

KONKURRENSKRAFTIG SOLDRIVEN KOMFORTKYLA



Rapport | 2009:20



KONKURRENSKRAFTIG SOLDRIVEN KOMFORTKYLA

PETER KOVACS ÅSA JARDEBY ROGER NORDMAN
BENGT PERERS JAN OLOF DALENBÄCK

FÖRORD

Projektet har studerat förutsättningar för ett antal olika systemlösningar som använder solvärme och/eller solex för att leverera komfortkyla. Komfortkyla är troligen den i raden av möjliga tillämpningar för solenergi där tillgång och efterfrågan tidsmässigt stämmer allra bäst överens. Detta sammantaget med en stadigt ökande efterfrågan på komfortkyla, för närvarande snabbast i Asien men även i Europa, gör att soldriven kyla börjar tilldra sig allt mer intresse.

Solenergi är en förnyelsebar energiresurs som de flesta är överens om på lång sikt kommer att ge oss människor all den energi vi behöver och möjlighet att bygga ett hållbart samhälle där energi utnyttjas på ett optimalt sätt.

Konkurrenskraftig soldriven komfortkyla redovisar resultaten från en studie inom forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Svensk Fjärrvärme och Energimyndigheten. Fjärrsyn ska stärka konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtidens teknik.

Projektet har utförts av Peter Kovacs, Åsa Jardeby, Roger Nordman och Bengt Perers på SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, Jan-Olof Dalenbäck på Chalmers Energicentrum, Per Karlsson på Borås Energi och Miljö, Gunnar Lennermo på Energianalys AB och Hanna Lassing på Kanico. En referensgrupp, tillsatt av Svensk Fjärrvärme, har följt arbetet och lämnat synpunkter. Referensgruppen har bestått av Christer Boberg Fortum, Kjell Andersson, Mälarenergi samt Mikael Gustavsson och Conny Håkansson Svensk Fjärrvärme.

Eva-Katrin Lindman

Ordförande i Svensk Fjärrvärmes Teknikråd

INNEHÅLL

1	Sammanfattning	6
2	Summary	8
3	Studiens syfte och målsättning	10
4	Bakgrund	11
4.1	Projektbakgrund	11
4.2	Teknikbakgrund	11
4.2.1	Solvärme	11
4.2.2	Solel	14
4.2.3	Allmänt om solenergidriven komfortkyla	16
4.2.4	Kort om centralt genererad (fjärr) kyla och distribuerad (absorptions) kyla i fjärrvärmenätet	19
4.2.5	Distributionssystem för kyla	20
4.3	Problemställningar	21
4.4	Metod och studerade systemlösningar	22
4.4.1	Solel för kompressordrift och/eller driftel	23
4.4.2	Solvärme och fjärrvärme till absorptionskylmaskin samt kyl-/värmeackumulator	23
4.4.3	Solvärme och fjärrvärme till sorptiv kylanläggning	24
4.4.4	Lagring av värme eller kyla	25
5	Tillgängliga produkter, tjänster och investeringsstöd	26
5.1	Solvärmeprodukter och investeringsstöd	26
5.2	Solelprodukter och investeringsstöd	26
5.3	Absorptionskylmaskiner	27
6	Beskrivning av beräkningar och randvillkor	29
6.1	LCC beräkningar	29
6.2	Simulering av kylbehov och tillförd solvärme	31
7	Resultat av systemanalyser	34
7.1	Resultat för solel till kompressor och/eller driftel	34
7.2	Resultat för solvärme till absorptionskyla	36
7.3	Resultat för solvärme till sorptiv kyla	38
7.4	Resultat av TRNSYS simuleringar	39
7.4.1	Värmebalanser över året	40
7.4.2	Effektförlopp	44
8	Diskussion och slutsatser	46
9	Fortsatt arbete	50
9.1	Förslag till pilotprojekt	50
10	Referenser	52

1 SAMMANFATTNING

Med utgångspunkt i industrifastigheten Simonsland i Borås där en omfattande renovering planeras, har genomförbarheten för fem olika tekniska lösningar för soldriven komfortkyla studerats teoretiskt. Följande principlösningar ingår i jämförelsen:

- Solel för kompressordrift
- Solvärmespets + fjärrvärme till absorptionskylmaskin
- Solvärme + fjärrvärme till absorptionskylmaskin
- Solel för driftel till frikyla/kyltorn
- Solvärme+ fjärrvärme till sorptiv kylning/ luftbehandling

En simuleringsmodell har upprättats för att studera hur energibehoven för kyla och värme fördelats i tiden, dels under dygnets timmar, dels över arbetsveckan och över året. Detta för att få en bättre förståelse av hur främst behovet av kyla varierar i förhållande till tillgången på solenergi.

Kostnads- och kapacitetsdata för de olika tekniska lösningarna har hämtats in från kontakter med företag inom respektive bransch kompletterat med uppgifter från litteraturstudier och tillsammans med kylbehovsberäkningarna legat till grund för en LCC baserad jämförelse av de olika alternativen. Hänsyn har här också tagits till de investeringsstöd som under de närmaste åren kommer att finnas tillgängliga på den svenska marknaden och som på ett avgörande sätt påverkar kostnadsbilden inför en eventuell investering. Analyserna baseras på ett antagande om 1000 m² tillgänglig takyta för solfångare eller PV moduler, en topplast för kyla på 1 MW och ett årligt energibehov för kyla på 0,67 GWh.

Bäst förutsättningar för etablerad teknik gäller enligt studien för en kombination av solcellsel och kompressorkyla som enligt LCC beräkningen är mindre kostsam än referensen fjärrkyla, även om investeringsstöd till solel inte utnyttjas. Alternativet med enbart frikyla baserad på en våt kyltornslösning som drivs av solcellsel blir avsevärt billigare än kompressorkylan, men den tekniska genomförbarheten är osäker genom att det rör sig om i stort sett oprövad teknik.

Resultaten av den ekonomiska analysen av solvärmekompletterad fjärrvärmedriven kylproduktion varierar kraftigt beroende på vilken taxa som tillämpas för fjärrvärmen. Detta gäller naturligtvis i ännu högre grad för ett system som enbart drivs med fjärrvärme. För det fall där solvärme och fjärrvärme temperaturmässigt arbetar inom samma temperaturintervall hamnar kostnaden på ett årligt snitt på 4-5 kr/ kWh, då man tillämpar fast plus rörlig kostnad för fjärrvärmen, och på 1- 1,5 kr/ kWh om enbart den rörliga kostnaden beaktas. Den stora skillnaden beror på att en flödestaxa i kombination med mycket höga maxflöden (på grund av låga temperaturdifferenser över absorptionskylmaskinen) driver upp den fasta kostnaden för fjärrvärmen.

Det undersökta fallet där solvärmens avsågs att fungera som temperaturspets för att höja COP och effekt på en enstegs absorptionskylmaskin ger ingen avgörande skillnad i priset på kyla men resultatet blir svagt positivt jämfört med fallet där solvärme och fjärrvärme tillförs vid samma temperatur. LCC kalkylen ger en lägre total kostnad för samtliga alternativ jämfört med referensen fjärrkyla då enbart rörlig kostnad antas för fjärrvärmen.

Med en tvåstegs absorptionsprocess kan COP höjas från cirka 0,7 till cirka 1,2 men samtidigt ökar kraven på drivtemperatur från 75-95°C till cirka 140°C. Eftersom maskinen inte kan köras som en enstegsmaskin då solvärmens inte räcker till är kombinationer med fjärrvärme i detta fall inte aktuella. Beräkningarna visade dock på en ökad energitäckningsgrad från 25 % till knappt 35 % som resultat av bytet från en- till tvåstegsmaskin.

Sorptiv kyla, som enligt erfarenhetsåterföring från solkylainstallationer runt om i världen är mest kostnadseffektiv av de solvärmedrivna lösningarna kommer i beräkningarna ut med samma kostnader som absorptionskylan om man beaktar osäkerheterna i indata.

Solenergi är en förnyelsebar energiresurs som de flesta är överens om på lång sikt kommer att ge oss människor all den energi vi behöver. Om lång sikt innebär tjugo, femtio eller hundra år är det ingen som vet men för att komma dit så fort som möjligt så behövs ökade ansträngningar inom forskning, innovation och demonstration. Solenergi är till sin natur lågintensiv och förhållandevis jämnt distribuerad över klotet men tillgång och efterfrågan ligger tyvärr inte alltid i fas, vilket är mer påtagligt på högre breddgrader. Komfortkyla är troligen den i raden av möjliga tillämpningar för solenergi där tillgång och efterfrågan tidsmässigt stämmer allra bäst överens. Detta sammantaget med en stadigt ökande efterfrågan på komfortkyla, för närvarande snabbast i Asien men även i Europa, gör att soldriven kyla börjar tilldra sig alltmer intresse.

Tekniken, eller snarare systemkoncepten för solvärmedriven kyla är fortfarande mycket unga och det finns ännu stora möjligheter till förbättringar. I Sverige finns ännu ingen anläggning i drift, men ett par är under planering. Denna undersökning har kommit till stånd för att klargöra vilka möjligheter som står till buds i dag och hur tekniska och ekonomiska förutsättningar ser ut för de olika alternativen. Både soldriven kyla som fristående lösning och som ett komplement till lokal fjärrvärmedriven kyla har beaktats.

Marknadsanalysen visar att tekniken med soldriven kylproduktion är på stark fram-marsch, framförallt med avseende på små (från 100 och ner till 5 kW) anläggningar där mycket har hänt de senaste fem åren, Ref. 3. Antalet installerade, väl fungerande anläggningar i världen är än så länge väldigt få. År 2007 fanns det totalt cirka 250 anläggningar installerade i Europa. Tillväxten har dock varit exponentiell de senaste två åren. I Sverige finns ännu ingen kommersiell anläggning i drift, men enligt Ref. 1 så planeras för närvarande anläggningar för sorptiv solvärmedriven kyla av både Vasakronan och Jernhusen.

2 SUMMARY

Based on a case study on the industrial buildings in Simonsland in Borås, where a thorough renovation is being planned, the feasibility of five different concepts for solar assisted comfort cooling have been studied:

- Solar PV powering conventional chillers
- Solar heating for temperature boost + district heating powering an absorption cooling machine
- Solar heating + district heating powering an absorption cooling machine
- Solar PV powering evaporative cooling tower
- Solar heating + district heating powering a desiccant cooling HVAC unit

A simulation model has been developed to study the time distribution of cooling and heating demand, hour by hour, over the week and over the year. This in order to better understand how in the first place the cooling demand varies in relation to the availability of solar energy.

Cost- and capacity data for the different concepts were gathered from equipment suppliers, complemented with literature studies and together with calculations of cooling demand this formed the basis for an LCC comparison. Investment subsidies for solar PV and solar heating that will be offered on the Swedish market in the coming years have also been taken into account as they in some cases will have a significant impact on the investment costs. The analysis was based on the assumption of 1000 m² of available roof area for collectors or PV modules, a peak cooling load of 1 MW and an annual energy demand for cooling of 0,67 GWh.

The best overall conditions were found for a combination of PV powered conventional chillers which, according to calculations have a significantly lower LCC than the reference district cooling even if subsidies are not taken into account. The concept based on free cooling from a wet cooling tower powered by PV has a much lower cost than the chiller, but the technical feasibility of this new and very energy efficient technology is not yet considered to be proven.

The results from the economical analysis of solar assisted district heating powered comfort cooling varies within a wide range depending on the tariff applied for the district heat. This fact is of course even more evident in a situation where all the heat is supplied from district heating. In the case where solar heat and district heating operates at the same temperature level, the calculated cost for cooling is 4-5 SEK/ kWh. This is when fixed plus variable costs are taken into account for the district heating. Applying only variable costs for the district heat brings down the total cost to 1-1,5 SEK/ kWh. The big difference is explained by the fact that fixed costs are based on the maximum utilized flow rate (which is very high due to the low temperature difference over the absorption machine) which boosts the fixed cost for district heating. The case where solar heat is working as a temperature boost to raise COP and power output of the single effect absorption machine showed a modest improvement compared to the previous case. Applying only variable cost for the district heating gives a lower LCC for all options, compared to the reference district cooling.

With a double effect absorption machine COP can be raised from approximately 0,7 to 1,2 but at the same time the driving temperature must be increased from 75-95°C to around 140°C. As this machine cannot be operated as a single effect machine when solar is unable to give the high temperature lift, combinations with district heating in this case are not interesting. Calculations did however show an increase in the solar fraction of the cooling energy demand from 25 % to almost 35 % as a result of the change from a single- to a double effect machine.

Solid desiccant cooling supplied by a HVAC unit, according to analyses of solar assisted cooling installations around the world the most cost- and energy efficient concept, is according to the calculations equally cost effective as the absorption concepts if uncertainties in cost- and performance data are taken into account.

Solar energy is a renewable energy resource which in the long term will be able to cover our global energy demands. If long term means twenty, fifty of a hundred years nobody knows but in order to reach there as soon as possible further efforts in research, innovation and demonstration are needed. Solar energy is characterized by low power density and it is relatively equally distributed, but demand and supply are not always corresponding which is more pronounced at high latitudes. Comfort cooling is probably the one of all available applications for solar energy where they agree the best. This fact combined with a steady increase in the demand for comfort cooling, at present strongest in Asia but also in Europe, increases the interest in solar assisted cooling from various stakeholders.

The technology or rather the system concepts for solar assisted cooling are still very young and there is still room for significant development. In Sweden there are still no installations in operation but a few are being planned at present. This investigation was initiated in order to clarify which options there are today and how the technical and economical feasibility for the different concepts can be compared. Solar assisted cooling has thereby been assessed both as a stand alone option and as a compliment to locally generated cooling based on district heating.

The market analysis shows that solar assisted cooling is developing rapidly, in particular when it comes to small (from 100 kW and down to 5 kW) machines where a strong development has taken place in the past five years, Ref. 3. The number of installed, well functioning systems globally is still very low, in 2007 there were in all around 250 installations in Europe. There has however been an exponential growth in the number of installations during the past two years. In Sweden there are still no commercial installations in operation but according to Ref. 1 solar assisted desiccant cooling systems are being planned by two major real estate owners.

3 STUDIENS SYFTE OCH MÅLSÄTTNING

Studien syftar till att studera förutsättningar för ett antal olika systemlösningar som använder solvärme och/eller solex för att producera komfortkyla. Studien ska svara på om lösningarna är konkurrenskraftiga och tekniskt gynnsamma jämfört med traditionell kyla i dagsläget. Målsättningen är också att resultaten skall kunna användas för att de kommande åren följa utvecklingen på området genom att uppdatera avgörande kostnads- och prestandauppgifter eftersom de i flera fall kan komma att förändras genom den snabba teknik- och marknadsutvecklingen.

Studien syftar också till att klargöra förutsättningarna för en pilotanläggning i fastigheten Simonsland i Borås, där någon eller några av de olika systemlösningarna skulle kunna demonstreras i ett pilotprojekt.

4 BAKGRUND

4.1 Projektbakgrund

Företaget Kanico äger ett antal fastigheter i Borås och under 2008 köpte man fastigheten Simonsland, en industrifastighet belägen strax intill i Högskolan i Borås och invid ån Viskan som flyter genom centrum. Fastigheten uppfördes under 1940-talet och har främst använts av olika textilföretag. Kanico har nu som målsättning att genom en omfattande renovering konvertera Simonsland från en sliten industrimiljö till en modern miljö med i första hand undervisningslokaler och kontor, men även ett mindre antal bostäder, restauranger, butiker etc.

Kanico ville i samband med detta undersöka möjligheten att utnyttja solenergi (fastigheten har ca 3500 m² sydvända takytor i lämplig lutning) och inledde därför en diskussion med bland annat SP Sveriges Tekniska forskningsinstitut, Chalmers och Borås Energi och Miljö AB (BEMAB). Eftersom grot- och avfallsförbränning ligger till grund för el- och värmeproduktionen i Borås och värmeunderlaget styr BEMAB:s möjligheter att producera el så är incitamentet för ytterligare värmeproduktion under sommarperioden lågt och solvärme för detta ändamål bedömdes från BEMAB:s sida som ointressant. I stället kom möjligheten med att utnyttja solenergi för produktion av komfortkyla upp till diskussion. BEMAB uttryckte då ett klart intresse för att undersöka detta mer i detalj, trots att resonemanget kring värmeproduktion fortfarande gäller för vissa kyl-lösningar, och för att i en förlängning kunna medverka i uppförandet av en anläggning. Diskussionerna resulterade i en ansökan till Svensk Fjärrvärme om forskningsmedel för att studera ett antal olika lösningar där solenergi bidrar till produktion av komfortkyla, antingen som solvärme till värmedrivna processer eller solel till eldrivna processer.

Projektet har genomförts med deltagande av företag och personer enligt Tabell 4.1

Tabell 4.1. Projektgruppens sammansättning

Företag/ org.	Deltagare
SP	Peter Kovacs, projektledare, solenergi
	Roger Nordman och Åsa Jardeby, kylteknik
	Bengt Perers, solenergi, beräkningar
Chalmers Energi Centrum	Jan Olof Dalenbäck, solenergi, installationsteknik
Energianalys AB	Gunnar Lennermo, solenergi, fjärrvärme
Kanico	Hanna Lassing, projektansvarig Simonsland
Borås Energi och Miljö	Per Karlsson, fjärrvärme och fjärrkyla

4.2 Teknikbakgrund

4.2.1 Solvärme

Solvärme, d.v.s. solinstrålning aktivt omvandlad till nyttig värme med hjälp av en solfångare är 2009 en väletablerad teknik i Europa. Även om dess bidrag fortfarande är nära försumbart i nationell energistatistik så finns i dag förhållandevis ambitiösa planer för dess expansion redan på fem till tio års sikt i Europa och solfångare ingår i dag i de flesta större VVS aktörers produktprogram. Branschorganisationen Svensk Solenergi

slog nyligen fast ett planeringsmål om 4 TWh av vardera solvärme och solet fram till år 2020 (Ref. 2) och årliga tillväxtsiffror på 20-50 % är inte ovanliga i Europa, om än från en låg nivå. De vanligaste tillämpningarna är uppvärmning av tappvarmvatten, bostäder och lokaler, men mer avancerade tillämpningar som industriell processvärme och soldriven kyla börjar också bli etablerade.

Initiativet ESTTP (European Solar Thermal Technology Platform) redovisar i en omfattande rapport från 2007 visioner, potential och en "roadmap" för solvärme och solkyla i Europa, se Ref. 3. Den Europeiska branschorganisationen ESTIF presenterar i sin "Solar thermal action plan for Europe" liknande information samt en bra teknikenomgång, se Ref. 4. För fjärrvärme/ kyla konstaterar man att en ökande användning av solenergi på kort sikt främst handlar om policyfrågor och bra demonstrationsprojekt, medan det på längre sikt krävs betydande FoI-ansträngningar för att potentialen för storskalig solenergiutnyttjande skall kunna realiseras. Rapporten redovisar en rad nödvändiga och önskvärda aktiviteter inom marknad och teknik som krävs för att målen inför 2030 skall infrias: Att solvärmedriven fjärrkyla skall finnas med i 10 % av fjärrvärmesystemen i Europa och att tekniken då skall vara prismässigt konkurrenskraftig, d.v.s. kunna konkurrera utan subventioner.

Solvärmen har i dag mycket svårt att konkurrera i de svenska fjärrvärmenät som utnyttjar spillvärme eller avfallsförbränning under sommarhalvåret, men i övriga nät finns det goda möjligheter för solvärme att konkurrera. De senaste fem åren har det dessutom märkts en attitydförändring då det gäller solvärme i fjärrvärmenät och nya ägande- och driftsformer utvecklas snabbt. I Danmark uppförs för närvarande ett flertal stora solfångarfält anslutna till fjärrvärmenät.

En tillämpning som börjat göra sig gällande de senaste åren och då företrädesvis i Spanien är termiska solkraftverk där högeffektiva solfångare genererar ånga som på vanligt sätt driver en turbin för el-generering. Den koncentrerande teknik som denna och andra utpräglade högtemperaturtillämpningar (t.ex. tvåstegs absorptionskyla) bygger på är dock mindre lämpad för svenska förhållanden eftersom andelen direkt instrålning och medeleffekten på denna över året är alltför låg här.

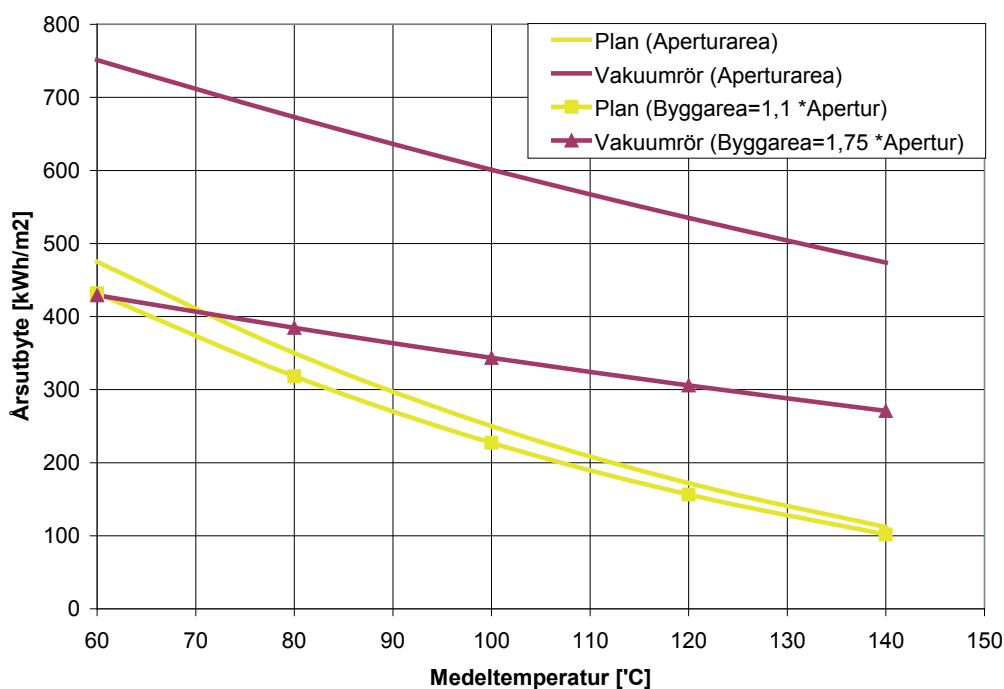
4.2.1.1 Solfångare aktuella i svenska tillämpningar

De solfångartyper som är aktuella för användning i svenska värmedrivna kyltillämpningar är i stället effektiva plana solfångare och vakuumrörsolfångare. De förra karakteriseras av robust design och dokumenterat lång livslängd: 20-30 år med i stort sett bibehållen prestanda medan vakuumrörsolfångare av den typ som är vanlig i Sverige i dag har en förhållandevis kort historia och en mer komplex design vilket sammantaget gör att livslängden är svår att förutsäga. Med avseende på ursprungsland så tillverkas de flesta plana solfångare i Europa och en del av dessa i Sverige. Så gott som alla vakuumrörsolfångare tillverkas i Kina. Luftsolfångare nämns ibland i samband med sorptiv kylning, men dessa är än så länge i ett tidigt utvecklingsskede och standardiserade produkter saknas varför de inte betraktas som ett bra alternativ i nuläget.

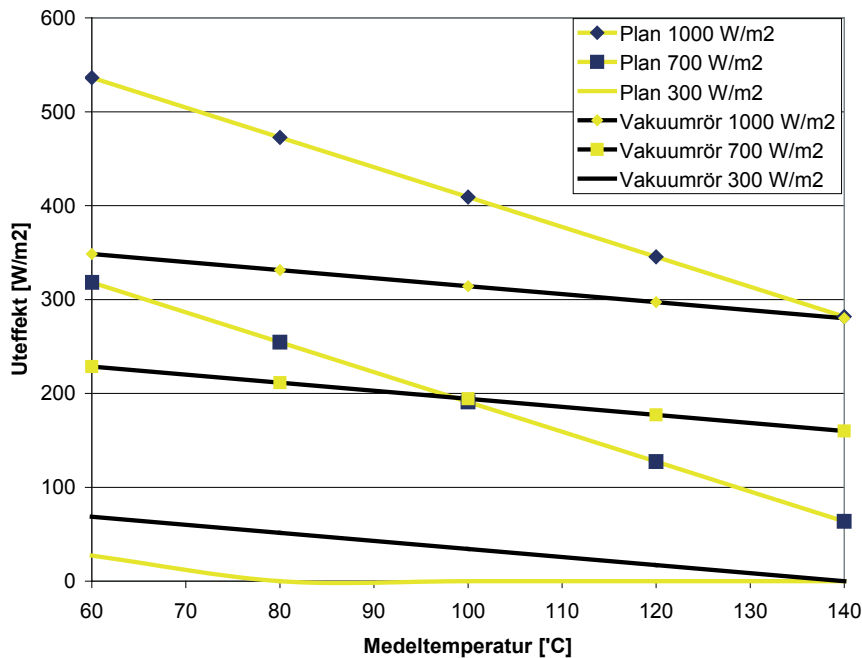
Gemensamt för alla typer av solfångare är att värmeförlusterna från dem ökar med stigande arbetstemperatur. Effekten och energiutbytet är med andra ord temperaturberoende. En viktig skillnad mellan plana solfångare och vakuumrörsolfångare

är att värmeförlusterna för plana solfångare vid arbetstemperaturer över ca.75°C blir förhållandevis alltmer dominerande. Detta innebär att vakuumsörren på årsbasis har betydligt bättre prestanda än plana solfångare vid temperaturer över 100°C. Betraktar man momentana effektvärden är förhållandet inte lika uttalat och vid de temperaturer som är aktuella här är det först vid lägre instrålningsnivåer som vakuumsörren gör sig gällande, se Figur 4.1 och Figur 4.2. En annan skillnad mellan de två solfångartyperna är att vakuumsörersolfångare på grund av geometrin utnyttjar snett infallande ljus mer effektivt än plana solfångare.

En annan skillnad mellan de två solfångartyperna som är viktig att förstå och ha kontroll på är att energiutbyte och avgiven effekt per kvadratmeter solfångare kan skilja sig stort mellan de olika typerna beroende på vilken referensarea man baserar siffrorna på. Detta hänger samman med hur aperturarea (ungefär ”ljusinsläppsarea”) och gross- eller byggarea (den area som solfångaren tar upp på taket) förhåller sig till varandra. Används aperturarea som referensarea så framstår vakuumsör som betydligt effektivare än plana solfångare, redan vid låga arbetstemperaturer. Byggarean är dock den referensarea som bör användas genomgående då pris och prestanda presenteras eftersom denna beskriver det verkliga utrymmeskravet för själva solfångarmodulerna. Till detta kommer sedan en viss yta som krävs för rördragningar mellan moduler, till tank/ värmväxlare o.s.v.



Figur 4.1. Årliga energiutbyten för plana solfångare och vakuumsörersolfångare. Punktmarkerade kurvor beskriver energiutbyte baserat på byggarea vilket är den referensarea som skall användas vid projektering.



Figur 4.2. Avgiven värmeeffekt som funktion av medeltemperatur i solfångaren och instrålningsnivån för vakuurrör respektive plan solfångare (baserat på byggarea och vinkelrätt infall).

Årsutbyten och effekter för solfångare enligt diagrammen ovan gäller för 45 graders lutning mot söder och inom 20-45 grader från sydost till sydväst påverkas dessa utbyten i mycket liten omfattning. För större avvikelser behöver utbytet per kvadratmeter räknas ner.

4.2.1.2 Systemkomponenter samt drift och underhåll

Ett solvärmesystem som ska generera värme till en kylprocess består i huvudsak av följande komponenter: Solfångare, rörsystem inklusive expansionskärl, cirkulationspump, ackumulatortank med värmeväxlare och styrutrustning. Väl utförd isolering av rör och tankar är viktig eftersom det är en effektmässigt lågintensiv teknik som arbetar med relativt höga temperaturer i dessa tillämpningar. Tekniken är enkel med få rörliga delar och kräver ingen omfattande tillsyn eller skötsel vilket tillsammans med att driftelen endast utgör någon procent av energiutbytet gör att den årliga driftskostnaden är låg. Årlig kontroll av värmebäraren i solfångaren (normalt en blandning av propylenglykol och vatten för frysskydd av solfångarkretsen) rekommenderas. Högeffektiva solfångare och långvariga perioder i stagnation, d.v.s. stillestånd utan värmeuttag från solfångarkretsen kan vara problematiskt för värmebärarens korrosionsinhibitorer som kan brytas ner om dess maximala drifttemperatur överskrids långvarigt.

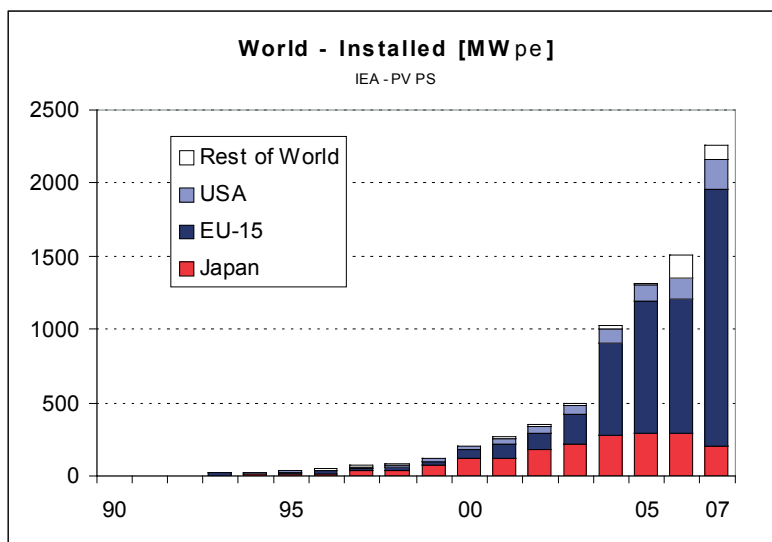
4.2.2 Solel

Det finns år 2009 cirka 6 MW installerad solcellseffekt i Sverige. Den största andelen finns installerat i system som inte är anslutna till elnätet, men andelen nätanlutna byggnadsintegrerade solcellssystem ökar kraftigt till följd av det investeringsstöd för solcellssystem på offentliga lokaler som fanns under 2005-2008. Mer information om

gällande stöd ges i avsnitt 5. Svensk forskning och information inom solcellsområdet samordnas genom det s.k. Solel programmet (Ref. 5) och inom samma program finns även ett nationellt initiativ för driftuppföljning av nätanslutna anläggningar (Ref. 6). På programmets hemsida finns statistik o drifterfarenheter från de flesta svenska nätanslutna solel systemen. Andra viktiga Internet-resurser för information om Solel, forskning och marknad är Energimyndigheten, (Ref. 7) och IEA, (Ref. 8).

Branschföreningen Svensk Solenergi omfattar både solvärme och solel och representerar de företag som är aktiva inom något av teknikområdena (Ref. 9). På Europeanivå har solel en egen branschorganisation, European Photovoltaic Industry Association EPIA (Ref. 10).

Globalt sett är tillväxten för installerad solcellsel mycket stor, kring 40 % per år. Tyskland och de sista åren även Spanien har varit de länder som drivit utvecklingen genom mycket ambitiösa stödprogram, se Figur 4.3. Dessa har ofta inneburit garanterad avkastning under 20 år med cirka 4 kr/ kWh genererad solcellsel.



Figur 4.3 Globalt installerad solel t.o.m. 2007. Den mycket starka utvecklingen förväntas hålla i sig och ge stora prissänkningar på 5-10 års sikt.

4.2.2.1 Solcellsmoduler i svenska tillämpningar

Man skiljer i huvudsak på solcellsmoduler uppbyggda av celler av kristallint kisel och s.k. tunnfilmsmoduler. De senare har lägre verkningsgrad- strax under 10 % jämfört med kring 15 % för kiselcellerna, men utnyttjar mycket mindre material och är enklare och billigare att tillverka. Tunnfilm har i dag endast cirka 10 % av världsmarknaden, men är den teknik som växer snabbast. En speciell form av solcellsmodul som används mycket i byggnadssammanhang är så kallade semitransparenta moduler som kan ses som en kombination av ett fönster och en solcellsmodul. Dessa är konstruerade så att en del av ljuset går igenom eller emellan cellerna. Verkningsgraden för semitransparenta moduler sjunker proportionellt med hur mycket ljus man låter gå förbi cellerna, men cellerna i sig har samma verkningsgrad som de som sitter i standardmoduler.

4.2.2.2 Systemkomponenter samt drift och underhåll

Förutom tak- eller väggplacerade moduler eller semitransparenta moduler behövs kablage, brytare och en växelriktare för att göra en soleanläggning komplett.

Eftersom solceller levererar likström så används en växelriktare för att omforma denna till växelström så att nätanslutning skall vara möjlig. Finns det ett likspänningsnät och dito belastningar i fastigheten som överstiger effekten för ansluten solcell så räcker det att transformera till rätt spänning och förlusterna blir då lägre. Detta är dock ingen vanlig lösning i dag.

Anslutnings- och reglermässigt är solcell enkelt att hantera jämfört med solvärme. El som inte förbrukas innanför fastighetens el-central matas helt enkelt ut på nätet. Eftersom detta än så länge betalar sig dåligt i Sverige så dimensioneras de flesta anläggningar så att i stort sett all produktion utnyttjas i fastigheten.

Erfarenheter från större anläggningar i Europa visar på små eller nästan obefintliga drift- och underhållskostnader. Det som vanligast orsakar kostnader är fel på växelriktare. De senaste åren har man valt att installera flera mindre växelriktare från att tidigare ha installerat en enda växelriktare i större anläggningar på 30 – 100 kW. Den totala investeringskostnaden minskar för varje år och driftsäkerheten ökar. Användning av små växelriktare gör det även möjligt att ha ett par växelriktare i reserv för utbyte vid eventuellt haveri. Livslängden för kristallina solcellsmoduler bedöms till 20-30 år. Vissa fabriker lämnar 20 års effektgaranti innebärande max. 10 eller 20 % reduktion av toppeffekten under denna tidsperiod. Tunnsfilmcellernas livslängd är mer svårbedömd eftersom erfarenheter från långvarig drift saknas, men certifikat baserade på hårda standardiserade tester kan i viss mån ersätta detta. Livslängden hos växelriktare beräknas normalt vara 15 år.

4.2.3 Allmänt om solenergidriven komfortkyla

Det finns en rad olika tekniker att tillämpa för att generera komfortkyla med hjälp av solenergi. Till att börja med skiljer vi på eldrivna och värmedrivna processer. De eldrivna handlar enkelt uttryckt om el från solceller som driver elektriska apparater så som konventionella kompressorkylmaskiner, pumpar eller fläktar. Systemmässigt är dessa enkla såtillvida att ingående komponenter liksom reglering är standardiserade, under förutsättning att anläggningen är ansluten till ett externt elnät. På de flesta håll i Europa betraktas dessa processer på grund av höga priser och effektproblematik på el som icke önskvärda och målsättningen är att så långt som möjligt kunna utnyttja värmedrivna processer i stället. Ytterligare en parameter som oftast talar för termiskt drivna processer i det Europeiska perspektivet är deras lägre CO₂ belastning för drivenergin, men detta är knappast relevant om man jämför solceller med solvärme. Däremot gäller alltid att deras arbetsmedier har lägre GWP, Global warming potential än motsvarande för kompressionsmaskiner.

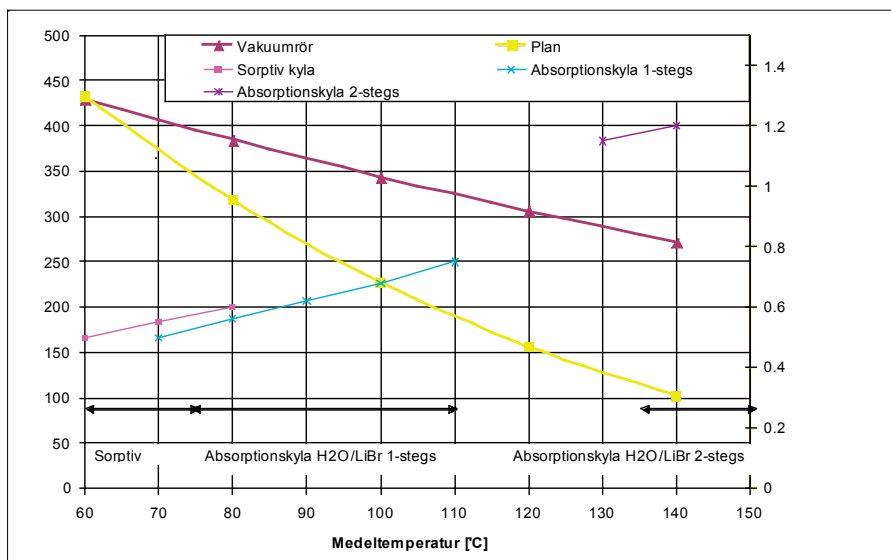
De solvärmedrivna processerna är än så länge alla i ett tidigt utvecklingsskede, man talar om första generationens system, och standardiserade koncept saknas än så länge både för stora och små effektstorlekar. Ett flertal olika tekniker finns dock tillgängliga på marknaden i dag. Av dessa har flertalet funnits med under många år, men då främst i samband med spillvärme- eller fjärrvärmeutnyttjande. Soldriven komfortkyla kan delas

upp efter öppna system där man direkt kyler luft för luftkonditionering eller slutna system där man kyler vatten, dvs. om köldmediet är i kontakt med omgivningen eller inte. De slutna system som används idag är termiskt drivna kylprocesser såsom adsorptions- eller absorptionssystem. Dessa system har en relativt hög drivtemperatur (60-90°C resp. 80-110°C) och kombineras således oftast med vakuumbör eller plana solfångare. I de öppna systemen används så kallad sorptiv kylning med drivtemperaturer på ca 45-95°C och de kan därför kombineras med enklare plana vätske- eller luftsol-fångare.

En utförligare teoretisk genomgång av olika tekniker för värmedriven kyla ges i Ref. 28.

Ett flertal större forsknings- och demonstrationsprojekt kring soldriven kyla har genomförts i Europa de senaste fem åren och här finns mycket användbar information att hämta.

1. Annex 25 under IEA Solar Heating and cooling har bland annat resulterat i ”besluts-träd” och designvägledning för solvärmedrivna kylanläggningar. Ett enkelt dimensioneringsprogram finns fritt nedladdningsbart från projektets hemsida (Ref. 26).
2. Annex 38 är ett pågående projekt som bygger vidare på resultaten från Annex 25 (Ref. 27).
3. EU projektet ROCOCO (Ref. 12) har analyserat ekonomin i 37 olika anläggningar i drift runtom i Europa
4. European Solar Thermal Technology Platform (ESTTP) och den Europeiska branschföreningen för solvärmeindustrin ESTIF presenterar potential, mål och strategiska forskningsagendor för solvärmedriven kyla i två rapporter, se Ref. 3 och Ref. 4.



Figur 4.4 Ungefärliga årsutbyten för de två huvudtyperna av solfångare samt ungefärliga COP-varianter som funktion av drivtemperatur för de studerade värmedrivna alternativen

4.2.3.1 Absorptionskylmaskiner och solvärme

Absorptionskylmaskiner är den vanligaste av tillgängliga värmedrivna tekniker. Maskiner som används i komfortkylatillämpningar använder normalt en H₂O/LiBr lösning där vattnet fungerar som köldmedium och solvärmen används för att förångna vattnet ur en

utspädd LiBr-lösning i den s.k. generatoren. Vanliga drivtemperaturer ligger normalt över 80°C och COP i intervallet 0,6-0,8 för de så kallade enstegsmaskinerna. Temperaturkravet kan sänkas till under 70°C med bibehållen COP genom ökade värmeväxlar ytor vilket dock innebär speciallösningar och ökade kostnader. El krävs för internt pumparbete och till pumpar/fläktar för kyltorn eller kylmedelskylare. För tvåstegsmaskiner krävs drivtemperaturer från cirka 140°C och uppåt och man kan då nå COP på 1,2.

För att generera kyla vid lägre temperaturer än vad som krävs för komfortkyla används absorptionsprocesser baserade på ammoniak och vatten. Drivtemperaturerna ligger i dessa på 100°C och uppåt och COP i intervallet 0,4-0,75. Driftbetingelserna för solfångare är alltså mindre gynnsamma än i fallet komfortkyla. En fördel är att dessa system klarar sig med torrluftskylare på grund av de högre temperaturerna på mellannivån.

Ett nytt koncept för absorptionsteknik som det talats mycket om i Sverige under de senaste åren är Climatewell. I denna kombineras energilagring och generering av kyla genom kristallisation av ett salt. Produkten befinner sig fortfarande i ett tidigt utvecklingsstadium, utvecklingen startade 2002 och tillverkning har startat i Spanien, där man också har sålt några hundra enheter. Den finns än så länge bara i storlekar på upp till 10 kW. Flera enheter kan dock kopplas samman för att nå högre effekter. Produkten har testats i ett fjärrvärmesystem i Sverige, men inga resultat från dessa tester har stått att finna.

4.2.3.2 Adsorptionskylmaskiner och solvärme

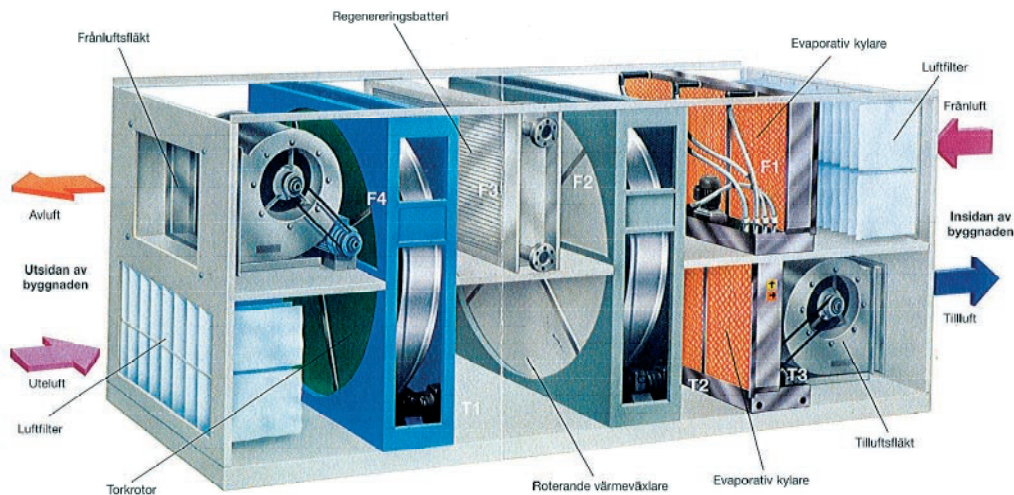
En mindre vanlig teknik med endast ett fåtal tillverkare i Asien vilka tillverkar maskiner i storleksintervallet 50-500 kW är adsorptionskyla i slutna system. Denna teknik använder vatten som köldmedium och en kiselgel som sorbent i de kommersiellt tillgängliga tillämpningarna. Solvärmens driver ut vattenånga som bundits i sorbenten. Enligt en källa anges COP till 0,6 vid 80°C drivtemperatur och möjlighet att driva processen med temperaturer ner till 60°C. En annan uppger 55°C som en nedre gräns och COP i intervallet 0,6-0,7. Det kylda mediets temperatur anges som lägst till 5-6°C. Enkel och robust mekanisk konstruktion uppges vara de främsta fördelarna med denna teknik. Genom att ingen risk för kristallisation föreligger finns det ingen teknisk begränsning nedåt för drivtemperaturen. Inget internt pumparbete krävs för att pumpa runt lösning. Bland nackdelarna nämns maskinernas stora volym och höga vikt och ett högt pris på grund av små produktionsserier. Det finns dock en stor potential för att reducera vikt och volym kraftigt genom utveckling av effektivare värmeväxlare.

4.2.3.3 Sorptiv kyla och solvärme

Tekniken för sorptiv kyla är känd i Sverige genom Munters luftbehandlingsaggregat som de senaste åren kommit att efterfrågas alltmer. Solvärmens används för att genom värmning i frånluften regenerera en kiselgel eller litiumklorid som ingår i en torkrotor, men den kan även användas för värmning av tilluft i samma aggregat om värmebehov finns.

Även i detta fall skapas kylan i ett förångningssteg. Här sker det direkt genom vatteninsprutning i både tilluft och frånluftflödena. Ingen extra värmeväxling krävs. Förångningen av vattnet tar upp värme ur ventilationsluften, som då sänks i temperatur. Aggregatet har också inbyggd värmeåtervinning ur frånluften och luftbehandling (befuktning/avfuktning) som mervärde.

Aggregatet kräver lägst drivtemperatur av alternativen (i intervallet 60-80 grader) men har lägre COP vid aktiv kyl drift (värme tillförs). Sorptiv kyla framhålls därför ofta som särskilt lämpad för drift med solvärme och då särskilt med plana solfångare vilka har begränsad temperaturkapacitet jämfört med t.ex. vakuumsör. Denna lösning ger dessutom möjlighet till kylning utan värmeförlust, delar av året, så att SPF kan bli upp mot 1,2 enligt Ref. 11. Det beror på att man då kan utnyttja frikyla genom vatteninsprutning när uteluften är tillräckligt torr och luften ändå behöver befuktas för att ge bra inomhusklimat.



Figur 4.5. Svenska Munters sorptiva kylaggregat har fått en ökad efterfrågan och lämpar sig väl för kombination med solvärme genom förhållandevis låga temperaturkrav.

Tekniken kräver högre luftflöden än vid kylning med kylbafflar eftersom kylan i detta fall enbart kan distribueras med luft. Ventilationskanalerna måste därför dimensioneras upp för att inte få stort tryckfall och fläktarbete. Kostnadsökningen vid renovering behöver dock inte bli dramatisk eftersom tryckfallet ökar med kvadraten på luftflödet samtidigt som tryckfallet påverkas med faktorn $1/\text{diametern}$ upphöjt till fem. En måttlig dimensionsökning på kanalerna kan alltså kompensera tryckfallsökningen som blir resultatet av högre luftflöden.

Sorptiv kyla med vätskesorbent använder en $\text{H}_2\text{O}/\text{LiCl}$ eller $\text{H}_2\text{O}/\text{CaCl}$ lösning i ett öppet system för både avfuktning och lagring av energi. Tekniken omnämns i litteraturen som "nära marknadsintroduktion" och "en mycket lovande teknik" och har tillämpats i någon av de anläggningar som ingår i ROCOCO studien, Ref. 12.

4.2.4 Kort om centralt genererad (fjärr) kyla och distribuerad (absorptions) kyla i fjärrvärmenätet

En absorptionskylmaskin som drivs med fjärrvärme kan antingen användas för central fjärrkylproduktion som sedan distribueras eller för lokal kylproduktion. Det senare benämns ofta som ö-drift. Det är svårt att säga vilket som är en bättre lösning, det beror främst på lokala förutsättningar såsom tillgång till naturlig mellankylning, överskottsvärme och närheten till ett befintligt fjärrkylanät.

Vanligtvis har absorptionskylmaskinen högre COP ju högre drivtemperatur maskinen kan utnyttja. En svårighet vid fjärrvärmedriven ö-drift är just att upprätthålla en hög drivtemperatur eftersom fjärrvärmemetemperaturen på sommaren i värsta fall kan gå ner mot 70°C. En lösning kan vara att sektionera fjärrvärmens till absorptionskylmaskinen för att säkerställa en högre temperatur.

Absorptionskylmaskinen arbetar som regel med cirka 10°C temperaturskillnad på drivenergin (fjärrvärmens). Detta kan innebära problem vid inkopplingen till fjärrvärmennätet eftersom returen från absorptionskylmaskinen är för kall för att koppla in på fjärrvärmens framledning, men för varm för att kopplas på fjärrvärmens returledning. Vid få installerade maskiner kan detta bortses ifrån, men vid flera maskiner installerade i samma nät blir problemet mer betydande.

Det vanligaste i Sverige idag är att fjärrvärmebolagen använder sig av centraldrift för att producera fjärrkyla som sedan distribueras, men även ö-drift är förekommande. Ö-drift lämpar sig speciellt bra för kunder som har ett relativt stort kylbehov och som är geografiskt placerade utanför fjärrkylanätet. Exempel på sådana kunder är köpcentrum och sjukhus.

4.2.5 Distributionssystem för kyla

Kyla kan antingen distribueras via ventilationsluften eller via ett vattenburet system. Det förstnämnda är vanligast i mindre och äldre lokaler, medan det sistnämnda är vanligast i nyare och större lokaler. Allmänt finns i kopplingen till absorptionskyla en potentiell fördel med vätskeburna system eftersom maskinen kan leverera ett högre COP om den kylda temperaturen kan höjas. Detsamma gäller vid utnyttjande av frikyla via evaporativ kyltorn. Väljer man i stället att distribuera kyla via tilluften kan man utnyttja alternativet sorptiv kyla, vilket enligt nuvarande praktiska erfarenheter är den mest kostnadseffektiva varianten på soldriven kyla. Det öppnar också för enkel användning av frikyla direkt från uteluften.

Ett **luftburet system** kräver olika framledningstemperaturer beroende på vilka don som används för att distribuera ut luften i lokalen. Om s.k. lågimpulsdon används distribueras luften vid en temperatur på minst 18°C (eftersom det annars kan upplevas som dragigt i lokalen). Dessa system kräver inte så låga framledningstemperaturer, vilket ofta är en fördel för dess energiprestanda. Hur mycket lägre kylvattentemperaturen eller förångningstemperaturen måste vara beror på hur stora värmeväxlarytor som tillämpas. Nackdelen med denna typ av system är att luftflödena vid höga kylbehov måste ökas för att kunna föra bort överskottsvärmen, vilket leder till att mycket elenergi krävs för att driva fläktarna. Elbehovet kan dock reduceras kraftigt genom noggrann projektering av kanalsystem, effektiva fläktar och behovsstyrda flöden. Om istället ett s.k. högimpulsdon används kan luft med lägre temperaturer, ner till ca 14°C blåsas in i lokalen, vilket ställer krav på lägre framledningstemperatur, men lägre fläkteffekt krävs då. Ett luftburet system medför också högre ljud i form av buller från fläktar än vad ett vattenburet system gör.

Ett **vattenburet kylsystem** förser lokalen med kyla genom t.ex. vattenkylda kylbafflar eller kylpaneler som placeras i taken. Värmen överförs från rumsluften till kylvattnet via fri konvektion respektive fri konvektion kombinerat med lågtemperaturstrålning.

Eftersom den kalla kylda luften är tyngre än den varmare faller den mot golvet och skapar därmed en omblandning av luften. Andra lösningar är fläktkonvektorer eller induktionsapparater som använder påtvingad konvektion för att transportera bort värme från rummet. Vilka framledningstemperaturer som krävs på kylvattnet beror på hur systemet dimensioneras och vilka rumslösningar som används. Vanligt är att systemen dimensioneras för en framlednings- respektive returtemperatur på 14 respektive 17 eller 18°C, men det finns även exempel på kylbaffelsystem i nyare lokaler som dimensionerats för en framledningstemperatur på 19°C med god energiprestanda eftersom den högre framledningstemperaturen ledde till lägre energibehov kylmaskinens kompressor.

4.3 Problemställningar

Att komfortkyla på en rad olika sätt kan genereras med hjälp av solenergi är ingen nyhet och projektet gör inte heller anspråk på att presentera några i grunden nya koncept. Nytt i detta sammanhang, för svenska förhållanden, är dels kombinationen solvärme och fjärrvärme för att driva en absorptionskylmaskin eller en sorptiv kylanläggning, dels möjligheten att utnyttja solcellsel för att driva olika system för komfortkyla, t.ex. kompressor- eller kyltornssystem. Vi har också studerat kombinationer av solvärme och solcellsel, där värmen driver en absorptionskylmaskin eller en sorptiv kylanläggning och elen driver diverse kringutrustning t.ex. pumpar och fläktar till kyltorn eller torrluftkylare.

Undersökningen har därmed fokuserat på följande två frågeställningar:

- Kan systemet i någon mening göras självförsörjande/ helt baserat på solenergi?
- Hur kan solvärme bidra till att effektivisera en fjärrvärmedriven kylprocess?

Dessa frågeställningar leder bl.a. till följande kompletterande frågor:

- Hur ser tillgången på solinstrålning ut över året?
- Finns det avgörande skillnader för el- respektive värmeproduktion med avseende på denna tillgång?
- Hur varierar tillgång på solenergi och behovet av värme över dagen vid olika tider på året?
- Marknad och prisbild för olika ingående tekniker?
- Förväntad insats för drift och underhåll för olika system?
- Förväntad effektivitet i olika energiomvandlingar?
- Hur ser temperaturkrav på tillförd värme ut i olika kylprocesser/ olika kylmaskiner och leder detta till olika typer av solfångare beroende på val av kylprocess/ kylmaskiner?
- Påverkar valet av distributionssystem för komfortkyla utformningen av solvärmeanläggningen på något avgörande sätt?
- Vilka möjligheter finns för att göra sig av med ”lågtemperaturvärmen” och hur påverkar dessa möjligheter processens effektivitet i samband med solvärmeutnyttjande?

Resultaten av studien redovisas dels som generella slutsatser och nyckeltal, men också konkretiserat till en reell tänkt tillämpning i fastigheten Simonsland i Borås. Därför försöker vi också att ge svar på frågan:

- Vilket av studerade alternativ lämpar sig bäst för en pilotanläggning i fastigheten Simonsland?

4.4 Metod och studerade systemlösningar

Sammanfattningsvis har arbetet bestått i följande delmoment:

1. Definition av systemlösningar
2. Upprättande av enkel beräkningsmodell för LCC och andra nyckeltal i Excel
3. Insamling av indata till beräkningar genom marknads- och litteraturstudie samt diskussion med konsulter
4. Beräkning av nyckeltal för jämförelse av systemlösningar: Investerings- drifts- och livscykelkostnader m.m.
5. Upprättande av modell av byggnad och kylproduktionssystem i simuleringsprogrammet TRNSYS
6. Simuleringar av byggnad med komfortkylsystem för att studera tidsförlopp för tillgång på värme och efterfrågan på kyla
7. Sammanställning och analys av resultat från beräkningar, simuleringar, marknads- och litteraturstudie

Inledningsvis definierades sex olika alternativa systemlösningar för produktion av komfortkyla med hjälp av solenergi. De sex alternativen omformulerades så småningom till fem och dessa, liksom motiven för att de inkluderats i analysen framgår av Tabell 4.2. Ett allmängiltigt motiv för att undersöka kombinationen solenergi och komfortkyla är naturligtvis att tillgång och efterfrågan på energi ligger mycket väl i fas i denna tillämpning.

Tabell 4.2. Studerade systemkoncept för soldriven komfortkyla samt motiven för att ta med respektive teknik i analysen.

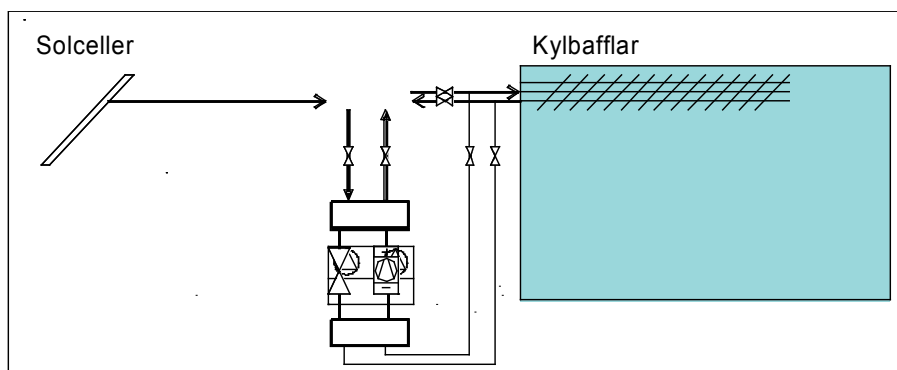
	Systemlösning	Motiv för deltagande
1	Solel för kompressordrift	Ökande intresse för solcellsproducerad el kopplat till bidrag och nya inmatningsregler.
2	Solceller Driftel + Solvärmespets + fjärrvärme till absorptionskylmaskin+ (Kyl/värmetank)	Problematiken kring för låga framledningstemperaturer i fjärrvärmenätet sommartid, för att kunna driva absorptionskylmaskiner effektivt. Solvärmespetsar temperaturmässigt.
3	Solvärme + fjärrvärme till absorptionskylmaskin + (Kyl/värmetank)	Generell energibesparing/övergång till förnyelsebar energi
4	Solel för driftel till frikyla/kyltorn	Som 1) men kombinerat med en mer energieffektiv kylprocess
5	Solvärme+ fjärrvärme till sorptiv kylning/ luftbehandling	Förhållandevis låga krav på drivtemperaturer gör att enkla solfångare eller fjärrvärme med för sommardriftfallet normala temperaturer kan användas

Ett Excelark byggdes upp för att kunna studera och jämföra de olika systemlösningarna (se avsnitt 6.1 för en utförligare beskrivning samt Bilaga 1 och 2 för det kompletta

Excelarket). Baserat på bl.a. kostnads- och effektivitetsdata för ingående delsystem samt uppgifter om tillgängliga investeringsstöd för solenergi beräknades en uppsättning nyckeltal som legat till grund för jämförelsen av de olika alternativen. Utgående från fastigheten Simonsland definierades randvillkoren för simuleringar av kyl- och värmebalanser, solvärmestillskott m.m. Simuleringarna beskrivs vidare i avsnitt 6.2.

4.4.1 Solel för kompressordrift och/eller driftel

I detta alternativ studeras hur mycket el som kan produceras genom att belägga hela den tillgängliga takytan med solceller för elproduktion. Vidare studeras hur stor del av det totala kylbehovet som kan täckas av denna elproduktion genom att använda en traditionell kompressorkylmaskin (chiller), för kylproduktionen. Det är i detta fall inte nödvändigt att elen produceras samtidigt som den används, utan vi har tänkt oss att el kan matas in på nätet den tid som det produceras ett överskott, och att el tas från nätet då produktionen inte täcker de egna behoven.

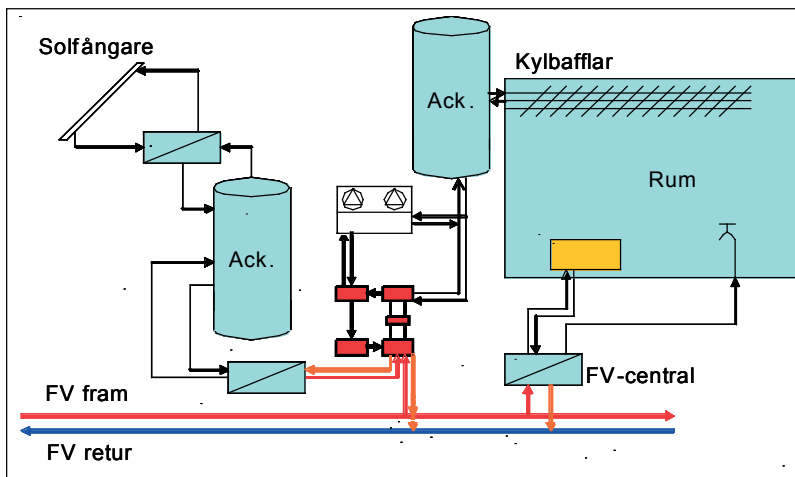


Figur 4.6 Solceller producerar el som används för att driva kompressorkylmaskin eller tillgodose behovet av driftel till kylmedelskylare eller liknande.

4.4.2 Solvärme och fjärrvärme till absorptionskylmaskin samt kyl-/värmeeackumulator

I detta alternativ används solfångare för att driva en absorptionskylmaskin så långt det är möjligt. I systemlösning 2 kopplas fjärrvärmeframledningen i serie med solvärmens så att solvärmens spetsvärmer fjärrvärmevattnet innan det går till absorptionsmaskinen. Maskinen får då en högre COP så länge solvärmens kan lyfta temperaturen över fjärrvärmens temperatur, men samtidigt blir returtemperaturen på fjärrvärmens högre. I systemlösning 3 kopplas solvärmens och fjärrvärmens parallellt så att solvärmens producerar samma temperatur som fjärrvärmens. Den tid som solfångarna inte kan tillgodose värmebehovet för att driva absorptionsmaskinen kompletteras med fjärrvärme. Frikyla via tilluften används i största möjliga mån i båda systemlösningarna. En ackumulator-tank sätts in på solsidan för att dels undvika glykol-vattenlösning i absorptionsmaskinen, dels för att kunna lagra värme som producerats av solfångarna under kortare tid (enstaka timmar upp till ett dygn) så att den bättre kan möta kylbehovet. Genom att ha en kylackumulator på distributionssidan kan frikyla utnyttjas nattetid och under tidig morgon för att lagra in kyla. Man kan även beroende på byggnadens tyngd utnyttja själva byggnadsstommen för att lagra in frikyla.

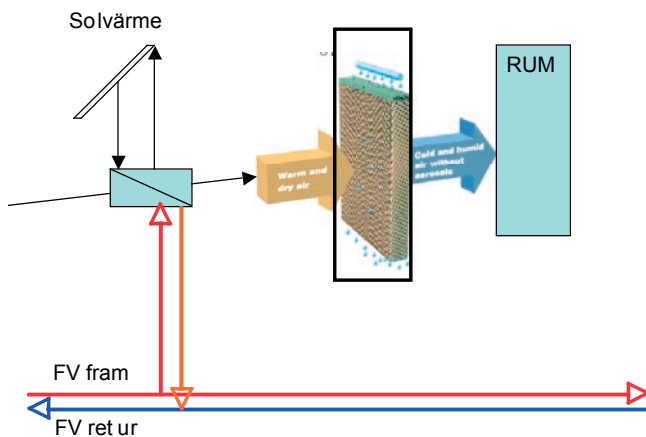
Lagring av kyla och/ eller värme har inte ingått i simuleringsberäkningar eller som investeringskostnader i LCC kalkylen, vilket vi menar är en acceptabel förenkling så länge energitäckningsgraden ligger under 50 %. Ett kvalitativt resonemang om energilagring följer i avsnitt 4.4.4.



Figur 4.7. Absorptionskylanläggning med värme från solfångare och fjärrvärme. Kylning vid mellantemperaturnivå kräver oftast kyltorn eller möjligen kylmedelskylare med uppemot dubbla kapaciteten jämfört med vad som krävs för en kompressorkylare med motsvarande kyleffekt.

4.4.3 Solvärme och fjärrvärme till sorptiv kylanläggning

I detta alternativ används solfångare för att driva regenereringen av torkmedlet så långt det är möjligt. En ackumulatortank för korttidslagring (effektutjämning) ingår som regel även i detta system. Den tid som solfångarna inte kan tillgodose värmebehovet för att driva absorptionsmaskinen kompletteras med fjärrvärme. Även i detta fall används frikyla via tilluften i största möjliga mån. Genom att kylan är luftburen kan frikyla utnyttjas nattetid och under tidig morgon och man kan även beroende på byggnadens termiska massa utnyttja själva byggnadsstommen för att lagra in frikyla.



Figur 4.8. Sorptiv kylanläggning med värme från solfångare och fjärrvärme

4.4.4 Lagring av värme eller kyla

Solenergi från en solfångare är ”färskvara” till sin natur och systemets utformning och lastens tidsfördelning i förhållande till solenergiproduktionen har stor betydelse för hur mycket man kan utnyttja och hur man ska dimensionera solvärmedelen av systemet.

På grund av låga temperaturdifferenser på både varma och kalla sidan av en absorptionskylmaskin så är det svårt att lagra energi i ett system för solkyla utom kortvarigt för några timmar. Energitätheten i en vattenackumulator är av storleksordningen 10 kWh/ m³ vid en temperaturdifferens på 10°C. På varma sidan kan man utnyttja högre temperaturdifferenser, och man kan då lagra 40-50 kWh/m³. Detta driver upp temperaturen i systemet vilket ger ökat COP i kylprocessen men sänkt effektivitet på solfångarna. Det kan även innebära att man behöver ha en trycksatt tank, vilket ger ökade kostnader.

Vid TRNSYS-simuleringarna har vi därför fokuserat på att studera tidsförloppet för kylbehov och solvärmeproduktion för att säkerställa att det inte ställs för höga krav på lagring i systemet och att inte för mycket av solvärmeproduktionen kommer vid fel tidpunkt. Resultatet är att med söderriktade solfångare och måttlig solandel (<50% av totala behovet), så kan den momentana solvärmeproduktionen sväljas av kylbehovet till stor del utan lagring. Vissa överskott uppstår dock under veckosluten då internlasten antas gå ner kraftigt och dessa måste hanteras. Om inget värmebehov finns i fastigheten så behöver det lösas antingen genom lagring i tank eller fjärrvärmenät eller i sista hand, genom dumpning av värme.

En viss effektbuffert kommer troligen alltid att krävas för att ge anslutna kylmaskiner hanterbara driftförhållanden. Normalt för solvärme är det optimalt med dygnslagring som är relativt enkelt, med en vattentank på ca 50-100 l/m² solfångare när man har värme och varmvatten som last. Detta är enligt Ref. 12 också ett optimalt förhållande mellan tankvolym och solfångarearea för värmelagret i solkylanläggningar. Installationer utförda av en av de mest etablerade europeiska aktörerna på området ligger i intervallet 10-50 l/m², se Ref. 13.

5 TILLGÄNGLIGA PRODUKTER, TJÄNSTER OCH INVESTERINGSSTÖD

I det följande ges en kort översikt över kommersiell tillgänglighet på några av de viktigare ”okonventionella” produkterna relaterade till solenergidriven komfortkyla, d.v.s. produkter som inte förekommer, eller som behöver modifieras jämfört med standardtillämpningarna för värmedriven kyla. I Excelarket (se avsnitt 6.1) görs också ett försök att ranka statusen för ”mjuka parametrar” som t.ex. livslängdsfrågor, tillgång på produkter, konsultkompetens, leverantörer m.m. för de olika alternativlösningarna.

5.1 Solvärmeprodukter och investeringsstöd

Solfångarteknik har kortfattat behandlats i avsnitt 4.2.1. Det finns en handfull tillverkare av plana solfångare i Sverige och ett stort antal leverantörer av importerade produkter, såväl plana solfångare som vakuumsolfångare.

Det finns i dag en Europeisk kvalitetsmärkning för solfångare, Solar Keymark, som är väl etablerad och som ger tillträde till de flesta subventionssystem runt om i Europa inklusive det svenska. I Sverige gäller Solar Keymark eller motsvarande som ett nödvändigt krav för investeringsstöd från och med 2011, men fram till dess är provning enligt EN standard, utan tredjepartskontroll, tillräcklig. Stödet som är rambegränsat kommer av allt att döma att finnas kvar i sin nuvarande utformning till och med 2013. I huvudsak gäller för stödet:

- Ger 2,50 kr per producerad års kWh vid 50 graders medeltemperatur
- Max. 3 Mkr i stöd till ett enskilt projekt
- Anläggningsägaren har rätt till stödet som gäller för alla typer av tillämpningar för glasade solfångare med vätska som arbetsmedium

De sista två punkterna gäller sedan stödet modifierades under 2009 och innebär ökade möjligheter för större installationer och så kallade färdig värme/ kyla lösningar. För en förteckning över stödberättigade produkter i Sverige, kontaktuppgifter till leverantörer och stödgrundande årsutbyten, se Ref. 15.

Vissa av de större leverantörerna samarbetar med egenutbildade installatörer och med någon av de få konsulter i Sverige som åtar sig att räkna på större installationer. Kunskapsläget hos konsulter lämnar annars som regel en hel del att önska då det gäller solvärme. Att erfarenhet från större solvärmeinstallationer hos projektörer/ konsulter och installatörer är en grundförutsättning för en att få tillstånd en väl fungerande anläggning kan inte nog understrykas. Utbildning och information för att utveckla kompetens i detta avseende lyfts fram som en viktig framgångsfaktor för solvärmedriven komfortkyla i flera internationella studier. I Sverige planeras för närvarande för en certifiering av solvärmeinstallatörer och för utbildning av installatörer och konsulter.

5.2 Solelprodukter och investeringsstöd

Solcellsel har kortfattat behandlats i avsnitt 4.2.2. Det finns ett fåtal tillverkare av solcellsmoduler (baserade på importerade solceller) i Sverige och ett tiotal leverantörer av importerade eller svenskproducerade produkter. Färre än fem har erfarenhet av större installationer. För växelriktare gäller uteslutande importprodukter. Information om leverantörs- och installatörsföretag fås säkrast hos föreningen Svensk Solenergi, Ref. 9.

Det finns i dag en Europeisk kvalitetsmärkning för solcellsmoduler, PV GAP, som dock inte har fått något större genomslag. Som regel tas i stället provning av prestanda och hållbarhet av modulerna enligt IEC 61215 (Kiselceller) eller 61646 (Tunnfilmsceller) och kvalifikation gentemot säkerhets- och konstruktionskrav enligt IEC 61730 som intyg på kvalitén, men någon tredjepartskontroll existerar inte.

I Sverige planeras från halvårsskiftet 2009 ett nytt stöd till solcellsel. Med hänvisning till hittillsvarande goda erfarenheter av kvalitén och att man på grund av stödets totalt sett ringa omslutning vill undvika omfattande administration kring kvalitetsgodkännanden så kommer inga specifika kvalitetskrav att gälla. Stödet är rambegränsat och enligt förhandstipsen så kommer söktrycket på de cirka 50-60 Mkr per år som avsatts att vara mycket hårt. Stödet planeras i dagsläget gälla till och med 2011. I huvudsak gäller för stödet, enligt tillgänglig förhandsinformation:

- Stöd utgår för 60 % av stödgrundande kostnader
- Ger maximalt 75 000 kr per installerad kW topp effekt
- Max. 2 Mkr i stöd till ett enskilt projekt
- Anläggningsägaren har rätt till stödet som gäller för alla typer av nätanslutna tillämpningar

Som tidigare nämnts är priset per installerad topp effekt för en solcellsanläggning mycket storleksberoende och utvecklingen mot lägre kostnader i tillverkningen är stark. Ekonomin i en installation som levererar mer än det egna effektbehovet kommer också att vara starkt beroende av vilken typ av avtal som kan slutas med nätägaren. Enligt ett förslag till lagändring ska svenska anläggningsägare få möjlighet att tillämpa net-todebitering på månadsbasis, d.v.s. ett överskott som levereras ut vid en tidpunkt kan användas vid en annan utan någon kostnad under förutsättning att det sker inom en och samma månad.

5.3 Absorptionskylmaskiner

Det finns idag ett stort utbud av absorptionskylmaskiner, främst i storleksklasser över 100kW. Tillverkarna av dessa stora aggregat kommer nästan uteslutande från Asien. Exempel på tillverkare är Thermax, Broad, Yazaki, Sanyo, Trane och Carrier. Yazaki-maskiner förekommer ofta i samband med soldriven absorptionskyla.

Intresset för att använda dessa för fjärrkyleändamål ökar också, bl.a. i Sverige och Finland, men är än så länge starkast utvecklat i Tyskland.

Då det gäller enbart hetvattendrift finns maskiner med en kyleffekt i intervallet mellan 150-6000 kW. Maskinerna körs med drifttemperaturer på 95°C och uppåt. Maskinerna levererar köldbärarvatten med en temperatur på 6-7°C och returtemperaturen ligger på ca 12°C. COP ligger på mellan 0,65-0,75.

York erbjuder maskiner i 20-60 kW området, dessa har dock en drifttemperatur på mellan 75-95°C. Temperaturerna på det kylda vattnet ligger mellan 7-11°C, returvattnet håller en temperatur på 11-18°C. COP ligger på 0,7.

På storlekar ner mot 10 kW har det skett en stark utveckling de senaste åren. Det finns i dagsläget några tillverkare (Pink, Climatewell, Sortech) av mindre maskiner, i ca

10kW-storleken, men dessa är inte aktuella för den tillämpning som studeras här.

Dessa maskiner skulle dock kunna vara intressanta för komfortkyla i mindre kommersiella lokaler som redan har tillgång till fjärrvärme.

Climatewells lösning är mycket intressant, då den även erbjuder möjlighet till lagring av kyla genom den saltlösning som används som arbetsmedium.

6 BESKRIVNING AV BERÄKNINGAR OCH RANDVILLKOR

6.1 LCC beräkningar

Ett Excelark har upprättats för att på ett överskådligt och systematiskt sätt kunna jämföra de olika alternativa teknikerna mot varandra, se Bilaga 1 och 2. Arket är därmed tänkt att kunna användas till:

1. En grov kostnadsanalys om man vill jämföra olika alternativa lösningar för sol-driven komfortkyla
2. Känslighetsanalyser för att studera hur LCC för en viss lösning varierar med olika antaganden för indata
3. Att ge en känsla för vad som är möjligt att åstadkomma med hjälp av olika tekniska lösningar i ett givet fall

Kostnaderna redovisas dels som ett pris på kyla (kr/kWh) med och utan investeringsstöd till solenergi. I denna kostnad ingår en annualiserad investeringskostnad samt en årlig driftkostnad för alternativen enligt Tabell 6.1. På arkets LCC-flik beräknas livscykelkostnaden för de studerade alternativen och jämförs med referensen fjärrkyla.

Tabell 6.1 Beskrivning av kostnader som ingår i de ekonomiska beräkningarna

		Omfattning investeringskostnad	Omfattning driftkostnad	Kommentar
1	Solel för kompressordrift	Solelsystem, chiller, kyltorn eller torrluftkylare, installation	Köpt eller levererad el utöver solel	Om produktion > behov räknas driftelpriset negativt
2	Solvärmespets + fjärrvärme till absorptionskylmaskin	Solfångare och rör, kyltorn eller torrluftkylare, installation	Köpt driftel och fjärrvärme utöver solvärme	Ingen ersättning för ev. levererad överskottsvärme. Fast eller fast+ rörlig avgift för fjärrvärmen blir helt avgörande för priset på kyla
3	Solvärme + Fjärrvärme till absorptionskylmaskin	Solfångare och rör, kyltorn, installation	Köpt driftel och fjärrvärme utöver solvärme	Ingen ersättning för ev. levererad överskottsvärme. Fast eller fast+ rörlig avgift för fjärrvärmen blir helt avgörande för priset på kyla
4	Solel för driftel till frikyla/ kyltorn	Solelsystem, kyltorn, installation	Köpt eller levererad el utöver solel	Om produktion > behov räknas driftelpriset negativt
5	Soldriven Sorptiv kyla + fjärrvärme returdriven	Solfångare och rör, installation	Köpt driftel och fjärrvärme utöver solvärme	Ingen ersättning för ev. levererad överskottsvärme. Fast eller fast+ rörlig avgift för fjärrvärmen blir helt avgörande för priset på kyla

Arket som ingår i rapporten levereras i mjukvaruform i en version med alla celler utom indataområdena låsta för att skydda mot oavsiktliga ändringar i formlerna och i en version med samtliga celler låsta. De låsta indatavärdena representerar "state of the art" för indata, utgående från att en anläggning på i storleksordningen 1 MW kyla analyseras. Dessa kan justeras av användaren med ledning av Tabell 6.2 i det

”halvöppna” arket. Beräkningarna blir förhållandevis komplexa och omfattningen har därför medvetet begränsats i vissa avseenden för att underlätta för användaren. Viktiga begränsningar som användaren behöver känna till:

- I stort sett alla investeringskostnader som ingår i kalkylen är kraftigt effektberoende men i Excelarket anges endast en fast kostnad för varje typ av utrustning
- Solfångarutbyten liksom COP för kylgenerering är alltid temperaturberoende och kan dessutom ofta variera stort från en produkt till en annan. I arket anges endast ett fast utbyte för sorptiv kyla och ett för absorptionskyla och ett fast COP för respektive alternativ
- Kostnader för eventuell lagringskapacitet för värme eller kyla finns inte med i kalkylen. Ett grovt riktpreis för tankar är 3000 kr/m³ för en trycklös och 4500 kr/m³ för en trycksatt oisolerad tank.
- Minskade kostnader som resultat av eventuellt försåld överskottsvärme ingår inte heller i kalkylen vilket däremot gäller för försåld el
- Underhållskostnader ingår inte
- Driftkostnader för vatten och vattenbehandling till vått kyltorn ingår inte. Exemplet på 1 MW kyla förångar ca 1 liter/ sekund vid topp effekt. Ref. 14 anger denna kostnad, som kan variera stort beroende på lokala förutsättningar, till ca 0,1 kr/ kWh

Man får alltså se upp med att ta några värden för givna och kommentarerna i Tabell 6.2 nedan är avsedda som en vägledning i detta avseende.

Arket fungerar så att en förändring i indata följd av ett tryck på entertangenten eller motsvarande resulterar i en ändring i utdata. En färgkodning har använts för att öka överskådligheten. In- och utdata är upplagt enligt följande:

Indata (Grönmarkerade celler)

- Samtliga kostnader och ekonomiska parametrar utom energiprisökningar, kalkylräntor och livslängder (som anges på LCC fliken) anges i gröna fält i Kolumn G
- Energirelaterade parametrar, t.ex. effektivitetsmått för solfångare och solceller anges (som topp effekt [kWp/m²] och årligt energiutbyte [kWh/m²]) anges i gröna fält i Kolumn G
- Arean för solcellsmoduler respektive solfångare (Obs! Byggarea!) anges i gröna fält i kolumnerna E och F
- COP= Avgiven kyleffekt/ tillförd värme- eller eleffekt anges för respektive teknik i förekommande fall i kolumn G

Utdata

Generellt så är utdata kopplade till solel är märkta med ljusblå färg, data kopplade till solvärme med orange

- Toppeffekt för ”solenergigenererad” kyla presenteras för varje alternativ i kolumn D
- Toppeffekt för solel respektive solvärme presenteras i förekommande fall för varje alternativ i kolumnerna H och I

- Årlig energiproduktion för solel respektive solvärme presenteras i förekommande fall för varje alternativ i kolumnerna J och K
- Annualiserad investeringskostnad för solelbaserad komfortkyla, med respektive utan investeringsstöd presenteras i förekommande fall för varje alternativ i kolumnerna W och Y
- Annualiserad investeringskostnad för solvärmebaserad komfortkyla, med och utan investeringsstöd presenteras i förekommande fall för varje alternativ i kolumnerna X och Z
- Kostnaden för levererad kyla från solel respektive solvärme, med och utan stöd presenteras i kolumnerna AA t.o.m. AD
- Energitäckningsgraden för kyla baserat på solel respektive solvärme presenteras i kolumn AE

En sammanställning av indata redovisas i Tabell 6.2 och resulterande nyckeltal framgår av avsnitt 7 ”Resultat av systemanalyser”

Drift- och underhållskostnader:

Driftkostnader ingår i excel arket genom köpt energi för tillskott när inte solenergin räcker till samt för driftel till de värmedrivna processerna som för enkelhets skull har renodlats så att de enbart utnyttjar solvärme, d.v.s. all driftel räknas som köpt el. Den sorptiva kylaren har därvid antagits ha försumbart elbehov för själva kylprocessen och fläktelen är alltså inte medräknad. Totala driftkostnader för soldrivna kylanläggningar är i dagsläget mycket svåra att uppskatta eftersom solkyla inte är en etablerad beprövad teknik än, utan det byggs och drivs för närvarande ett stort antal (100-tals) prototyper och demoanläggningar över hela världen. För en normal solvärmeanläggning är drift och underhållskostnaden enstaka procent av investeringskostnaden och påverkar ekonomin väldigt litet. Eventuella kvalitetsbrister i system och komponenter slår mycket hårt i en solenergianläggning där ekonomin bygger på en lång avskrivningstid med låga rörliga kostnader.

Normalt åtgår ca 1-1,5% av kyleffekten i elkonsumtion till att driva absorptionskylmaskiner. Till detta kommer pumpning av kylt vatten i distributionssystemet samt fläkt- eller pumpenergi för kyltorn/kylmedelskylare/ värmväxlare. Sammantaget åtgår därmed mellan 5-10 % av levererad energi som kyla till drivenergi i form av el. Underhållskostnaderna för en absorptionskylmaskin är mycket låga vid normal drift då det finns få rörliga delar som behöver underhållas.

6.2 Simulering av kylbehov och tillförd solvärme

Ett grundläggande antagande kring kombinationen solenergi och komfortkyla är att tillgång och efterfrågan ligger i fas och att det därmed bör finnas goda förutsättningar för att sådana koncept skall ha kommersiell bärkraft. Antagandet är naturligtvis riktigt så till vida att de största kylbehoven uppträder under sommarmånaderna, då tillgången på solenergi är som störst. Men hur förhåller det sig med samvariationen under dygnets timmar och från dag till dag under sommaren och hur inverkar detta på ett eventuellt lagringsbehov?

Tabell 6.2. Indata till excelarket som systemjämförelsen baseras på. Nominella värden är de som angetts i slutversionen av arket.

Indataparameter [Enhet]	Nominellt Värde	Variation	Kommentar/ referens
Investeringskostnad absorptionskylmaskin ¹⁾ [kkr/kW kyla]	2,5	2-24	Mycket storleksavhängigt! Grovt enligt Ref. 19 och Ref. 12: 20 kkr/kW vid 5 kW 6,5 kkr/kW vid 100 kW 2,5 kkr/ kW vid 1 MW
Investeringskostnad Kompressorkylmaskin [kkr/kW kyla]	2	2-6	se Ref. 14
Investeringskostnad Kyltorn eller torr-luftkylare [kkr/kW bortförd värme]	0,3	0,2-1	Nominellt värde gäller vått kyltorn. Mycket storleks- och teknikberoende! Se Ref. 14, Ref. 19, Ref. 21 och Ref. 25
Investeringskostnad Sorptiv kyla [kkr/kW kyla]	2		Inkluderar luftbehandling. Ref. 11
Fjärrkyla [kr/kWh kyla]	0,82		(fast+rörlig kostnad) Ref. 22 och Ref. 24
Fjärrvärme [kr/kWh värme]	0,38		(rörlig kostnad) Ref. 22
Fjärrvärme [kr/m ³ /h]	24460		(Flödesberoende effektkostnad) Ref. 22
Fjärrvärme [kr/år]	10710		(Fast årlig kostnad) Ref. 22
Solel [kkr/kWp]	50		Kiseller eller tunnfilm kan komma att skilja betydligt i pris. Storleksavhängigt, grovt enligt Ref. 16: 80 kkr/kWp vid 1 kWp 50 kkr/kWp vid 10 kWp 40 kkr/kWp vid 100 kWp
Solel [kWh/kWp/år]	800		Helårsutbyte enligt tumregel från byggda anläggningar i Sverige och Norra Tyskland.
Solel [kWp/m ² /år]	0,15	0,08-0,15	Tunnfilm-Kisel, nominella värden
Solvärme [kkr/m ²]	3,6	3-5	Plana solfångare och vakuumsolbaserat på byggarea 2600kr/m ² solfångare + 1000kr/m ² solkrets glykol.
Solvärme [kWh/m ²]	260/ 300	200-400	Uppskattat för effektiv vakuumsol/ plan solfångare, baserat på byggarea vid cirka 90/ 70 °C arbetstemperatur, se Figur 4.1. 75% av helårsutbyte som kan vara högt räknat i kWh för enbart solkyla leverans sommar-månaderna. Nyttiggjort för kylproduktion varierar med dimensionering/ täckningsgrad.
Investeringsstöd solel [%]	60	0-60	Förväntat stöd från juli 2009 t.o.m. 2011. Begränsad budget, se avsnitt 5
Investeringsstöd solvärme [kr/kWh/år]	2,5	0-2,5	Existerande stöd sedan 2009 t.o.m. 2013, se avsnitt 5
COP absorptionskylmaskin	0,6/ 0,7	0,5-1,2	Temperatur/ konstruktionsberoende, se Ref. 3, avsnitt 4.4 och avsnitt 7
COP kompressorkylmaskin	3,0	2-5	se Ref. 3
COP sorptiv kylanläggning	0,5	0,5-0,6	se Ref. 11 och avsnitt 4.4
COP frikyla med vått kyltorn	7	1-20	Årsvärde för SPF enligt Ref. 20

¹⁾ Samtliga kostnader inkluderar rör- o. el material samt installation, men inte distributionssystem för kylan

För att bättre förstå detta upprättades en modell över en tänkt tillämpning med hjälp av simuleringsprogrammet TRNSYS. Programmet har använts för energisystemsimulering under mer än 30 år och har sin stora fördel i flexibiliteten och ger realistiska resultat även på kort tidsskala. Programmet kräver dock stor erfarenhet och kunskap om effektiv modellering för att arbetsinsatsen ska bli rimlig i förhållande till nyttan. För upprepad användning inom en konkret och väldefinierad tillämpning kan ett tilläggswerktyg (Trnsed) användas för att skapa effektiva verktyg för icke experter.

För att förankra analysen i en verklig tillämpning och på så sätt också underlätta för ett kommande realisering av ett projekt baseras simuleringarna på data från fastigheten Simonsland i Borås. Eftersom detaljerad projektering ännu inte har påbörjats så består indata kring laster och detaljer i byggnadskonstruktion till stor del av schablonvärden, som dock enkelt kan justeras vid behov, då skarpa värden finns tillgängliga. För övergripande storheter som tak- och lokalareor m.m. har verkliga uppgifter använts.

Byggnaden har simulerats med noggrannast möjliga modell inklusive dynamiska effekter (valet av indata påverkar dock absolutnoggrannheten, vilken kan förbättras). Solfångare och kylmaskin har däremot modellerats på 1:a ordningens nivå med en noggrannhet på uppskattningsvis +/-20 % men dessa apparater har kort tidskonstant jämfört med byggnaden varför denna noggrannhet bedömdes räcka för att ge realistiska resultat på en övergripande nivå. Ackumulator, detaljerat styrsystem och rörsystem är inte simulerat i detta skede eftersom det bedömdes som alltför tidsödande att få med, till liten nytta för slutresultatet i en förstudie. Däremot har modellen räknat in solvärmestillskott som varit större än kylbehovet under enskilda timmar, vilket kan sägas motsvara en mindre lagringskapacitet. Detta har i medeltal gett 5-10 % högre solvärmebidrag till kyla jämfört med om man räknat strikt utan detta överskott. Samtidigt har redovisade resultat baserats på 100 graders medeltemperatur i solfångarna vilket ger en konservativ bedömning av utbytet.

7 RESULTAT AV SYSTEMANALYSER

I det följande presenteras resultaten av analysen av de olika alternativlösningarna. De solelsbaserade lösningarna visar sig vara betydligt mer ekonomiskt fördelaktiga än de värmedrivna. Resultaten av den ekonomiska analysen av solvärmekompletterad fjärrvärmedriven kylproduktion varierar kraftigt beroende på vilken taxa som tillämpas för fjärrvärmen. Detta gäller naturligtvis i ännu högre grad för ett system som enbart drivs med fjärrvärme. Kostnaderna för kyla slutar på ett årligt snitt på 4-5 kr/ kWh, då man tillämpar fast plus rörlig kostnad för fjärrvärmen, och 1- 1,5 kr/ kWh om enbart den rörliga kostnaden beaktas. Beräknade energipriserna redovisas i det följande endast för det senare fallet, d.v.s. med antagandet att kompletterande fjärrvärme endast belastas med rörliga kostnader.

Tabell 7.1 Nyckeltal som jämförelsen av de olika alternativen baseras på

Nyckeltal
Pris Solel kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]
Livscykelkostnad Solel kyla med/ utan investeringsstöd [kkr]
Utbyte Solel kyla [Wkyla/m ² solcellsmodul]
Pris Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]
Livscykelkostnad Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [kkr]
Utbyte Solvärme kyla [Wkyla/m ² solfångare]
Erforderliga drivtemperaturer/ temperaturkrav mot fjärrvärmen
Nominella temperaturdifferenser

7.1 Resultat för solel till kompressor och/eller driftel

För solcellsel till kompressorkyla gäller helt enkelt att kylutbyte per installerad eleffekt ges av kompressorns COP. En (1) kW topp-effekt installerad solcellsel (vid instrålning 1000W/m²) motsvarande knappt 7 m² solcellsmoduler ger alltså 4 kW kyla vid ett COP på 4. För att effektmässigt täcka det uppskattade topp-effektbehovet för kyla på 30 W per m² i fastigheten Simonsland krävs alltså i storleksordningen 0,05 m² solcellsmodul per m² lokalyta eller totalt 1760 m². Resultaten från Excelarkets energi- och livscykelkostnader för alternativ 1 redovisas i Tabell 7.2.

I denna systemlösning antas förångningen för kompressionsmaskinen ligga 3-5 K lägre än behovet av framledningstemperatur för luftburet eller vattenburet kyladistributionssystem.

Kondenseringen designas för att ske mot antingen ett kyltorn, en kylmedelskylare, eller en värmeväxlare som växlar åvatten från Viskan. I fallet med Viskan kan man anta en högsta temperatur om cirka 30 grader (ofta inte högre än 23 grader), och kondenseringen kan då ske vid cirka 35 grader. Om en kylmedelskylare används bör man räkna med en sluten vattenkrets mellan kondensator och kylare. Denna extra krets innebär en temperaturdifferens mellan kondensation och uteluft på cirka 10 K, och då uteluften

kan nå upp emot 35 grader bör man räkna med kondensation vid cirka 45 grader. Användandet av kylmedelskylare innebär därmed att COP blir lägre för denna lösning, dels på grund av ett högre temperaturlyft, dels på grund av ett ökat energibehov för fläktar i kylaren. Då distribution av kyla sker via luft behövs en värmväxlare i luftkanalen för tilluft, vilket innebär ytterligare en temperaturdifferens att övervinna.

Man kompletterar även systemlösningen med en koppling direkt till kyltorn/kylmedelskylare/värmväxlare för att kunna utnyttja frikyla så långt detta är möjligt. Detta innebär att man under en stor tid av året inte behöver köra kompressorn på kylmaskinen, vilket i sin tur ger en högre systemverkningsgrad. I praktiken är det inte rimligt att inte redan från början förse lösningen med frikylamöjlighet, vilket gör att systemlösning 1 övergår i systemlösning 4. Denna skulle, med en COP på 7 kunna klara motsvarande kyleffektbehov med ca 1000 m² solceller. Om frikyla kan klara kylningen även under årets varmaste dagar, eller om det trots allt krävs en kraftfull effektmässig backup måste avgöras från fall till fall. Våta kyltorn för ”stand alone” generering av komfortkyla är än så länge inte någon etablerad teknik (Ref. 20).

Resultaten från Excelarkets energi- och livscykelkostnader för alternativ 4 redovisas i Tabell 7.3.

Tabell 7.2 Beräknade nyckeltal för alternativ 1: Solcellsel till kompressorkyla

Nyckeltal	Värde	Kommentar
Pris Solel kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]	1,06/ 1,30	Pris för referens fjärrkyla= 1,10
Livscykelkostnad Solel kyla med/ utan investeringsstöd [Mkr]	9,6/ 11,6	LCC för referens fjärrkyla= 15,5 LCC för kompressorkyla utan solel= 7,6
Utbyte Solel kyla [W kyla/m ² solcellsmodul]	600	
Energitäckningsgrad med 1000 m ² solcellsmoduler [%]	71	
Effekttäckning [%]	57	

Tabell 7.3 Beräknade nyckeltal för alternativ 4: Solcellsel till evaporativt kyltorn

Nyckeltal	Värde	Kommentar
Pris Solel kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]	0,68/ 0,92	Pris för referens fjärrkyla= 1,10
Livscykelkostnad Solel kyla med/ utan investeringsstöd [Mkr]	5,4/ 7,4	LCC för referens fjärrkyla= 15,5
Utbyte Solel kyla [W kyla/m ² solcellsmodul]	1050	
Energitäckningsgrad med 1000 m ² solcellsmoduler [%]	125	
Effekttäckning [%]	100	

För alternativlösningarna 2 (solvärme/ fjärrvärmedriven absorptionskylmaskin) och 5 (solvärme/ fjärrvärmedriven sorptiv kylare) har elbehov för en anläggning i 1 MW storlek redovisats av två företag. Dessa har räknats om till solcellsarea som krävs för 100 % täckning av effektbehovet med antagande om 12,5 % verkningsgrad för solelen och 800 kWh per kW installerad topp effekt. Resultaten redovisas i Tabell 7.4.

Tabell 7.4. Elbehov för två viktiga kyltekniker omräknat till solcellsarea

Teknik (komponenter)	Eleffekt [kW]	Yta Solel [m ²] (100% effekt-täckning)	Antagn Drifttider [h]	Energi-täckning [%]	Kommentar
Sorptiv kyla (T-fläkt, F-fläkt)	15+19=34	270	3000	27	Kylan i sig drar i stort sett ingen el
Absorptions-kylmaskin (Pumpar, regler, men ej kyltorn)	4+2=6	50	1000	80	El för drift av kyldistribution (jfr fläktel ovan) ingår inte

7.2 Resultat för solvärme till absorptionskyla

I fall 2, antas solvärmens spetsa fjärrvärmens för att på så sätt höja absorptionsmaskinens COP. Flera olika inkopplingsalternativ är möjliga men mer detaljerade modeller än den vi använt krävs för att kunna studera temperatur- och effektvariation mer i detalj. Olika styrstrategier för solfångarkretsen (troligen variabelt flöde till ungefär konstant, hög temperatur), utformning av tank på varma sidan, fjärrvärmens framledningstemperatur och absorptionsmaskinens prestanda kommer alla att inverka på hur temperaturerna ut från maskinen kommer att variera. Valet av inkoppling fram- retur eller fram- fram kommer båda att höja temperaturen, och valet är därmed främst upp till fjärrvärmeleverantören att avgöra utifrån lokala driftstrategier.

Låga temperaturdifferenser över konventionella absorptionsmaskiner, 10°C till max. 15°C, är under alla omständigheter ett hinder för både fjärrvärme, där den driver upp returtemperaturen i nätet och i solfångarkretsen, där den leder till höga flöden och tryckfall/ grova rör-dimensioner. Högre differenser i solfångarkretsen kan åstadkommas om tillräckligt stor lagringskapacitet finns tillgänglig, men detta får betalas med ökad investering (trycksatt tank) och sänkt effekt från solfångarna, se Figur 4.2.

De simuleringar som gjorts har utgått från en fast drivtemperatur på 100°C och COP=0,7 vilket i referensfallet med 0,67 MWh kyl last gett ca 170kWh kyla per m² byggarea solfångare vid en täckningsgrad på ca 25 %, se Tabell 7.5.

Tabell 7.5 Beräknade nyckeltal för alternativ 2: Solvärme(spets) till absorptionskyla

Nyckeltal	Värde	Kommentar
Pris Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]	1,28/ 1,41	Pris för referens fjärrkyla= 1,10
Livscykelkostnad Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [Mkr]	13,5/ 14,6	LCC för referens fjärrkyla= 15,5 LCC för absorptionskyla utan solvärme och enbart rörlig fjv kostnad= 14,0
Utbyte Solvärme kyla [W kyla/m ² solfångare]	315	
Energitäckningsgrad med 1000 m ² solfångare [%]	27	
Effektäckning [%]	30	
Aktuella drivtemperaturer/ temperaturkrav mot fjärrvärmen [°C]	80-85	Solvärmen antas lyfta till 95
Nominella temperaturdifferenser [°C]	10-15	

Sammanfattningsvis gäller vid valet av inkopplingsalternativ att väga temperaturhöjningens positiva effekter på COP mot sänkta solfångarutbyten, ökad komplexitet i anläggningen och eventuella negativa effekter av höjda distributionstemperaturer.

I fallet tvåstegsmaskin, som kräver temperaturer på över 140°C kommer solvärmen inte att kunna arbeta i serie med fjärrvärmen. Tillskottsenergi då solvärmen inte räcker till kan inte driva processen på grund av att en tvåstegsmaskin inte kan köras som enstegsmaskin på lägre temperaturer. Det innebär att en tvåstegsmaskin inte är lämplig i den föreslagna kombinationen.

Tabell 7.6 Beräknade nyckeltal för solvärme till absorptionskyla för alternativ 3

Nyckeltal	Värde	Kommentar
Pris Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]	1,36/ 1,50	Pris för referens fjärrkyla= 1,10
Livscykelkostnad Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [Mkr]	14,5/ 15,6	LCC för referens fjärrkyla= 15,5 LCC för absorptionskyla utan solvärme och enbart rörlig fjv kostnad= 14,0
Utbyte Solvärme kyla [W kyla/m ² solfångare]	270	
Energitäckningsgrad med 1000 m ² solfångare [%]	27	
Effektäckning [%]	26	
Aktuella drivtemperaturer/ temperaturkrav mot fjärrvärmen [°C]	75-85	
Nominella temperaturdifferenser [°C]	10-15	

I fall 3 ska solvärmen arbeta parallellt med fjärrvärmen och i stort sett samma överväganden gäller för inkopplingen som i spetsfallet (fall 2). Serie- eller parallell körning får avgöras från fall till fall och det finns som vi ser det inget självklart val. Utvecklingstrenden går mot lägre drivtemperaturer för att möjliggöra utnyttjande av solvärme i större utsträckning men COP kommer fortfarande att öka med ökande drivtemperaturer och solfångares värmeförluster kommer efterhand att reduceras ytterligare varför samma frågeställningar kring optimal drift kan förväntas även i nästa generations system. Möjligheter till optimering av absorptionskylmaskiner för fjärrvärmedrift har tidigare studerats i Sverige, se Ref. 23.

De rapporter vi studerat har inte redovisat några detaljerade driftsdata för systemen. Reella driftserfarenheter skulle annars vara mycket värdefulla för att hitta lämpliga driftstrategier för solfångare och för att undvika en del av de misstag som många av de hittills uppförda anläggningarna för soldriven absorptionskyla drabbats av. Redovisade kostnader från olika projekt visar att solvärmedrivna absorptionskylanläggningar har svårt att hävda sig ekonomiskt mot sorptiv luftburen kyla. Enligt projektet ”Climasol”, Ref. 17 gäller att investeringskostnaden för en värmedriven kylanläggning jämfört med konventionell kompressionskyla i medeltal är 50-60 % högre. Specifik kostnad per m² byggarea solfångare anges till intervallet 5000-15000 SEK/m² och medelvärdet av installerad solfångarearea per kW kyleffekt ligger kring 2,5 m². Climasol omfattar analys av 21 soldrivna kylanläggningar i effektintervallet (solkyla) 5 till 275 kW av vilka 80 % är absorptionssystem. Följande ungefärliga kostnadsfördelning anges som ett riktvärde för en installation:

- Solfångare 35 %
- Backup värmekälla 35 %
- Kylmaskin 15 %
- Styrning 10 %
- Övrigt 5 %

Absorptionsmaskiner kräver kylning på mellantemperaturnivå och ger i storleksordningen två gånger så mycket värme att kyla bort som motsvarande kompressorkylmaskin. Torrluftskylare är enligt Ref. 19 endast praktiskt användbart om drivtemperaturer över 85°C kan utnyttjas kontinuerligt till absorptionsmaskinen. Tillgång till kondensorkyla i närliggande vattendrag eller genom bassänguppvärmning kan därför vara intressanta alternativ till kyltorn för att nedbringa både drift- och investeringskostnader. Risken för spridning av Legionella från våta kyltorn som arbetar mot absorptionskylmaskiner, en risk som enligt uppgift tas på allt större allvar, är ytterligare ett skäl till att undvika denna lösning.

7.3 Resultat för solvärme till sorptiv kyla

Systemmässigt kan solvärme vara ett bra komplement till fjärrvärme i biobränslebaserade system för att driva en sorptiv luftkylare då aggregatet kan leverera kyleffekter motsvarande de för absorptionsmaskinerna vid lägre temperaturer i ett standardutförande. Ytterligare skäl som talar för sorptiv kyla framför kompressor- eller absorptionskyla är:

1. Tekniken kräver inget kyltorn e.d. för att kyla vid mellantemperatur
2. Tekniken kan enkelt utnyttja frikyla direkt från uteluften under en stor del av årets timmar (Ref. 18)
3. I kombinationen med solvärme redovisas sorptiv kyla som mer kostnadseffektiv än absorptionskyla

ROCOCO rapporten (Ref. 12) redovisar att sorptiv kyla har gett de högsta primärenergibesparingarna, 20-40%, till de lägsta kostnaderna jämfört med absorptionskyla, där besparingarna legat på 15-25%. I båda fallen nämns sjukhus och hotell som mest optimala för tillämpningen, framför kontor och köpcenters. Investeringskostnad per kW i realiserade sorptiva anläggningar ligger enligt samma rapport mellan 15000 SEK och 55000 SEK. Det stora spannet förklaras inte av en motsvarande variation i storlekar och antalet anläggningar för få för att ge någon annan tydlig förklaring. Resultaten från Excelarkets energi- och livscykelkostnader för alternativ 5 redovisas i Tabell 7.7.

Tabell 7.7 Beräknade nyckeltal för alternativ 4: Solvärme till sorptiv kyla

Nyckeltal	Värde	Kommentar
Pris Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [kr/kWh]	1,14/ 1,28	Pris för referens fjärrkyla= 1,10
Livscykelkostnad Solvärme kyla med/ utan investeringsstöd [Mkr]	14,1/ 15,2	LCC för referens fjärrkyla= 15,5 LCC för sorptiv kyla utan solvärme och enbart rörlig fjv kostnad= 13,7
Utbyte Solvärme kyla [Wkyla/m ² solfångare]	225	
Energitäckningsgrad med 1000 m ² solfångare [%]	22	
Effekttäckning [%]	21	
Erforderliga drivtemperaturer/ temperaturkrav mot fjärrvärmens [°C]	65-75	
Nominella temperaturdifferenser [°C]	15-30	

7.4 Resultat av TRNSYS simuleringar

Genom ett antal årssimuleringar av en byggnad i Simonsland har olika förlopp för inomhustemperaturer och kyl- och värmeeffekter kunnat studeras, främst på dygns- och på årsbasis. I samtliga fall har antagits att frikyla i form av uteluft utnyttjas för att täcka hela kylbehovet under perioden november till mars. Som referens för att illustrera en besparingspotential har ren fjärrkyla använts för att täcka hela det återstående kylbehovet, även om solvärmens i praktiken är tänkt att kombineras med fjärrvärme. Mer specifikt har följande förlopp studerats, av vilka några illustreras med diagram nedan:

- Årlig energibalans mellan behov av kyla och värme och tillgång på solvärme
- Effektbalans mellan kylbehov och tillgång på solvärme under enstaka timmar, dagar och veckor

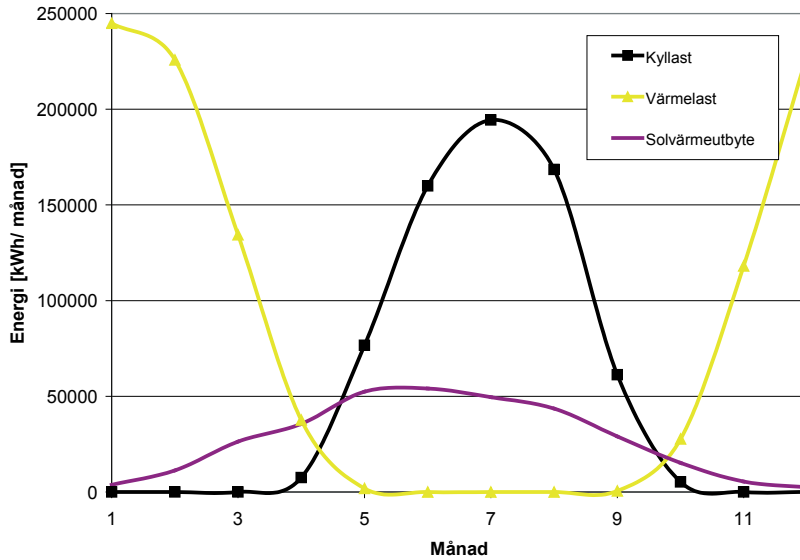
- Reduktion av kylbehovet vid användning av 1000 m² solfångare för att generera absorptionskyla
- Jämförelse mellan plan solfångare och vakuumrör vid en given arbetstemperatur (100 °C)
- Inverkan av solfångarlutning på genererad kyleffekt
- Inverkan av reducerat kylbehov (som följd av effektivisering eller minskad lokalyta) vid en given solvärmeproduktion

7.4.1 Värmebalanser över året

Med konventionella indata på byggnaden och normal kontorsanvändning, se indata i Bilaga , så blir topplasten för kyla ca 1 MW för 35000m² lokalyta på Simonsland. Det motsvarar ca 30W/m². En stor del av detta bör gå att effektivisera bort om det beaktas vid renoveringen av lokalerna och vid val av apparater och styrning. Minimering av kyllasterna genom solavskärmningar, energieffektiva belysningar, datorer m.m. skall alltid föregå planeringen av en solenergistödd kylanläggning. (Datorer placeras eventuellt i serverrum. Beakta även möjligheten att desktopdatorer snart kan komma att helt ersättas av laptops).

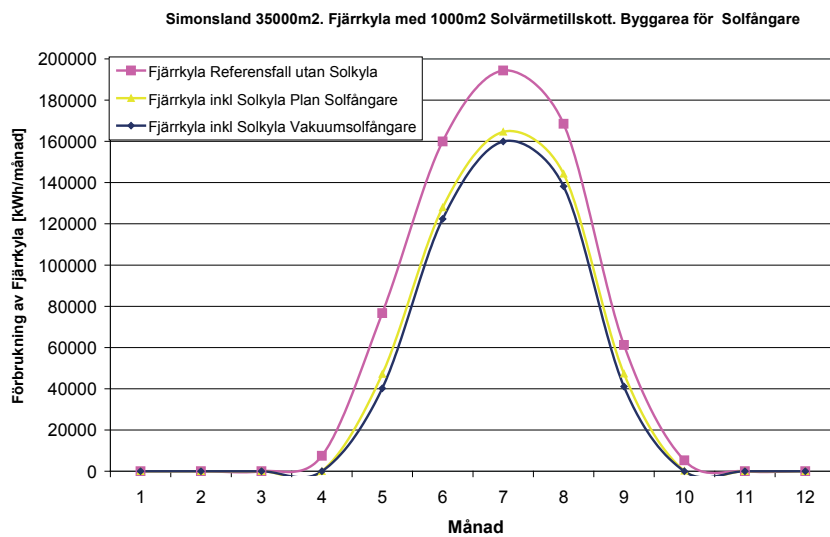
För att generera denna kyleffekt med en termiskt driven kylmaskin med COP 0,7 så går det alltså åt ca 1,4 MW värme vid ca 80-100 °C beroende på kylmaskinteknik. En bra solfångarinstallation på 1000m² som får plats på taket av vinkelbyggnaden mot väster ger en toppeffekt på ca 0,5-0,7 MW vid dessa drifttemperaturer.

Betraktar man kylbehovets och solvärmestillskottets variation över årets månader så inser man att solfångarna kommer att producera en inte försumbar energimängd utanför perioden då det finns ett kylbehov, se Figur 7.1. Uppskattningsvis kan 50 % -75 % av solfångarnas årliga energiutbyte nyttiggöras för kylgenerering i de olika driftfallen. Förhållandet kan dessutom bli än mer uttalat ju längre effektiviseringen och minskningen av kylbehovet drivs. Minskat maximalt kyleffektbehov nås främst genom minskade internlaster och förbättrad solavskärmning, vilket bör leda till en högre täckningsgrad för solvärmerna. Detta kan dock komma att kräva ökad värmelagringskapacitet i solfångarkretsen. Energieffektivisering genom tilläggsisolering kommer att öka kylbehovets varaktighet men om man förutsätter att frikyla utnyttjas via tilluften kommer det ökade kylbehovet vår och höst att täckas av denna och behovet av solvärme kommer primärt inte att öka. Överskottsvärme kommer att skapa problem i anläggningen om den inte utnyttjas eller dumpas. Närmast till hands ligger värmning av tappvarmvatten eller förvärmning av ventilationsluft i fastigheten. Därefter kommer möjligheten att mata ut värmen på fjärrvärmenätet. Ägar- och avtalsförhållanden avgör vad som är genomförbart i det enskilda fallet. Samutnyttjande av solvärmerna till både värme och (värmedriven) kyla kan därför sägas vara både en teknisk och en ekonomisk förutsättning för en lönsam och väl fungerande anläggning.



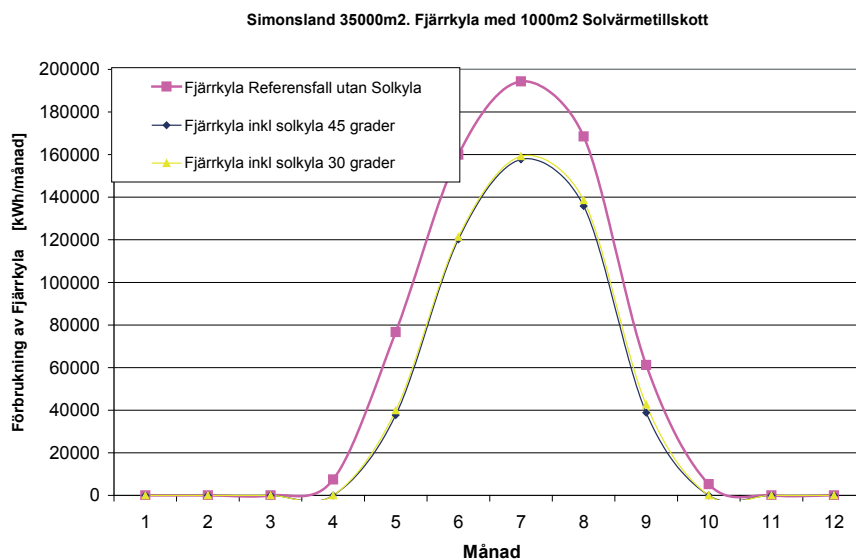
Figur 7.1. Övergripande energiflöden för kyla och värme i Simonsland utan energieffektivisering. Solvärmeutbytet är beräknat utgående från vakuumsolfångare. Verkliga laster och energiproduktion, d.v.s. inga COP faktorer ingår.

Jämförelser mellan plan solfångare och vakuumsolfångare för grundfallet ger mindre skillnad mellan dessa typer än förväntat, se Figur 7.2. Trots att årsutbytet för vakuumsolfångaren vid den aktuella drifttemperaturen är cirka 50 % högre ökar energitäckningsgraden bara med 25 %, från 20 till 25 % absolut. Detta förklaras med att skillnaderna i levererad effekt vid höga instrålningsnivåer är till den plana solfångarens fördel, se Figur 4.2 och att en stor del av drifttiden i den aktuella tillämpningen sammanfaller med dessa höga värden.



Figur 7.2. Inverkan av solfångartyp och lasttäckning. Plan solfångare täcker cirka 20 % av kyllasten och vakuumsolfångare cirka 25 %.

Inverkan av solfångarlutning visar sig vara försumbar i det undersökta fallet där en sydvänd solfångares lutning varierats mellan 30 och 45 graders lutning, Figur 7.3. Redovisade årsutbyten för solfångare gäller normalt för 45 graders lutning mot söder och inom 20-45 grader från sydost till sydväst kan detta antas gälla i en solkylanläggning. För större avvikelser behöver indata till LCC kalkylen i form av utbytet per kvadratmeter räknas ner.



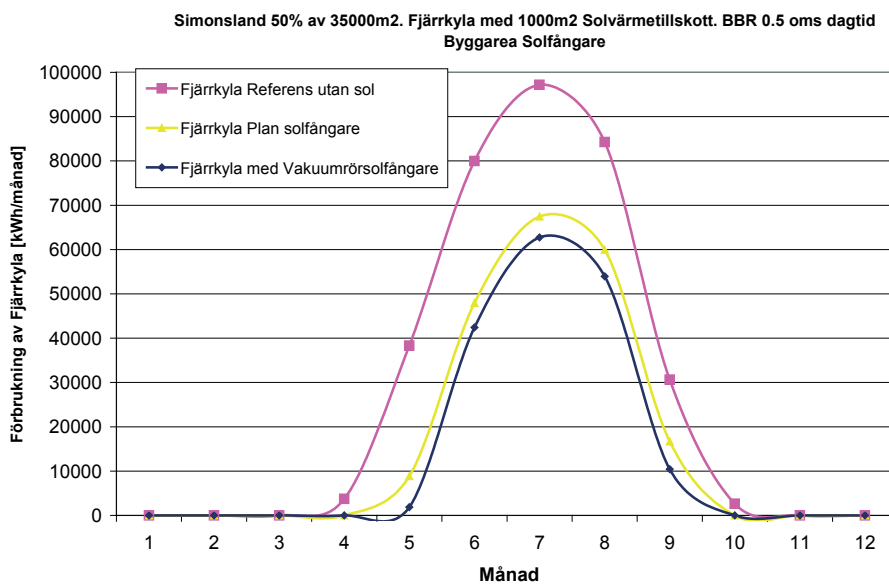
Figur 7.3 Inverkan av Solfångarlutning på taket: 30 respektive 45 grader.

En minskning av lasten till hälften antas ge en fördubbling av energitäckningsgraden för kyla enligt Figur 7.4 som då för 1000 m² solfångarearea och 17 500 m² lokalyta nådde 40 % och 50 % för plana solfångare respektive vakuurmör. Detta är troligen en överskattning såvida inte lagringsvolymen samtidigt utökas, men det kan ändå gälla som en bra uppskattning vid täckningsgrader på under 50 %.

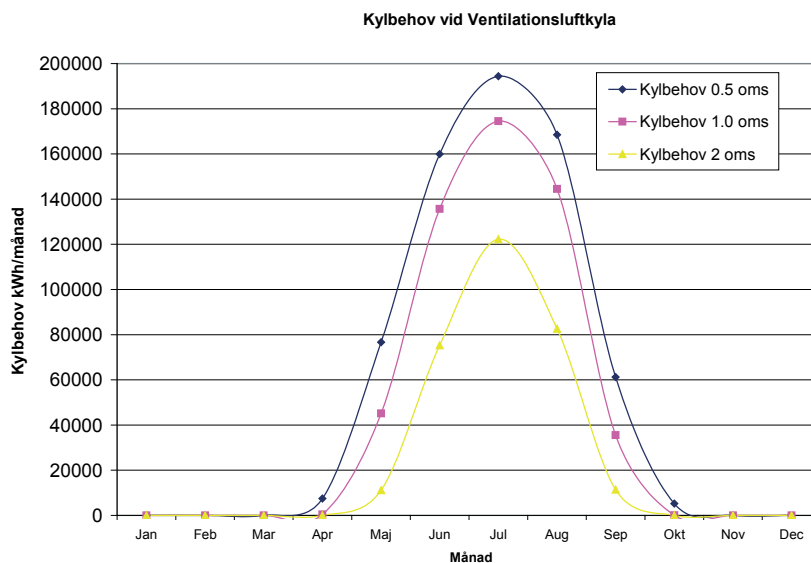
Inverkan av ökad luftomsättning jämfört med komplettering med solvärme är en intressant jämförelse då frikyla via uteluft kan utnyttjas under stora delar av året i Sverige. I Figur 7.5 visas resultatet på kylbehovet då antalet luftomsättningar ökades från 0,5 till 1 respektive 2 omsättningar per timma. En fördubbling av luftflödet från 0,5 till 1 omsättning per timma gav cirka 20 % reduktion av kylbehovet vilket alltså ungefär motsvarade resultatet av 1000 m² plana solfångare kombinerat med absorptionskyla i de tidigare beräkningarna. Höga luftflöden kräver att anläggningen är noggrant projekterad för detta, att det finns tillräckligt utrymme för kanaler och att eleffektiva behovsstyrda fläktar används för att driftkostnaderna skall kunna hållas låga. Ökat elbehov till fläktar har inte tagits med i den beräkning som redovisas ovan.

Som tidigare nämnts så bedömdes inte kombinationen solvärme och fjärrvärme till en tvåstegs absorptionsmaskin som ett realistiskt alternativ. Däremot skulle man kunna tänka sig att solvärmens kombinerades med någon annan form av värmefillskott som kunde lämna värme vid en tillräckligt hög temperatur, t.ex. en biogas- eller pelletsplan. För att studera effekten av tvåstegsmaskin med solfångare jämfördes en

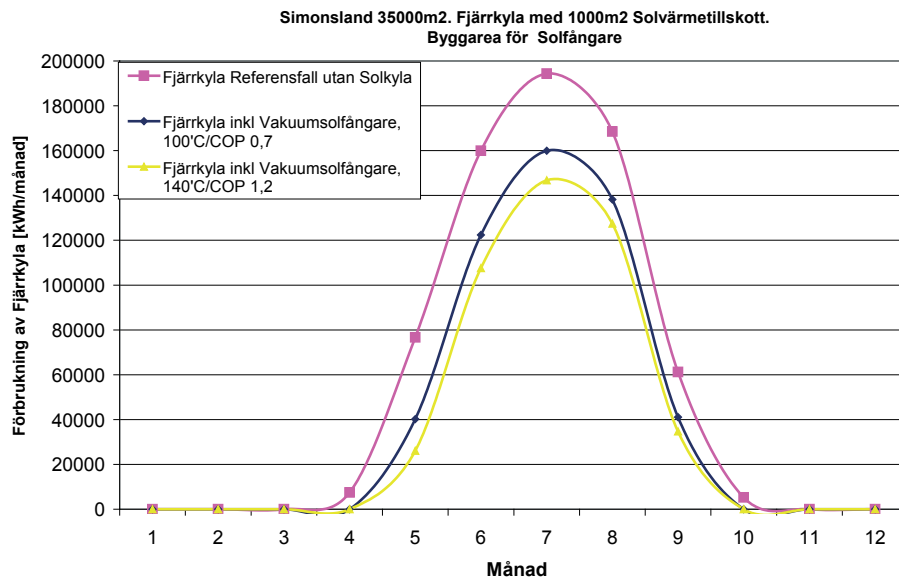
enstegsmaskin med COP 0,7 och 100 graders drifttemperatur med en tvåstegsmaskin med 140 graders drifttemperatur och COP 1,2. Resultatet framgår av Figur 7.6. I båda fallen utnyttjas vakuumrörsolfångare och temperaturhöjningen i solfångarkretsen ger en sänkning av årsutbytet med i storleksordningen 20 % samtidigt som COP för absorptionskylmaskinen genom den ökade drivtemperaturen ökar med 70 %. Resultatet på energitäckningsgraden blir en ökning från 25 % till 34 %.



Figur 7.4. Halvering av kyllasten med bibehållen solfångarearea dubblar täckningsgraden enligt den förenklade modellen.



Figur 7.5 Kylbehovet reduceras med 20 % respektive 50 % när antalet luftomsättningar ökades från 0,5 till 1 respektive 2 omsättningar per timma vilket innebär ökat utnyttjande av frikyla från uteluften.



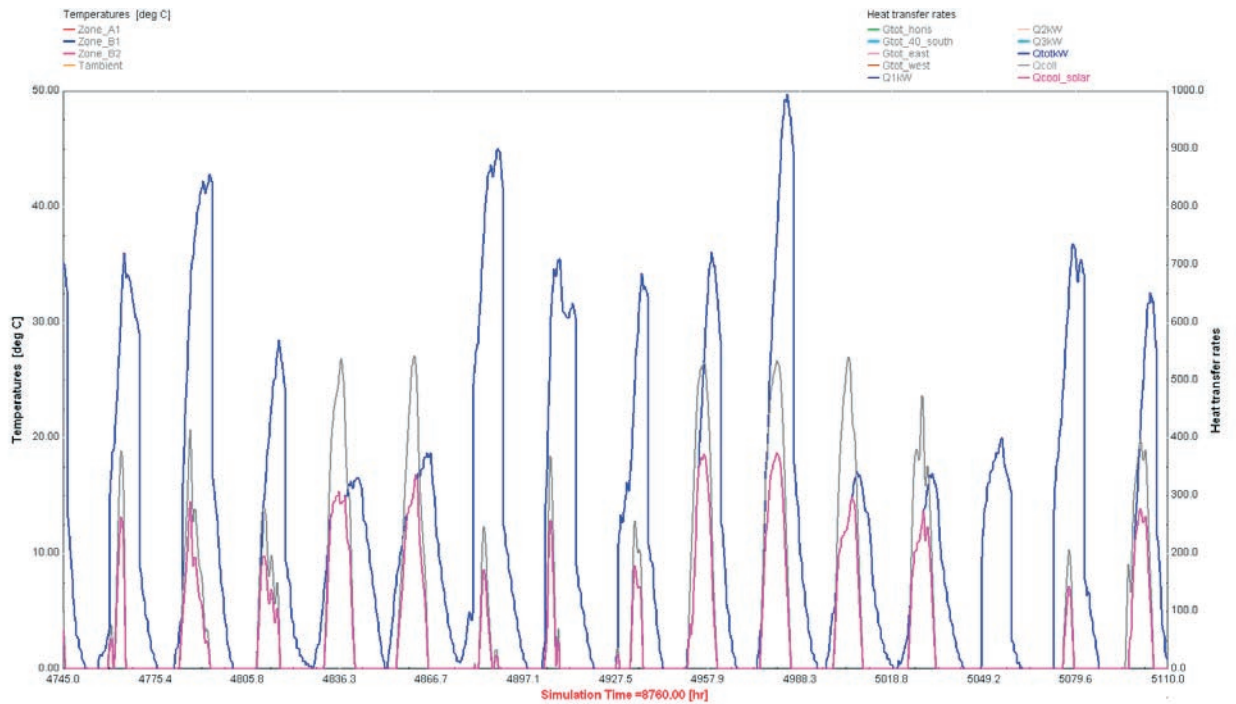
Figur 7.6 Enstegsmaskin ger 25 % energitäckningsgrad och tvåstegs ger 34 % för det aktuella fallet.

7.4.2 Effektförlopp

Genom att studera kylstens effektvariationer över dagen kan man dra följande slutsatser.

- Kylstens topp förskjuts kraftigt mot eftermiddagen, dels på grund av stor andel fönster mot väster, dels genom att lufttemperaturen är högre på eftermiddagen än på förmiddagen. Men även husets tröghet förskjuter lasten på detta sätt.
- Solkylproduktionen utan lagring har maximum mitt på dagen i detta fall med söderriktade solfångare. Det allra mesta av solkylproduktionen kan dock sväljas direkt utan lagring och man får komplettera med fjärrvärmedriven kyla på eftermiddagarna vid soligt och varmt väder. Om solfångarna skulle kunna vridas mot väster skulle det ge en bättre överensstämmelse mellan last och produktion.
- Vid måttlig solandel < 50 % för kylstenen, behövs lagring främst för regler tekniska skäl så att komforten blir bra i huset.

I Figur 7.7 visas dygns och veckoförlopp under en 14-dagars period, där kylstenen går ner markant på natten och under veckosluten eftersom internlasten vid dessa tillfällen antas vara kraftigt reducerad. Solkyla är beräknad med COP=0,7.



Figur 7.7. Simulerade tidsförlopp för kyllast och solenergi under två veckor i juni. Kyllasten (blå) sammanfaller ganska bra med Solfångarutbytet (grått) och solkylaproduktion (rosa). Effektenheten är kW.

En slutsats som kan dras av detta är att utan dygnslager måste komplementet till solvärme dimensioneras för full effektäckning, vilket i det studerade fallet leder till ett mycket högt pris på fjärrvärmes.

8 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Vi har i rapporten presenterat en sammanställning av aktuella tekniker för att generera komfortkyla med hjälp av solenergi. Samtliga dessa tekniker karaktäriseras av kombinationen högre investering och lägre driftkostnader jämfört med referensfallet som i detta fall varit ren fjärrkyla. En LCC kalkyl är med andra ord nödvändig för att lönsamheten i en investering i soldriven kyla ska kunna påvisas och ett Excelark har därför sammanställts för att kunna analysera de olika alternativen. En närmare beskrivning av arket ges i avsnitt 6.1.

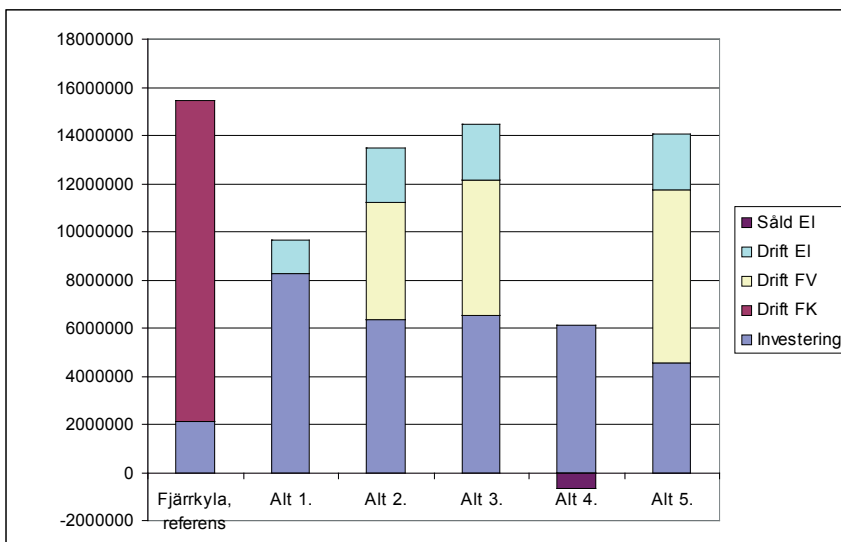
Byggnadssimuleringarna tillsammans med analysen av de olika alternativen indikerar att det finns en potential för effektivisering och därmed en minskning av det dimensionerande kylbehovet i den undersökta fastigheten. Olika åtgärder som solavskärmning, utnyttjande av nattkyla, tilläggsisolering ska generellt sett alltid övervägas innan kylanläggningen dimensioneras. Beräkningarna visar också på behovet av att analysera förutsättningarna i den aktuella fastigheten noggrant om solvärme ska utnyttjas för att generera komfortkyla. Fönsterorientering, utnyttjandetider, taklutning och orientering, eventuell skuggning av takytor i stadsmiljö är viktiga att ha kontroll på liksom att internvärmeberäkningar tar hänsyn till dagens bästa teknik för t.ex. belysning om sådan kommer att utnyttjas.

Tillgången till en lågtempererad värmesänka på mellantemperaturnivån gör att tillgänglig drivtemperatur kan utnyttjas effektivare i absorptionsmaskinen vilket starkt gynnar både fjärrvärme o solvärme som drivkälla. Låga temperaturdifferenser över absorptionsmaskinen är problematiska för både fjärrvärme, för solvärme och för de två i kombination. En viktig förbättring på utrustningssidan som krävs är därför att dagens standardiserade absorptionsmaskiner optimeras för betydligt lägre drivtemperaturer och högre temperaturdifferenser.

Genom fjärrvärmetakens fasta del ger typiskt låga temperaturdifferenser kombinerat med den gällande flödestaxan i Borås orimligt höga driftkostnader för alla former av värmedriven kyla vid den antagna kyleffekten 1 MW, se Figur 8.4.

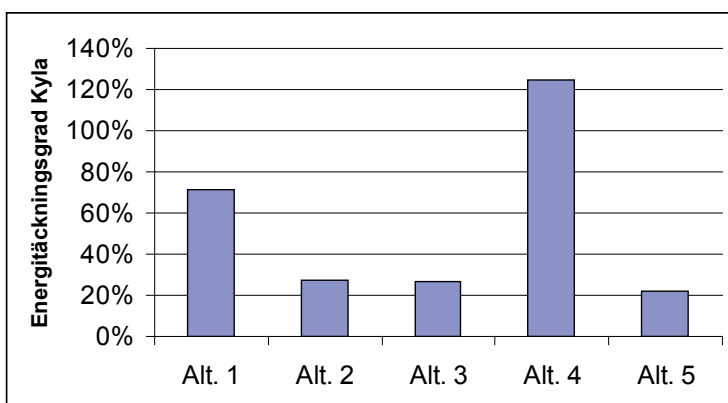
LCC kalkylen visar två lösningar som kommer ut till en avsevärt lägre kostnad än referensfallet fjärrkyla och övriga alternativ nämligen de två soleldrivna alternativen, om man antar att bidrag med 60 % erhålls för solelinstallationen upp till 2 Mkr som planeras vara taket för stöd till en anläggning. Av dessa är kompressorkyla en känd teknik som kombinerad med aktiv frikyla, d.v.s. en kombination med alternativ 4 bör kunna nedbringa livscykelkostnaderna än mer. Kostnaden för alternativ 1 blir 9,6 Mkr jämfört med 15,5 Mkr för referensfallet. Ett alternativ utan solceller får cirka 20 % lägre livscykelkostnad jämfört med subventionerade solceller. Alternativ 1 kommer dock även utan bidrag enligt kalkylen ut med en betydligt lägre kostnad än referensfallet, 11,6 Mkr.

Energitäcksgraden för alternativ 1 blir också hög. Trots att 1000 m² solcellspaneler ger ett förhållandevis litet energibidrag på i storleksordningen 120 MWh per år jämfört med solvärmens 200-300 MWh så gör kompressorkylans höga COP jämfört med absorptions- eller sorptiv kyla att resultatet i form av levererad kyla blir betydligt högre, se Figur 8.2.

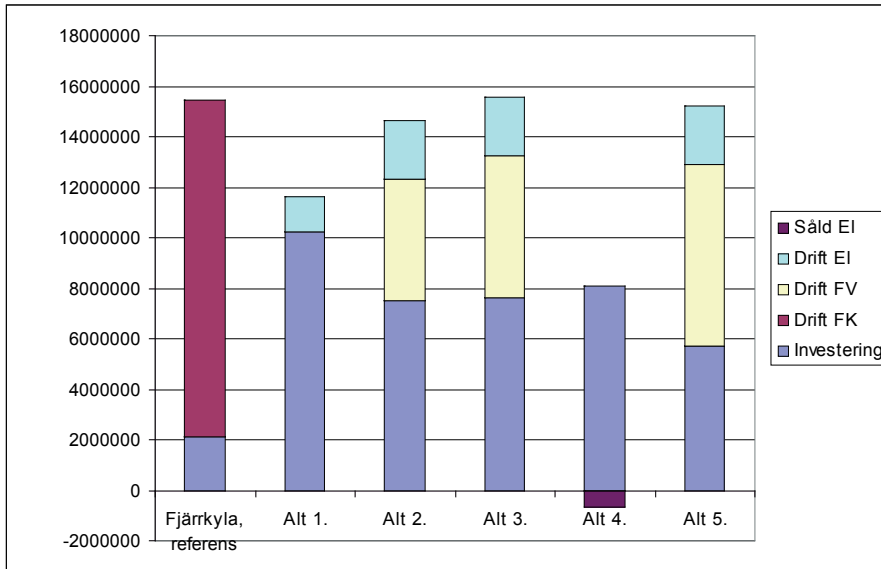


Figur 8.1 Livscykelkostnader för studerade alternativ inkluderat investeringsstöd till solceller och solvärme och med enbart rörliga kostnader för fjärrvärmen.

Investeringsbidrag till solvärme har en lägre procentsats och investeringen i solfångare är dessutom betydligt lägre än den i solcellsmoduler, varför bidraget har mycket mindre inverkan på livscykelkostnaderna i de värmedrivna fallen. Bidraget för solvärmen gör i medeltal knappt 7-8 % på livscykelkostnaden som utan bidrag för samtliga alternativ ligger samlad kring kostnaden för fjärrkyla, se Figur 8.1 och Figur 8.3, då man enbart räknar rörligt pris på fjärrvärmen. Helt fjärrvärmebaserade kommer alternativ 2, ut med knappt 5 % högre och alternativ 3 och 5 med knappt 5 % lägre livscykelkostnad jämfört med komplement från 1000 m² solfångare med investeringsstöd under samma förutsättningar.

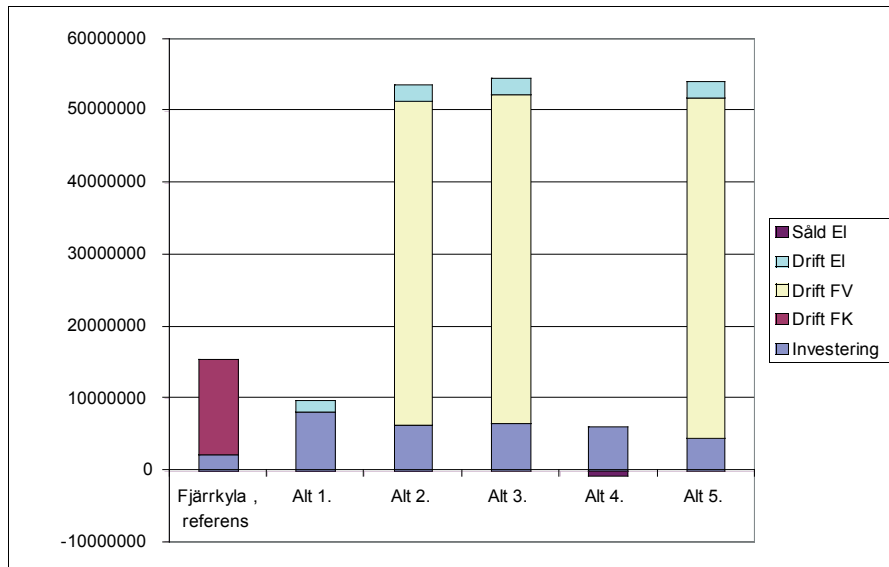


Figur 8.2 1000 m² solcellsmoduler ger i alternativ 1, eventuellt i kombination med aktiv frikyla från evaporativt kyltorn enligt alternativ 4 en energitäckning på minst 70 % jämfört med 20 – 30 % för de värmedrivna alternativen.



Figur 8.3 Livscykelkostnader för studerade alternativ utan investeringsstöd till solel och solvärme men med enbart rörlig kostnad för fjärrvärmen

Sammanfattningsvis indikerar jämförelsen att de värmedrivna alternativen ger en besparing på livscykelkostnaderna jämfört med referensen fjärrkyla som motsvarar storleken på investeringsbidraget, om enbart rörliga kostnader räknas för fjärrvärmen. Skillnaden mellan alternativen 2, 3 och 5 är mindre än osäkerheten i beräkningarna. Den helt avgörande faktorn i jämförelsen, om man tar hänsyn till den verkliga taxan, är taxestrukturen på fjärrvärme som i kombination med låga temperaturdifferenser ger mycket höga kostnader för fjärrvärmen. Effektbegränsande åtgärder kan i viss mån förbättra situationen. En minskning av dimensionerande kyleffektbehov med 30 % ger ungefär lika stor reduktion på livscykelkostnaden, men totalt sett blir ändå kostnaderna för värmealternativen ungefär tre gånger högre än för fjärrkylan. Ett större lager för värme eller kyla med kapacitet för 1-2 dygns lagring kan ge en radikal sänkning av behovet av värmeeffekt till kyla men de beräkningar vi gjort har inte varit tillräckligt detaljerade för att kunna verifiera detta.



Figur 8.4 Livscykelkostnader inklusive investeringsstöd och med fast och rörlig kostnad för fjärrvärmens

Möjligheten till avsättning och intäkt för värme från solfångare utöver kylbehovet har inte beaktats. Sådan möjlighet är som tidigare nämnts i princip en grundförutsättning för att en investering i solvärmedriven kyla skall bli framgångsrik, både tekniskt och ekonomiskt.

9 FORTSATT ARBETE

Den modell som tagits fram i detta projekt kan användas inom detaljprojektering och också i fortsatt arbete. I ett nästa steg bör mera exakta indata tas fram på byggnaden och huset delas upp i öst och väst zoner för att bestämma kyl och värmelastens tidsförlopp och storlek mera exakt. Inverkan och värdet av olika energibesparande åtgärder vid ombyggnad/renovering av huset kan då studeras. Solkylasystemet (solfångare, rörsystem, värmeväxlare, ackumulator, pumpar, reglering) och fjärrvärmeuppkopplingen måste också göras mera verklighetsnära om det ska ge underlag till en detaljerad systemdesign.

En annan möjlighet är simuleringsprogrammet Polysun som i år kompletteras med modeller för absorptionskylmaskiner och som har föreslagits som ett lämpligt svenskt konsultverktyg. En satsning mot konsulter för att informera och utbilda i användning av ett av dessa verktyg kunde på sikt vara intressant för att bygga upp nödvändig kompetens om solvärmedriven kyla bedöms ha en framtid i Sverige.

För att få till stånd praktiska drifterfarenheter skulle ett par pilotprojekt vara intressanta att genomföra och förslag på några olika projekt presenteras nedan.

9.1 Förslag till pilotprojekt

Projektet har visat att det finns ett flertal potentiellt intressanta tekniker tillgängliga för soldriven komfortkyla. De eldrivna processernas konkurrenskraft är naturligtvis starkt beroende av om investeringsstödet till solceller kan utnyttjas, men även oaktat stöd kommer den på 5-10 års sikt att stärkas rejält genom förväntade prissänkningar på solcellsmoduler. Systemtekniskt är solet till kompressorkylmaskiner (i praktiken blir detta en konventionell installation av både kylmaskiner och solet) det mest självklara valet. Om elen sedan antas gå till kylmaskiner eller till annan driftel blir enbart en fråga om hur man vill presentera sin installation utåt. I Simonsland finns det därmed ingen ny teknisk kunskap att hämta i en kompressorinstallation. Affärsmässigt, som ett koncept för ”Färdig kyla” skulle det dock kunna vara av intresse för energibolagen att undersöka en sådan lösning. Frikylalösningen enligt alternativ 4 utgår från att ingen kompletterande kylkapacitet behöver installeras och kan därför visa upp en mycket positiv LCC kalkyl. Konceptet med att enbart förlita sig på ett evaporativt kyltorn är dock än så länge i det närmaste obekänt i Sverige och skulle därmed, om kalkylresultaten verifieras genom en djupare analys, kunna vara intressant för en pilotanläggning. Det skulle tillsammans med solet kunna ge en miljömässigt mycket attraktiv lösning.

För de värmedrivna alternativen blir investeringsstödet till solvärme inte lika avgörande för konkurrenskraften men eftersom investeringen är en stor del av livscykelkostnaden i dessa fall så är det ändå viktigt. Möjligheten att hitta avsättning för överskottsvärme från solfångarna kommer också att vara avgörande både tekniskt och ekonomiskt för framgången hos dessa alternativ. Kunskap kring projektering, drift och underhåll av en solvärmedriven absorptions- eller sorptiv kylanläggning saknas helt i Sverige i dag. Om tekniken skall kunna få en bredare tillämpning måste det därför till utbildning och information samt erfarenheter från pilotanläggningar. Ur kunskapssynpunkt är därför en solvärmedriven absorptionsmaskin mest intressant, men om kopplingen till fjärrvärme och möjligheterna för lokalt genererad fjärrkyla ska beaktas så bör en anläggning med sorptiv kyla vara mer intressant.

Sammanfattningsvis kan följande alternativ vara intressanta för en pilotinstallation i Simonsland. För detaljer kring effekt- och energitäckning, kostnader etc. hänvisas till Bilaga 1 och 2.

1. Solceller på sågtandstaket för intern elanvändning + fjärrkyla + fjärrvärme
2. Solfångare som driver en absorptionsmaskin som ger det bidrag den kan och som kompletteras med fjärrkyla, d.v.s. ihopkoppling på den kalla sidan. Mellankylning kan eventuellt ske mot Viskan.
3. Solfångare som driver en sorptiv anläggning som ger det bidrag den kan och som kompletteras med fjärrvärme för regenerering
4. Solfångare som kombineras med fjärrvärme för att driva en absorptionsmaskin för högre COP är kanske intressant men mer komplicerat

I samtliga fall förutsätts solex- eller solvärmeinstallationen integreras i det befintliga sågtandstaket på ett estetiskt tilltalande sätt.

10 REFERENSER

- Ref. 1 Energi och Miljö, nr. 1, 2009
- Ref. 2 www.svensksolenergi.se/pdf/SSE-UNT-Debatt-12april2009.pdf
- Ref. 3 ESTTP: Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe. Vision, Potential, Deployment Roadmap, Strategic Research Agenda. FP 6 project, Contract Number TREN/07/FP6EN/ S07.68874/038604
- Ref. 4 Solar Thermal Action Plan for Europe (2007) www.estif.org/publications/. Inkluderande Key Issues for Renewable Heat in Europe (K4RES-H). Solar Assisted Cooling – WP3, Task 3.5. Contract EIE/04/204/S07.38607
- Ref. 5 www.solelprogrammet.se/
- Ref. 6 www.elforsk.se/solenergi/Default.aspx
- Ref. 7 www.energimyndigheten.se/solel
- Ref. 8 www.iea-pvps.org
- Ref. 9 Föreningen Svensk Solenergi www.svensksolenergi.se/index.html
- Ref. 10 European Photovoltaic Industry Association EPIA www.epia.org/
- Ref. 11 Personlig kommunikation med Torgil Stark, Munters. www.munters.se/sv/se/
- Ref. 12 ROCOCO Projekt rapport. "Reduction of costs of Solar Cooling systems" EU projekt nr. TREN/05/FP6EN/SO7.54855/020094
- Ref. 13 Österrikiska solkylaaktören SOLID www.solid.at/index.php?option=com_content&task=view&id=42&Itemid=53
- Ref. 14 Summerheat. Meeting cooling demands in SUMMER by applying HEAT from cogeneration. Intelligent Energy Europe. Contract no. EIE-06-194
- Ref. 15 www.sp.se/sv/units/energy/Documents/ETk/Forteckning_P-markta_och_ovriga_solfangare.pdf
- Ref. 16 Personlig kommunikation Robert Sundquist, Exoheat AB
- Ref. 17 Climasol. ALTENER Projekt nr. 4.1030/Z/02-121/2002
- Ref. 18 Energieffektivisering I komfortkylsystem. Bergsten & Aronsson. Effektiv rapport 2001:06
- Ref. 19 Personlig kommunikation med Ib Hagsten, Carrier Sweden. www.corp.carrier.com/
- Ref. 20 Frikyla med kyltorn. Utvärdering av pilotprojekt om frikyla från evaporativt kyltorn kopplat till vattenburen komfortkyla. BELOK rapport. Bergsten, 2008.

- Ref. 21 Absorptionskylmaskin för Gålnäs industriområde. Examensarbete vid Umeå Universitet. Stefan Fällström, 2006.
- Ref. 22 Priser 2009. Borås Energi och Miljö AB
- Ref. 23 Integration av absorptionskylmaskiner i fjärrvärmesystem. Heimo Zinko, Sven-Olof Söderberg, Elsa Fahlén, Alemayehu Gebremedhin. Linköpings Universitet. Forskning och Utveckling 2004:119
- Ref. 24 Kylning av kylmaskiners kondensorer med fjärrkyla i livsmedelsbutiker. Caroline Haglund Stignor. ISSN 1402-5191.FOU 2003:92, Svensk Fjärrvärme
- Ref. 25 Analysis of the technical and economical feasibility of large scale solar cooling systems, Dalenbäck och Lindholm, CIT Energy Management 2003. WP5 final report FP 5 project, contract no. ERK6-CT2000-00347
- Ref. 26 www.iea-shc-task25.org/english/index.html
- Ref. 27 www.iea-shc.org/task38/index.html
- Ref. 28 Värmedriven kyla. Svensk Fjärrvärme Fou 2004:112. Rydstrand, Martin och Westermark



Fjärrsyn – forskning som stärker konkurrenskraften för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för ett hållbart samhälle, till exempel genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik. Programmet drivs av Svensk Fjärrvärme med stöd av Energimyndigheten. Mer information finns på www.svenskfjarvarme.se/fjarrsyn

KONKURRENSKRAFTIG SOLDRIVEN KOMFORTKYLA

Soldriven kylproduktion är på stark frammarsch, framför allt gäller det små anläggningar på mellan 5 och 100 kilowatt. Antalet installerade, väl fungerande anläggningar i världen är litet, men tillväxten är stor.

Här beskrivs ett antal systemlösningar där man använder solvärme och/eller solet för att leverera komfortkyla. Den här typen av kyla innebär en användning av solenergi där tillgång och efterfrågan stämmer överens. Det här gör att det blir allt mer intressant att producera soldriven kyla samtidigt som efterfrågan på komfortkyla ökar stadigt framför allt i Asien men även i Europa.

Det finns stora möjligheter till förbättringar av systemkoncepten för solvärmedriven kyla. I Sverige finns ännu ingen anläggning i drift, men ett par planeras. Rapporten redovisar vilka möjligheter som finns i dag samt tekniska och ekonomiska förutsättningarna för de olika alternativen.

