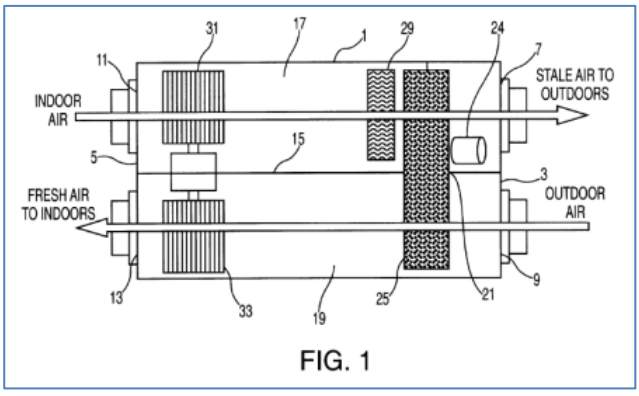
Primary Examiner—Robert H. Spitzer

(57) **ABSTRACT**

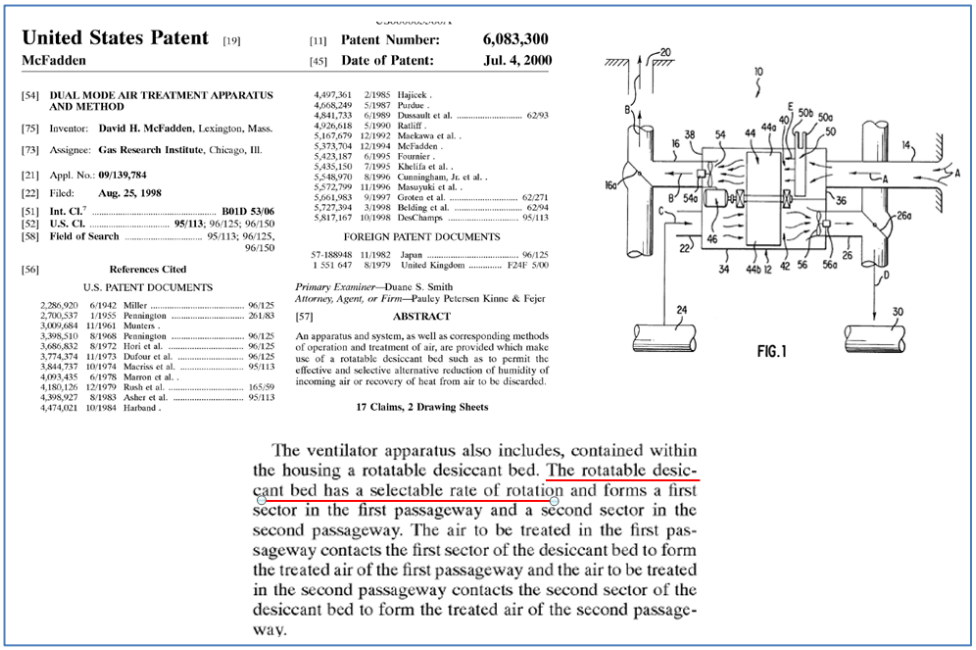
A ventilation and dehumidification system for ventilating fresh air to a conditioned space. The system is comprised of a unitary heat transfer desiccant wheel for dehumidifying incoming air by exchanging moisture from an inflow current of air with an outflow current of air. The unitary heat recovery wheel is able to transfer heat between the two air currents when the wheel is spun at a faster speed. The unitary heat transfer desiccant wheel is both regenerated and defrosted by a regenerative heater which is placed to heat the outflow current of air before the outflow current passes through the unitary heat transfer desiccant wheel. The unitary heat transfer desiccant wheel is spun at a slow speed to accomplish more dehumidification, and at a fast speed to accomplish more heat recovery. The system includes at least two blowers in order to motivate the inflow and outflow currents of air. The blowers can be arranged so as to create an air pressure differential between the inflow chamber and the outflow chamber so that any leakage of air between the two chambers will occur from the inflow chamber to the outflow chamber.

18 Claims, 4 Drawing Sheets

Figur 513: Honeywell International – USA-patentansökan.



Figur 514: Bild från patentansökan i Figur 513.



United States Patent [19]
McFadden

[11] Patent Number: 6,083,300
[45] Date of Patent: Jul. 4, 2000

[54] DUAL MODE AIR TREATMENT APPARATUS AND METHOD

[75] Inventor: David H. McFadden, Lexington, Mass.

[73] Assignee: Gas Research Institute, Chicago, Ill.

[21] Appl. No.: 09/139,784

[22] Filed: Aug. 25, 1998

[51] Int. Cl.[7] B01D 53/06
[52] U.S. Cl. 95/113; 96/125; 96/150
[58] Field of Search 95/113; 96/125, 96/150

[56] References Cited

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,286,920	6/1942	Miller	96/125
2,700,537	1/1955	Pennington	261/83
3,009,684	11/1961	Munters .	
3,398,510	8/1968	Pennington	96/125
3,686,832	8/1972	Hori et al.	96/125
3,774,374	11/1973	Dufour et al.	96/125
3,844,737	10/1974	Macriss et al.	95/113
4,093,435	6/1978	Marron et al. .	
4,180,126	12/1979	Rush et al.	165/59
4,398,927	8/1983	Asher et al.	95/113
4,474,021	10/1984	Harband .	
4,497,361	2/1985	Hajicek .	
4,668,249	5/1987	Perdue .	
4,841,733	6/1989	Dussault et al.	62/93
4,926,618	5/1990	Ratliff .	
5,167,679	12/1992	Maekawa et al. .	
5,373,704	12/1994	McFadden .	
5,423,187	6/1995	Fournier .	
5,435,150	7/1995	Khelifa et al. .	
5,548,970	8/1996	Cunningham, Jr. et al. .	
5,572,799	11/1996	Masuyuki et al. .	
5,661,983	9/1997	Groten et al.	62/271
5,727,394	3/1998	Belding et al.	62/94
5,817,167	10/1998	DesChamps	95/113

FOREIGN PATENT DOCUMENTS

57-188948	11/1982	Japan	96/125
1 551 647	8/1979	United Kingdom	F24F 5/00

Primary Examiner—Duane S. Smith
Attorney, Agent, or Firm—Pauley Petersen Kinne & Fejer

[57] ABSTRACT

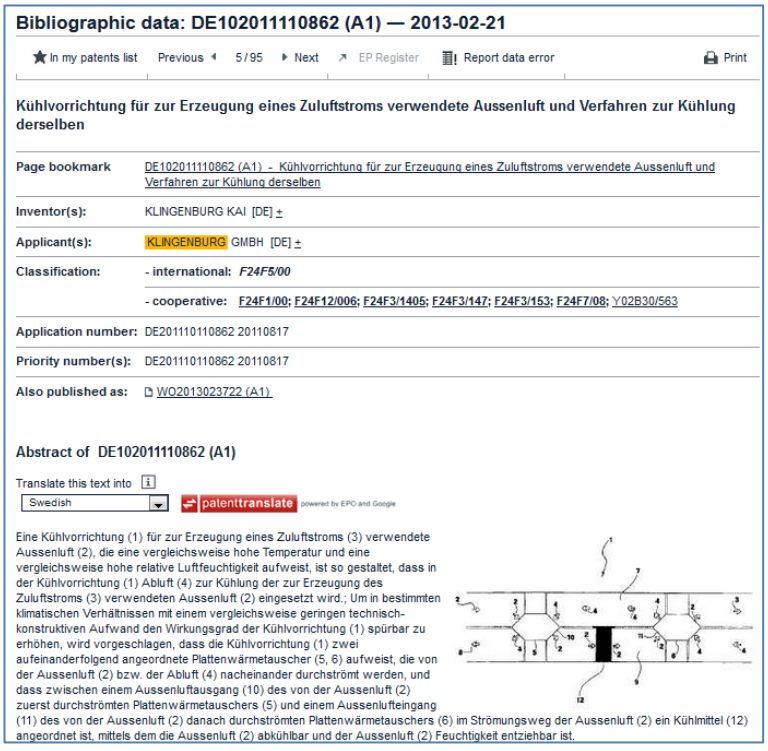
An apparatus and system, as well as corresponding methods of operation and treatment of air, are provided which make use of a rotatable desiccant bed such as to permit the effective and selective alternative reduction of humidity of incoming air or recovery of heat from air to be discarded.

17 Claims, 2 Drawing Sheets

FIG.1

The ventilator apparatus also includes, contained within the housing a rotatable desiccant bed. The rotatable desiccant bed has a selectable rate of rotation and forms a first sector in the first passageway and a second sector in the second passageway. The air to be treated in the first passageway contacts the first sector of the desiccant bed to form the treated air of the first passageway and the air to be treated in the second passageway contacts the second sector of the desiccant bed to form the treated air of the second passageway.

Figur 515: Gas Research Institute - USA-patent.



Bibliographic data: DE102011110862 (A1) — 2013-02-21

In my patents list | Previous 5 / 95 Next | EP Register | Report data error | Print

Kühlvorrichtung für zur Erzeugung eines Zuluftstroms verwendete Aussenluft und Verfahren zur Kühlung derselben

Page bookmark	DE102011110862 (A1) - Kühlvorrichtung für zur Erzeugung eines Zuluftstroms verwendete Aussenluft und Verfahren zur Kühlung derselben
Inventor(s):	KLINGENBURG KAI [DE] +
Applicant(s):	KLINGENBURG GMBH [DE] +
Classification:	- international: *F24F5/00*
	- cooperative: F24F1/00; F24F12/006; F24F3/1405; F24F3/147; F24F3/153; F24F7/08; Y02B30/563
Application number:	DE201110110862 20110817
Priority number(s):	DE201110110862 20110817
Also published as:	WO2013023722 (A1)

Abstract of DE102011110862 (A1)

Translate this text into
Swedish
patenttranslate powered by EPO and Google

Eine Kühlvorrichtung (1) für zur Erzeugung eines Zuluftstroms (3) verwendete Aussenluft (2), die eine vergleichsweise hohe Temperatur und eine vergleichsweise hohe relative Luftfeuchtigkeit aufweist, ist so gestaltet, dass in der Kühlvorrichtung (1) Abluft (4) zur Kühlung der zur Erzeugung des Zuluftstroms (3) verwendeten Aussenluft (2) eingesetzt wird.; Um in bestimmten klimatischen Verhältnissen mit einem vergleichsweise geringen technisch-konstruktiven Aufwand den Wirkungsgrad der Kühlvorrichtung (1) spürbar zu erhöhen, wird vorgeschlagen, dass die Kühlvorrichtung (1) zwei aufeinanderfolgend angeordnete Plattenwärmetauscher (5, 6) aufweist, die von der Aussenluft (2) bzw. der Abluft (4) nacheinander durchströmt werden, und dass zwischen einem Aussenluftausgang (10) des von der Aussenluft (2) zuerst durchströmten Plattenwärmetauschers (5) und einem Aussenlufteingang (11) des von der Aussenluft (2) danach durchströmten Plattenwärmetauschers (6) im Strömungsweg der Aussenluft (2) ein Kühlmittel (12) angeordnet ist, mittels dem die Aussenluft (2) abkühlbar und der Aussenluft (2) Feuchtigkeit entziehbar ist.

Figur 516: Klingenburg GmbH – tyskt patent.

Bibliographic data: EP1416242 (A2) — 2004-05-06

In my patents list | EP Register | Report data error | Print

A liquid-operated heat exchanger, particularly a heat recovery battery

Page bookmark	EP1416242 (A2) - A liquid-operated heat exchanger, particularly a heat recovery battery
Inventor(s):	LJUNG AKE [SE] +
Applicant(s):	FLAEKT WOODS AB [SE] +
Classification:	- international: ***F28D1/047; F28F1/32; F28F9/26;*** (IPC1-7): F28D1/047; F28F9/26
	- cooperative: **F28D1/0477; F28F1/32; F28F9/26;** F28F2210/10; F28F2265/06
Application number:	EP20030020737 20030912
Priority number(s):	SE20020003185 20021030
Also published as:	EP1416242 (A3) SE0203185 (L) SE520895 (C2) → SE0203185 (A)

Abstract of EP1416242 (A2)

Translate this text into

Albanian

patenttranslate powered by EPO and Google

The present invention relates to a heat recovery battery (1) with a plurality of circuits (10), placed above each other, through which a heat transferring liquid circulates. The circuits comprise horizontal exchanger tubes (12), provided with ribs (15), which exchanger tubes within a circuit in the form of a vertical row or several adjacent vertical rows are connected to each other via row bends (13), located at the ends of the circuits, to row circuits (12), which in their turn in a horizontal direction are connected to an entire circuit via circuits bends (14) at the highest and the lowest points of the row circuits, the inlets and the outlets of the circuits respectively through connecting tubes (9 and 11 respectively) being connected to collecting tubes (3 and 5 respectively) on the inlet and the outlet side respectively,; which connecting tubes are provided with discharge and aeration means respectively (18 and 19). According to the invention each formation of said circuit bends (14) to row circuits (12), located vertically above each other and consequently also the last-mentioned row circuits per se being connected to each other via a through connecting tube (16) with aeration and discharge means respectively (17).

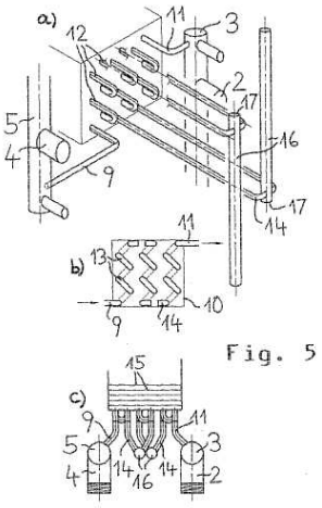
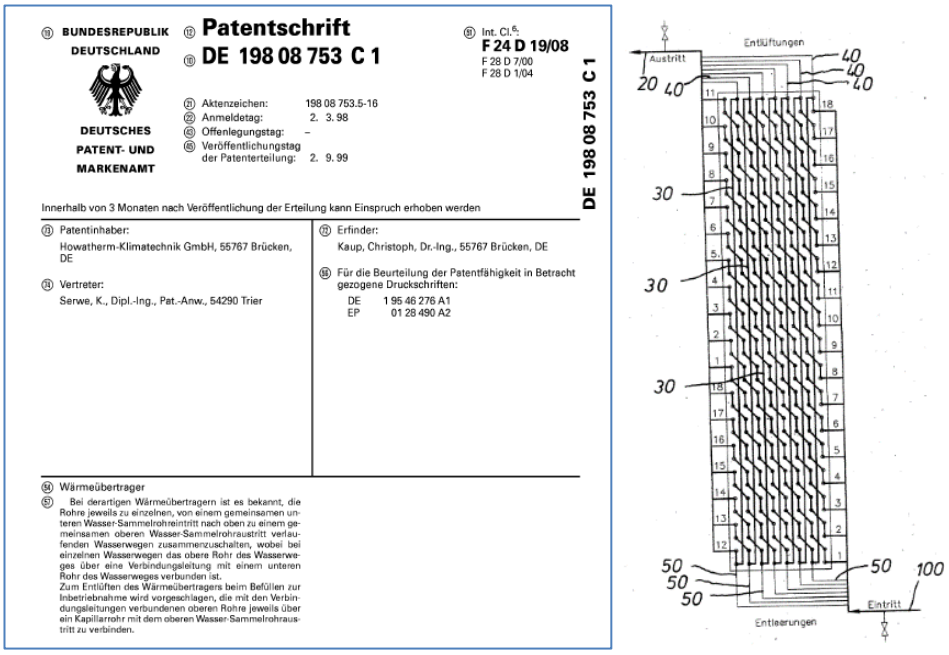


Fig. 5

Figur 517: Fläkt Woods AB – Europa-patentansökan.



(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND
DEUTSCHES PATENT- UND MARKENAMT

(12) **Patentschrift**
(10) **DE 198 08 753 C 1**

(51) Int. Cl.[6]:
F 24 D 19/08
F 28 D 7/00
F 28 D 1/04

(21) Aktenzeichen: 198 08 753.5-16
(22) Anmeldetag: 2. 3. 98
(43) Offenlegungstag: –
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 2. 9. 99

DE 198 08 753 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

(73) Patentinhaber:
Howatherm-Klimatechnik GmbH, 55767 Brücken, DE

(74) Vertreter:
Serwe, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 54290 Trier

(72) Erfinder:
Kaup, Christoph, Dr.-Ing., 55767 Brücken, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 1 95 46 276 A1
EP 01 28 490 A2

(54) Wärmeübertrager

(57) Bei derartigen Wärmeübertragern ist es bekannt, die Rohre jeweils zu einzelnen, von einem gemeinsamen unteren Wasser-Sammelrohreintritt nach oben zu einem gemeinsamen oberen Wasser-Sammelrohraustritt verlaufenden Wasserwegen zusammenzuschalten, wobei bei einzelnen Wasserwegen das obere Rohr des Wasserweges über eine Verbindungsleitung mit einem unteren Rohr des Wasserweges verbunden ist.
Zum Entlüften des Wärmeübertragers beim Befüllen zur Inbetriebnahme wird vorgeschlagen, die mit den Verbindungsleitungen verbundenen oberen Rohre jeweils über ein Kapillarrohr mit dem oberen Wasser-Sammelrohraustritt zu verbinden.

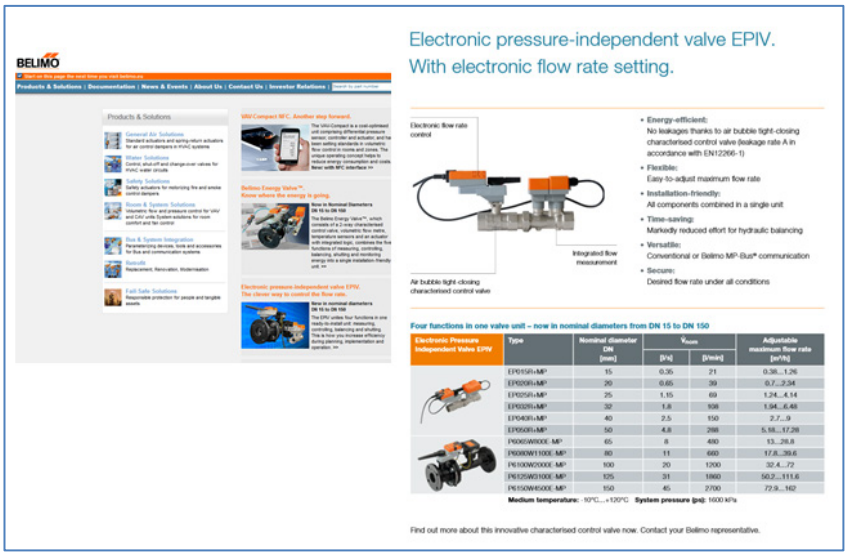
Figur 518: Howatherm Klimatechnik GmbH – tyskt patent.

E2.6 Ytterligare relevanta patent

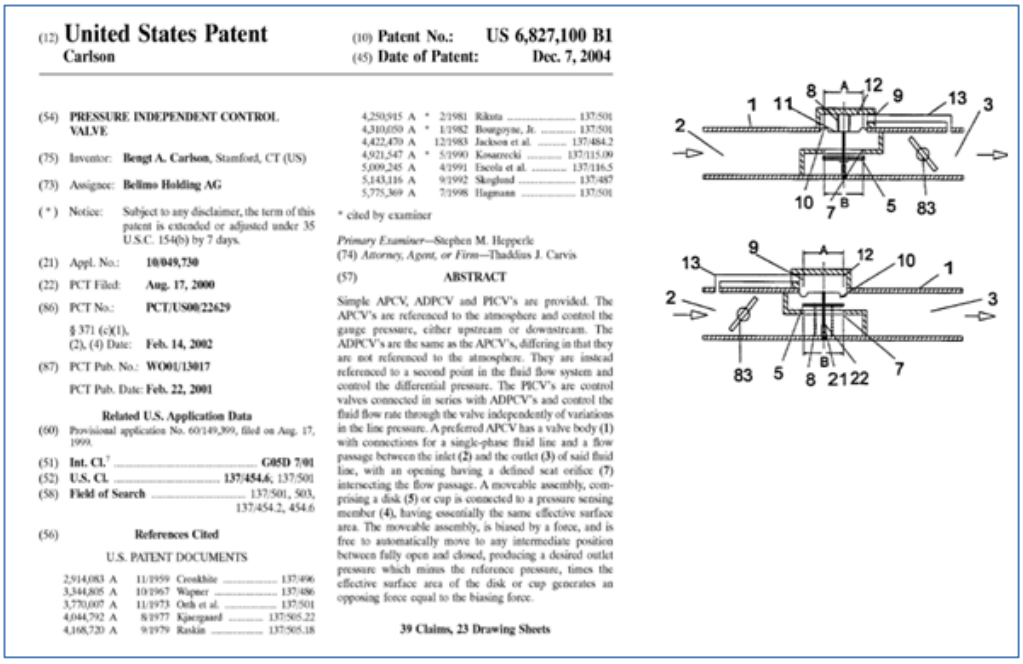
Här är sammanställt några ytterligare funna relevanta patentansökningra med koppling till vårt teknikområde.

Belimo och Flow Control, rörande PICV

PICV från Belimo visas i Figur 519, Figur 520 och Figur 521 samt från FlowControl Figur 522.



Figur 519: Belimo PICV (här kallad ePIV). En kombination av styrventil och födesmätare.



(12) **United States Patent**
Carlson

(10) **Patent No.: US 6,827,100 B1**
(45) **Date of Patent: Dec. 7, 2004**

(54) **PRESSURE INDEPENDENT CONTROL VALVE**

(75) Inventor: **Bengt A. Carlson**, Stamford, CT (US)

(73) Assignee: **Belimo Holding AG**

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 7 days.

(21) Appl. No.: **10/049,730**

(22) PCT Filed: **Aug. 17, 2000**

(86) PCT No.: **PCT/US00/22629**

§ 371 (c)(1),
(2), (4) Date: **Feb. 14, 2002**

(87) PCT Pub. No.: **WO01/13017**

PCT Pub. Date: **Feb. 22, 2001**

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 60/149,399, filed on Aug. 17, 1999.

(51) **Int. Cl.**[7] **G05D 7/01**
(52) **U.S. Cl.** **137/454.6**; 137/501
(58) **Field of Search** 137/501, 503, 137/454.2, 454.6

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

2,914,083 A	11/1959	Cronkhite	137/496
3,344,805 A	10/1967	Wagner	137/486
3,770,007 A	11/1973	Orth et al.	137/501
4,044,792 A	8/1977	Kjaergaard	137/505.22
4,168,720 A	9/1979	Raskin	137/505.18
4,250,915 A *	2/1981	Rikuta	137/501
4,310,050 A *	1/1982	Bourgoyne, Jr.	137/501
4,422,470 A	12/1983	Jackson et al.	137/484.2
4,921,547 A *	5/1990	Kosarzecki	137/115.09
5,009,245 A	4/1991	Escola et al.	137/116.5
5,143,116 A	9/1992	Skoglund	137/487
5,775,369 A	7/1998	Hagmann	137/501

* cited by examiner

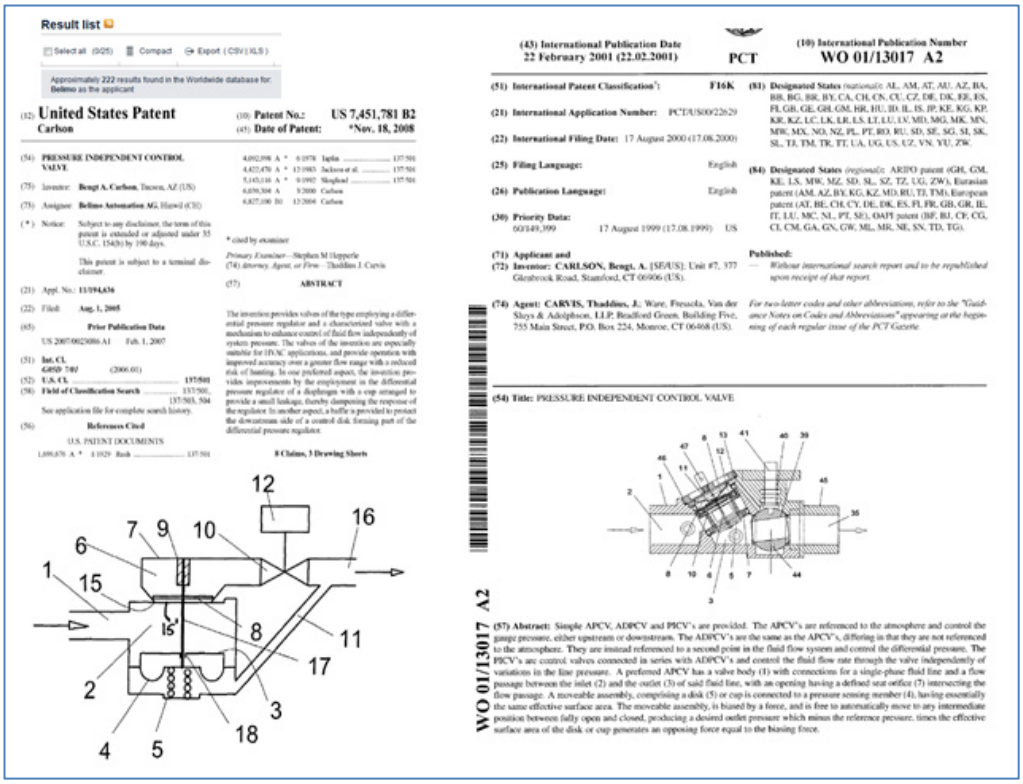
Primary Examiner—Stephen M. Hepperle
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Thaddius J. Carvis

(57) **ABSTRACT**

Simple APCV, ADPCV and PICV's are provided. The APCV's are referenced to the atmosphere and control the gauge pressure, either upstream or downstream. The ADPCV's are the same as the APCV's, differing in that they are not referenced to the atmosphere. They are instead referenced to a second point in the fluid flow system and control the differential pressure. The PICV's are control valves connected in series with ADPCV's and control the fluid flow rate through the valve independently of variations in the line pressure. A preferred APCV has a valve body (1) with connections for a single-phase fluid line and a flow passage between the inlet (2) and the outlet (3) of said fluid line, with an opening having a defined seat orifice (7) intersecting the flow passage. A moveable assembly, comprising a disk (5) or cup is connected to a pressure sensing member (4), having essentially the same effective surface area. The moveable assembly, is biased by a force, and is free to automatically move to any intermediate position between fully open and closed, producing a desired outlet pressure which minus the reference pressure, times the effective surface area of the disk or cup generates an opposing force equal to the biasing force.

39 Claims, 23 Drawing Sheets

Figur 520: Belimo Holding AG – US-patent avseende PICV.



Result list

Select all (0/25) Compact Export (CSV | XLS)

Approximately 222 results found in the Worldwide database for: Belimo as the applicant

(12) **United States Patent**
Carlson

(10) **Patent No.: US 7,451,781 B2**
(45) **Date of Patent: *Nov. 18, 2008**

(54) **PRESSURE INDEPENDENT CONTROL VALVE**

(75) Inventor: **Bengt A. Carlson**, Tucson, AZ (US)

(73) Assignee: **Belimo Automation AG**, Hinwil (CH)

(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this patent is extended or adjusted under 35 U.S.C. 154(b) by 198 days.

This patent is subject to a terminal disclaimer.

(21) Appl. No.: **11/194,636**

(22) Filed: **Aug. 1, 2005**

(65) **Prior Publication Data**

US 2007/0023086 A1 Feb. 1, 2007

(51) **Int. Cl.**
G05D 7/07 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** **137/501**
(58) **Field of Classification Search** 137/501, 137/503, 504

See application file for complete search history.

(56) **References Cited**

U.S. PATENT DOCUMENTS

1,699,678 A * 1/1929 Rask 137/501

4,092,998 A * 6/1978 Tapia 137/501
4,422,470 A * 12/1983 Jackson et al. 137/501
5,143,116 A * 9/1992 Skoglund 137/501
6,659,304 A 5/2000 Carlson
6,827,100 B1 12/2004 Carlson

* cited by examiner

Primary Examiner—Stephen M Hepperle
(74) *Attorney, Agent, or Firm*—Thaddius J. Carvis

(57) **ABSTRACT**

The invention provides valves of the type employing a differential pressure regulator and a characterized valve with a mechanism to enhance control of fluid flow independently of system pressure. The valves of the invention are especially suitable for HVAC applications, and provide operation with improved accuracy over a greater flow range with a reduced risk of hunting. In one preferred aspect, the invention provides improvements by the employment in the differential pressure regulator of a diaphragm with a cup arranged to provide a small leakage, thereby dampening the response of the regulator. In another aspect, a baffle is provided to protect the downstream side of a control disk forming part of the differential pressure regulator.

8 Claims, 3 Drawing Sheets

(43) **International Publication Date**
22 February 2001 (22.02.2001)

PCT

(10) **International Publication Number**
WO 01/13017 A2

(51) **International Patent Classification**[7]: **F16K**

(21) **International Application Number:** PCT/US00/22629

(22) **International Filing Date:** 17 August 2000 (17.08.2000)

(25) **Filing Language:** English

(26) **Publication Language:** English

(30) **Priority Data:**
60/149,399 17 August 1999 (17.08.1999) US

(71) **Applicant and**
(72) **Inventor: CARLSON, Bengt, A.** [SE/US]; Unit #7, 377 Glenbrook Road, Stamford, CT 06906 (US).

(74) **Agent: CARVIS, Thaddius, J.**; Ware, Fressola, Van der Sluys & Adolphson, LLP, Bradford Green, Building Five, 755 Main Street, P.O. Box 224, Monroe, CT 06468 (US).

(81) **Designated States** *(national)*: AE, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW.

(84) **Designated States** *(regional)*: ARIPO patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), Eurasian patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— *Without international search report and to be republished upon receipt of that report.*

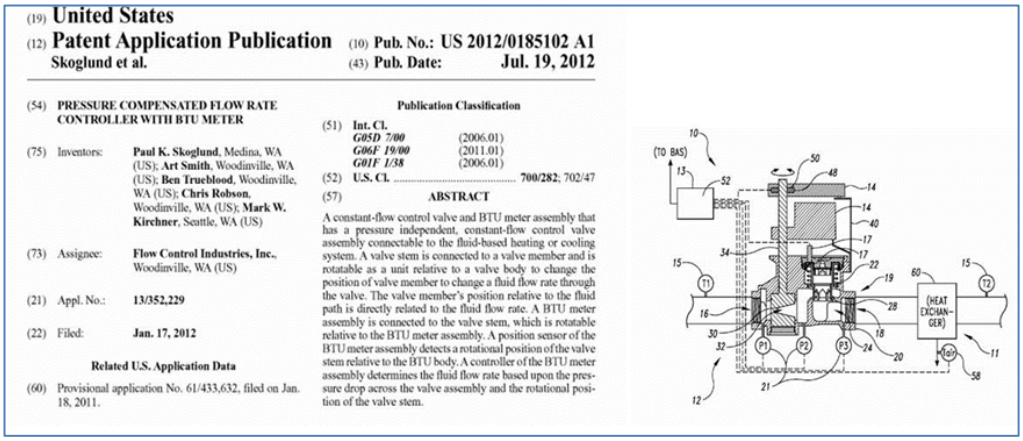
For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) **Title:** PRESSURE INDEPENDENT CONTROL VALVE

(57) **Abstract:** Simple APCV, ADPCV and PICV's are provided. The APCV's are referenced to the atmosphere and control the gauge pressure, either upstream or downstream. The ADPCV's are the same as the APCV's, differing in that they are not referenced to the atmosphere. They are instead referenced to a second point in the fluid flow system and control the differential pressure. The PICV's are control valves connected in series with ADPCV's and control the fluid flow rate through the valve independently of variations in the line pressure. A preferred APCV has a valve body (1) with connections for a single-phase fluid line and a flow passage between the inlet (2) and the outlet (3) of said fluid line, with an opening having a defined seat orifice (7) intersecting the flow passage. A moveable assembly, comprising a disk (5) or cup is connected to a pressure sensing member (4), having essentially the same effective surface area. The moveable assembly, is biased by a force, and is free to automatically move to any intermediate position between fully open and closed, producing a desired outlet pressure which minus the reference pressure, times the effective surface area of the disk or cup generates an opposing force equal to the biasing force.

WO 01/13017 A2

Figur 521: Belimo Holding AG – US-patent avseende PICV.



(19) **United States**
(12) **Patent Application Publication**
Skoglund et al.

(10) **Pub. No.: US 2012/0185102 A1**
(43) **Pub. Date: Jul. 19, 2012**

(54) **PRESSURE COMPENSATED FLOW RATE CONTROLLER WITH BTU METER**

(75) Inventors: **Paul K. Skoglund**, Medina, WA (US); **Art Smith**, Woodinville, WA (US); **Ben Trueblood**, Woodinville, WA (US); **Chris Robson**, Woodinville, WA (US); **Mark W. Kirchner**, Seattle, WA (US)

(73) Assignee: **Flow Control Industries, Inc.**, Woodinville, WA (US)

(21) Appl. No.: **13/352,229**

(22) Filed: **Jan. 17, 2012**

Related U.S. Application Data

(60) Provisional application No. 61/433,632, filed on Jan. 18, 2011.

Publication Classification

(51) **Int. Cl.**
G05D 7/00 (2006.01)
G06F 19/00 (2011.01)
G01F 1/38 (2006.01)

(52) **U.S. Cl.** **700/282**; 702/47

(57) **ABSTRACT**

A constant-flow control valve and BTU meter assembly that has a pressure independent, constant-flow control valve assembly connectable to the fluid-based heating or cooling system. A valve stem is connected to a valve member and is rotatable as a unit relative to a valve body to change the position of valve member to change a fluid flow rate through the valve. The valve member's position relative to the fluid path is directly related to the fluid flow rate. A BTU meter assembly is connected to the valve stem, which is rotatable relative to the BTU meter assembly. A position sensor of the BTU meter assembly detects a rotational position of the valve stem relative to the BTU body. A controller of the BTU meter assembly determines the fluid flow rate based upon the pressure drop across the valve assembly and the rotational position of the valve stem.

Figur 522: Flow Control Industries, PICV för konstanthållning av flöde – US-patentansökan.

WO 2007/13 63 44 A1 - Intelligent Distributed Load Control. Fjärrvärme.

Detta är NODAS' patent för agent baserad kontroll av effektfördelning och effektlån.

Mycket elegant men gäller för värmebehov i byggnader. Modeller för ackumulering/effektlån av kylbehov saknas än så länge.

Många av NODA's Grid-system triggar inte på prognoser, utan snarare på operativa in-signaler (t ex tryckfall eller fallande framledningstemperaturer från produktion). Så det är inte tvunget att man ska ha igång hela processen med i) lastprognos -> ii) optimeringsmodell -> iii) effekstyrning. Man kan trigga effektstyrning direkt som sagt.

NODA har haft tankar om fjärrkyla tidigare, men har aldrig gjort något praktiskt arbete om detta. Enligt NODAS tekniska chef Christian Johansson kommer NODA att även gå in på fjärrkyla mer kommersiellt framöver och bland annat inkluderar fjärrkyla i deras pågående EU-projekt Horizon2020 (http://storm-dhc.eu/).

EP 2664 864 A1- Ecofective rörande effektbegränsning

Ecofectiv har ansökt och fått avslag eftersom det redan finns ett kinesiskt patent WO 2012/048 443 som täcker deras beskrivning. Gäller dynamisk fördelning av effekt mellan olika rum i en fjärrkyld fastighet och effektbegränsning mot nätet utifrån det.

WO 2010/087759 A1

Professor Jerker Delsings idé om att styra radiatoreffekt utifrån vad framlednings-temperaturen i fjärrvärmenätet är.

US 2004/0153280 A1 – Effektstyrning från NordIQ

NordIQ AB med (Gummérus/Lindgren) rörande gamla men smarta idé om att beräkna effektbehov på sekundärsidan och ställa in primärflöde så att effektbehovet tillgodoses. Ett slags framkoppling från sekundäreffekt baserad på

värmebalansberäkning. Används i styrsystem för deras FC. Kräver utökad flödesmätning.

EP 1956460 (från 2008) – Effekstyrning med effektsignatur

NordIQ AB (Gummérus/Lindgren). Med ett senare patent som bygger på att när byggnadens effektsignatur är känd då vet man hur mycket effekt som ska levereras och levererar det, med korrektion för rumsdynamiken och inomhustemperaturen.

DE 102010052104 (från 2010) – Övervakning med debiteringsmätare

Hydrometer GmbH. Patent inom fjärrvärmeövervakning av en extra temperatur i samband med värmedebitering. Kan vara ute/inne- eller fjärrvärmereturtemperatur. Temperaturen påverkar debiteringen på ett ospecificerat sätt och/eller kan generera larm. Vilket kan vara användbart vid effektbegränsning.

DE 3425379 A1 – Reglering av laststyrning

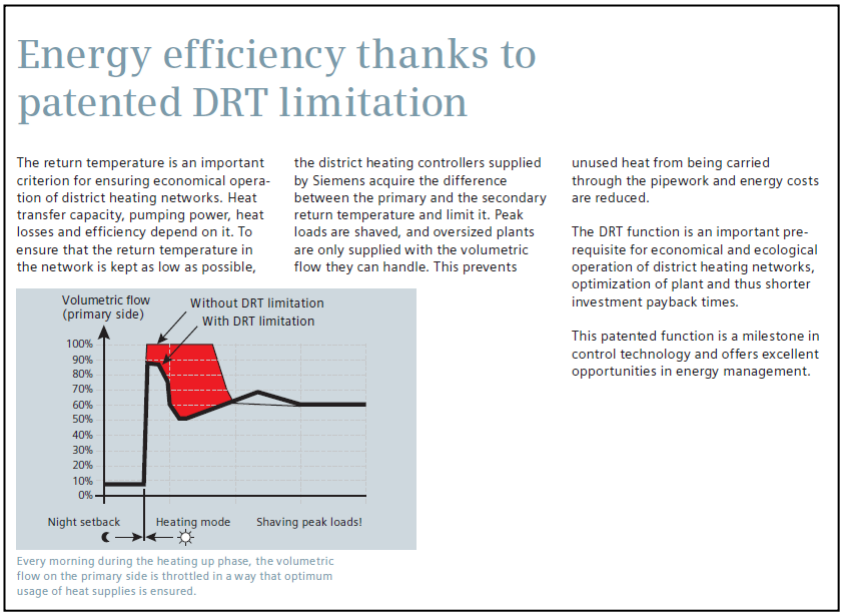
Johnson Service Co. US. Man föreslår indirekt reglering av sekundär framledningstemperatur genom reglering av den primära returtemperaturen efter ett givet samband mellan returtemperatur sfa framledningstemperatur. Man menar att då den primära framledningens temperatur är utetemperaturkompenserad (under brytpunkten) då blir den sekundära framledningen också det. Finanpassning av lasten sköts av termostatventiler. En annan viktig aspekt är att man får returtemperaturbegränsning och undviker eventuell kortslutning. Det litet roliga är att som den huvudsakliga fördelen med det sistnämnda åberopar man att att man undviker ökade värmeförluster som uppstår i värmeväxlaren vid kortslutning. Hur en kortslutning inverkar på nätet diskuteras däremot inte.

US 8,275,483 B2 (år 2012) – Övervakning av kylsystem

En mycket krånglig och omfattande beskrivning som går ut på att man övervakar alla komponentgrupper i ett kylsystem i en byggnad och tvingar fram hög ΔT. Detta gäller både kylvattensidan, inklusive produktionsanläggningar (med fokus på kompressorkyla och COP), och ventilationssida, med fokus på sofistikerad VAV (liknande det vi har här på LTH). Man undviker strypning så långt det går och förordar låg kylvattenframledningstemperatur. Finns som kommersiell produkt, Siemens Demand Flow.

EP0070471 (år 1983)- FC-regulator för radiatorkrets

Beskriver Siemens gamla FC-regulator för radiatorkretsen, med olika typer av förskjutning av reglerkurva.



Figur 523: Returtemperaturbegränsning från Siemens.

Figur 523, Returtemperaturbegränsning fungerar inte på samma sätt i fjärrkylesystem eftersom de sekundära kretsar för kyla är mycket mer sofistikerade än radiatorkretsen är. Har man PI-regulatorstyrda delsystem på sekundärsidan, i synnerhet med recirkulation, då får man en fullständig kortslutning där vid effektbrist. Konsekvensen blir att den primära styrventilen stänger helt eftersom returen blir bara högre och högre.

US 5,946,926 – Styrning kompressorbaserade kylsystem

Patent från 1999, fokuserar på kompressorbaserade kylsystem, förordar variabelt kylvattenflöde (difftryckstyrda cirkulationspumpar) och samtidigt: inga blandningsventiler, ingen recirkulation av kylvatten, övervakning av sekundär retur för att styra/bedöma hur stor kyllasten är samt om den ökar eller minskar.

US20150053150 A1 – Frysrisk cirkulationsledningar

Ej relevant, handlar om att förhindra sönderfrysning vintertid av cirkulationsledningar förlagda utomhus.

US20130158723 A1 (2013) – Användargränssnitt HVAC

Beskrivning av användargränssnitt (display och funktioner) i en HVAC-regulator med funktioner för övervakning/larm gällande tryckfall, över/underskriden ΔT osv. gäller även **US 2013/0158717 A1** och **US 2013/0158714 A1**

DE1673461 (1967/1971) – Kombinerad differenstrycks-regulator

Ursprungligt patent på en kombinerad differenstryckregulator/flödesbegränsare och en styrventil i samma ventilhus.

DE19604189 (1996) - Effektbegränsning

Gäller löpande effektbegränsning eller energimängdbegränsning tack vare information från energimätaren. Effektlån från radiatorkretsen till tappvarmvattenkretsen möjlig. Inga detaljer om mer sofistikerade strategier.

WO0235154 (2002) – Övervakning av FC

Alfa Laval's patent som är grunden för instrumentering av deras intelligenta FC kallad IQHeat. Patentet handlar om konditionsövervakning av FC genom övervakning av värmeväxlarnas NTU (här i parallellkoppling) och om vilken instrumentering som är nödvändig.

E2.7 Angående driftövervakning i FC/FKC

En typisk åtgärd vid driftövervakning av en värmeväxlare är returtemperatur-begränsning på primärsidan. Detta fungerar som effektbegränsning i fjärrvärmefallet när uppvärmningssystemet är baserat på radiatorer. Varför blir det så? Det som sker i en värmeväxlare när den primära returen begränsas är att primärflödet begränsas och den sekundära framledningen sjunker (i uppvärmningsfallet) då under sitt börvärde. Cirkulationsflödet på sekundärsidan kan öka något om det vid det aktuella tillfället finns helt eller delvis stängda termostatventiler i systemet men kan inte bli högre än det injusterade flödet. En liten effektbrist uppstår och inomhustemperaturen börjar sjunka, vilket leder till att även den sekundära returtemperaturen sjunker. Sänkt sekundär returtemperatur medför att även den primära returtemperaturen i värmeväxlaren börjar sjunka tills den blir lika med eller lägre än det inställda begränsningsvärde. Förfarandet kommer att leda till att den sekundära returtemperaturen kommer att ställa in sig på en nivå några grader lägre än den inställda primära begränsningen. Därmed är önskemålet om begränsad returtemperatur (och därmed effekt) uppnått.

Situationen blir annorlunda om det finns en möjlighet att öka sekundärflödet, typiskt när det finns shuntgrupper i systemet. Detta gäller både värme- och kylsystem men är mycket vanligare i de senare. En shuntgrupp ställer in sin lokala framledningstemperatur genom blandning av inkommande flöde och det lokala returflödet, varvid den lokala framledningstemperaturen blir alltid högre (kylfallet) än systemets framledningstemperatur. När systemets framledningstemperatur ökar (i kylfallet) på grund av primär returtemperaturbegränsning då minskar shuntens blandningsförhållande tills den lokalt inställda framledningstemperaturen blir rätt. Den lokala returtemperaturen blir oförändrad men shuntens flödesuttag från/till systemet ökar eftersom temperaturskillnaden mellan systemets framledning och den lokala framledningen har minskat. Därmed minskar systemets returtemperatur. Vid värmeväxlaren leder detta till sjunkande primär returtemperatur och, om den fortfarande begränsas, till ännu större begränsning av primärflöde som leder till ökande framledningstemperatur i kylsystemet. Detta blir en ond spiral som slutar med att de flesta/alla sekundära shuntar intar läge "ingen blandning", den primära styrventilen stänger helt och kylleveransen upphör, vilket inte alls var meningen.

Slutsatsen är att det inte finns något direkt sätt att begränsa returtemperaturen i en FC/FK-central som försörjer ett shuntbaserat sekundärt system om man vill göra

det vid centralens värmeväxlare, utan en sådan övervakning och styråtgärder måste ske i samordning med de sekundära shuntgrupperna. Samma gäller eventuell effektbegränsning i ett sådant system. Det bör tilläggas att en liknande situation kan uppstå i ett kylsystem med variabelt flöde (effektstyrning med hjälp av styrventiler) om systemet är överdimensionerat, på samma sätt som en hydraulisk ”kortslutning” uppstår i ett (fjärr)värmesystem när dess framledningstemperatur är för låg i förhållande till effektbehovet.

Problemet ägnas uppmärksamhet bl. a. i US-patent 8 275 483 inlämnat av företaget Siemens där man understryker behovet av att övervaka och samordna flöde/ΔT i olika relevanta delsystem av ett kylsystem och framhäver att stora besparingar kan uppnås genom en sådan samordning.

Många praktiska tips hur sekundära system skall anpassas vid anslutning till fjärrkyla finns att hitta i broschyren *Förbättringsguide Fjärrkyla. Anpassning av befintliga kylsystem till fjärrkyla*, utgiven av Fortum (258).

Det tas upp där även att returbegränsning kan placeras på sekundärsidan av värmeväxlaren eller rentav vid varje effektförbrukare i kylsystemet.

INNOVATIV TEKNIK FÖR KOMBINERAD FJÄRRKYLA OCH FJÄRRVÄRME

Rapporten belyser möjligheten att använda fjärrvärme och fjärrkyla i kombination istället för var för sig. Det kostar mycket för fastighetsägaren att installera dubbla system vilket gör att lokal kylproduktion ofta installeras i kommersiella fastigheter.

Målet har här varit att ta fram nya kopplingsprinciper som gör det möjligt att kombinera fjärrvärme- och fjärrkylelösningar. Resultaten visar att det teoretiskt fungerar att ha anslutningar som samverkar för att få ett effektivare system. En kombinerad lösning som ger en mer stabil luftfuktighet kan också förbättra inneklimatet.

Rapporten visar hur styrning av reglerventiler kan ske på ett mer effektivt sätt. Den nya typen av styrning, som beskrivs här, ger ett system som blir både billigare att bygga och som bättre klarar av förändrade tryck- och temperaturförhållanden.

Här beskrivs olika faktorer som påverkar inomhusklimatet och yttre omständigheter som kan komma att påverka innemiljön i framtiden, till exmpel pandemier och värmeböljor, vilket sätter fjärrvärme och fjärrkyla i ett större sammanhang.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se

Energiforsk