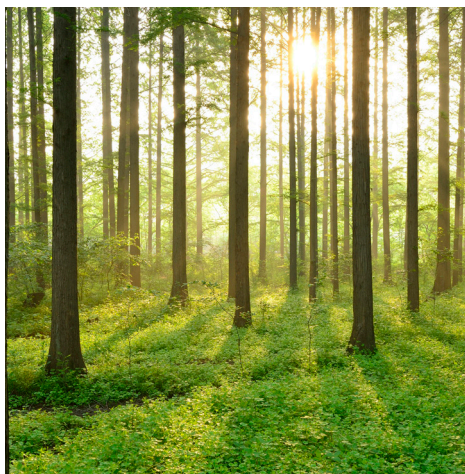


JÄMFÖRELSE AV EFFEKTREDUCERINGSÅTGÄRDER I FJÄRRVÄRMENÄT

RAPPORT 2019:591



 FUTUREHEAT



Jämförelse av effektreduceringsåtgärder i fjärrvärmenät

Behov och möjligheter

JOHAN SÖDERBERG

DAVID EKSTRÖM

ULRIKA SAGEBRAND

ISBN 978-91-7673-591-6 | © Energiforsk juni 2019

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

Förord

Det finns stora möjligheter för fjärrvärmebolag att minska både utsläpp och kostnader genom effektreducerande åtgärder på användarsidan. Projektet, *Jämförelse av effektreduceringsåtgärder i fjärrvärmenät*, utgör en viktig del i att kartlägga vilka möjligheter som finns och ge rekommendationer kring vilka lösningar som passar var och när. Förutsättningarna och drivkrafter för att genomföra åtgärderna är viktigt att förstå för att kunna ge värdefulla rekommendationer till fjärrvärmebolag.

Projektet har letts av David Ekström tillsammans med kollegorna Johan Söderberg, och Ulrika Sagebrand på FVB AB. En fokusgrupp som bestått av Holger Feurstein (ordförande) Krafringen; Tommy Persson, E.ON Energilösningar AB; Daniel Nyqvist, Norrenergi; Joakim Holm, Tekniska Verken i Linköping; Cecilia Ibáñez-Sörenson, Vattenfall R&D; Maria Karlsson, Skövde Värmeverk AB; Thomas Franzén, Göteborg Energi; Per Örvind, Eskilstuna Strängnäs Energi & Miljö AB; Stefan Hjärtstam, Borås Energi och Miljö AB; Patric Jönnervik, Jönköping Energi; Erik Dotzauer, Stockholm Exergi; Lena Olsson Ingvarson, Mölndal Energi; Mathias Bjurman, Grundledningen HB har följt och kvalitetssäkrat projektet.

Projektet ingår i programmet Futureheat vars långsiktiga mål är att bidra till visionen om ett hållbart uppvärmningssystem med framgångsrika företag som utnyttjar nya tekniska möjligheter och där de samhällsinvesteringar som gjorts i fjärrvärme- och fjärrkyla tas till vara på bästa sätt.

Programmet leds av en styrgrupp bestående av Charlotte Tengborg (ordförande), E.ON Lokala Energilösningar AB, Lars Larsson, AB Borlänge Energi; Magnus Ohlsson, Öresundskraft AB; Fabian Levihn, Stockholm exergi; Niklas Lindmark, Gävle Energi AB; Jonas Cognell; Göteborg Energi AB; Lena Olsson Ingvarsson, Mölndal Energi AB; Anna Hindersson, Vattenfall Värme AB; Anders Moritz, Tekniska verken i Linköping AB; Staffan Stymne, Norrenergi; Holger Feurstein, Krafringen; Joacim Cederwall, Jönköping Energi AB; Maria Karlsson, Skövde Värmeverk AB; Sven Åke Andersson, Södertörns Fjärrvärme AB; Henrik Näsström, Mälarenergi AB och Fredrik Martinsson (adjungerad) Energiforsk.

Suppleanter har bestått av Peter Rosenkvist, Gävle Energi; Johan Brossberg, AB Borlänge Energi; Mats Svarc, Mälarenergi AB; Johan Jansson, Södertörns Fjärrvärme AB och AnnBritt Larsson, Tekniska verken i Linköping AB.

Fredrik Martinsson, programansvarig FutureHeat



Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet.

Sammanfattning

Effektrelaterad kapacitetsbrist är en återkommande fråga för ett fjärrvärmebolag. Ett alternativ till att bygga ut kapaciteten i nät och produktionsanläggningar kan då vara att genomföra åtgärder som reducerar kritiska effekt- och flödesuttag i systemet. FVB har med stöd från Energiforsk undersökt fem effektreducerande åtgärder applicerade på fem olika objekt.

I denna rapport presenteras den första delen av en studie som avser att jämföra ett antal effektreducerande åtgärder (metoder) genom att applicera dem på lika många verkliga system (objekt) med olika effektrelaterade utmaningar. Det övergripande syftet med studien är att:

- Ge stöd i tidiga skeden av fjärrvärmebolagens arbete med effektreducerande åtgärder.
- Inspirera till nya metoder för effektreducering.

I denna del av studien ges en ingående beskrivning av de olika objekten samt deras effektrelaterade utmaningar. Vidare ges en kvalitativ beskrivning av metoderna och deras potential samt förutsättningar för att genomföra en kvantitativ utvärdering och jämförelse av dessa genom applicering på de olika objekten.

I energibolaget *Halmstad Energi & Miljö* har ett befintligt laststyrningsverktyg undersökts. Laststyrningsverktyget används för att förskjuta värmeanvändningen sekvensvis i fastigheter för att klara av ett bortfall av den största produktionsanläggningen. I energibolaget *Sollentuna Energi & Miljö* gör en trång och svårutbyggd sektor i nätet gjort att utbyggnadsmöjligheterna av bostäder minskat. I Sollentuna har möjlighet till shuntpumpning från returen av ett befintligt område för att betjäna ett framtida nytt område undersökts. *Täby Miljövärme AB* är ett nätbolag med lång transitering från produktionen till merparten av lasten, där effekttopparna om några av de största kunderna nyttjade dämpning av utetemperaturssignalen i sina fastigheter har utretts. *Täby Fjärrvärme AB* är ett rent produktionsbolag som inte har ett eget nät, rapporten har undersökt möjligheten till en ackumulatortank decentraliserat i det tillhörande nätet som effektreducerande åtgärd för att höja nyttjandegraden på den billigaste produktionen. *Micasa Fastigheter* är ett fastighetsbolag som gjort stora satsningar på effektreducerande åtgärder i sina styrssystem till fastighetsbeståndet. För ett fastighetsbolag är effektreduceringen en ekonomisk fråga som möjliggör utbyggnad för energibolaget, att effekt är värdefullt syns på prismodeller över hela landet.

Resultatet är uppdelat per objekt och redovisar potentialen i varje effektreducerande åtgärd men också förutsättningar för kvantitativ utvärdering av metoderna:

- I Halmstad Energi & Miljö går det att signalanalytiskt utreda hur väl Noda nyttjar den möjliga effektreduceringspotentialen. Potentialen i Nodas Smart Heat Grid system är en tillfällig sänkning av framledningstemperaturen på 6–8 grader.
- I Sollentuna Energi & Miljö behövs en förstudie som visar på planerat byggande, byggnadernas effektbehov och placering. Potentialen för shuntpumpning visar på en möjlig utbyggnad på 3,9 MW. Ca 3 gånger så mycket som om området kopplas in konventionellt.
- Dämpningen i de större kundernas fastigheter i Täby Miljövärme AB kan analyseras både med ett ekonomiskt värde för såväl bolag som bostadsrättsföreningar samt komfortmässig vinst. Potentialen för detta är ca 500 tkr/år för föreningarna och ca 1,3 MW effektreducering för Täby Miljövärme AB.
- I Täby Fjärrvärme AB kan en ackumulatortank jämföras med tekniskt likvärdiga alternativ tex ombyggnad i produktionen för att uppnå en högre framledningstemperatur samt konventionella pumpstationer. Potentialen med en 2000 m³ ackumulatortank är ca 5 MW effektreducering.
- I Micasas fall kan den inbyggda effektstyrningen kvalitativt utvärderas för 1-2 större fastigheter med liknande metod som Noda, men med fler frihetsgrader på inställningsvärden i programmet. Potentialen anges i programmet till "ca 0,5 graders dygnsmedel sänkning av rumstemperaturen".

Summary

Capacity-limiting and costly power and network flow outages is a recurrent topic within the district heat companies. FVB have with funds from Energiforsk decided to compare five methods to reduce power in the systems as alternatives to reinvest in production facilities or change the pipes in the system.

The first part of a study is presented in this report. The study aims to compare a number of power limiting methods by applying them to real case objects with different prerequisites and goals. The main purpose of this report has been:

- To help district heat companies to evaluate different methods of power reduction in the early stages of projects.
- To inspire the readers with new methods of power reduction.

In this part of the study, a detailed review of five objects is presented and described in detail. In each case a power-reducing method has been studied in particular. The objects have different reasons and technological prerequisites to reduce the power output.

A control system for load optimization have been studied in the energy company *Halmstad Energi & Miljö*. The control system uses many facilities in sequence and aim to reduce the load in the same level as the largest production plant in case of a failure. The possibilities to use returning heat water to serve new facilities has been the case in the energy company *Sollentuna Energi & Miljö*. One part in the district heat system is the limiting factor for new housing projects. *Täby Miljövärme AB* is a district heating company, that's been examined regarding the maximum loads and how they change as some of the largest buildings use damping in their control systems. The transit from the production to the main loads is long and every power limiting measure is welcome. *Täby Fjärrvärme AB* is a production company and the report looks into their potential winnings with an accumulator tank in the associated district heating network. As the load peaks levels out, production costs go down. *Micasa Fastigheter* is a property owner with maximum power reduction functions built in the buildings control systems. Hence the district heating companies has maximum load as a factor in the pricing models, all power reduction lowers costs.

The results per method and object shows the potential but also the basis for an economic quantitative evaluation:

- It's possible to analyze how Noda uses the potential to cut load maximums in Halmstad Energi & Miljö with signal analysis. The potential in Noda Smart Heat Grid is a temporary reduction of temperature in the range of 6-8 degrees.
- A property pilot study is needed in Sollentuna Energi & Miljö in order to in depth evaluate the winnings of a shunt pump station. The potential of a shunt pump station shows that a new load of 3,9 MW can be added. If the load was to be connected without the shunt pump station, the maximum size of the new load would be 1,3 MW.
- In Täby Miljövärm AB, the damping of large buildings may be analyzed with both economic- and comfort winnings. The potential with damping is 500 tkr/year for the building owners and 1,3 MW in lower maximum load for Täby Miljövärm AB.
- In Täby Fjärrvärme AB, the accumulator tank needs to be evaluated in comparison to other different technical solutions such as pump stations and rework of the heating plant to distribute higher temperatures. The maximum power potential with a 2000 m³ accumulator is ca 5 MW.
- Micasas control systems can be evaluated in the same way as Noda in Halmstad but with different values to the parameters as the system is more open. The potential is referred to in the program as: "ca 0,5 degrees indoor mean day temperature saving".

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Syfte	10
1.2	Planerat effektbehov	10
1.3	Effektbrist	11
1.3.1	Akut skede -Påverkan hos kund	12
1.3.2	Akut skede -Påverkan i nätet	12
2	Objekt för effektreduktion	13
2.1	Halmstad Energi & Miljö	13
2.2	Sollentuna Energi & Miljö	16
2.3	Täby Miljövärme AB	16
2.4	Täby Fjärrvärme AB	18
2.5	Micasa Fastigheter	19
3	Metoder för effektreduktion	23
3.1	Modifiering av uttaget	23
3.1.1	Effektstyrning	23
3.1.2	Sänkning av returtemperatur	23
3.2	Åtgärder i nätet	24
3.2.1	Ackumulering	24
3.2.2	Returvärme	25
3.2.3	Shuntpumpning	26
3.3	Inherent robusta nät	27
3.3.1	Varmvattenprioritering	27
3.3.2	Returtemperaturbegränsning	28
3.3.3	Mindre styrventiler	28
3.3.4	3-stegskoppling	29
4	Mekanismer	31
4.1	Effektsignalen	31
4.1.1	Byggnadsfysik	31
4.1.2	Klimatsignalen	34
4.1.3	Klimatmodell	44
4.1.4	Sannolikhet	50
4.1.5	Dämpning	53
4.1.6	Ackumulering	60
4.2	Värmebäraren	63
5	Resultat	65
5.1	Effektstyrning i HEM	65
5.1.1	Funktion	65
5.1.2	Potential	66
5.1.3	Förutsättningar för utvärdering	67

5.2	Nätåtgärder i Sollentuna	68
5.2.1	Funktion	69
5.2.2	Potential	69
5.2.3	Förutsättningar för utvärdering	70
5.3	Kommunikation och Effektstyrning i Täby	70
5.3.1	Funktion	70
5.3.2	Potential	70
5.3.3	Förutsättningar för utvärdering	71
5.4	Akkumulator i Täby	71
5.4.1	Funktion	71
5.4.2	Potential	72
5.4.3	Förutsättningar för utvärdering	72
5.5	Effektstyrning i Micasa	72
5.5.1	Funktion	73
5.5.2	Potential	73
5.5.3	Förutsättningar för utvärdering	74
6	Slutsatser	75
7	Diskussion	77
7.1	Fjärrvärmepriser och incitament	77
8	Vidare frågeställningar	79
8.1	Kvantitativ jämförelse av metoder för effektreducering	79
8.2	Samverkan av flera effektreducerande åtgärder	79
8.3	SWOT-analys av effektreducerande koncept	79
9	Litteratur och referenser	80

1 Inledning

1.1 SYFTE

En av fjärrvärmens stora utmaningar har alltid varit att systemet måste klara av att leverera en hög effekt under relativt kort tid, detta gäller både produktion och distribution, vilket påverkar såväl ekonomi som miljö.

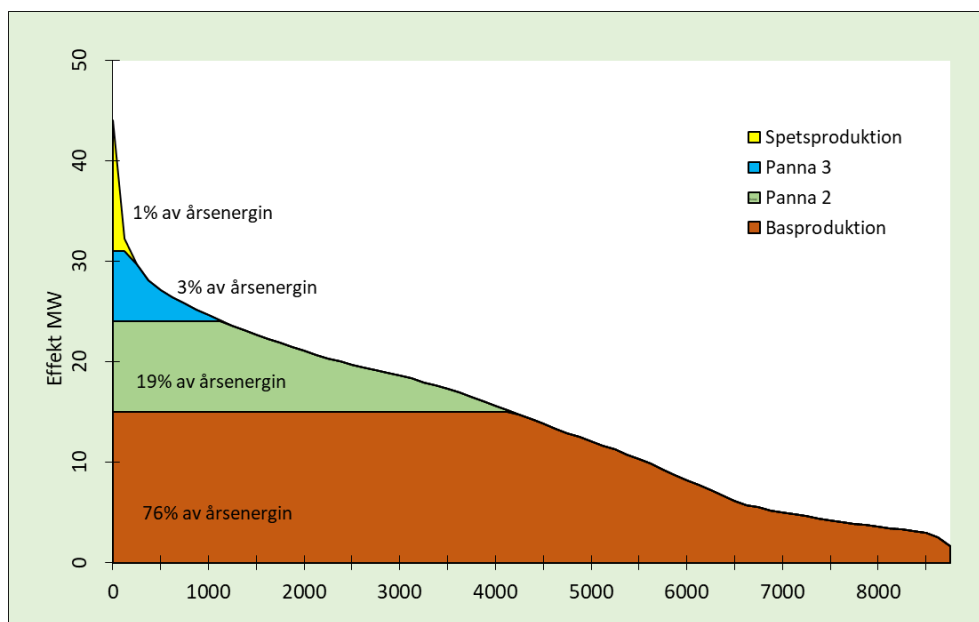
Att försöka minska toppbelastningen är inte nytt i sig, till exempel är ackumulator-tankar i fjärrvärmesystemet vanliga i hela landet. Under de senaste åren har också olika system för effekttreglering hos fjärrvärmekunder blivit tillgängliga på marknaden. De utvärderingar som tidigare gjorts på dessa system är, med något undantag, gjorda utifrån från fastighetsägarens perspektiv och tar därför inte hänsyn till möjligheten att, för ett fjärrvärmebolag, styra effekten externt. Det har inte heller funnits någon studie där de olika systemen jämförs med varandra, baserat på hur väl de lyckas minska nätets toppbelastningar. Det finns en efterfrågan i branschen för en sådan jämförande studie och detta projekt är ett svar på det behovet.

Förhoppningen är att denna studie skall fungera som ett stöd i arbetet med effektdämpande åtgärder men även bidra och inspirera till nya metoder mer allmänt.

1.2 PLANERAT EFFEKTBEHOV

Fjärrvärme kan prissättas med fast och rörlig del. De omkostnader som fjärrvärmebolaget har för att kunden i slutändan får sin värme kan också delas upp i fasta och rörliga kostnader, kopplade bl.a. till produktion och distribution (systemvärde). Frågan om systemvärdet blir särskilt aktuell när nätet skall öppnas upp för alternativa producenter, men även vid utformning av prismodell, i arbetet med kommunikation mot kund, osv.

Systemvärdet för effekt bör betraktas som fast kostnad. I Figur 1 nedan illustreras hur ca 1/3 av effekten endast nyttjas för att fylla upp den sista procenten av energibehovet. För att kunna tillgodose ett visst maximalt effektbehov krävs således iordningsställande av produktions- och distributionsreserver som normalt inte är i drift. Frågan kan även vidgas åt andra hållet. Om en önskvärd produktionsenhet med viss minilast önskas hållas ständigt i drift krävs en bestämd storlek på värmeunderlaget, vilket i sin tur kommer ställa krav på kapacitet i produktion och distribution för maxlastfallet. De investeringar som önskemålet aktualiserar kommer i betydande del vara relaterat till ett maxeffektdriftfall utan hänförlig energivolym.



Figur 1 Förenklat exempel på varaktighet för olika produktionsanläggningar i ett fjärrvärmesystem.

I produktionen handlar kostnaden för effekt om sammanlagd kapacitet hos pumpar, förekomst av driftklar effektreserv utan utnyttjande osv., vilket är möjligt att prissätta ganska entydigt i enheten kr/kW. I distributions- och kundleden finns uppenbara möjligheter att, med olika insatser som ackumulatortank, effektstyrning m.m., reducera kravet på tillgänglig effekt.

I fjärrvärmepriiset finns vanligen ett betydande inslag av effektagift. Om denna är för hög tjänar energibolaget på frånvaro av åtgärder hos kunderna, men om den är för låg kommer fasta kostnader (för t.ex. effektkapacitet) behöva belasta det löpande värmepriiset, vilket resulterar i orättvist god lönsamhet för de energivolymbesparingar som har begränsad inverkan på effektuttaget (exempelvis värmepumpar som täcker delar av lasten).

Ur ett tillgänglighets- och även beredskapsrelaterat samhällsperspektiv finns dock intresse av effektreducerande insatser. Prismodellen bör innehålla en effektagift som åtminstone ger täckning för effektreserven och rörliga priset kan då sänkas. Detta gör dock värmepumpar och liknande insatser mindre lönsamma med uppenbar risk att kunder uppfattar energibolaget som monopolistiskt, vilket inte är önskvärt. Ett större medvetande om den faktiska kostnaden för effekt ligger därför även i samhällets intresse.

1.3 EFFEKTBRIST

Effektbrist kan uppstå till följd av händelse i väder, produktion eller nät. Vad som sker i produktionen samverkar dock alltid med väder, nät och kunders anläggningar. Sannolikhet för klimathändelser får en grundlig genomgång i kapitel 4. Risken för händelser av typen produktionsbortfall eller otillräcklig beredskap exempelvis innan vintern hunnit sätta in på allvar, vilka även ur driftsmässig

synvinkel är fullt jämförbara med väderhändelser, kan uttryckas med en på motsvarande sätt bestämd sannolikhet.

Händelsen kan indelas i två skeden:

- Akut skede; plötsligt ökat effektbehov och/eller produktionsbortfall, vilket leder till sjunkande framledningstemperatur och/eller differenstryck samt konkurrens om tillgängligt flöde.
- Aktivt skede där nät och tillgängliga anläggningar åter körs stabilt till följd av att en eller flera åtgärder vidtagits.

1.3.1 Akut skede -Påverkan hos kund

I det akuta skedet finns risk att vissa system upphör att fungera som följd av effektbristen. När tappvarmvattentemperaturen sjunker försöker kunder "spola fram" högre temperatur med ökat flöde som följd, vilket leder till att förmågan hos anläggningen att upprätthålla temperaturen sjunker ytterligare. Tilluftstemperaturen från ventilationsanläggningar sjunker, vilket ger en snabbt märkbar inverkan på inneklimatet och i värsta fall kan värmebatterier lösa ut eller frysa sönder.

Effektreduktion till radiatorsystem tar längre tid att ge märkbar inverkan på inneklimatet. Så länge leveransbristen inte blir för långvarig kommer leveranskvaliteten upplevas som fullgod, så snart händelsen överförs i ett aktivt skede.

1.3.2 Akut skede -Påverkan i nätet

Eftersom kundernas anläggningar försöker kompensera för lägre framledningstemperatur genom att öka flödet genom fjärrvärmecentralen, leder detta till ökat nätflöde. Det ökade flödet ger en högre returledningstemperatur. Detta, i sin tur, förstärker problemen ytterligare. Det kommer även leda till att distributionspumparna får jobba hårdare för att upprätthålla differenstrycket. När nästan alla fjärrvärmecentralers styrventiler i ett nät öppnas fullt, klarar inte nätet att hålla det differenstryck som behövs. När detta slår igenom blir delar av nätet, i detta fall, helt utan värmeleverans.

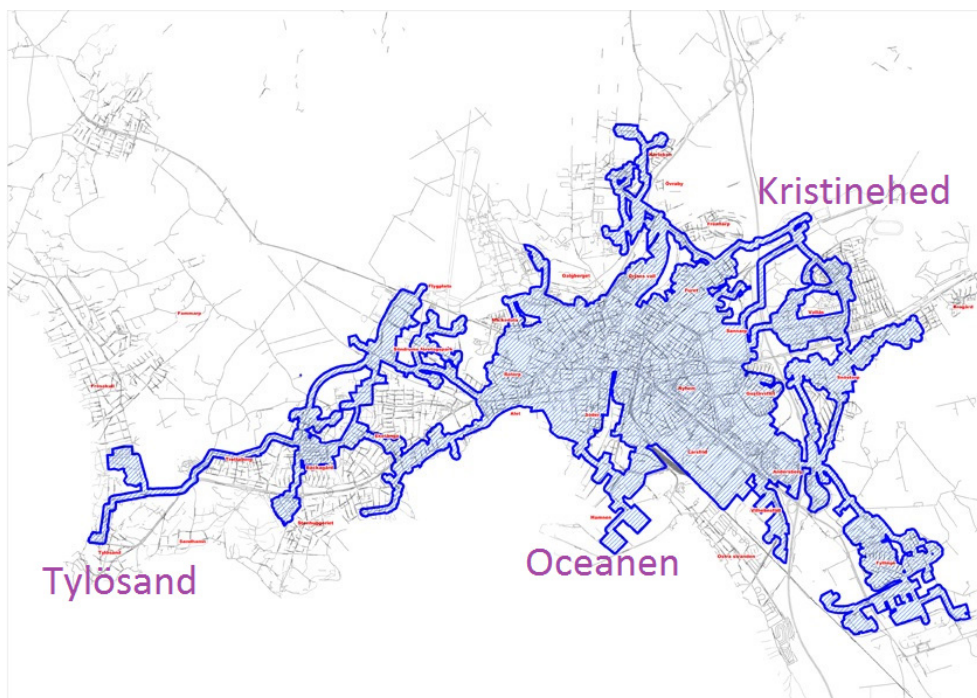
Denna självförstärkning har dock begränsad varaktighet. Det vore en stor driftsmässig fördel om en nödfallsåtgärd, t.ex. av typen effektstyrning utformas stor nog att åtminstone hantera den självförstärkning som problemet med flödet till konkurrerande anläggningar orsakar. Övriga aspekter på nät och anläggningars förmåga att hantera effektbrist tas upp i avsnittet diskussion.

2 Objekt för effektreduktion

2.1 HALMSTAD ENERGI & MILJÖ

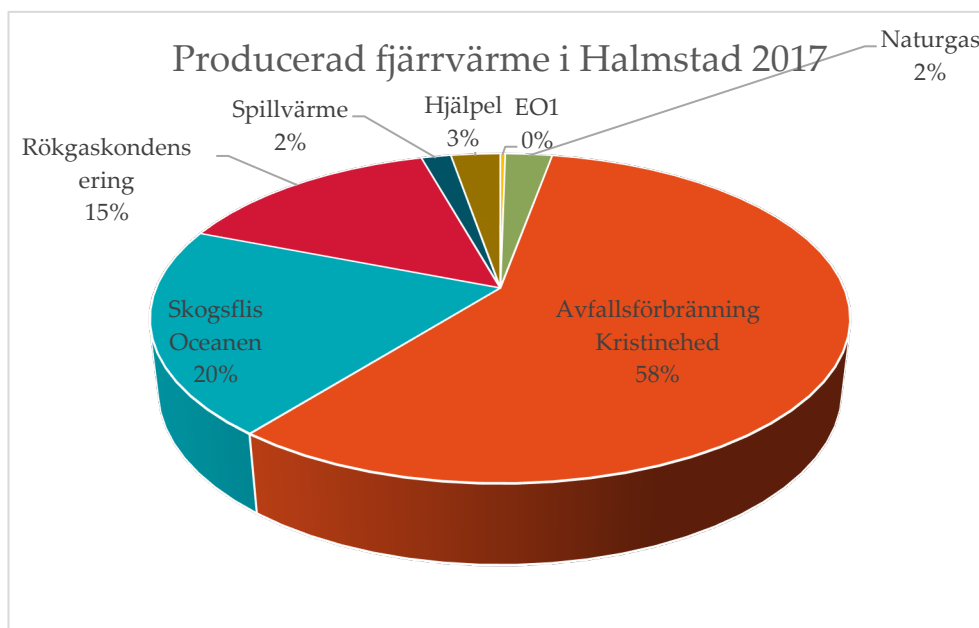
Fjärrvärmen i Halmstad kommer till största delen från avfallsförbränningsanläggningen på Kristinehed, men även från kraftvärmeblocket Oceanen där skogsflis eldas. Dessutom tar Halmstad Energi och Miljö (HEM) tillvara på spillvärme som uppkommer i industrin.

I Figur 2 nedan visas en översiktbild av HEMs nät. Från Oceanen (i hamnen rakt söder om stadskärnan) respektive Kristinehed (i utkanten nordost om stadskärnan) grenar nätet ut sig ända till Tylösand i väster och ned till industriområdet en halvmil utanför stadsgränsen i sydost. Utmed nätet är närmaste väg mellan dessa nu nämnda yttersta delar ungefär 18 km.



Figur 2 Utbredning hos fjärrvärmenätet i Halmstad.

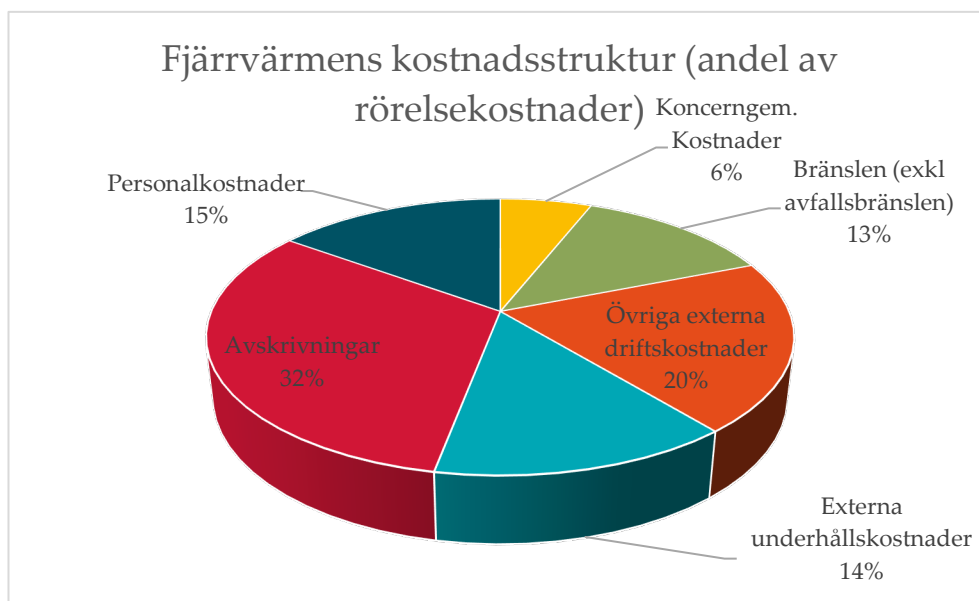
År 2017 levererade HEM ca 570 GWh till sina kunder och tillförde ca 740 GWh energi till värmeproduktionen. Fördelning av tillförda energilag redovisas i Figur 3.



Figur 3 Producerad fjärrvärme i Halmstad 2017, fördelat på energislag (tillförd energi). Källa: Energiföretagen

Spillvärme från industriella processer och avfallsförbränning räcker idag för att klara lasten ner till ca sju-åtta plusgrader. Därefter måste flispannorna startas, vilka klarar att täcka värmebehovet ner till några minusgrader, därefter tas naturgas och eldningsolja 1 i anspråk.

I dokumentet "Prisändringsmodell 2017-2019", som finns att ladda ned för företagskunder på HEMs hemsida redovisas fördelningen av fasta och rörliga kostnader för fjärrvärmen, se Figur 4. Som framgår av diagrammet är det endast en liten del av kostnaderna som är direkt relaterade till levererad volym, strängt taget bara bränslekostnaderna och vissa delar av övriga externa driftskostnader. Den enskilt största kostnadsposten består av avskrivningar. En grov uppskattning är att ca två tredjedelar kan betraktas som fasta på kort sikt.



Figur 4 Fördelning av kostnader för produktions-, distributions- och övriga kostnader för fjärrvärme i Halmstad (källa: HEM)

Som stöd finns en ackumulator om 3000 m³ = ca 150 MWh, dessutom tillkommer ackumulerad värme i pann- och nätvolym om ungefär hälften så mycket, dvs totalt 225 MWh, vilket sett mot nätets topp effekt om ca 230 MW är litet, dock precis lagom för att utjämna återkommande dygnsvariationer med kort varaktighet och den erforderliga producerade effekten har därmed sänkts till ca 205 MW.

HEM har under en tid bedrivit ett arbete med att förbättra effektreserven. Syftet är att klara att hantera ett produktionsbortfall motsvarande alltifrån en panna till hela Oceanen-verket.

Sett mot befintlig topp effekt om ca 205 MW skulle en 10 MW effektreducering motsvara en minskning på knappt 5 %.

Om största tänkbara effektreduktion med aktiv styrning i en enskild fastighet uppgår till så mycket som exempelvis 20 % innan några särskilda åtgärder i övrigt vidtagits krävs ändå att hela 25 % av den sålda volymen involveras.

Av de 130 största kunderna (Σ 300 GWh/år) är 126 st uttag med normalt väderberoende (Σ 180 GWh/år). Med nämnda insats begränsad till just denna grupp skulle 94 st behöva omfattas (ca $\frac{3}{4}$ av kunderna står för 90 % av värmeunderlaget i kundgruppen).

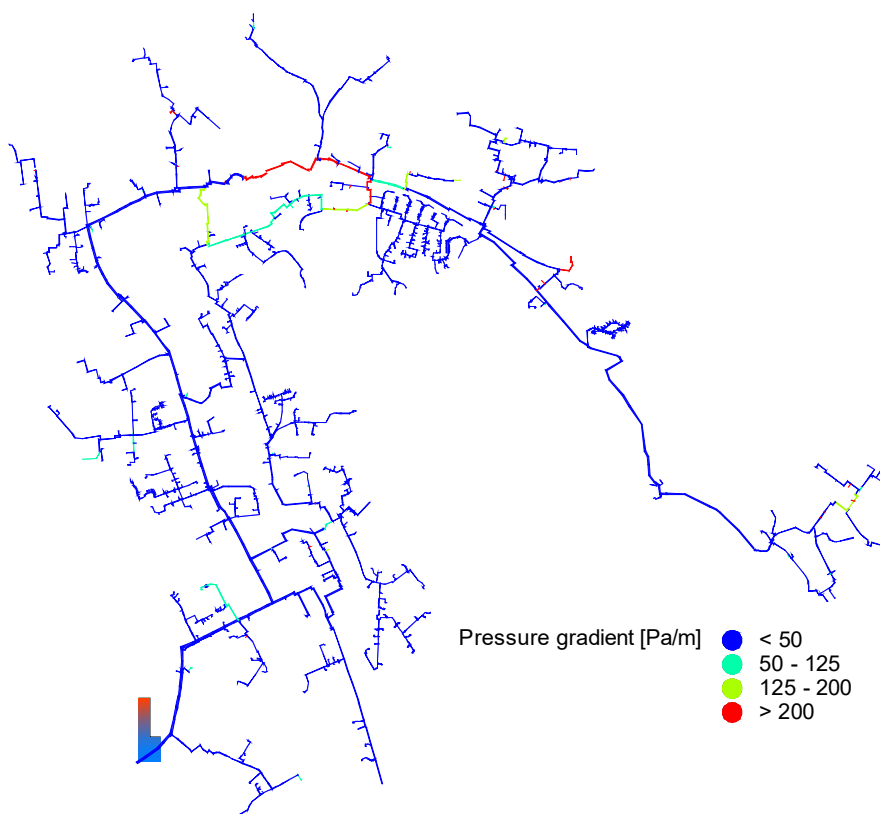
HEM har även nyligen reviderat sina prismodeller och då infört ett större inslag av effekttaxa. Sett mot sammanlagring mm skulle ett effektpolis som utgår ifrån karaktären av uttaget kunna motiveras.

2.2 SOLLENTUNA ENERGI & MILJÖ

Sollentuna Energi och Miljö (SEOM) är ett kommunalt bolag som bedriver distribution och försäljning av värme. Bolaget har tre inbördes ganska närliggande nät som hänger samman endast via en stamledning norrifrån. Stamledningen matas västerifrån med värme till näten.

Det finns i regionen även ett mycket stort behov av nya bostäder. Tänkbara nyexploateringsområden gränsar dock ofta till områden i de delar av nätet som redan idag är effektmässigt fullt utnyttjade.

Samtidigt finns flera begränsningar som hindrar en utbyggnad, bland annat flaskhalsar i form av korta sträckor ledning under järnvägen och E4 (se Figur 5). I mellersta nätet finns en nära kilometerlång ledningssträcka som begränsar möjligheterna till utbyggnad i östra delen.



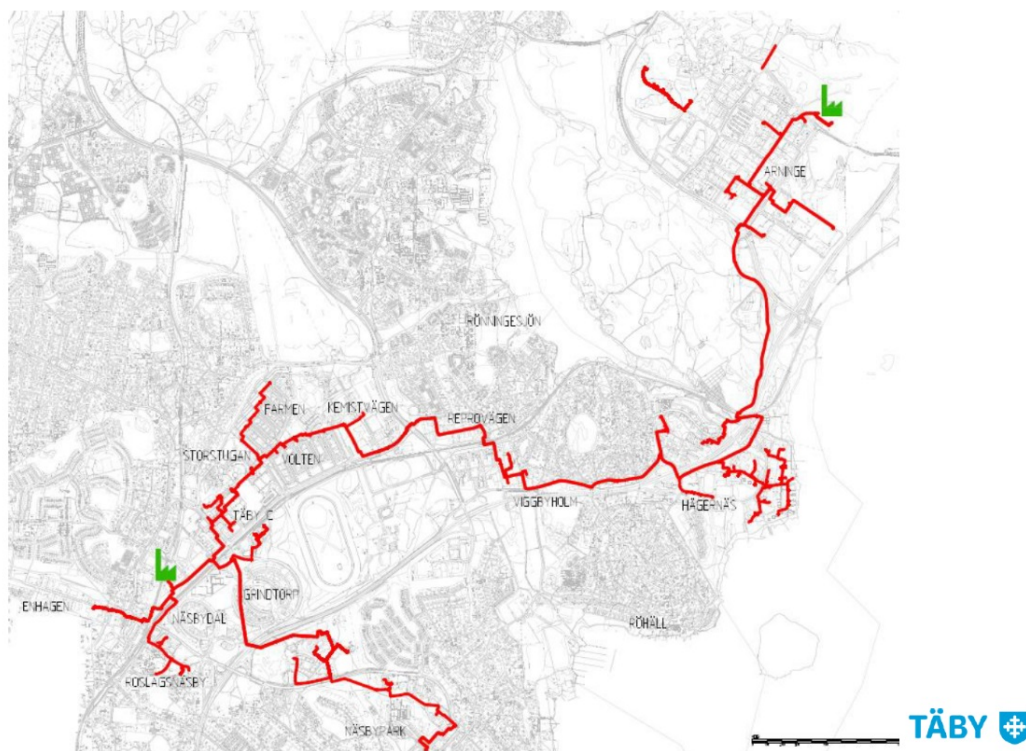
Figur 5 Fjärrvärmenätet i Sollentuna (NetSim®-modell). Rödfärgade fjärrvärmeledningar har en tryckgradient över 200 Pa/m och utgör kapacitetsbegränsande flaskhalsar i nätet.

2.3 TÄBY MILJÖVÄRME AB

Täby Miljövärme AB (TMAB), som ägs av Täby kommun, ska utveckla och bedriva fjärrvärmeverksamhet i Täby kommun i syfte att öka valfrihet och konkurrens samt minska miljöpåverkan från uppvärmning. Målet är att på sikt skapa ett fjärrvärmenät som ägs av kommunen och som är öppet för konkurrens.

I maj år 2012 tecknade Täby kommun ett avtal med E.ON om bygge av ett kommunalt fjärrvärmenät. Vad som kan förutses utbyggt inom överskådlig närtid sträcker sig från produktionen i Arninge i öster till Näsby slott i söder, drygt 11 km mätt utmed nätet i sin nuvarande sträckning.

Nuläge fjärrvärmeutbyggnaden i Täby våren 2017



Figur 6 Fjärrvärmenätet i Täby så långt man hunnit bygga våren 2017 (Källa: Täby kommun)

TMAB har ingen egen produktion och har ej för avsikt att någonsin äga någon. När nätet öppnas kommer TMAB handla upp balansvärme samt tryck- och temperaturhållning. Exakt hur detta ska se ut, och även hur kraven på en producent i allmänhet skall utformas, är ännu ej klarlagt. Idag medför den fysiska nätstrukturen dessutom begränsningar i möjligheten till fri inmatning av värme.

I början av år 2018 kommer E.ON att ha fullföljt sin del av avtalet (anslutna kunder motsvarande 100 GWh årsenergi) och kan sedan själv välja hur man vill göra ifråga om de stadsdelar där villkoren för kommunal finansiering är uppfyllda.

Kommunen å sin sida skulle gärna se en fortsatt utbyggnad. Redan 100 GWh belastar dock de svagare delarna av nätet hårt nog. Kommunen vill bygga bostäder och annan samhällsstruktur, samtidigt som man gärna vill se en avveckling av den spetsproduktion som finns i kommunens centrala delar.

Nätet i Täby planerades från början för inmatning från en tänkt basproduktionsanläggning i Hagby, norr om centrum. Österut, mot Arninge, dimensionerades nätet utifrån förväntad värmelast enligt normalt förfarande.

Samtidigt framstår nu Arninge som den produktionsplats man måste räkna med även i framtiden. Delar av ledningen från Arninge till centrum har därför dimensionerats upp för att erhålla tillräcklig flödeskapacitet. Det relativt långa avståndet till centrum gör dock att tryckfallet fram dit blir stort. Detta tillsammans med att nätets topografi begränsar utmatningstrycket i Arninge gör att det kommer behövas ytterligare åtgärder i nätet för att nå full leveranskapacitet från Arninge.

2.4 TÄBY FJÄRRVÄRME AB

År 2016 gick E.ON och fyra storkunder i Täby Centrumområdet samman och bildade värmeproduktionsbolaget Täby Fjärrvärme AB (TFAB). Ett nytt fliseldat värmeverk med en leveranskapacitet på 20 MW (inkl. rökgaskondensering) uppfördes i Arninge. Det nya värmeverket kommer att stå för basproduktionen i nätet. I Arninge har E.ON sedan tidigare två pelletspannor på 4 MW vardera, som kommer att fungera som mellanlastproduktion. Vid Åva i andra änden av fjärrvärmenätet finns fyra biooljepannorna på 4 MW vardera som kommer att användas för spetsproduktion.

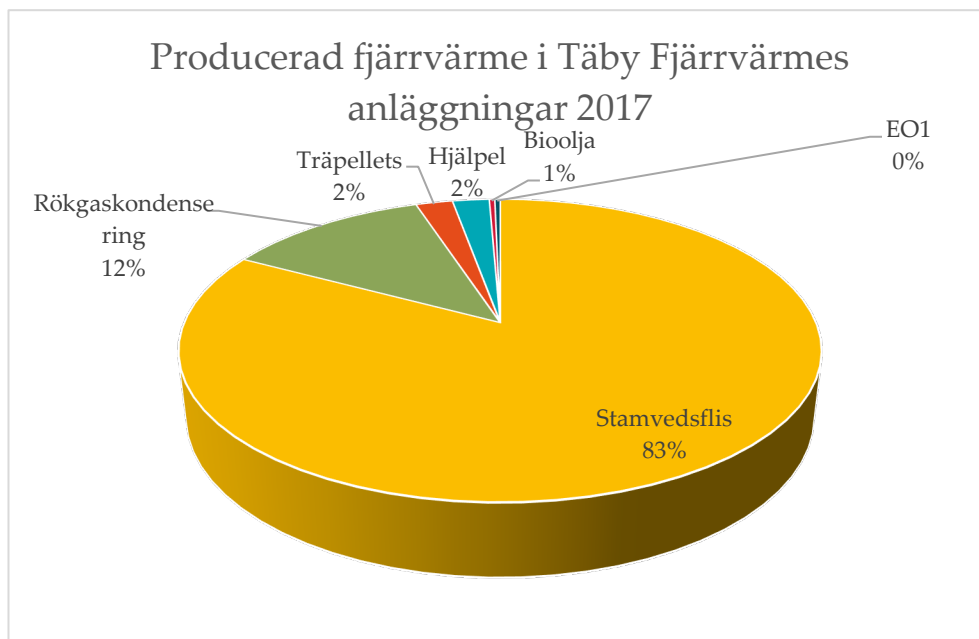


Figur 7 Täby Fjärrvärmeverk under uppförande i Arninge (Källa: Nyhetsbild från Jernforsen Energi)

Värmeunderlaget växer år för år men är redan idag tillräckligt stort för att en av flispannorna skall vara möjlig att köra ända ned till nätets minilast. Samtidigt har anläggningen en total kapacitet motsvarar två gånger nätets årsmedeleffekt. Tillsammans innebär detta att basproduktionen har relativt hög energitäckning i systemet.

År 2017 levererade Täby Fjärrvärme AB ca 70 GWh fjärrvärme till sina kunder och tillförde ca 92 GWh till värmeproduktionen men värmeunderlaget växer ganska

snabbt. Fördelning av tillförda energislag redovisas i Figur 8. Där framgår att ca 95 % av fjärrvärmens kunde produceras med stamvedsflis + rökgaskondensering.



Figur 8 Producerad fjärrvärme i Täby Fjärrvärmes anläggningar 2017, fördelat på energislag (tillförd energi).
Källa: Energiföretagen.

Basproduktionens energiandel skulle kunna ökas ytterligare om en ackumulator infördes i systemet, vilket skulle sänka systemets produktionskostnad och minska beroendet av befintlig spetsanläggning. Om ackumulatören placeras vid basproduktionsanläggningen, på traditionellt vis, så krävs dock förstärkningar i distributionskapaciteten för att få full nytta av ackumulatorns effekt. Ett alternativ är att placera ackumulatören utlokaliserat på lämplig plats i nätet. På så sätt erhåller man ackumulatorns nytta i produktionsapparaten, helt utan eller med mindre behov av nätförstärkande åtgärder.

2.5 MICASA FASTIGHETER

Denna aktör är till skillnad från övriga ett fastighetsbolag utan egen produktion eller distribution. I Figur 9 visas ett "normal-Micasahus" med tegelväggar och korridorer till boenderummen. Största delen av värmeanvändningen avser uppvärmning av specialfastigheter i form av servicehus, äldreboenden och liknande med ett uttag som är väl representativt för flertalet kunder.



Figur 9. Ett "normal-Micasahus" med korridorer och tung tegelstomme.

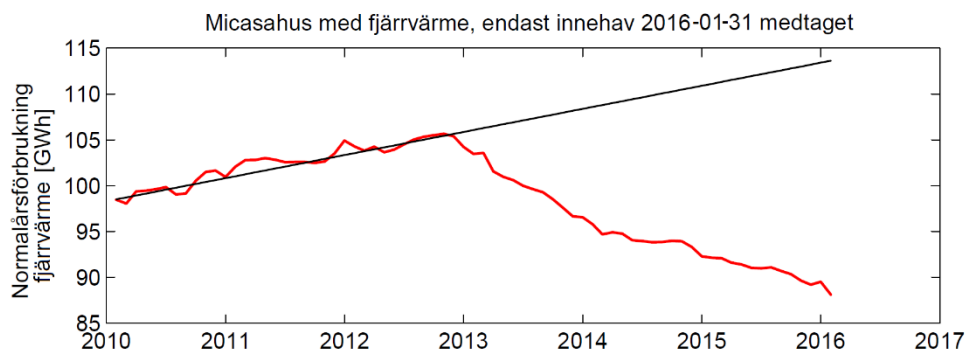
Under år 2008–2014 bedrevs ett investeringstungt energisparprojekt. Hela 250 Mkr investerades i syfte att komma tillrätta med eftersatt underhåll, förbättra anläggningarna osv samt minska energikostnaderna med 32 Mkr per år.



Figur 10. Delar av Micasas tekniska förvaltning på platsbesök i Stockholm Exergis kraftvärmeverk i Brista.

Besparingen i energi blev måttlig. Därför startades i september 2012 ett driftoptimeringsprojekt som löpte fram till september 2017. Två av författarna till denna rapport var ansvariga för detta projekt från slutet av 2012 fram till och med februari 2016. Av totalt ca 130 hus värmdes 90-95 st med fjärrvärme. Under denna tid sänktes fjärrvärmeanvändningen med ca 19 GWh eller nära 28 GWh från den stigande trend uttaget låg i, svart linje i Figur 11.

Viss omsättning fanns i beståndet. I Figur 11 nedan visas fjärrvärmeanvändningen i de hus som var öppna för projektet när det avslutades i början av 2016. Observera den systematiskt stigande trend (2,5 GWh/år) som beståndet låg i före driftoptimeringen.



Figur 11. Fjärrvärmeanvändning i Micasas bestånd 2010 till 2016 (röd linje) samt trend av fjärrvärmeuttag 2010 till 2013 (svart linje).

Vid sidan av fjärrvärme omfattade arbetet även elenergi för drift och uppvärmning. En, efter årstid, väl utarbetad metodik för analys och åtgärd tillämpades.

Som följd av att utfallet flerfaldigt överträffade målen fanns tillfälle att arbeta aktivt även med åtgärder som reducerade kostnader, i vissa fall utan någon som helst energibesparing. Ett exempel var arbetet med optimering av värmeavtal. Maxeffekt var en av de parametrar som valdes, uppenbarligen med en ofrånkomlig klimatrisk.

Kundperspektivet i exemplet Micasa aktualiserar konsekvenserna av den av Fortum värme tidigare tillämpade regressionsbaserade rekommenderade maxeffekten. Ett mildt år utan kalla dygn ger sådan ett högre värde på maxeffekt än ett år med stor förekomst av kalla dygn. Detta balanserar något av den minskade intäkten från värmeförsäljning. Sedan 2018 tillämpas i Stockholm en tvådelad regression som inte alls är lika känslig för avvikelse i väder år för år. Den ekonomiska risken för både kunder och värmebolag har i och med det ökat.

3 Metoder för effektreduktion

En effektutbyggnad är förenad med kapitalbehov för investering och med hänsyn till livslängd, realräntekrav eller dylikt en årskostnad. Så mycket som 30 % av anläggningens effekt kan aldrig relateras till något praktiskt utnyttjande i fråga om energivolymer. I och med det kan årskostnaden för en stor del av kapacitet hos nät och produktion direkt relateras till effekten och inget mer och därmed uttryckas som kr/kW. Här studeras dock alternativ till sådan effektutbyggnad.

För respektive metod/ teknik beskrivs dess mekanism, bedömda möjligheter och eventuella krav på förutsättningar i befintligt system. T.ex. beräknas teoretisk effektvinst. Kostnaden jämförs sedan med effektvinsten och det bör sedan kunna vägleda i fråga om metodens tillämplighet.

Det finns fler metoder för effektreduktion än de som är med i urvalet för denna studie och därmed behandlas i detta kapitel. För en bredare genomgång av metoder se diskussionen i kapitel 7.

3.1 MODIFIERING AV UTTAGET

3.1.1 Effektstyrning

Effektbehovet kan reduceras om värmeuttaget hos en del av anslutna fastigheter går att påverka utifrån. En möjlighet skulle kunna vara att ge tillträde till överordnat styrsystem som innehåller effektbegränsning som särskild funktion.

Effektstyrning behöver utformas med god kännedom om byggnadsfysiken om inte inneklimat eller reglerförluster skall behöva bli lidande. Om inte nedstyrningen i de enskilda fallen skall bli för stora krävs medverkan från en relativt stor andel av kundunderlaget. För HEM skulle det t.ex. krävas att man kunde styra ned effekten med 20 % hos kunder representerande ca 25 % av värmeunderlaget för att erhålla en reduktion i effekt om 5 %.

3.1.2 Sänkning av returtemperatur

Sänkning av returtemperaturen kan öka kapaciteten i distributionsnätet genom att man därigenom även sänker flödet. Men om, spillvärme och/eller rökgaskondensering ingår i produktionsmixen kommer en sänkt returtemperatur även öka den producerade effekten, i befintliga produktionsanläggningar.

Vid sidan av behovet av robust nät (se avsnitt 3.3) har väl fungerande kundanläggningar ett produktionsekonomiskt värde. Som komplement till tillgänglighets- och effektproblematik bör man även med ekonomi i åtanke arbeta med att åtgärda de fjärrvärmecentraler som inte fungerar tillfredställande ur ett avkylningsperspektiv. Under åren har det skrivits ett antal rapporter som går in i detalj på hur detta kan göras, bl.a. *Effektivisering av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem* (Råberger, Walletun 1996), *Effektivisering av fjärrvärmecentraler: metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem* (Walletun, 1999) och, på lite senare år, *Effektiviserad avkylning av fjärrvärmevatten* (Fredriksson, E 2015).

Dessa rapporter rekommenderas den som vill fördjupa sig vidare i detta ämne, men några dragna slutsatser är:

- Extremt förhöjd returtemperatur beror i de flesta fall på ställdon/ventiler som låst sig i öppet läge
- Högre returtemperatur än idealt (men inte extremt hög), beror oftast på radiatorsystemets returtemperatur och alltså val av injusteringsmetod för radiatorsystemet

Wernstedt et al har även undersökt potentialen att sänka returtemperaturen just m.h.a. laststyrning (*Sänkning av returtemperaturen genom laststyrning*, 2008), d.v.s egentligen det omvända till vad detta stycke handlar om. Resultaten visar, i enlighet med ovan nämnda rapporter, att vill man sänka returtemperaturer från fjärrvärmecentralen är det först och främst viktigast att fjärrvärmecentralen är rätt dimensionerad samt att den reglerar optimalt. Nyttan med det laststyrningssystem som beskrivs i rapporten är just att sänka höga laster. Dock erhöll man, genom denna metod, sänkta returtemperaturer under perioder då lasten är hög. Så det kan ändå vara ett bra sätt att åstadkomma bra avkylning då den är som viktigast.

En annan orsak till höga returtemperaturer i nätet kan vara förekomst av oreglerade rundgångar, vilket även nämns av Wernstedt et al. I de flesta fjärrvärmenät har man installerat rundgångar för att undvika distributionsproblem och kostnader, dels genom att förhindra frysning i något ledningsavsnitt med låga flöden vintertid, dels för att kunna hålla en tillräcklig temperatur i hela nätet utan att behöva höja framledningstemperaturen. Onödigt höga kortslutningsflöden leder dock till höjda returtemperaturer. Walletun & Näsholm beskriver i *Effektiva rundgångar* (2004) en metodik att följa funktionen för nätets rundgångar systematiskt och periodiskt och på det viset minska onödiga flöden.

Nyttan av sänkta returtemperaturer i fjärrvärmesystemet kan anses vara väl belagd och är till gagn för såväl produktion, distribution och kund, med avseende på värmeförlust, pumparbete och, som tidigare nämndes, produktions- och distributionskapacitet.

3.2 ÅTGÄRDER I NÄTET

3.2.1 Ackumulering

Uttaget i ett fjärrvärmenät varierar normalt över dygnet, variationen beror bland annat på varmvattenförbrukningen vilket medför en topp på morgonen och en topp på kvällen. Ventilationsanläggningar i kommersiella fastigheter och industrilokaler bidrar också.

Med en ackumulatortank i ett fjärrvärmenät kan produktionen hållas konstant och ackumulatortanken laddas och tömmas för att hantera variationerna. Behovet av spetslast minskas och även kortare produktionsbortfall kan hanteras.

Om ett nät har en trång sektion kan ackumulatortanken placeras efter det trånga snittet. Konceptet kallas decentraliserad ackumulatortank och de två fördelarna ovan kan därmed appliceras på överföringskapaciteten i den trånga sektionen istället för i produktionsanläggningen.

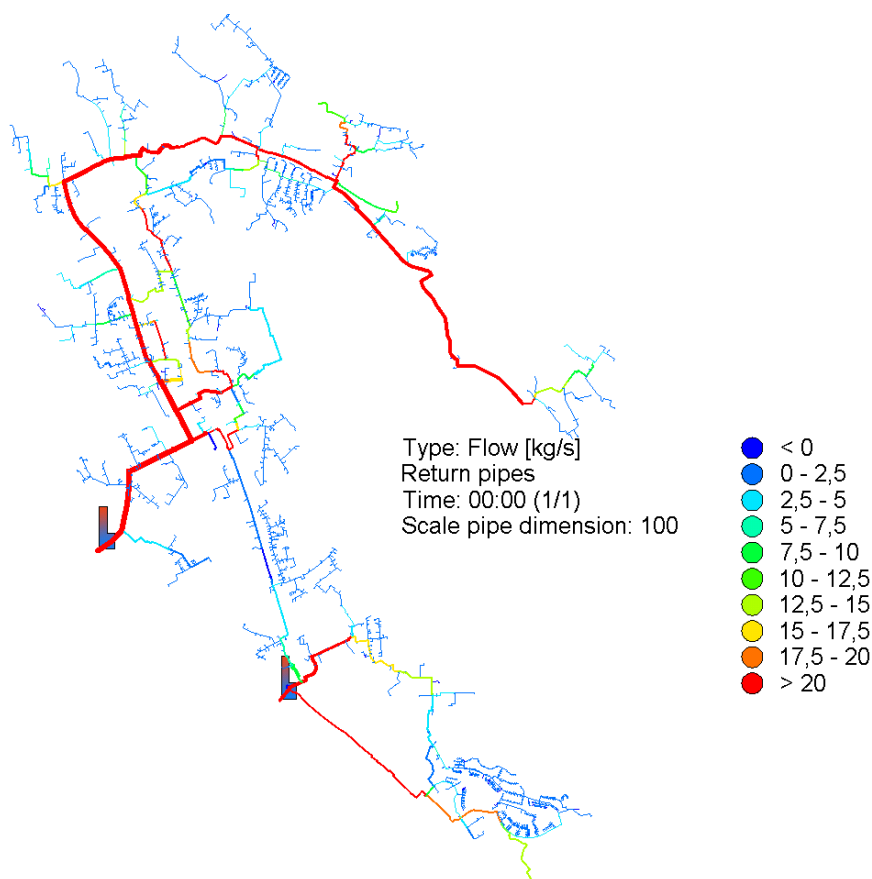
Med ackumulering utnyttjas således det faktum att medeleffekten alltid är lägre än högsta värdet för de effekter som ingår i medelvärde. Till varje sådant medelvärde hör samtidigt en värmemängd som krävs för utjämningen. Ackumulatorn måste alltså byggas stor nog att härbärgera denna energimängd.

3.2.2 Returvärme

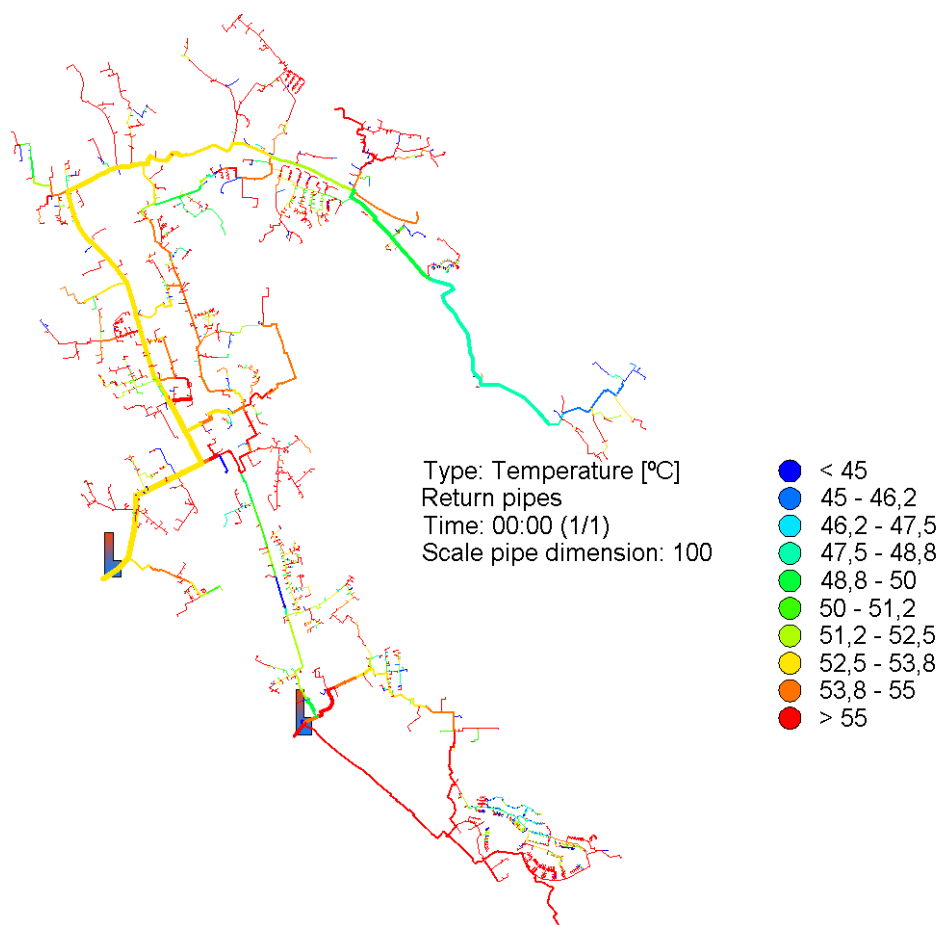
En metod att sänka returtemperaturen i ett nät eller i en del av ett nät är att nyttja returledningen som framledning till en förbrukning med lägre temperaturbehov. Ett returvärmeuttag ökar nämligen inte flödet i nätet.

Om samverkan finns mellan energibolag och byggherrar så kan nya fastigheter projekteras för så mycket lägre temperaturbehov att de vid kallaste väder kan klara i stort sett helt med värme ur fjärrvärmereturledningen kan ytterligare nyanslutning i kapacitetsmässigt redan fullt utnyttjade nät tillåtas.

Returtemperaturen från lågtemperaturområdet blandas med den övriga returtemperaturen i fjärrvärmenätet. Om ett nät har en trång sektor ökar överföringskapaciteten proportionellt med ökningen av ΔT (differensen mellan framlednings- och returtemperatur).



Figur 12. Flöde i SEOMs fjärrvärmenät vid beräkningar i NetSim.



Figur 13. Beräknade returtemperaturer för SEOMs fjärrvärmenät, beräknade i NetSim.

Nätberäkningar resulterar inte bara i tryckfall och flöden. Även returtemperaturer presenteras och kan användas för att bestämma sig för passande anslutningspunkter för returvärmeuttag. I Figur 12 och Figur 13 ovan visas en exempelkörning på SEOMs fjärrvärmenät.

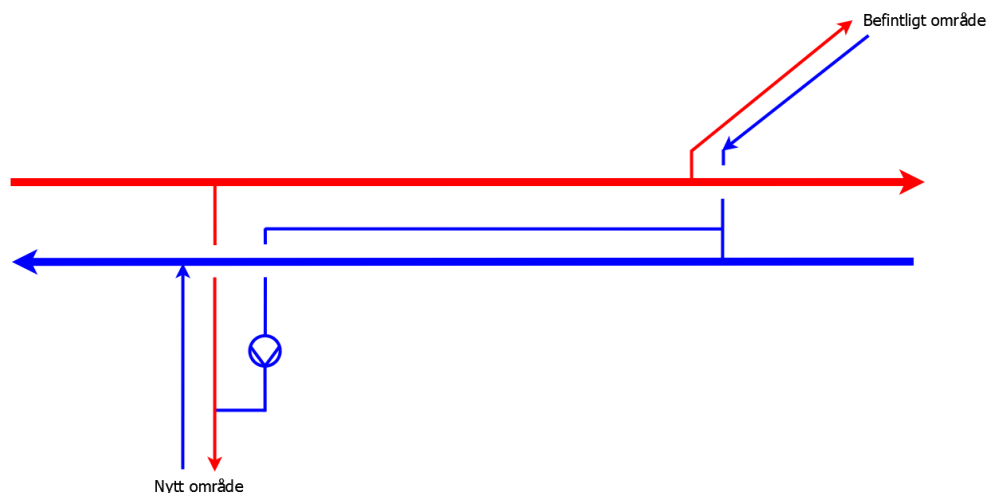
Returvärme innebär att nätets kapacitet ökar i proportion till returvärmeuttagets möjlighet att ytterligare sänka returtemperaturen. Utifrån sett gäller samma resonemang som i avsnitt 3.1.2 Sänkning av returtemperatur: Genom att öka differensen mellan fram- och returledningstemperatur höjs överförd effekt vid bibehållet flöde.

3.2.3 Shuntpumpning

Ett speciellt fall av "returvärme" utgörs av nedshuntning med återmatat returflöde. Flödet i produktion och stam-/transiteringsledningar kan då hållas nere under förutsättning att detta leder till en totalt sett lägre returtemperatur (större ΔT). I fråga om kostnad aktualiseras nu en jämförelse mellan kostnadseffekterna av temperaturerna i produktionens fram- och returledningar.

I Figur 14 nedan illustreras hur en shuntpumpning kan se ut där returen från ett befintligt område nyttjas som framledning till ett nytt område. För att säkerställa

tillräcklig framledningstemperatur till det nya området spetsas fjärrvärmeleveransen från transiteringsledningens framledning.



Figur 14. Exempel på shuntpumpning med primärvärme som spets.

En station för shuntpumpning kan med fördel kombineras med decentraliserad ackumulator. Själva samordningen i sig innebär att kostnaden för själva ackumulatorn borde kunna minska ganska kraftigt och kanske mer säkert kunna förutses.

3.3 INHERENT ROBUSTA NÄT

Med följande metoder i kundernas undercentraler kan näten bli stabilare och klara effektbristsituationer bättre. Åtgärderna som beskrivs nedan är inte testade på objekten i kapitel 2 men de kan vara en del i lösningen på effektproblematik i fjärrvärmenät.

Returtemperaturbegränsning minskar tendensen till detta och med varmvattenprioritering kan anläggningarnas förmåga att hantera effektbrist på acceptabelt sätt ökas ytterligare. Med anläggningar byggda för att på ett fullt ut tillfredsställande sätt hantera reducerat differenstryck och/eller temperatur skulle till slut något som kan kallas passiv styrning kunna tillämpas: Vid effektbrist reduceras tillgången till fjärrvärme och fjärrvärmecentralerna byggs eller anpassas för att rätta sig efter det.

3.3.1 Varmvattenprioritering

Sammanlagringseffekter i nätet minskar normalt tappvarmvattenberedningarnas totala sammanlagda värmelast. Men eftersom tappningarnas frekvens och storlek styrs av ett visst beteende finns det under varje dygn, ett antal tidpunkter då varmvattenberedning sker nära nog samtidigt i ett stort antal fastigheter.

Selinder och Zinko undersökte redan 2005 möjligheterna att minska den totala fjärrvärmelasten för ett bostadshus genom att utnyttja byggnadens värmetröghet

och kortvarigt "låna" den effekt som behövs för tappvarmvattenvärmning från uppvärmningssystemet. Ett styr- och reglersystem, där uppvärmningseffekten kortvarigt reduceras för att kompensera för ett ökat tappvarmvattenuttag för en fjärrvärmecentral, utvecklades och testades i en befintlig fjärrvärmecentral i ett bostadshus i Göteborg.

Antalet stora effekt- och flödesuttag minskade märkbart när tappvarmvatten-prioriteringsfunktionen var aktiverad. Funktionen kan enkelt appliceras i en befintlig anläggning med friprogrammerbar DUC och lämplig mjukvara. Utöver detta behöver inga större ingrepp göras.

Effektstyrning är vanligt i anläggningar utförda för egen produktion av värme, särskilt om produktionen sker med värmepumpar och önskan är att reducera inslaget av tillskottsvärme så mycket som möjligt. För bostäder och liknande fastigheter sker styrningen på ungefär samma sätt som beskrivs ovan. För industrier kan det istället vara viktiga processer som behöver prioriteras.

3.3.2 Returtemperaturbegränsning

I fjärrvärmeanläggningar tillkommer behovet av flödesbegränsning: I en korrekt dimensionerad fjärrvärmecentral behövs i normalfallet inte högre flöde på dess primärsida än vad som motsvarar flödet i respektive växlare är på sekundärsidan. Högre primärflöden försämrar bara tillgängligheten i nätet. Flödesbegränsning som hindrar detta kan utföras i form av enkel returtemperaturbegränsning men redan innan sådant föreskrivs bör regler om storlek på styrventiler finnas.

3.3.3 Mindre styrventiler

En annan form av flödesbegränsning som inte kräver ingrepp i styrsystem är bättre avvägning av kvs-värden på styrventiler. I alla händelser skall nya styrventiler dimensioneras i rätt storlek. Detta har med gott resultat prövats i olika skala i ett flertal fjärrvärmesystem: SFAB, Vattenfall Nyköping och Gävle Energi – pionjärer när det gällde att minska kvs-värden för varmvattnets styrventiler. 2004 utförde även Walletun och Lindkvist en analys av konsekvenserna av mindre styrventiler i distributionsnät. Beräkningarna gjordes med simuleringsprogrammen ISAC/Analys och NetSim Analyse. Några av projektets slutsatser kan sammanfattas:

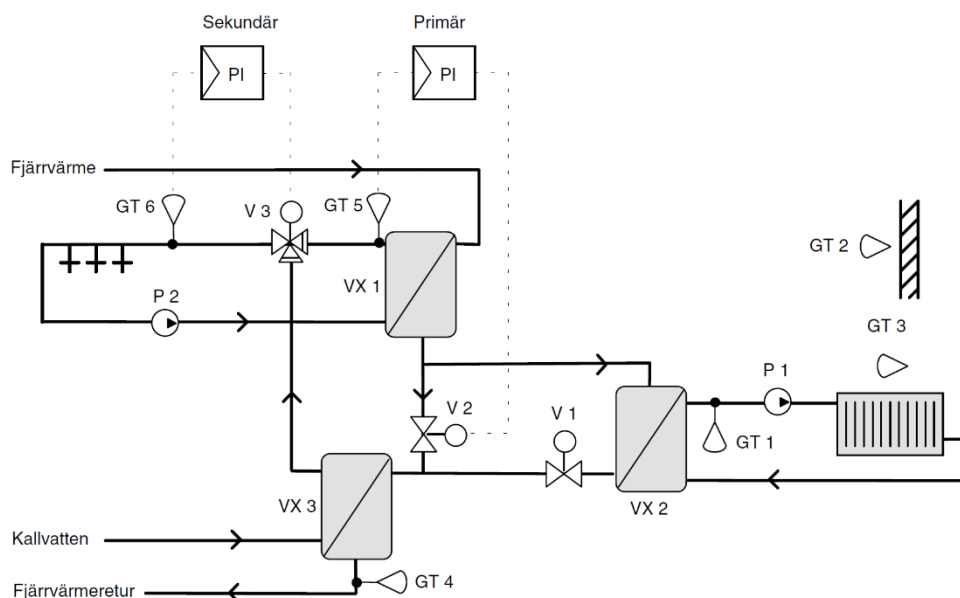
- Genom att installera striktare ventiler kan det maximala flödet begränsas och därmed minskar pumpbehovet. Likaså kan effektuttaget begränsas vid en störning, men inte i lika stor utsträckning som flödet.
- Även vid den dagliga driften av fjärrvärmenätet kommer mindre styrventiler att medföra en förbättring. Detta eftersom det vid normal drift förekommer en rad flödes- och effekttoppar. Ett exempel är den s.k. "morgontoppen", ett annat är ökat flödes- och effektuttag på grund av snabbt fallande utomhus-temperatur.
- Beräkningarna visar att konsekvenserna av en temperaturstörning på framledningstemperaturen kan begränsas av striktare dimensionerade (mindre) styrventiler vid framförallt lägre utomhustemperaturer (-5°C).

- Följderna av en störning på flödet är inte beroende av utomhustemperaturen (effektuttaget) och genom att installera striktare ventiler kan det maximala flödesbehovet halveras, och därmed nödvändigt pumpbehov. Vid en flödesstörning innebär mindre styrventiler alltså positiva konsekvenser för fjärrvärmenätets drift även vid höga utomhustemperaturer.

3.3.4 3-stegskoppling

Ett alternativ till varmvattenprioritering via styrsystemet kan vara att rent fysiskt bygga anläggningen så att tappvarmvattenfunktionen är den sista som förloras. Med anläggningar utförda på sådant sätt kan, oberoende av styrsystemets funktion, differenstrycket tillåtas minska så långt att det inverkar på de enskilda anläggningarnas effektuttag. Trestegskopplade fjärrvärmecentraler är exempel på detta, se exempel i Figur 15, hämtat ur Schneider Electrics handbok för TAC 2232 i vilken även beskrivs dämpning, returtemperaturbegränsning mm.

Även aktiv effektstyrning blir enklare i denna typ av anläggning: Med riktigt långsam styrning av uppvärmningssystemets styrventil kommer alla effektoppar relaterade till tappvarmvattenuttag att absorberas i värmesystemet. Så utförd kommer anläggningen alldeles av sig själv köra ikapp vad som under nedstyrningen förlorades oavsett om störningen kom inifrån (tappvarmvatten) eller utifrån (avvikande tryck eller differenstryck). Något motsvarande är ej möjligt att uppnå fullt ut med parallellkopplad eller tvåstegskopplad undercentral.



Figur 15 Principiell kopplingsprincip 3-stegskoppling, ur Handbok för TAC 2232 där även dämpning och returtemperaturbegränsning förklaras på ett bra sätt.

Kopplingsprincipen anses mindre lämplig i områden med hårt dricksvatten eftersom hela primärflödet går genom eftervärmaren även när det inte finns något

tappvarmvattenbehov. Detta ger hög ytemperatur på värmeöverföringsytan med risk för kalkutfällning som följd. En lösning på detta är att ersätta blandningsventilen med en bypass på primärsidan, så kallad "rysk koppling".

Kopplingsprincipen är borttagen från senaste versionen av Energiföretagens "Fjärrvärmecentralen Kopplingsprinciper" (2017), dvs. branschen anser inte att den är att rekommendera i första hand, troligtvis för att den är mer komplicerad, särskilt vid driftsättning eftersom intrimning vid driftsättning i värsta fall bara omfattar det ena av de två helt olika driftfall som avlöser varandra under året.

4 Mekanismer

Värmebehov i nät och fastigheter består huvudsakligen av ofrånkomliga förluster i byggnadsskalet samt tappvarmvattenproduktion. Vid energiuppföljningar har vi erfarenhet att typiskt 70 % av årsvärmebehovet är relaterat till klimatkompensering av själva byggnaderna. Det innebär att variationer i väder bygger upp en stor del av effektuttaget. Ovanpå detta är dygnsvariationer i verksamheten i anslutna byggnader överlagrat. Rent tekniskt tillstöter därefter värmebärarens begränsade förmåga att per mass- och volymsenhet tillgodose värmebehovet.

Första delen av kapitel 4 undersöker ingående orsak, samband och praktiska konsekvenser av klimatberoendet. En signalanalytisk klimatmodell med tillhörande metod för att utsträcka ett i fråga om extremhändelser alltid begränsat effekt- eller temperaturdata presenteras. Sannolikhet för olika väder har bestämts och varaktigheten har uttryckts som en summa av 4 – 5 tillstånd vilket skulle kunna användas för beräkningar med "körscykel" om man är intresserad av mer än det kallaste och varmaste vädret. Med samma metod kan en körscykel för ett standardhus eller helt nät tas fram. I den avslutande del 4.2 Värmebäraren görs en kort sammanställning av värmebärarens egenskaper som bestämmande för nätets kapacitet och vilka möjligheter som finns där för att hantera effektproblemen.

4.1 EFFEKTSIGNALEN

Rent fysikaliskt existerar effektsignalen innan den hunnit mätas, (se Figur 17 där grön signal är samma effektsignal både före och efter givaren). I detta avsnitt beskrivs med ett sådant synsätt effektsignalen, dess ursprung och praktiska konsekvenser.

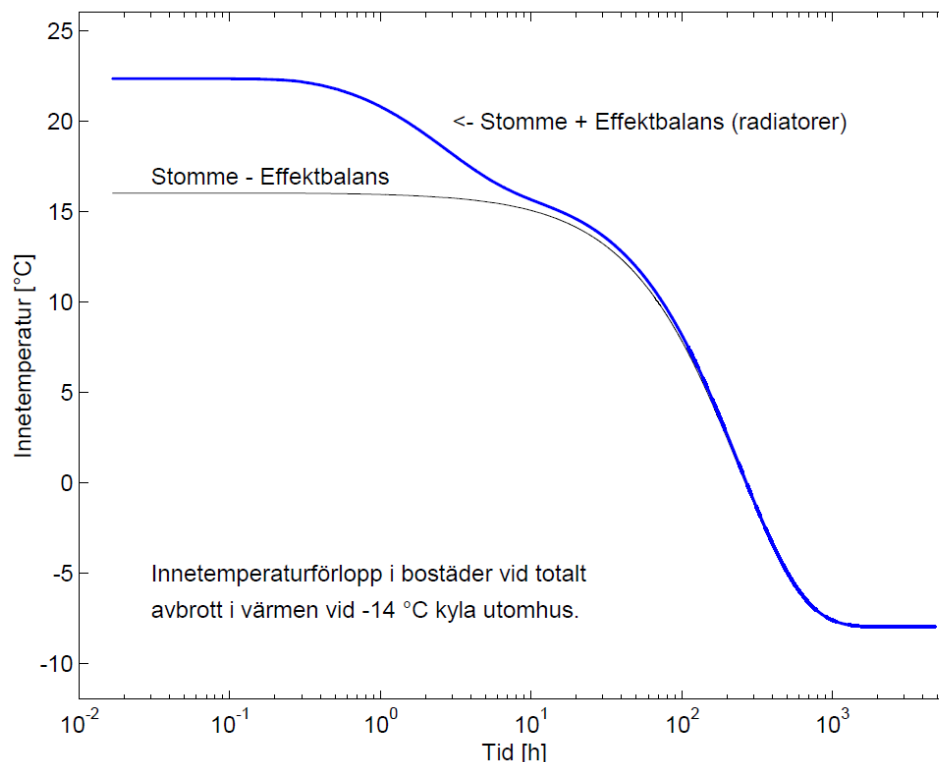
Inom byggnadstekniken används begreppet klimat som sammanfattning av alla storheter som samverkar i termisk komfort respektive en byggnads värmebehov för "klimatkompensering", således med en strikt, något avvikande betydelse jämfört med i ord som klimatgas samt inom meteorologi och geografi.

4.1.1 Byggnadsfysik

Inneklimatet störs både direkt och indirekt av klimatet:

- Via ytterväggar, tak, m.m. erhålls en långsam påverkan på interiörens effektbalans. Via fönster och uteluft erhålls en snabb, omedelbar påverkan och därmed direkt (tidskonstant 2,5 timmar) påverkan på inneklimatet
- Via byggnadens effektbalans erhålls slutligen en långsam (tidskonstant 50-300 timmar) påverkan på byggnadens stomme och därmed indirekt verkan på inneklimatet

HEM lät utredning av konsekvenserna av ett totalt fjärrvärmefall ingå som en del i sin utredning om effektstyrning. Ett sådant förlopp illustrerar nu nämnda mekanism väl i form av ett så kallat stegsvar i Figur 16 nedan.



Figur 16. Stegsvär för innetemperaturen vid totalt bortfall av fjärrvärme mitt i vintern.

Värmesystemets uppgift är att balansera interiörens effekthalans på ett sådant sätt att tillsammans med stomtemperaturen erhålls önskad innetemperatur. Ett ganska jämnt inneklimat erhålls med lagom avpassad proportionell styrning av radiatorernas effekt. Styrningen skall vara inverterad, dvs. blir det kallare ute skall effekten ökas. Två avgörande problem föreligger dock:

- En radiators effekt ökar svagt exponentiellt med temperaturen. Ökas temperaturen med 4 % så ökas effekten med 5 %. Med linjär kurva kommer en påtagligt för hög effekt avges vid kallt väder.
- Bara en del av klimatsignalen verkar direkt ofördröjt på inredningens effekthalans. Om fulla inversen av klimatlasten insätts utan fördröjning kommer det bli för varmt inne vid plötsligt omslag till kyla. Om det efter kallt väder plötsligt blir varmt ute kommer det av samma skäl först bli litet ruggigt inne.

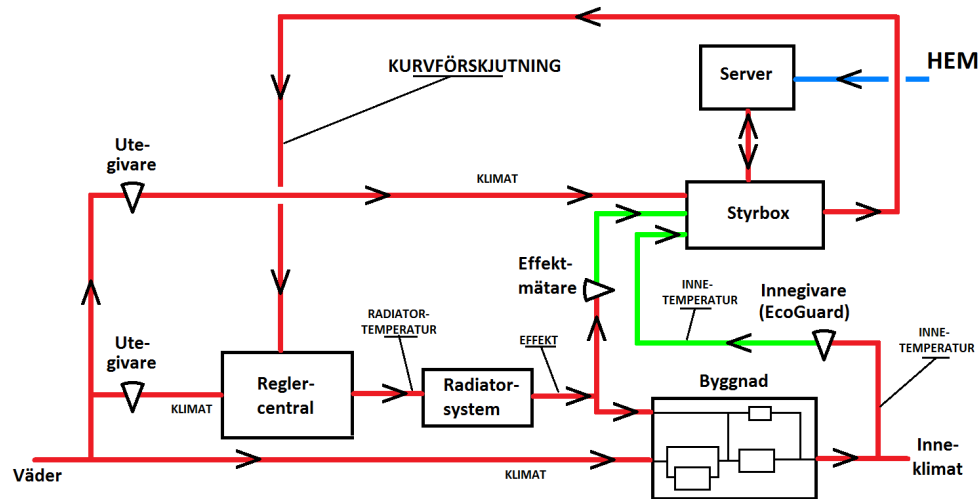
Optimalt inneklimat kräver således att

- Värmekurvan utformas inledningsvis brant stigande och sedan flackare
- Värmeregleringen sker med dämpning (se avsnitt 4.1.5 nedan).

Dessa båda villkor förbises ofta med resultatet att uttagen effekt blir onödigt stor samtidigt som inneklimatet förlorar på det.

Den nu beskrivna byggnadsfysiken är en "process" som är en del av det system som påverkar vilket byggnadens inneklimat i slutänden blir. I Figur 17 har ritats in

en utifrån kommande (blå) effektreduktionssignal i den form sådana förekommer i HEM som valt Noda som baseras på Ecoguard som verktyg för innetemperaturmätning, en av systemets två (gröna) återkopplingar.



Figur 17. Processchema över hur Noda smart Heat Building fungerar där det är installerat i HEMs nät.

Processen beskriver hur olika signaler samverkar över tid med de fördröjningar och annat som finns inbyggd i byggnadsfysiken, så att den resulterande inneklimatsignalen i idealfallet får så liten amplitud som möjligt, i praktiken att inomhustemperaturen avviker så lite som möjligt från önskat värde.

I processbilden i stort finns således två signalingångar:

- Uteklimatet (enligt byggnadsteknisk terminologi)
- Eventuell effekstyrsignal (via Noda eller liknande system)

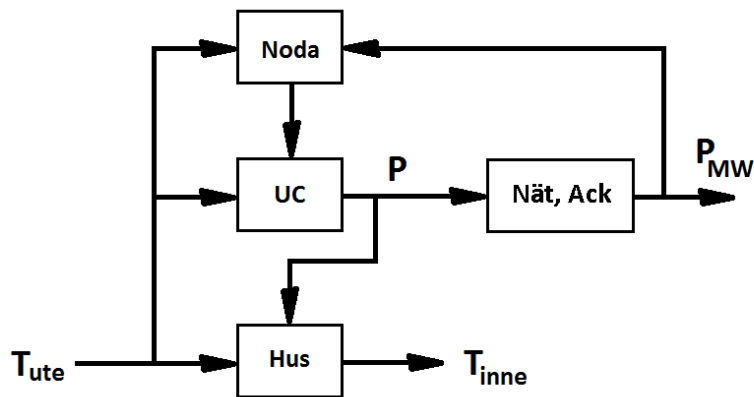
Orsaken till den senare är att en av signalerna, den effektsignal som syns mitt i bilden, är en intressant utsignal i den process som byggnaden i energibolagets perspektiv utgör:

- Effekttuttaget är oftast ofördröjt
- Effekten är progressiv

Det progressiva inslaget hanteras via radiatortermostater mm men det är en långsam process. Den termiska trögheten i radiatorsystemen innebär tvärt om att effektsignalen ligger före klimatsignalen till följd av den temperaturhöjning som värmesystemet kräver för att avge högre effekt till rummen. Huvuddelen av klimatsignalen får därmed ett i praktiken omedelbart genomslag på abonnentens uttagna effekt.

Ett förenklat, mer allmängiltigt schema kan tecknas som i Figur 18 nedan. Den aktuella utetemperaturen (T_{ute}) påverkar huset direkt, undercentralen (UC) genom signal till utgående temp samt med signal till Nodasystemet. En effekt (P) går in i huset och bygger tillsammans med internlast och yttre påverkan upp en innetemperatur (T_{inne}). Effekten P utjämnas i nät och eventuell ackumulator och

resulterar slutligen i totaleffekt för hela nätet (P_{MW}) vilken har producerats samt återkopplats till Noda Smart Heat Grid för eventuell nedstyrning av Huset.



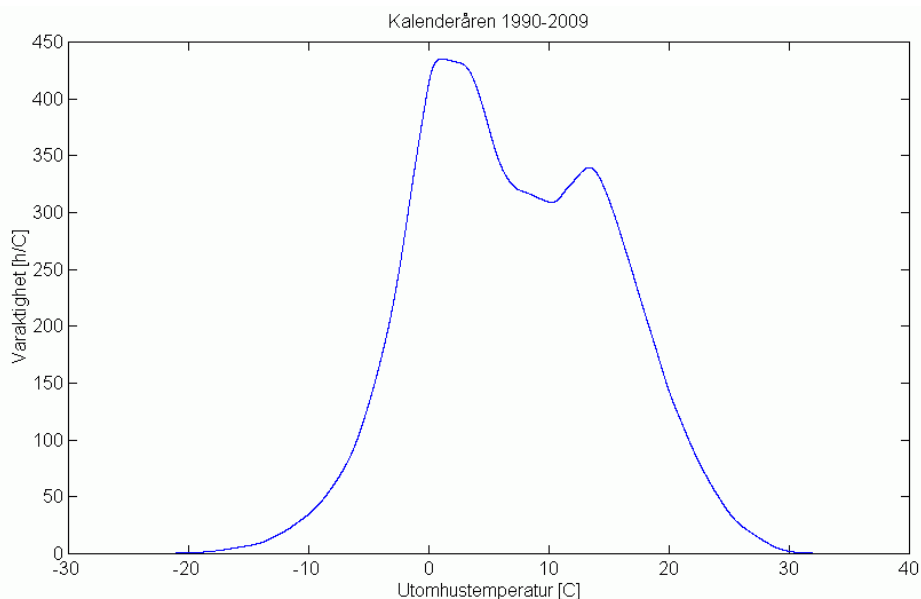
Figur 18. Förenklat processschema för reglering av innetemperatur med Noda Smart Heat Building.

Redan den dämpning som enligt byggnadsfysiken är komfortmässigt optimal resulterar i påtagligt reducerad effekt och utan avsevärd olägenhet kan i praktiken tillämpas avsevärt större dämpning än så, se vidare i avsnitt 4.1.5 Dämpning.

4.1.2 Klimatsignalen

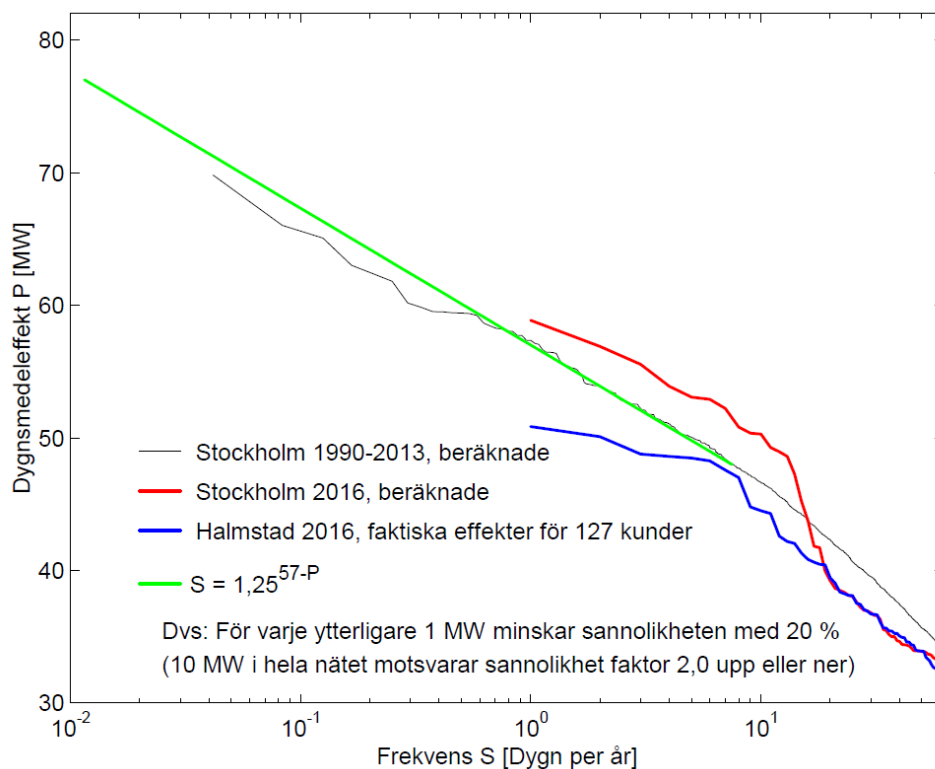
I många fastigheter kommer klimatsignalen helt enkelt från en utomhustemperaturgivare placerad på fastighetens yttervägg. En del större fastighetsbolag använder sig av "prognosstyrning" med beräknad klimatdatabaserad ekvivalent utetemperatur som en särskild leverantör då tillhandahåller.

Varaktighet för en viss temperatur är störst för väder kring 0 °C oavsett var i Sverige. Figur 19 visar att i den södra delen av landet har frekvensfunktionen en andra topp vid ca +10 °C. Över och under dessa temperaturer avtar sannolikheten.



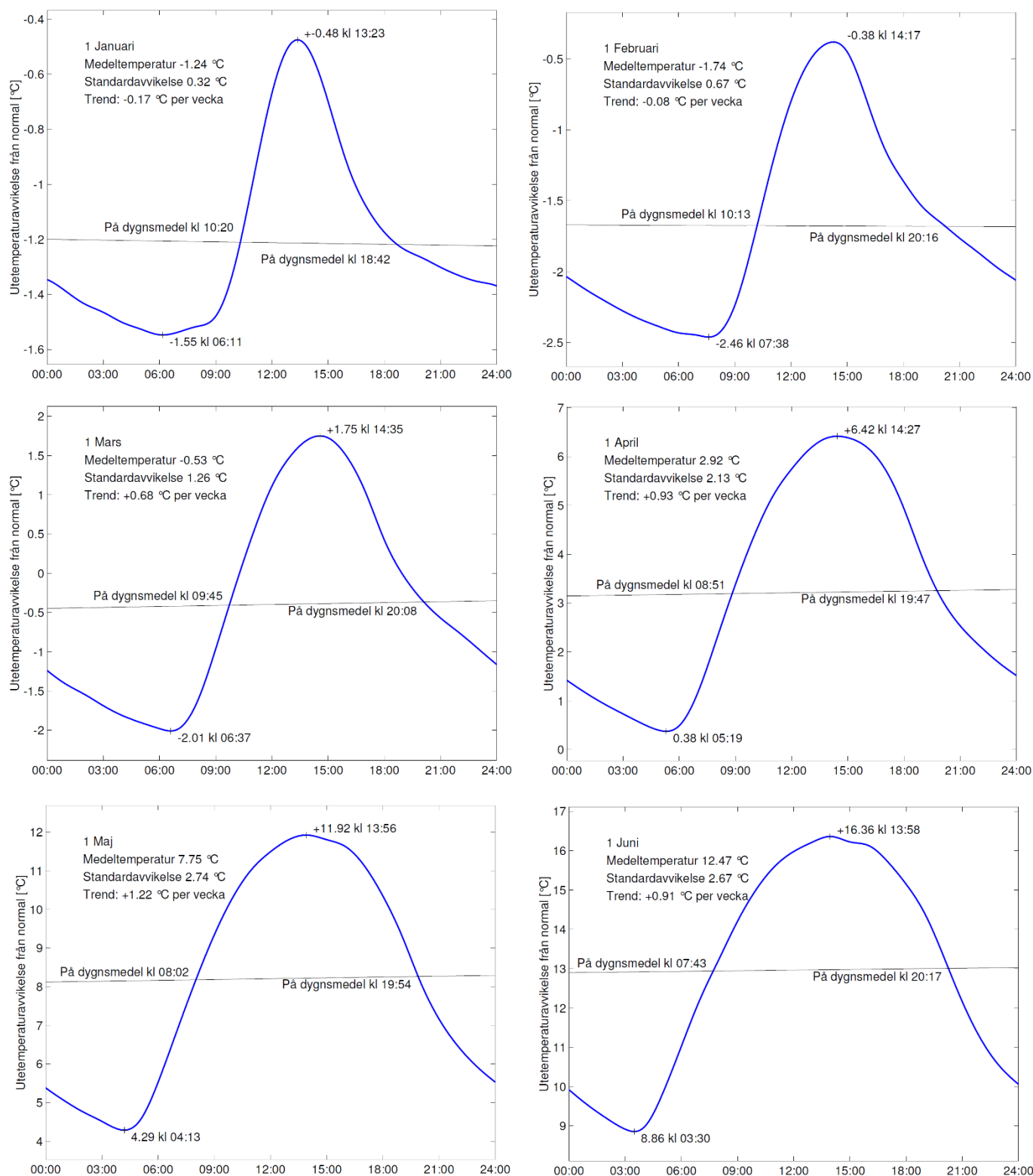
Figur 19. Varaktighet av temperaturer 1990 till 2009 i Stockholm.

En studie av sannolikheten för effekter som gjordes för HEM antyder att sannolikheten avtar exponentiellt. En bättre modell kan behövas då sannolikhet för extrem kyla och hög effekt förefaller överskattas en liten aning med linjär extrapolation enligt denna metod. I Figur 20 nedan antyds att även val av meteorologisk station kan ha viss inverkan även efter omräkning.

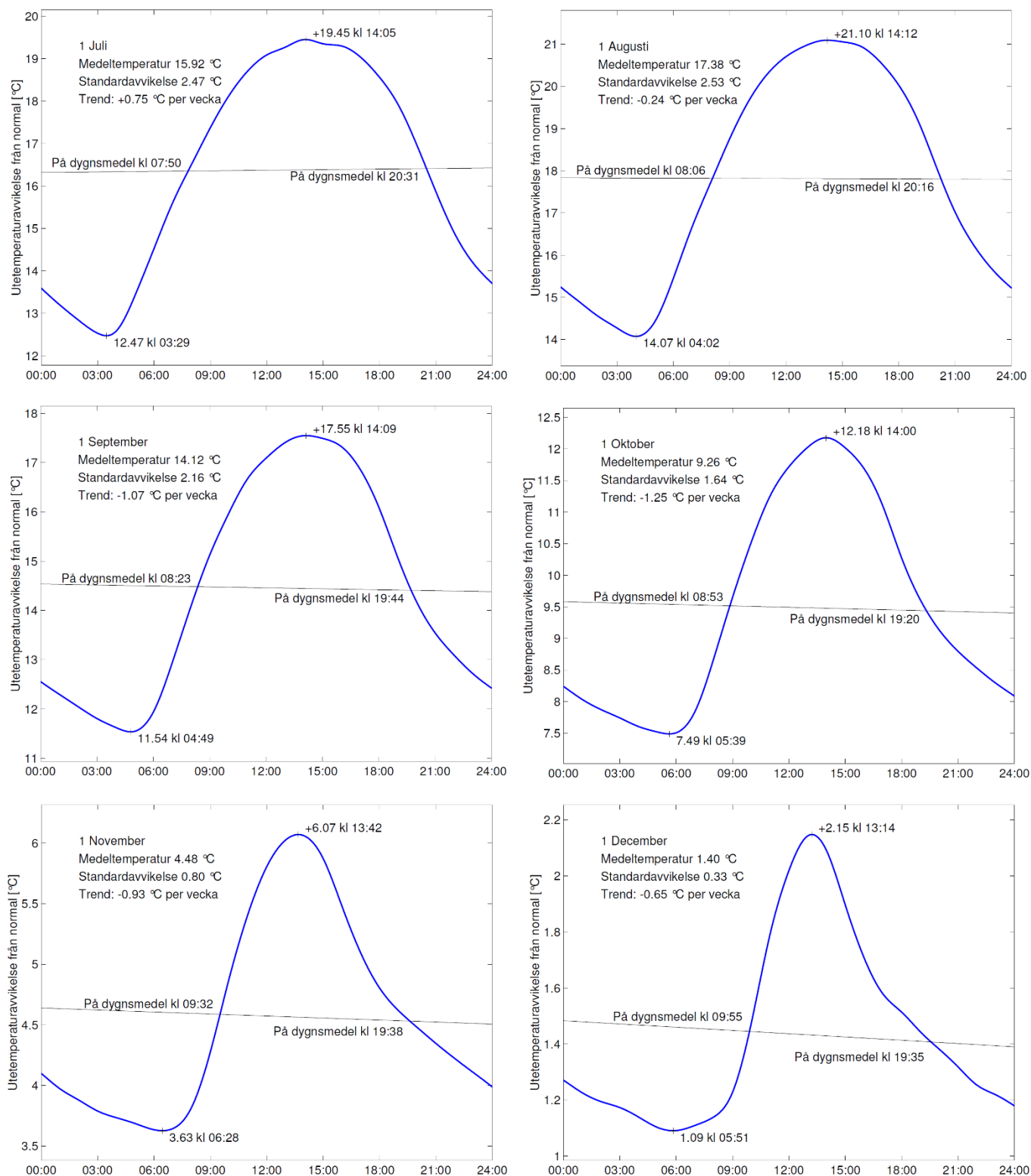


Figur 20. Sannolikhet för olika effekter i HEMs nät.

Kallaste timme (se nedan) infaller vår, sommar och höst under tidig morgon, under kalla vintern så sent som klockan 0700 - 0800 samtidigt som även uttaget av tappvarmvatten är som störst, se Figur 21 och Figur 22. Att inte låta ett värmesystem prompt följa utetemperaturen är även av praktiska och meteorologiska anledningar angeläget, vid sidan av eventuell komfortvinst (se avsnitt 4.1.1 Byggnadsfysik).

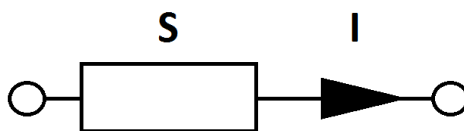


Figur 21. Utetemperaturens genomsnittliga dygnsförlopp januari – juni.



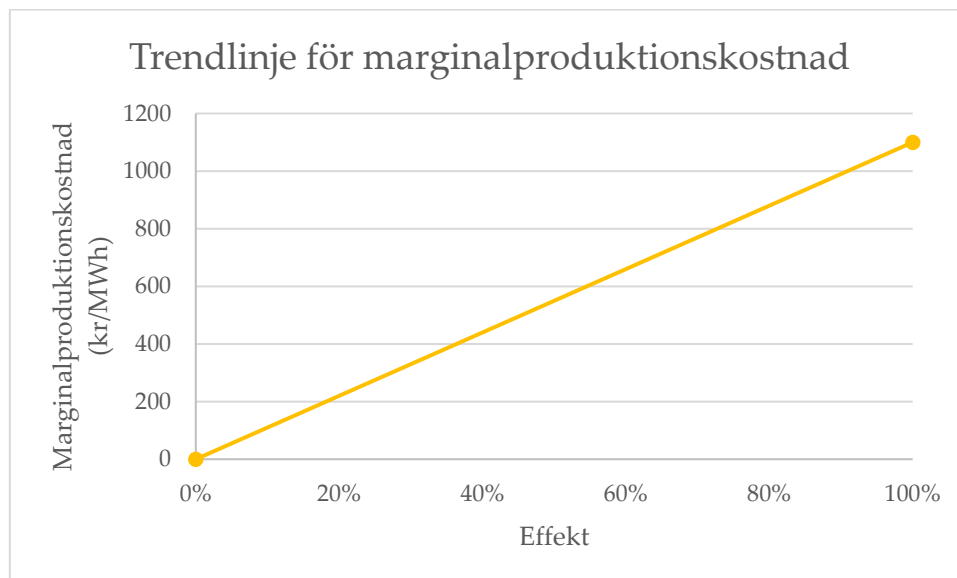
Figur 22. Utetemperaturens genomsnittliga dygnsförlopp juli – december.

I enklast tänkbara elektrisk analogimodell för själva fjärrvärmelasten kan utetemperaturen ses som en spänning U_{in} och värmeunderlaget eller den enskilda byggnadens klimatskal, ventilation mm som en konduktans S , se Figur 23. Den resulterande strömmen är då ett mått på nätets effekt.



Figur 23. Analogimodell för fjärrvärmelast.

Marginalproduktionskostnaden med en mix baserad på avfallsbaserad basproduktion och fossiloljeeldad effektspets samt ett antal olika steg däremellan kan approximeras med en linjär modell. Sveriges alla produktionsresurser kan tänkas hamna som punkter kring en linje som i Figur 24. Att den dyraste energin kostar ca 1100 kr/MWh är en uppskattning efter samtal med några energibolag.



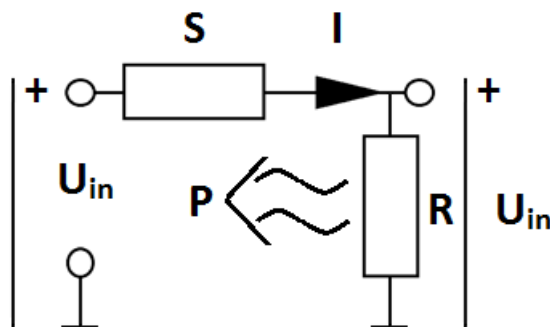
Figur 24. Uppskattad marginalproduktionskostnad för ett "normal"-fjärrvärmenät.

Linjens lutning i det enskilda fallet beror på effekttäckning för olika tillgängliga resurser. Med ritad linjes förlopp och för fortsatt arbete fastställd andel klimatlast mm i Tabell 1 nedan, i nära överensstämmelse med tidigare exemplifierat varaktighetsdiagram, erhålls följande bränslekostnad för ett nät om 100 GWh/år. Notera att uttagsposter helt utan klimatberoende representerar den billigaste energin, till och med billigare än nätförlusten.

Tabell 1. Bränslekostnader för ett nät om 100 GWh/år.

	<i>kr/MWh</i>	<i>GWh</i>	<i>tkr</i>
Klimatlast	471	75	35 298
Varmvatten	346	20	6 913
VVC	325	5	1 626
Nätförlust	349	10	3 486
Summa:	430	110	47 323
Försäljning	473	100	47 323

För att i analogimodellen mäta aktuell effekt kan en senseresistor (så kallad strömshunt) kopplas in, se Figur 25. I modellen är spänningen U_{ut} även ett mått på produktionskostnaden. Det intressanta man med en gång ser är att totala produktionskostnaden, effekt multiplicerat med marginalproduktionskostnad, är proportionellt mot värmeutvecklingen i resistansen R , dvs proportionell mot kvadratsumman av effektivvärdet I .



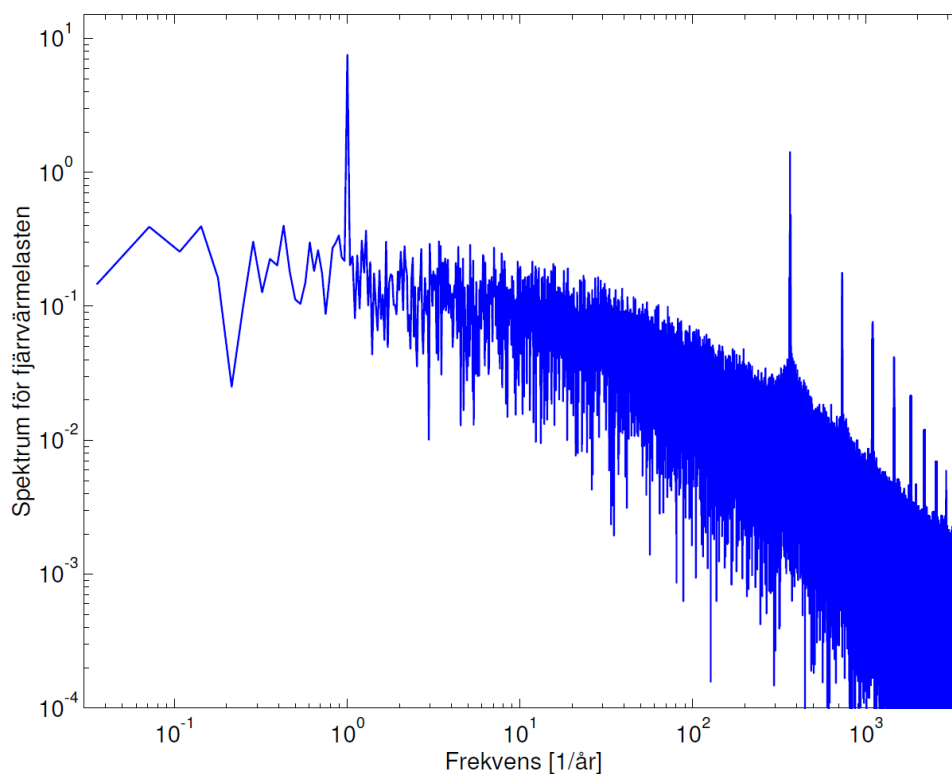
Figur 25. Analogimodell av aktuell effekt i ett fjärrvärmenät.

Även om den blir riktigt klargörande först i samband med analys av dämpningens inverkan, se avsnitt 4.1.5 Dämpning nedan, styrker en analogimodell som denna i sig signalanalys som angreppssätt.

Signalspektrum

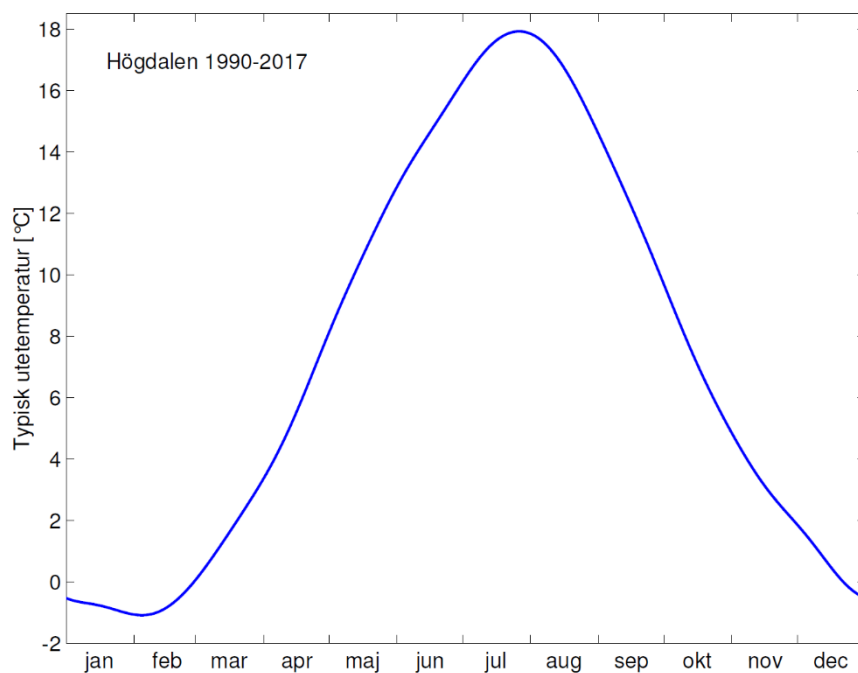
En mer ingående statistisk studie i denna riktning, nu baserad på fourieranalys kommer resonemangsvis beröras nedan. Den allra första tillämpningen av Fouriers teorem råkar passande nog vara Fouriers *Analytical Theory of Heat*.

I Figur 26 nedan visas frekvensanalys ger vid handen att klimatsignalen är sammansatt av en mängd spektrala komponenter.



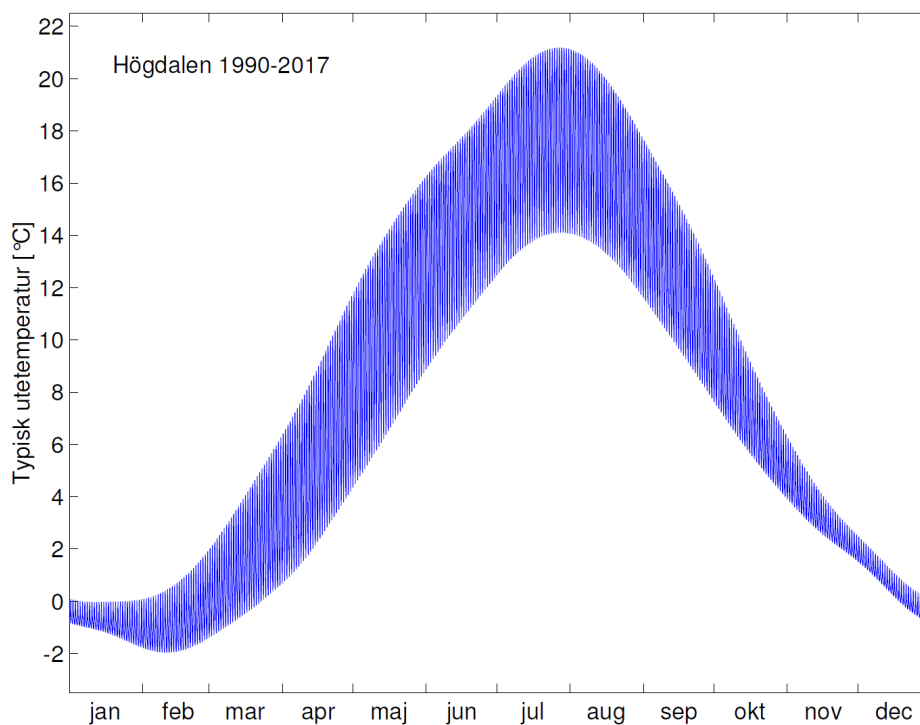
Figur 26. Frekvensanalys av effektsignal för Sollentunas nät (baserat på kalenderår 1990-2017).

Varje cyklisk komponent har övertoner om den inte är rent sinusformad. Detta syns tydligast för dygnsvariationen vars grundton ligger på frekvensen $365,25 \text{ år}^{-1}$, första överton på dubbla frekvensen osv. Svaga sådana övertoner på 1, 2, 3... ggr grundtonen vid frekvensen $1/\text{år}$ finns också, även om de nästan är dolda i bruset. Helt sinusformad är således inte årstidsvariationen. Detta ses i Figur 27 nedan.



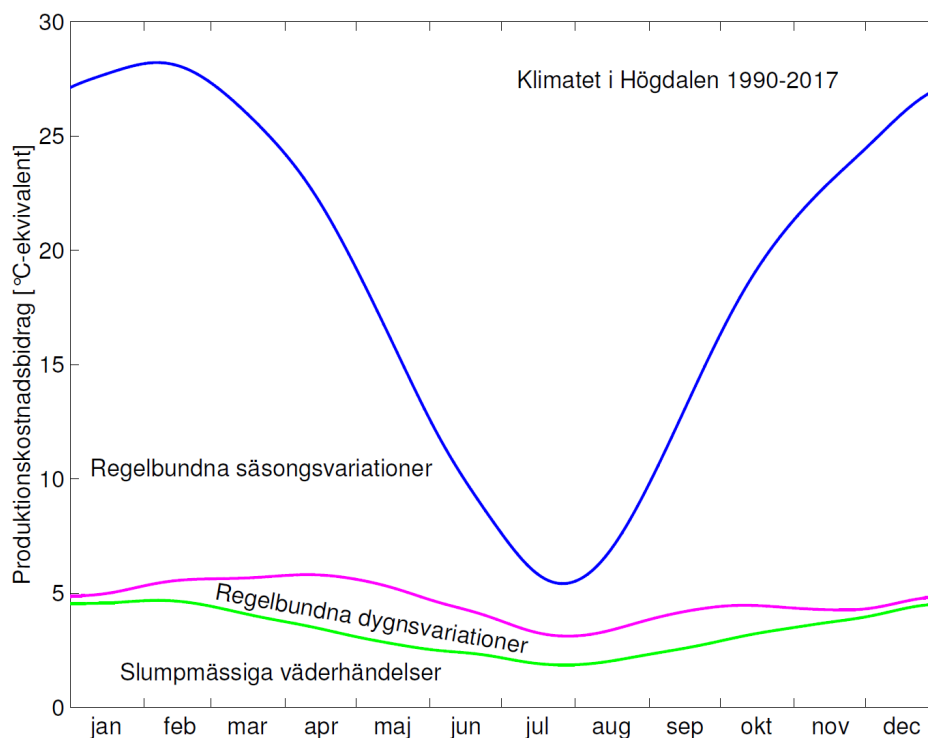
Figur 27. Glidande 24-timmarsmedelutetemperatur under årets 8766 timmar.

En annan grupp tydligt synliga övertoner på frekvenserna 1, 2, 3... hela perioder per dygn finns också, varje komponent för sig modulerad med årsperioden. Tillsammans med årscykeln kan summan av dygnsvariationen plottas enligt Figur 28 nedan (se även Figur 21 och Figur 22).



Figur 28. Den systematiska komponenten i klimatsignalen när slumpvariationer tagits bort.

Överlagrat detta finns ett färgat brus som avspeglar vädrets variationer vid sidan av dygns- och årstidsvariationer. Dessa tre komponenter ger, i enlighet med tidigare utvecklade resonemang om linjär marginalkostnadsmodell, var sitt under året varierande bidrag till total produktionskostnad, se Figur 29 nedan.



Figur 29. Brus som avspeglar vädrets variationer.

Då totala produktionskostnaden är proportionell mot kvadratsumman av klimatsignalen så är den (Parsevals teorem) proportionell mot kvadratsumman av de spektrala komponenterna. Med Fouriers spektraluppdelning av signalinnehållet enligt ovan kan relationen mellan de olika förloppens bidrag till totala produktionskostnaden sammanställas. Anmärkningsvärt stor del av kostnaden är relaterad till annat än effektvariationer, se Tabell 2 nedan.

Tabell 2. Klimatrelaterade produktionskostnadsbidrag.

Årsvolym	År	Dygn	Slump	Summa
75,2 %	14,7 %	1,7 %	8,4 %	100,0 %
	50,4 %	5,6 %	34,0 %	100,0 %

Sett mot genomsnittskostnaden vid en tänkt, under året konstant last innebär samma volym klimatlast med säsongs, dygns och slumpmässiga klimatsignalbidrag en 33 % ökning i genomsnittlig produktionskostnad. Av denna kan i sin tur en stor del hänföras till kortvariga avvikelser som borde gå att hantera utan säsongslagring eller liknande.

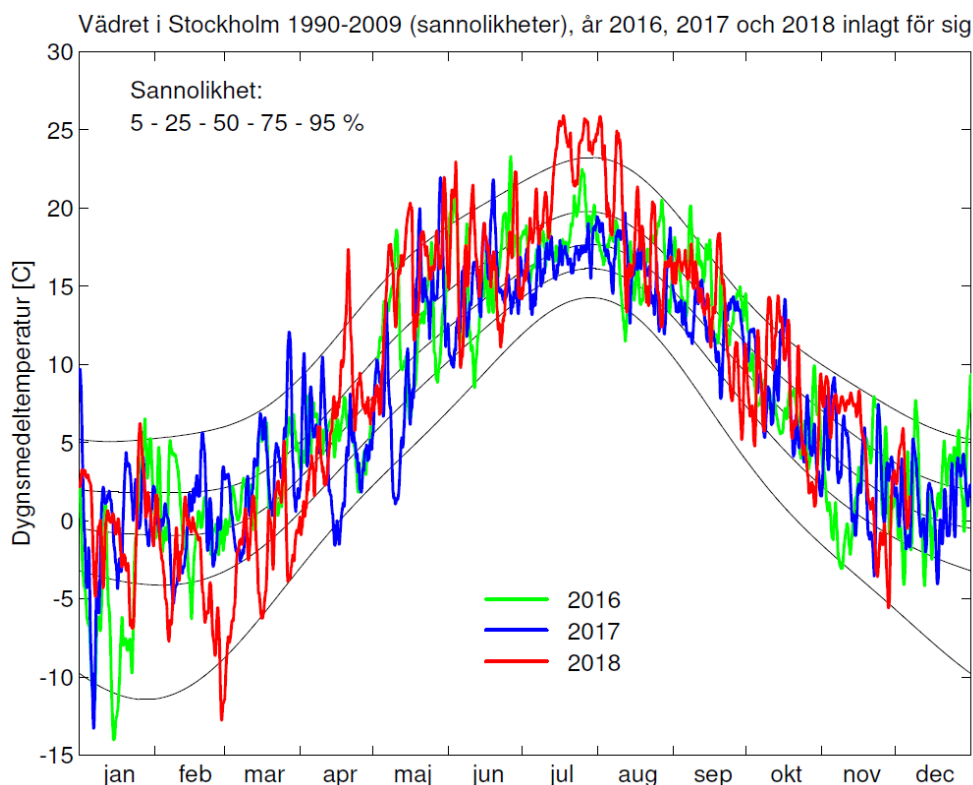
Ovanpå klimatlasten kommer last hänförlig till förluster, tappvarmvatten och verksamheter. Med samma angreppssätt kan denna konstateras bestå av årsvolymrelaterad kostnad med ett påslag som helt och hållet är av kortvarig natur.

Klimatsignalens och produktionskostnadens natur borde således berättiga frågan:

- Om nu kortvariga variationer i effektuttag står för 10 % av produktionskostnaden, kunde inte anordningar ägnade att utjämna dessa motivera 1/10 av den totala investeringen i ett fjärrvärmeprojekt?!

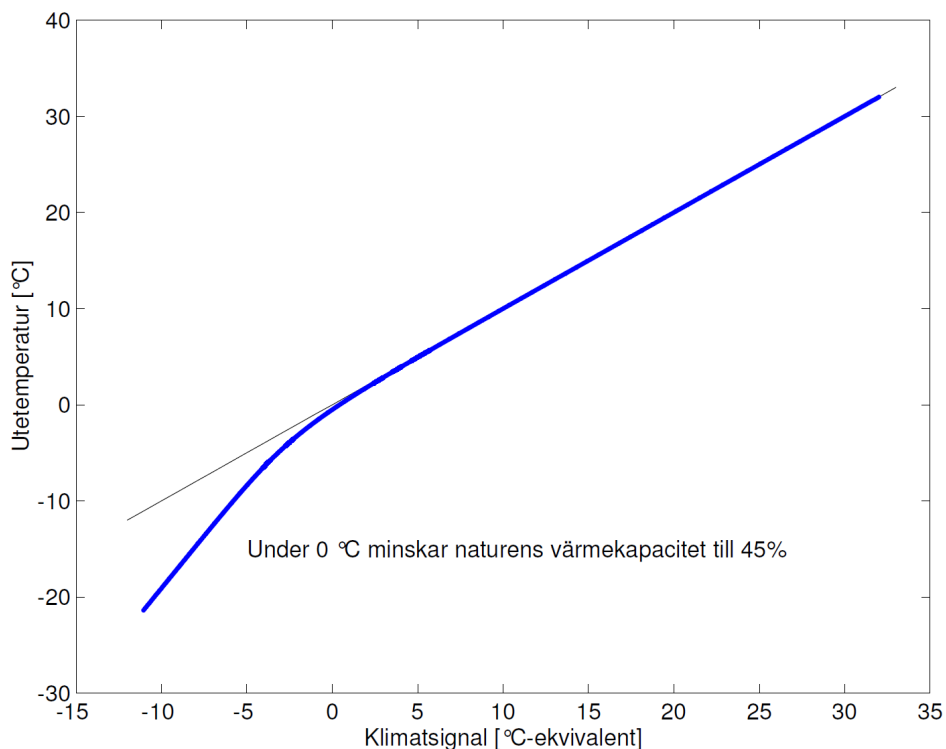
4.1.3 Klimatmodell

Som konstaterats föreligger säsong- och dygnsvariationer astronomiskt betingade av jordens rotation och kretsgång kring solen. Vid sidan av detta finns en brussignal. Allt samverkar och kallast är det en tidig morgon i januari – februari. Vintertid är dock extrema avvikelser särskilt nedåt mer sannolika än samma antal grader i avvikelse uppåt i temperatur. I Figur 30 nedan ser vi att hypotesen att ständigt samma störsignal, låt vara modulerad på dygns- och säsongvariationerna, antyder att det är lättare att avkyla en till köldgrader redan nedkyld natur.



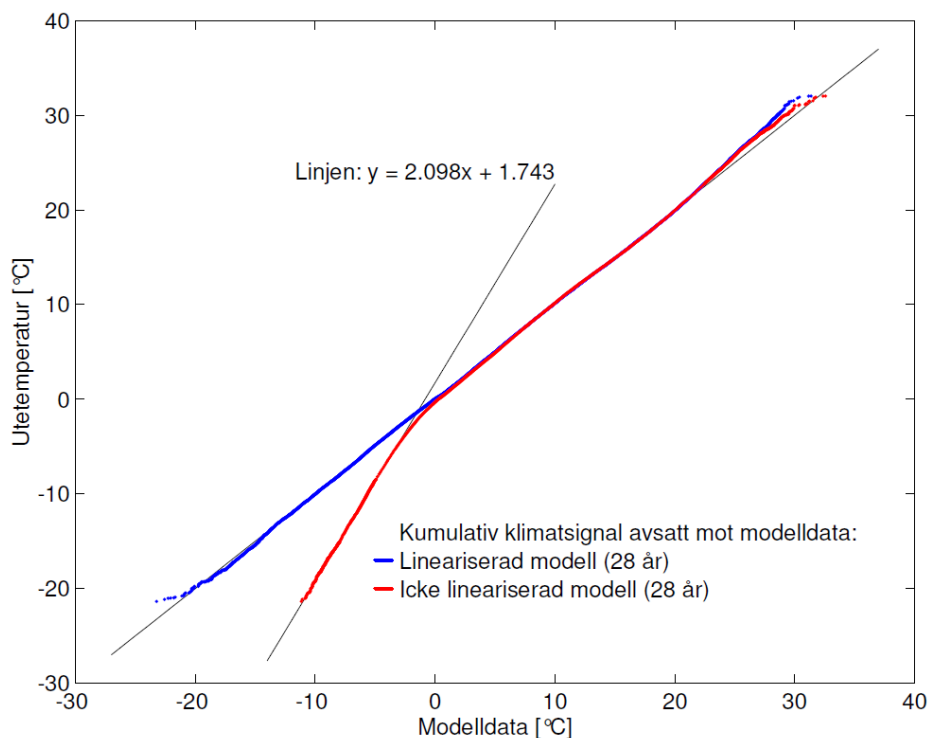
Figur 30. Temperaturstatistik med kvartiler inlagt.

Att naturen verkligen fungerar på detta sätt styrks även av att först med linjärisering av vädret till grad-ekvivalenter ger en i övrigt helt linjär signalmodell överensstämmelse med vädret. En linjärisering enligt Figur 31 behövs om modellen med rätt frekvensfunktion ska kunna beskriva temperaturvariationen i ett landskap med frost.



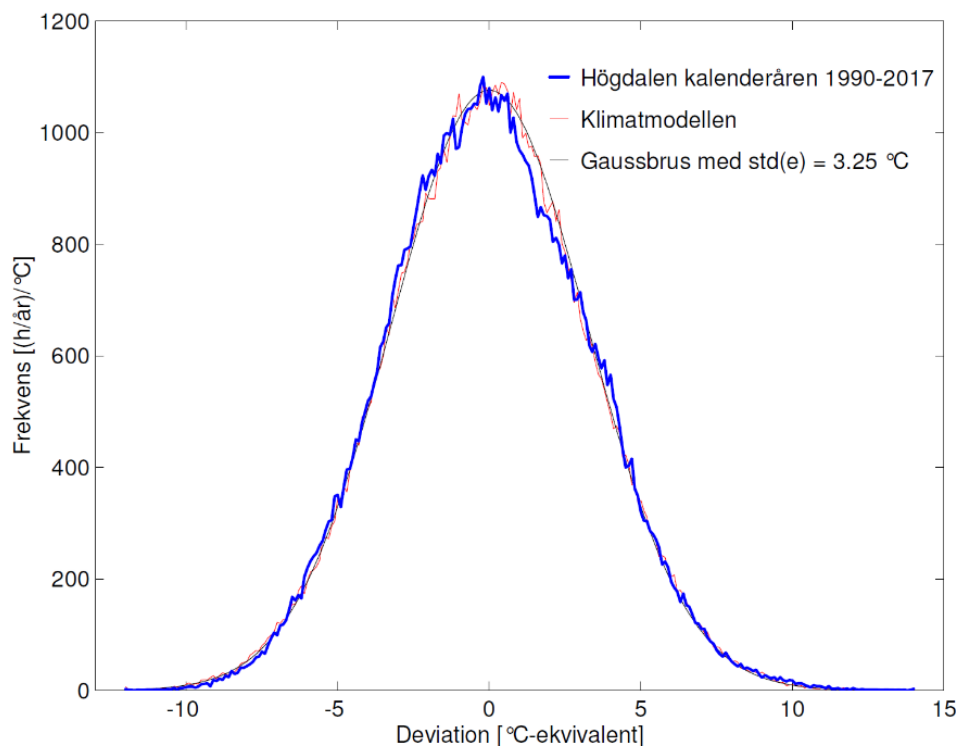
Figur 31. Linjärisering av temperatur i ett landskap med och utan frost.

Om linjärisering ej görs och kumulativa värden för modellens utsignal avsätts mot kumulativa värden för en lika lång serie faktiska temperaturer får man även ett bra uppslag till lämpligt linjäriseringsförlopp, se Figur 32 nedan.



Figur 32. Jämförelse mellan faktiskt väderdata och data från icke linjäriserad modell.

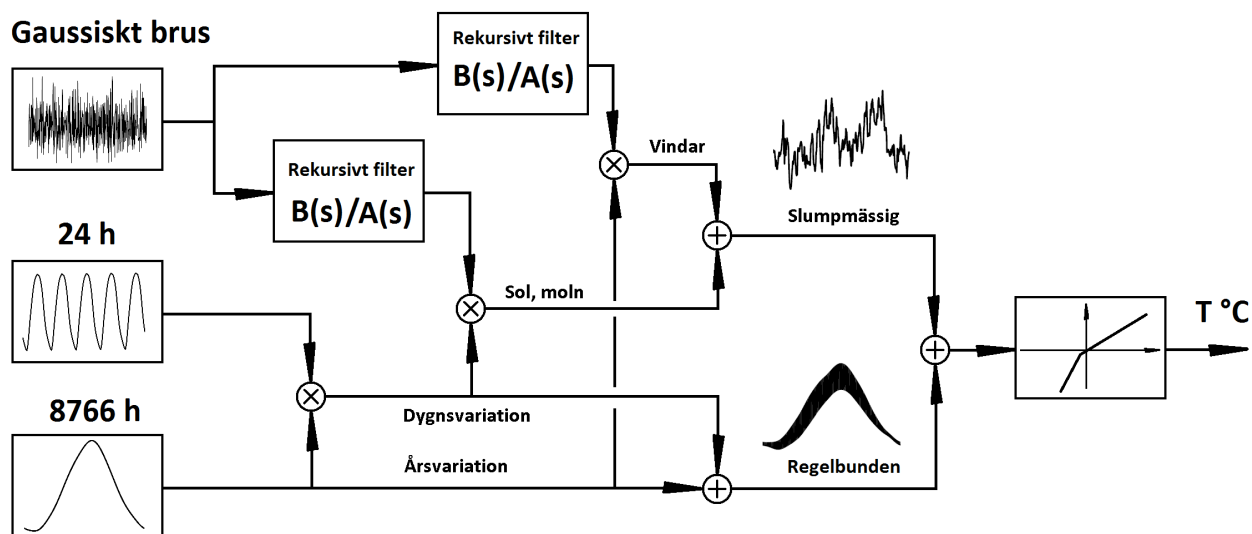
Efter linjärisering konstateras att störsignalen, dvs avvikelse från det tim- och kalenderbundna klimatet, har samma frekvensfunktion som gaussiskt brus. I Figur 33 visas fördelningsfunktionen för vad som är kvar när klimatdatat rensats från all kalenderbunden variation. En närmare analys ger vid handen att denna störsignal färgats av flera autoregressiva processer. Sådana påverkar spektrum men inte alls grundläggande egenskaper hos fördelningsfunktionen som sådan.



Figur 33. Utetemperaturens rent slumpmässiga komponent i Stockholm.

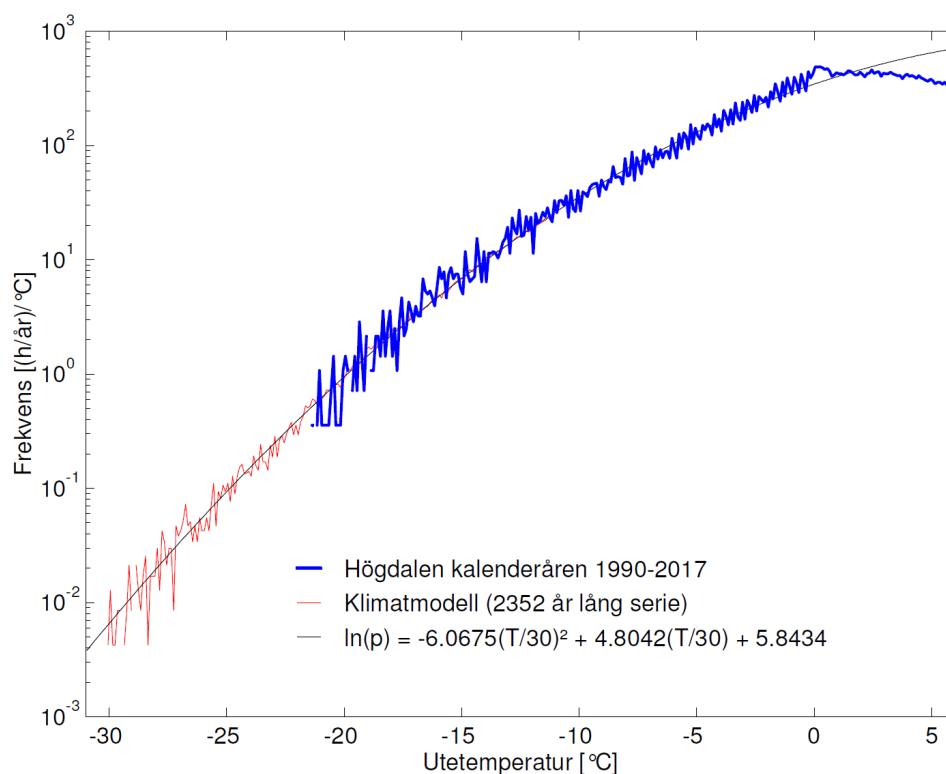
En fullständig klimatmodell som även tar hänsyn till att vissa delar av störssignalen via under året och slumpmässigt växlande solighet mm amplitudmodulerar en komponent i dygnsförloppet, schematiskt tecknad i Figur 34 nedan, behöver dock inte klarläggas explicit. En klimatdatagenerator kan nämligen baseras på permutation av ingående komponenter i den slumpmässiga restsignal som återstår när väderdata rensats från all regelbundenhet i form av års- och dygnsvariationer. Denna slumpsignal utgörs av ett brus filtrerat och sedan modulerat på dygn- och årsvariationerna på samma sätt som årsvariationen med sina övertoner ligger modulerat på dygnssignalen (olika dygnsamplitud och -förlopp under året).

Eftersom de slumpmässiga avvikelsernas autokorrelation skall behållas behöver egenskaperna hos de processer som filtrerar bruset ej klarläggas. Det enda som krävs är att bruset separeras och faslägen hos dess ingående spektrala komponenter manipuleras, dock med sträng hänsyn till förekomsten av nämnda modulationer, se principiellt blockschema för processen i Figur 34 nedan.



Figur 34. Processchema över hela klimatmodellen.

På detta sätt kan de för en kort period typiska egenskaperna hos den komplexa störssignalen avsättas i en konstruerad klimatdataserie som vid behov kan utsträckas till valfritt antal timmar. I Figur 35 har en på 28-års klimatdata baserad modell fått generera 2352 typiska vintrar för närmare studium av extremväder.



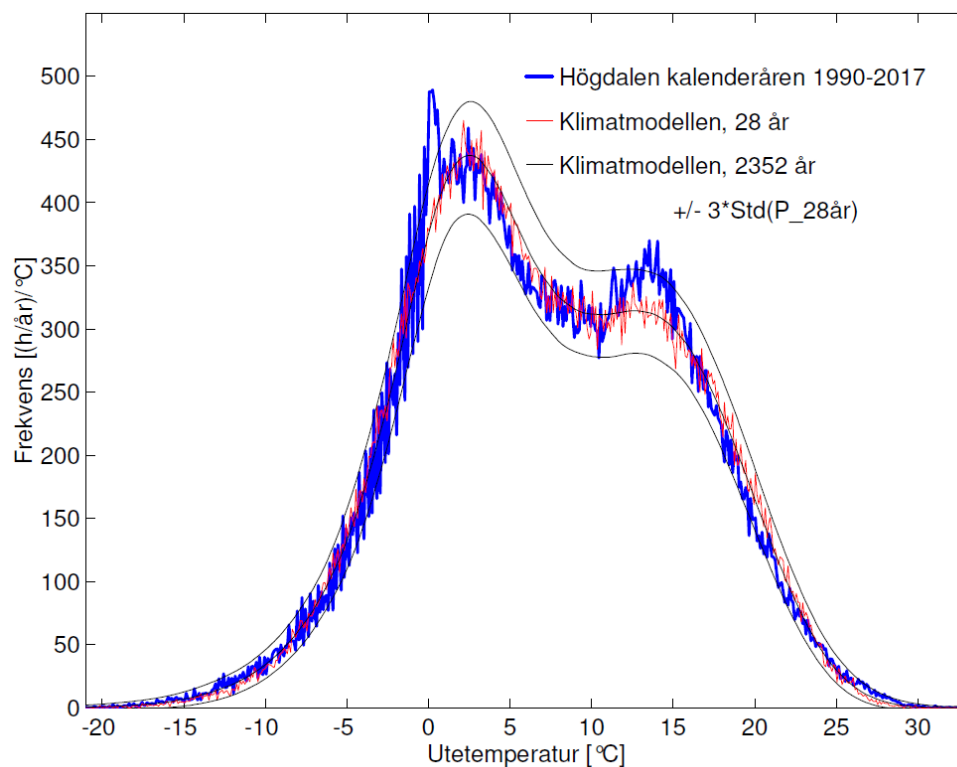
Figur 35. Med 2352 vintrar kan frekvensen på olika väder upprättas till riktigt låga temperaturer.

I presentationen av sannolikheter ovan har ett andragradspolynom lagts in och hela området från strax under 0 °C täcks ganska väl av funktionen som den är. Orsaken är att i gaussbrus med standardavvikelsen σ sannolikhet f för att ett värde x skall med $(x - \mu)$ avvika från ett medelvärde μ kan tecknas:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

Nämnda brussignal är ju överlagrad säsongs- och dygnsvariationerna och även om ytterligare, i bruset ej inkluderade processer skulle ge sina bidrag till vädret så skulle logaritmiska sannolikheten för en viss temperatur som understiger alla regelbundna avvikelser kunna skrivas som en summa av andragradspolynom.

Frekvensfunktionen är intressant att studera som helhet. I Figur 36 nedan presenteras samma underlag med ett med funktionen skattat generaliserat förlopp samt skattningar av det 99 %-intervall (= tre standardavvikelser) inom vilket en 28-årig serie bör kunna inskrivas. Särskilt i extremerna föreligger tydligen ett procentuellt sett stort utrymme för variation.



Figur 36. Temperatursannolikheter för modell och faktisk klimatdata.

Eventuellt finns enstaka processer som ej inkluderats av modellen. En viss tendens till rimfrost på givaren föreligger uppenbarligen och likaså en process bakom frekvenstoppen vid 14 °C som inte täcks av modellen (förslagsvis Golfströmmen då den har tydligt samband med luftens ånghalt över brett temperaturregister).

Med klimatmodellen går också att granska särskilda klimathändelser närmare för att se om de motiverar nya värden på säsongstypiska temperaturer (dygns- och säsongsvariationen). Om den nära månadslånga ihållande avvikelsen uppåt om drygt 5 °C i dygnsmedeltemperatur i juli 2018 skulle ha inträffat en vinter, vår eller höst så skulle knappast någon ha lyft på ögonbrynen. I Figur 37 nedan visas temperaturer från Stockholm 1926 med en ovanligt kall oktober och lika utpräglat varm november, båda avvikelser som i storlek och varaktighet tävlar med vädret sommaren 2018. Det som verkligen syns är att för 75 år sedan var kallare än nu.

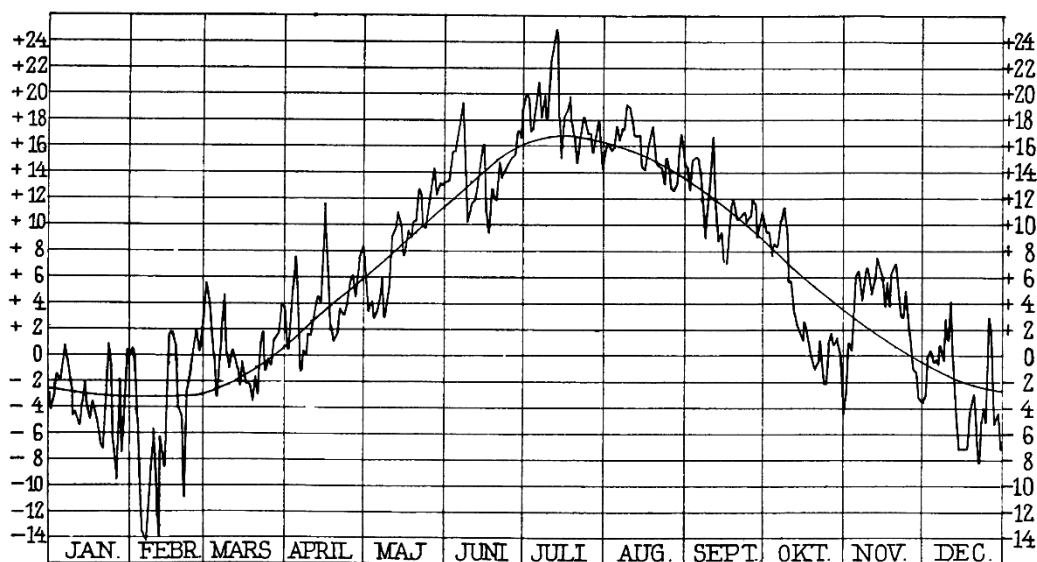


Fig. 3. Gången av dygnets medeltemperatur i Stockholm under år 1926.

Figur 37. Dygnets medeltemperatur i Stockholm 1926. Notera den utdragna kylan i oktober med ett förlopp omvänt men i övrigt närmast identiskt värmeböljan 2018.

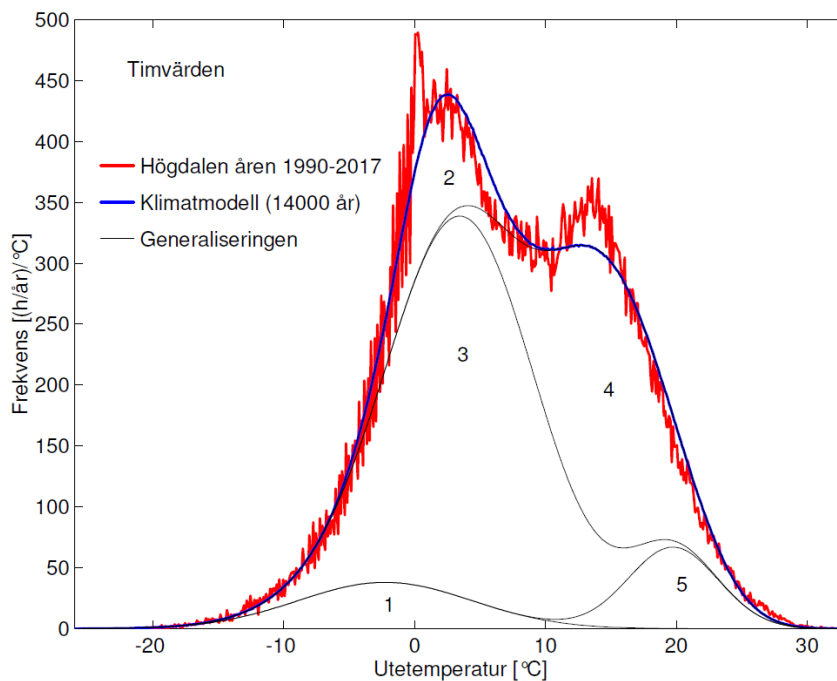
4.1.4 Sannolikhet

Varaktighet för olika väder kan med stöd av iakttagelserna ovan tecknas som en summa av normalfördelningar, var och en med sin standardavvikelse σ_i kring medelvärdet μ_i , för enkelhets skull tecknad med enkla koefficienter c_i enligt:

$$P(T) = \sum_{i=1}^n c_i e^{-\left(\frac{T-\mu_i}{\sigma_i}\right)^2 / 2}$$

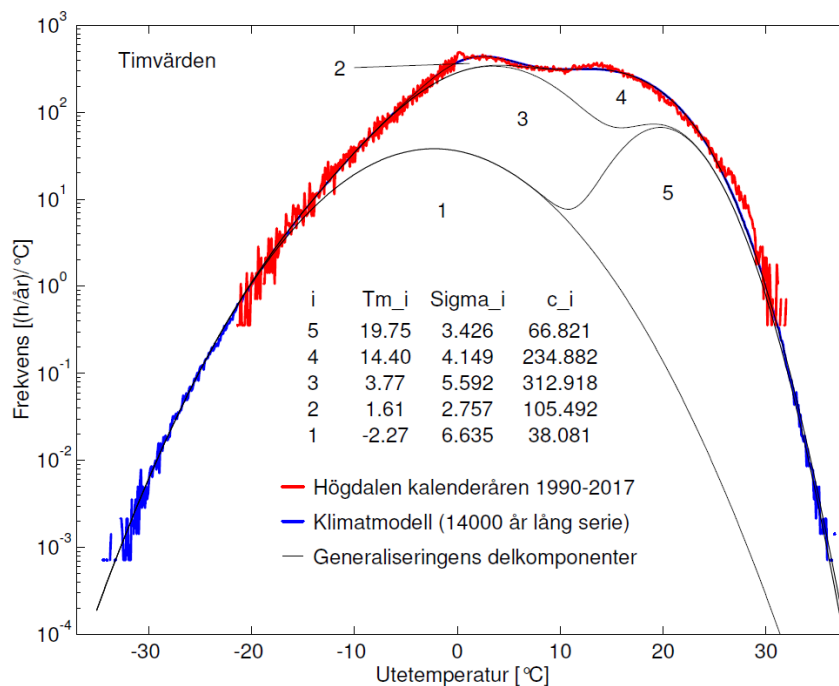
För att med hög noggrannhet täcka timdata krävs fem termer. Åtminstone sett till sannolikheter har det filtrerade och sedan på års- och dygnsnyckeln modulerade bruset således en fördelning lika det skulle ha om själva underliggande års- och

dygnscyklerna sammanfördes i fem enskilda, turvis rådande tillstånd.
Delsannolikheter för dessa tillstånd har inritats i Figur 38.



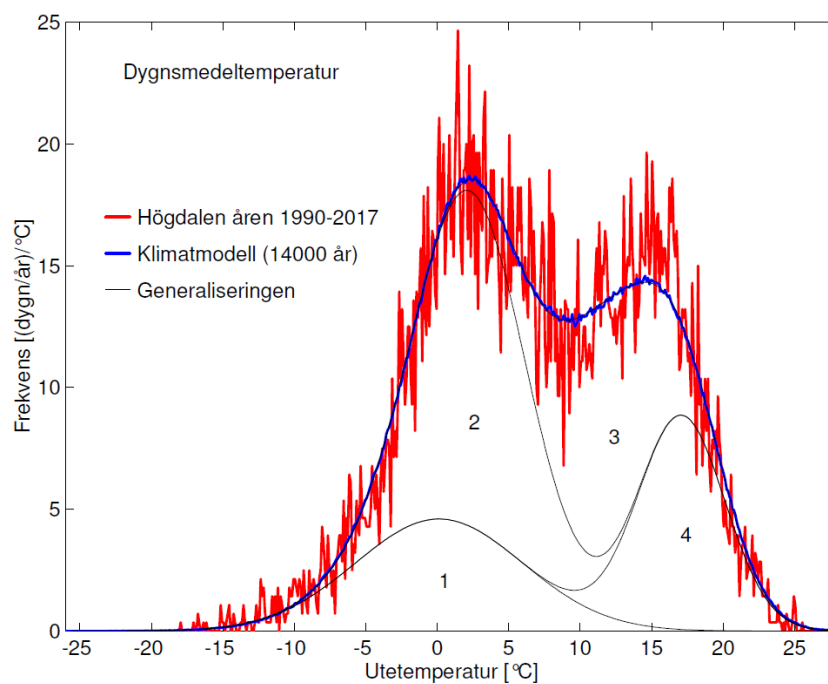
Figur 38. Delsannolikheter för olika väder.

Det vanligaste tillståndet är $+3,77\text{ °C}$ utetemperatur kring vilket vädret varierar med standardavvikelsen $5,6\text{ °C}$. För effektmaximum avgörande och mest intressanta vädret i "körkyl" är tydligen ett bara åttondelen så ofta förekommande tillstånd där temperaturen varierar kring $-2,27\text{ °C}$ med standardavvikelsen $6,64\text{ °C}$, se även Figur 39.



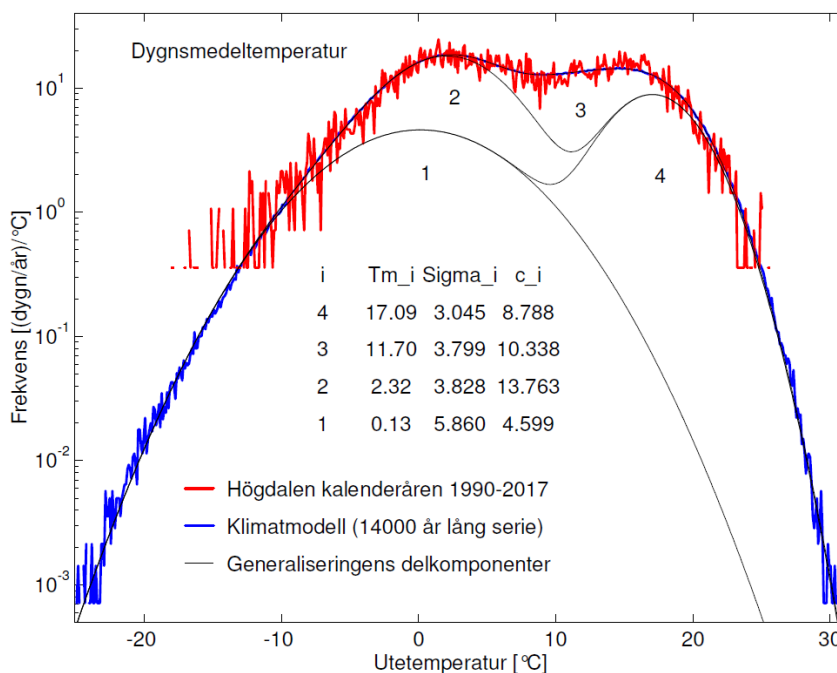
Figur 39. Delsannolikheter för olika väder.

Ganska väntat kan sannolikhetsfördelningen hos dygnsmedeltemperaturen skrivas med färre termer, se Figur 40.



Figur 40. Delsannolikheter för olika väder.

Extremväder approximeras med enkla uttryck. Sannolikheten för det för värme- och kylsystem dimensionerande vädret, dygnsmedeltemperatur lägre än $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ respektive högre än $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$, kan med god noggrannhet skrivas med en enda term vardera, se Figur 41.

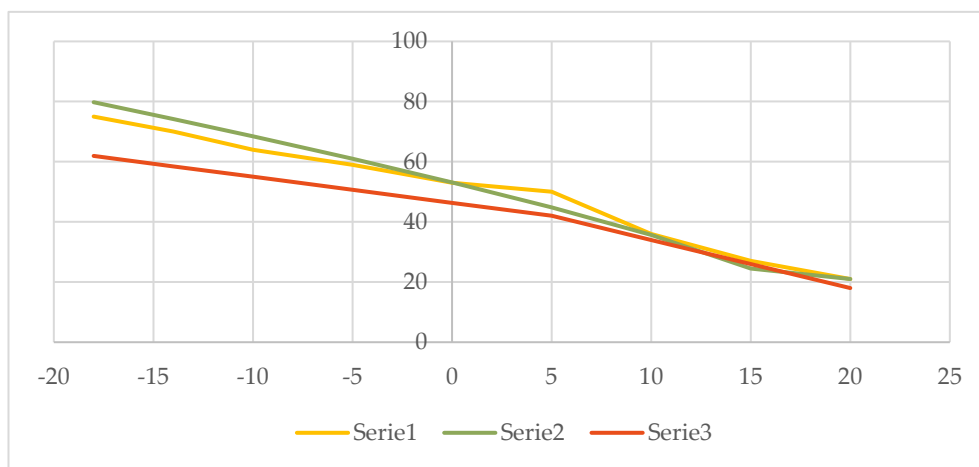


Figur 41. Delsannolikheter för olika väder.

Det är således det nedifrån räknat första tillståndet som tillsammans med byggnadsfysikmodellen ovan är bestämmande för effekten i ett fjärrvärmenät.

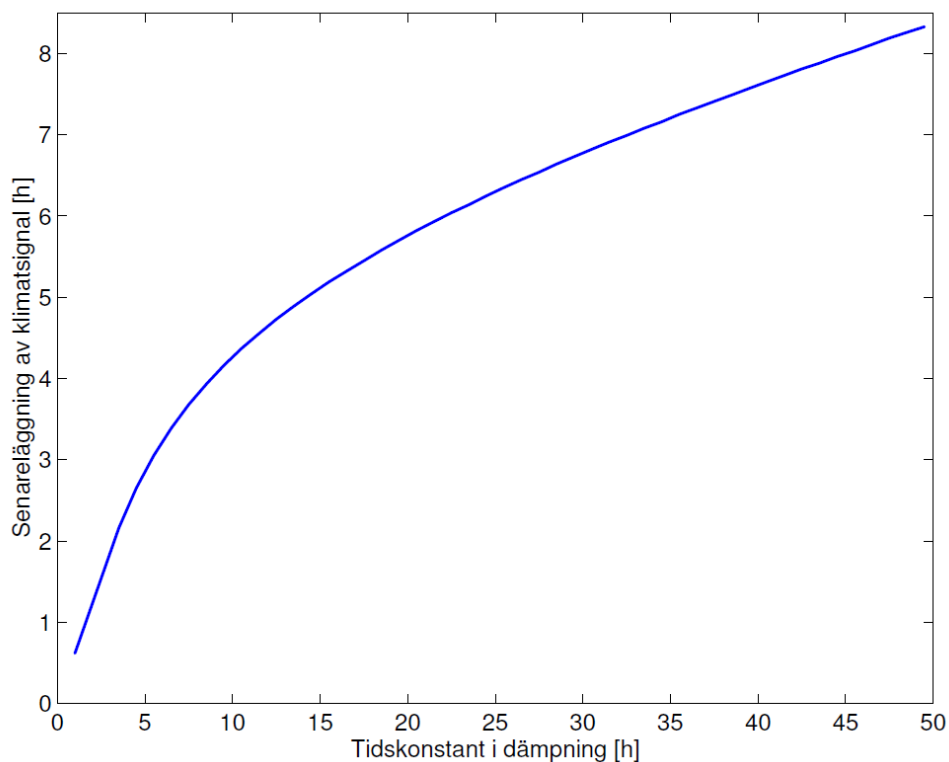
4.1.5 Dämpning

Dämpning innebär att utkörd värmeeffekt endast sakta ställer in sig efter vädret. Som förklarades i avsnittet byggnadsfysik kommer det bli ruggigt inne om det efter en period med kallt väder plötsligt blir mildväder. I Figur 42 nedan illustreras detta välkända problem och något man brukar man kompensera med "höjning kring $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ".



Figur 42. Exempel på värmekurvor som justerats vid +5 för att bättre hantera väderomslag.

Med dämpning blir förloppet ett helt annat. Vid omslag till kyla krävs ett visst antal tillkommande gradtimmar för att öka effekten. När det sedan blir mild igen kommer effekten endast sakta att sjunka. Som resultat av det kommer i bästa fall utkörd värme öka i den takt som är optimalt för inneklimatet och när kylan ger med sig körs en svans av extra värme ut som precis lagom kompenserar för utkylda ytterväggar och annat. Dämpning verkar således fördröjande på klimatsignalen, se Figur 43.



Figur 43. Fördröjning av klimatsignal plottat emot angiven tidskonstant i dämpningen.

Rent praktiskt kan dämpningen utföras på flera olika sätt:

- Termiskt trög givare (termos, se nedan)
- Elektriskt trög givare (superkondensator)
- Enkel dämpning i styrprogram (Schneider, Exomatic m fl)
- Dämpning endast av en del av signalen (Siemens, Saia)

Samtliga metoder innebär att (temperatur-) signalen x fördröjs så att signalutgången y tillväxer endast med hur mycket insignalen överskrider utgången, en separabel differentialekvation som kan skrivas på flera sätt:

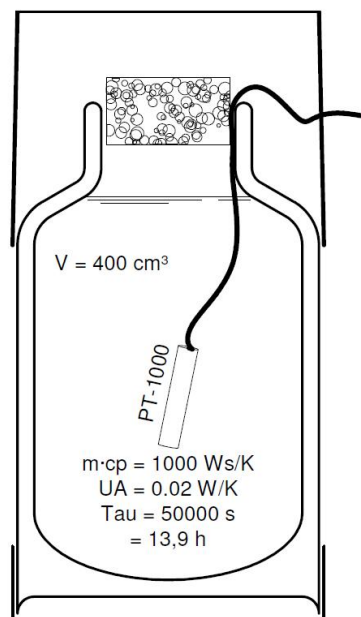
$$dy = \frac{(x - y)}{\tau} dt$$

$$\tau dy + y = x dt$$

$$y = \frac{1}{(\tau s + 1)} x$$

Det vanligaste är att dämpningen ställs in i styrsystemet och att det är en dämpning av metod 3 eller 4.

Den första metoden med termiskt trög givare ger en konkret bild av funktionen. Figur 44 nedan visar hur termiskt trög givare kan ordnas och ett illustrativt och framgångsrikt test med stearinfyllt termos gjordes av Berenskiöld år 2018 i exjobbet *Dämpning av utomhusgivare i mindre fastigheter*.

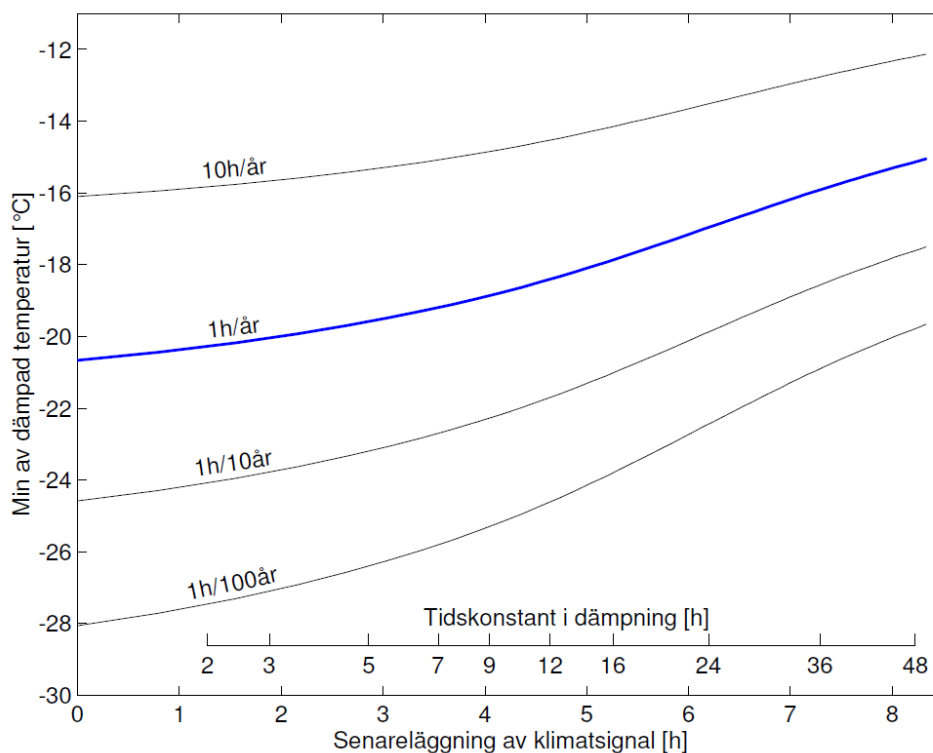


Figur 44. Dämpning genom isolering av utetemperaturgivaren i en termos som ger en fördröjning av temperatursignalen till undercentralen.

Minimum för den dämpade temperatursignalen infaller som visades ovan flera timmar efter det att det varit som kallast vilket är gynnsamt trots att den då sammanfaller med morgonrusning:

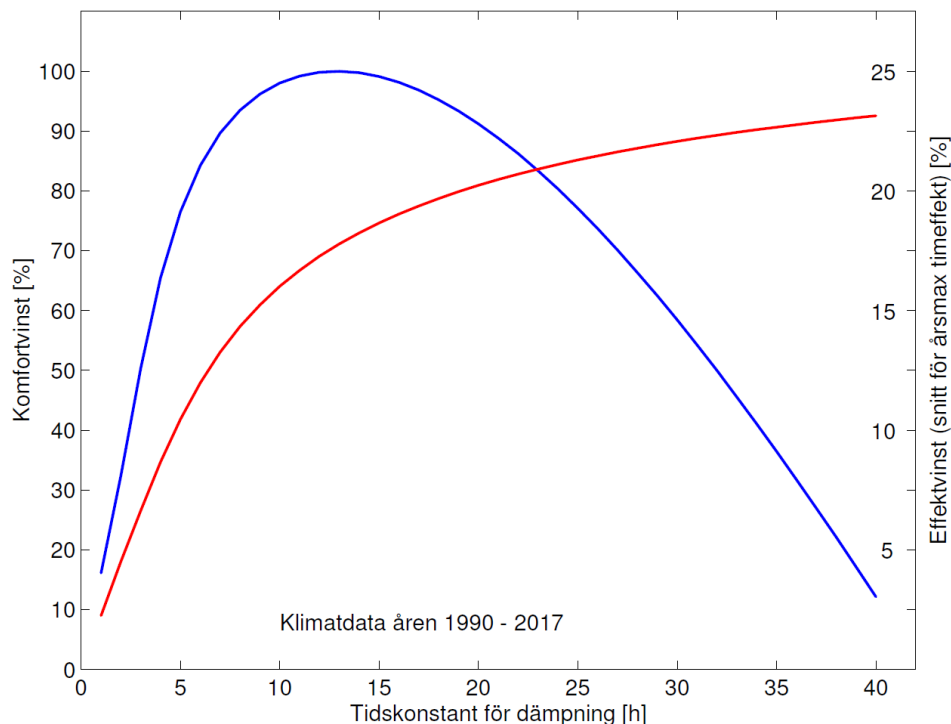
- Den dämpade signalen (temperaturen i termosen) är då samma som ute, dvs effekten aldrig större än utan dämpning
- Det har hunnit bli varmare ute, maxeffekten är väsentligt lägre än utan dämpning

Kallast ute är det tidigt om morgonen men då den dämpade signalen når sitt minimum flera timmar senare så har temperaturen således redan stigit. Dämpning ger således en betydande temperaturvinst, särskilt i fråga om sällan förekommande extremhändelser. Sannolikheten för den kallaste timmen visas nedan i Figur 45. Hur mycket effekten minskar framgår dock först sedan effektsignalen för uppvärmning summerats med den för varmvatten.



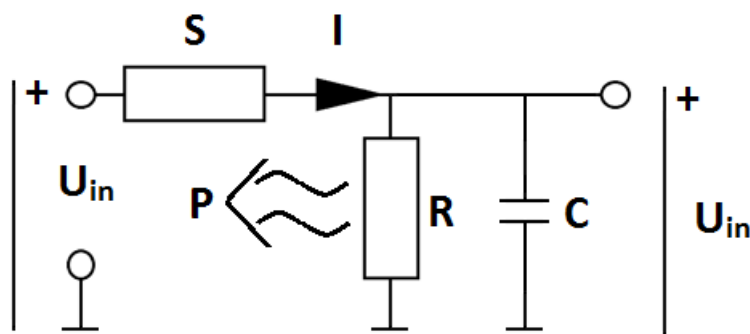
Figur 45. sannolikhet för olika minimum av dämpad utetemperatursignal beroende på tidskonstant i dämpningen.

Redan ganska litet dämpning minskar uttagen effekt relativt kraftigt. Optimal tidskonstant är 8-30 timmar men med för stor dämpning förlorar man så småningom något i komfort. Besparing i årsmaximum hos uttagen effekt för uppvärmning fortsätter dock att förbättras och i ett normaltungt hus skulle värmestyrningen kunna dämpas med hela 40 timmars tidskonstant innan komforten blir sämre än i fallet helt utan dämpning, se Figur 46.



Figur 46. Komfortvinst (blå linje) samt effektvinst (röd linje) för dämpning med olika tidskonstant.

Med tidigare behandlad elektrisk analogimodell kan dämpning uttryckas som en kondensator som jämnar ut signalen och således reducerar alla extremvärden. I Figur 47 nedan illustreras hur kondensatorn således kommer jämna ut spänningen U_{ut} som är ett samtidigt mått på både effekt och produktionskostnad.

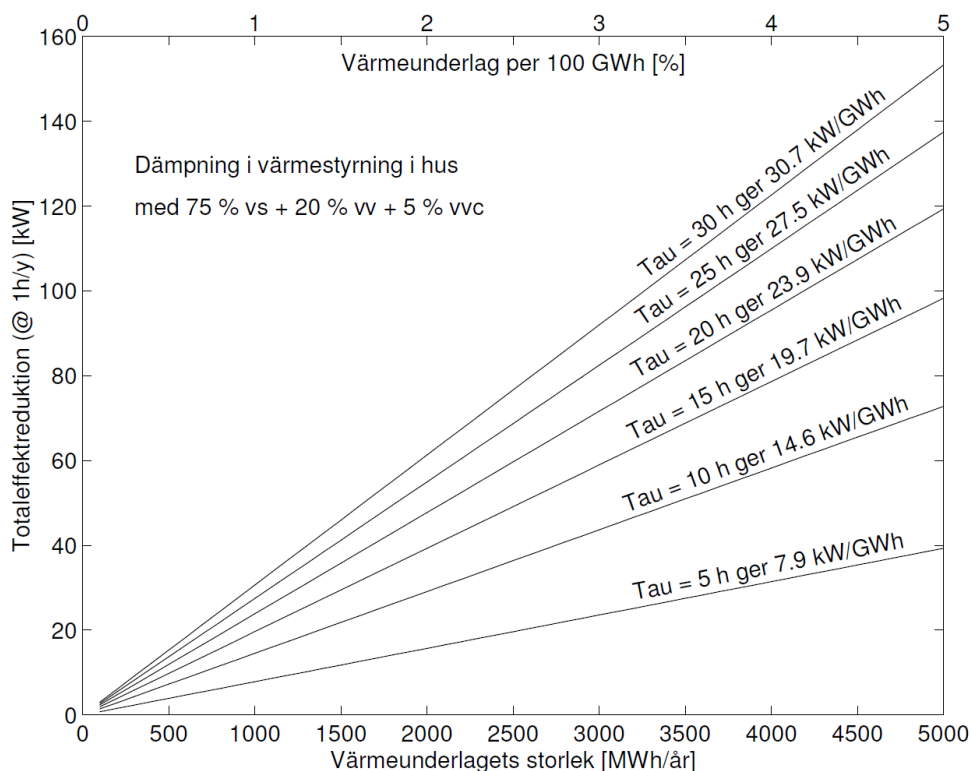


Figur 47. Analogimodell nu kompletterad med en kondensator som motsvarar dämpningen.

Att även produktionskostnaden minskar inses av att en kondensator släpper igenom växelström som annars skulle ta vägen genom senseresistorn R och i den generera den förlust som är ett mått på produktionens samlade bränslekostnad per timme. Både effektmaximum och totala bränslekostnaden minskar med dämpning.

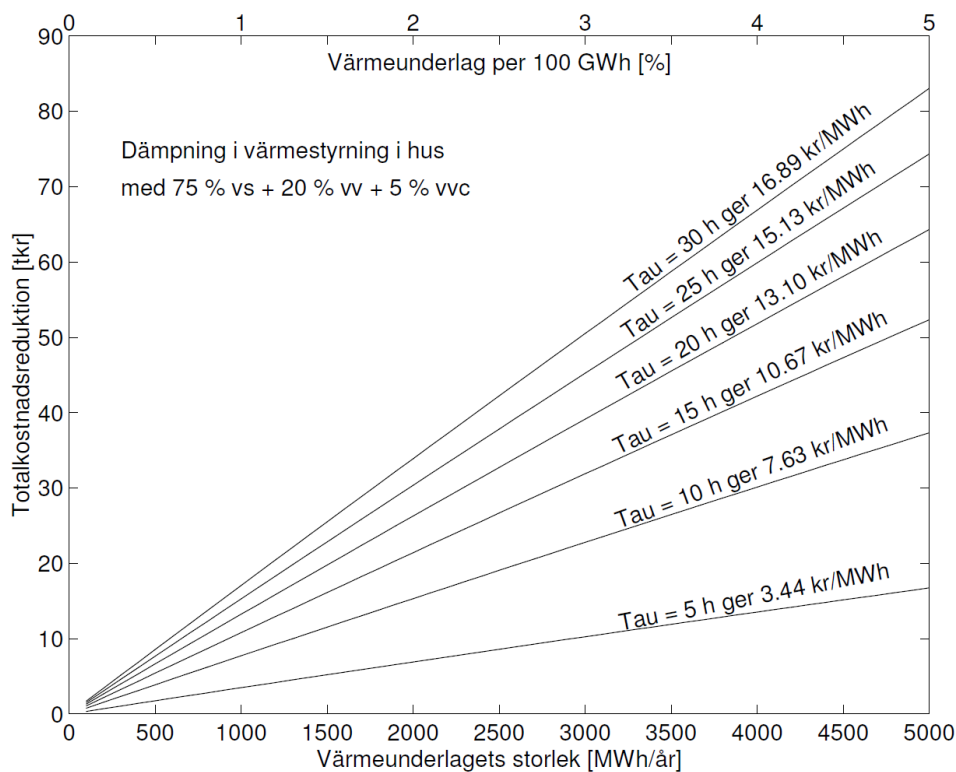
Med mycket stor dämpning kommer till slut en ström motsvarande medelvärdet av $S \cdot U_{in}$ att genomflyta R och där generera en spänning motsvarande tidsmedelvärdet av produktionskostnaden och en effekt motsvarande bränslekostnaden hos en under året konstant last.

I Figur 48 nedan har inverkan av dämpningens och värmeunderlagets storlek på effekten med sannolikhet 100 timmar per sekel beräknats.



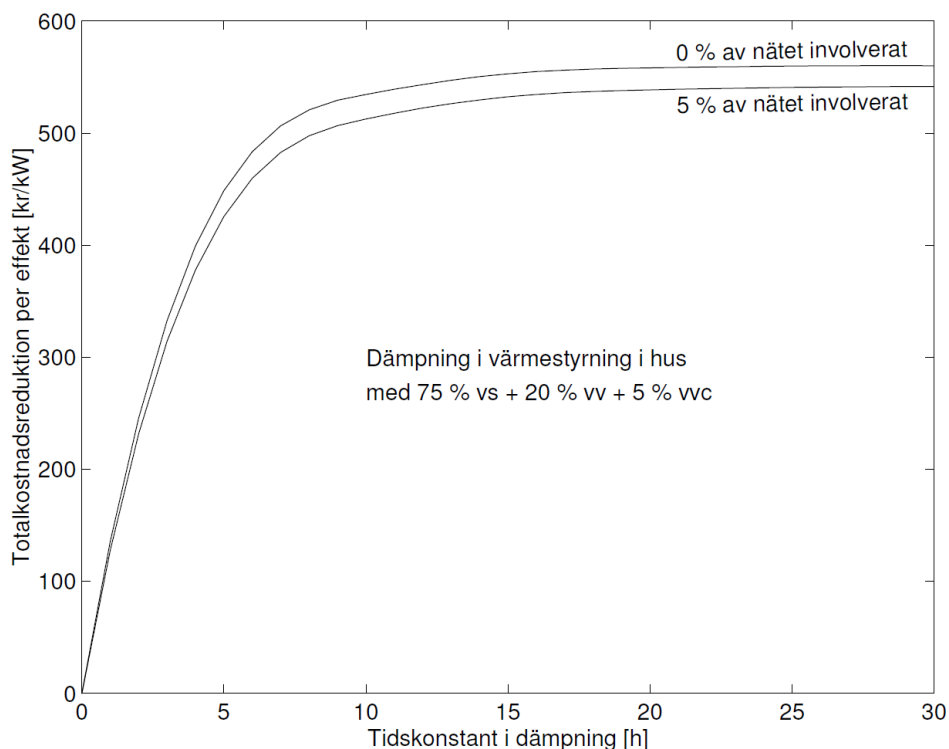
Figur 48. Effektreduktion med dämpning beroende på värmeunderlagets storlek.

Notera det linjära sambandet där värdet av dämpningen är oberoende av objektets storlek i förhållande till nätets totala storlek. Värdet av en insats i ett mindre hus kommer därför inte att maskeras och förlora sig i ett jättenät. Tvärt om är bränslekostnadsvinsten en liten aning större i oändligt stora nät. I Figur 49 nedan syns att även i fråga om dämpningens inverkan på totala bränslekostnaden föreligger samma förhållande.



Figur 49. Kostnadsreduktion med dämpning beroende på värmeunderlagets storlek.

Särskilt intressant är kvoten mellan totalkostnadsreduktion och effektvinst som bör avspegla värdet av 1 kW. Liten dämpning ger större inverkan på effekten än på produktionskostnaden men för komfortmässigt optimala värden på dämpning är det "universella effektpreis" som kan beräknas på detta sätt konstant, i kronor räknat 50 % av vad 1 MWh kostar i dyraste spets, också detta knappt alls beroende av nätets totala storlek, se Figur 50.



Figur 50. Kvoten mellan totalkostnadsreduktion och effektvinst med dämpning av fastigheter i ett nät.

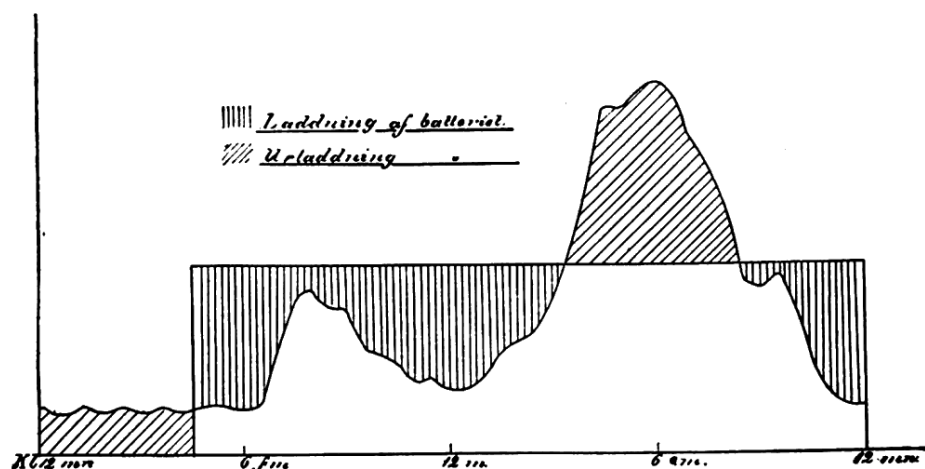
Värdet av en dämpning om 1 gradtimme per grad består i

- Effektreduktion 1 W per involverade 1 MWh oberoende av nätets storlek
- Kostnadsreduktion 0,55 kr/MWh oberoende av nätets storlek

Värdet av effekt är uppenbarligen lika med kvoten av dessa, dvs 550 kr/kW i exemplet med marginalproduktionskostnad 1100 kr/MWh i spetsen. Med brantare marginalproduktionskostnadsförlopp ökar värdet av effekt.

4.1.6 Ackumulering

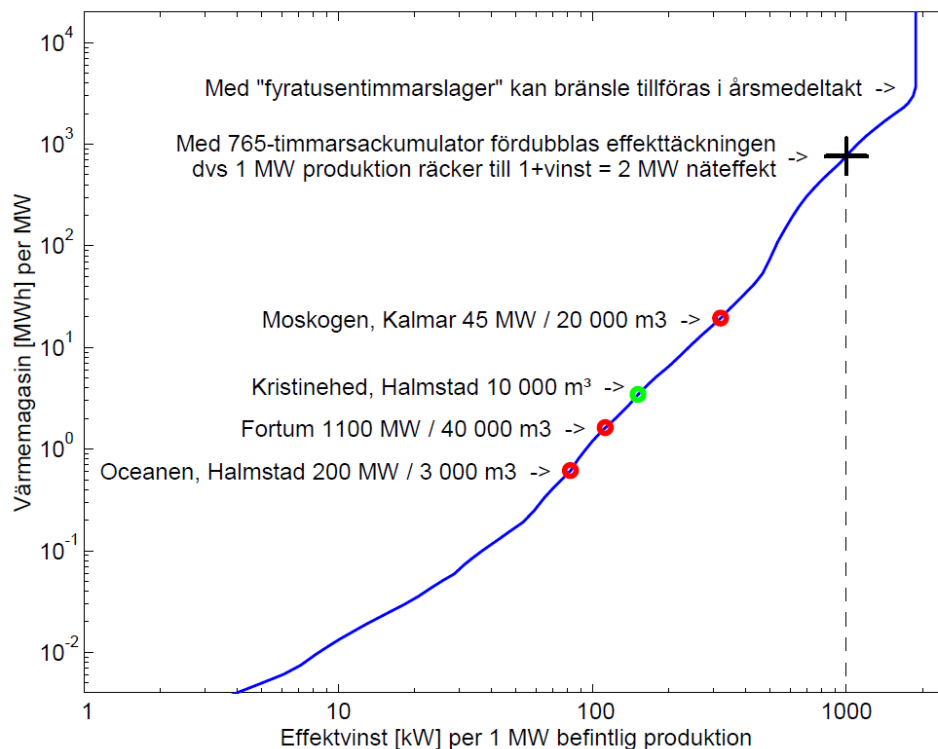
Innan anläggningar för el och värme hade hunnit bli så omfattande att en någorlunda överensstämmelse mellan last och produktionsenhet kunde påräknas i varje ögonblick tillgreps periodisk produktion med ackumulatorer som svarade för leveransen under mellanperioderna. Som bilden från Nordisk Familjebok nedan visar kördes elektricitetsverk när volymen så småningom vuxit att endast ett kortare uppehåll om natten tilläts. Ackumulatorerna medgav då även en utmatad effekt som periodvis vida översteg vad som för tillfället kunde produceras, se Figur 51 nedan.



Figur 51. Laddning och urladdning av batterier i ett elektricitetsverk i början av 1900-talet.

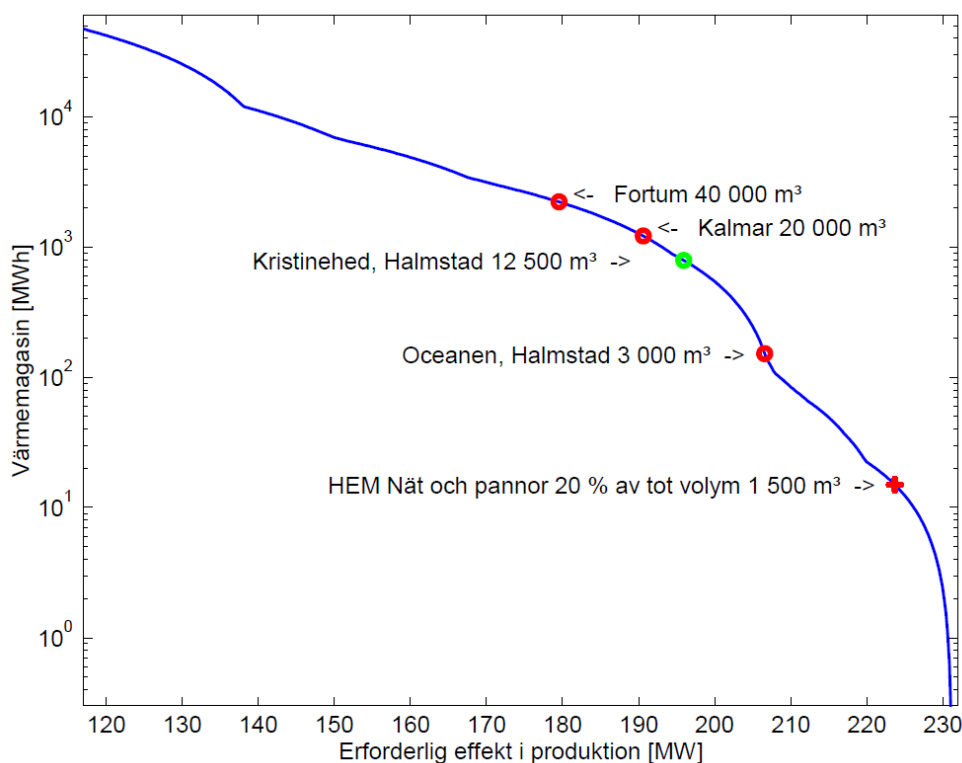
Bilden anger pedagogiskt att ett ackumulatorbatteri som svarar emot $1/6$ av medelvärdet (= 4 medeleffektstimmar) är tillräcklig för att helt utjämna den varierande dygnslasten. Ett motsvarande förhållande borde rimligtvis gälla vid fjärrvärmeproduktion.

I samband med en förstudie rörande effektreserv som HEM låtit utföra utvärderades värdet av ackumulering i ren effekt räknat. Högsta förekommande last är över tre gånger större än årsmedeleffekten. Med ett värmelager som rymmer 4000 medeleffektstimmar skulle lasten kunna utjämnas så mycket att produktionen kunde inrättas efter årsmedeleffekten, dvs en effektvinst motsvarande nära 70 % av topplasten eller 200 % av i så fall inrättad effekt. Fyra exempel på ackumulatorer i Sverige visas nedan i Figur 52.



Figur 52. Storlek och effektvinst med olika stora värme- och bränslemagasin.

För ackumulatorer av mer rimlig storlek blir naturligtvis vinsten mindre men det går dock att utläsa några intressanta nivåer i dimensionering med möjlighet till relativt stor besparing i effekt sett mot total investering. De första är relaterade till dygnets olika lasttoppar medan de senare handlar om uthållighet i olika former av väderhändelser och som stämmer mycket väl med den storlek på ackumulator som nämndes inledningsvis – precis så stor har den tekniskt sett lilla ackumulator vid Oceanenverket tagits. I Figur 53 nedan visas ackumulatorerna plottade emot produktionens effekt.



Figur 53. Storlek av ackumulatorer och effekt i produktionen i några av Sveriges nät.

I bilden har även ritats in en för Kristinehedsverket normalstor ackumulator. I tidigare Figur 52 gick det går att utläsa att med denna ökar verkets kapacitet med motsvarande nästan 150 kW per MW men i Figur 53 ser man att Oceanen redan har intecknat en liten del av detta.

Om Kristinehedsverket utrustas med en 12 500 m³ stor ackumulator uppnås genom utjämning en effektivinst om hela $0,15 \times 230 = 35$ MW jämfört med kapaciteten i en situation där den befintliga ackumulatören i Oceanenverket ej är tillgänglig. Eftersom en sådan händelse är ganska osannolik måste effektivinsten med den befintliga ackumulatören räknas av. Kristinehedsverkets ackumulator skulle då ändå medge 10 – 15 MW i ökad kapacitet utan ytterligare investering i pannor mm – ett trots allt ganska betydande belopp sett mot anläggningens storlek.

4.2 VÄRMEBÄRAREN

Som medium för transport av värme har traditionellt använts i första hand ånga och vatten. I de fall ledningar inte kunnat dras fram har föreslagits värmetransport med kemiskt bunden värme i saltlösningar i transportabla värmemagasin som regelbundet tas hem till ett värmeverk för uppladdning. En jämförelse mellan olika värmebärare är intressant och visas i Tabell 3 nedan.

Tabell 3. Energiinnehåll i olika värmebärare.*Latent värme*

Ånga	0,8 kWh/kg	40 °C kondensat
Erytritol	0,089 kWh/kg	stelning vid 120 °C
d:o i mix	0,070 kWh/kg	stelning vid 80 °C

Kristallvatten

Na ₂ SO ₄	0,067 kWh/kg	stelning vid 32 °C
---------------------------------	--------------	--------------------

Sensibelt värme

Hetvatten	0,047 kWh/kg	regim 80/40 °C
-----------	--------------	----------------

Sett mot komplexitet och tekniska utmaningar hos koncept med smältvärme mm förefaller hetvatten vara ett praktiskt sett mycket fördelaktigt alternativ. Medan övriga tekniker transporterar en närmast fix mängd värme per kg oavsett eventuell underkylning krävs i fråga om hetvatten dock att värmebäraren avkyls tillräckligt mycket: Försämrings avkylningen till hälften minskar kapaciteten i en ledning till hälften. I konsekvens med detta borde rekommendationen vid kapacitetsproblem i nät vara:

- Höj framledningstemperaturen över tidigt liggande (transitering) kritiska snitt och shuntpumpa till önskad temperaturregim nedströms
- Sätt in åtgärder för att hålla ned abonnenternas returtemperatur så långt som möjligt
- En kombination av dessa vid matning av nya områden utformade för så lågt temperaturbehov att behovet helt kan tillgodoses med shuntpumpat returflöde vid DUT

Kapaciteten hos ett fjärrvärmennät är således direkt kopplad till skillnaden mellan fram- och returtemperatur, det som brukar benämnas avkylning. Bättre avkylning har i transiteringssynpunkt således samma värde som effektreduktion vilket är motivet till att även sådana koncept behandlas i detta projekt.

5 Resultat

Vi har lovat att i första skedet (år 2018) presentera kvalitativ analys, dvs beskrivningar i kombination med bedömning av möjligheter och potential och för detta används vad som redovisas i inledande del i utredningen.

I ett senare skede (2019) kan detta kompletteras med beräkningar där bedömningar ersätts med konkreta värden på effektvinst, energivinst, miljövinst, ekonomi.

5.1 EFFEKTSTYRNING I HEM

I Halmstad har man önskat möjlighet att utifrån kunna styra ned effekten. Syftet har varit att försöka skapa en så stor effektreserv som möjligt som komplement till värmebolagets insatser i övrigt. Arbetet har varit aktivt och målinriktat. År 2017 gjordes en bred, förutsättningslös utredning kring möjligheter att styra effekt i konsumtionsledet, man fann själva PowerSide och övervägde den lösning som kommunen använder i sina fastigheter men beslutade tidigt att istället testa Noda SHG (Smart Heat Grid) och SHB (Smart Heat Building). Medan själva effekstyrningen sker i SHG så förefaller SHB vara inriktat främst på nytta för fastighetsägaren (besparing i energi och flöde/returtemp).

Noda har levererat en första rapport som redovisar utfallet av ett antal tester. Rapporten sammanfattande slutsats är att installation och driftsättning har gått bra. Vilken betydelse SHB haft för mätmassig samordning mm förklaras inte i erhållet material. Denna undersökning inriktar sig därför helt på Noda SHG.

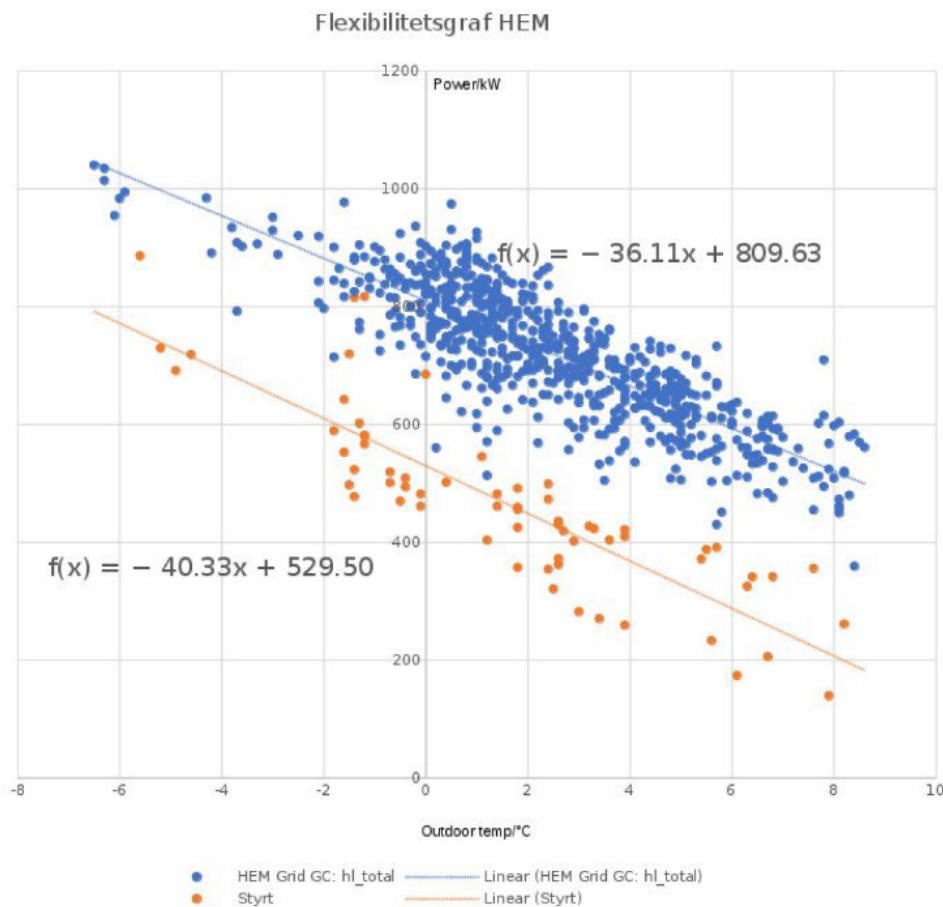
5.1.1 Funktion

Önskan med systemet har varit att skapa en möjlighet att på signal från kontrollrummet kunna styra ned effekt i ett antal kundanläggningar som i övrigt körs med styrning av temperaturer mm på traditionellt sätt. Vid ingrepp reduceras effekten, olika mycket beroende på hur många av fastighetens system som är inblandade och hur stor påverkan på inneklimatet som tolereras. Nedstyrningen benämns flexibilitet och anges som andel av normalt uttagen effekt, med kort avses varaktighet om högst två timmar och med medel avser tre till fem timmar, se Tabell 4 nedan.

Tabell 4. Flexibilitet i Noda.

Medel	Kort	Utetemperatur
35%	53.1%	>5°C
32.1%	47.2%	5°C to -5°C
25%	40%	<-5°C

En total bortstyrning skulle ge större värde i kW räknat vid kallare väder. Noda-systemet begränsar dock nedstyrningen och i redovisningen i Figur 54 syns att effektreduktionen en motsvarar en parallellförskjutning i temperatur om 6 – 8 °C.



Figur 54. Flexibilitetsgraf från Noda som visar effektsignaturen. Notera skillnaden på de blå punkterna som är orörda och de orangea som är nedstyrda.

Nedstyrningar begränsas till i ett löpande beräknat värde som benämns termisk flexibilitet. Hur beräkningen sker redovisas inte.

5.1.2 Potential

Rak styrning med värme som körs ut enligt kurva i hopp om att inneklimatet skall bli det rätta av sig själv är vådligt nog. Skall ovanpå det utkörd effekt manipuleras finns uppenbar risk för problem. Noda har löst detta med instrumentering. Inneklimatet övervakas och det finns som nämnt även en gräns för nedstyrningarnas storlek.

Generellt kan konstateras att detta ligger i linje med vad som kan konstateras i fråga om förutsättningar och gynnsamma omständigheter för effektstyrning:

- pålitlig tillgång till debiteringsmätarens registrerade effekt
- återkoppling så att underskott vid tillfälle kan hämtas tillbaka
- lagom snabb regulator för förskjutning som stabilt kan styra ned systemtemperaturen
- styrprincip som minimerar avvikelse i största tillåtligt värde på löpande timmedelvärde

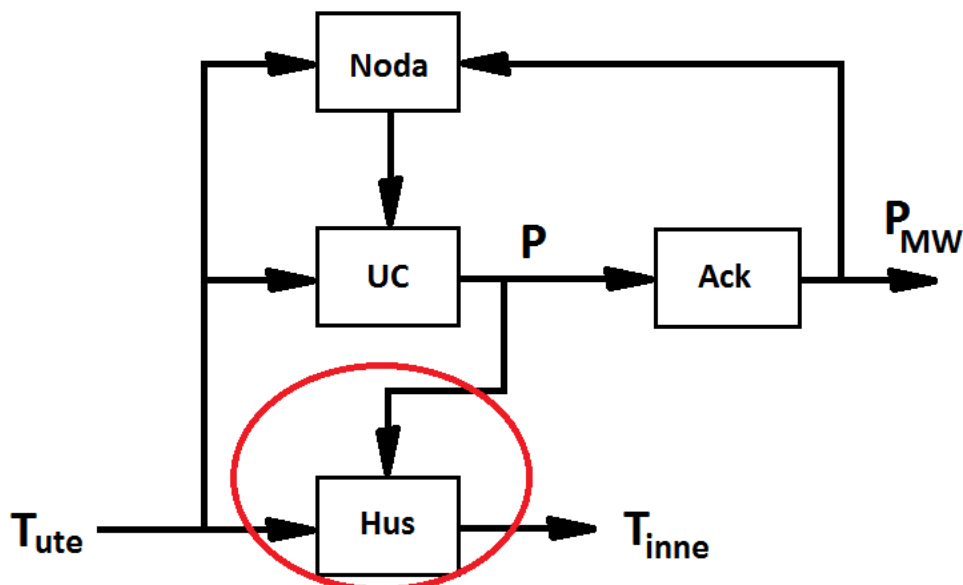
- ventilationsvärmekrets kan ej användas
- radiatorsystem står för stor andel av uppvärmningen
- gärna termiskt tungt radiatorsystem och stomme
- gärna behovsstyrning av ventilationen med begränsning av flöden vid inneklimatavvikelser

Tvärt om kan problemet vara att möjligheterna inte utnyttjas full ut eller ej beaktas genom att nedstyrningen görs på sådant sätt (roterande nedstyrning har nämnts) att samlad inneklimatpåverkan vid en given aggregerad (i Noda SHG för en grupp anläggningar samordnad) nedstyrning aldrig minimeras.

5.1.3 Förutsättningar för utvärdering

Signalanalys går bra att tillämpa på fastigheter. Redan enkla byggnadsfysikaliska modeller har stort värde. Är dataunderlaget tillräckligt stort medges helt förutsättningslös modellering. Vad 28 klimatår räcker till har redan exemplifierats.

Redan några tusen timvärden för effekt, inneklimat och väder är nog för att ta fram en modell för processen **Hus** i bilden nedan, särskilt om i signalen **P** finns ett betydande signalenergimässigt innehåll som ej är korrelerat till T_{ute} . Observera att den återkoppling från T_{inne} som Noda använder för att köra ikapp ej är inritad i Figur 55 nedan.



Figur 55. Processchema över hur signaler från klimat och Nodasystem samverkar i innetemperaturen.

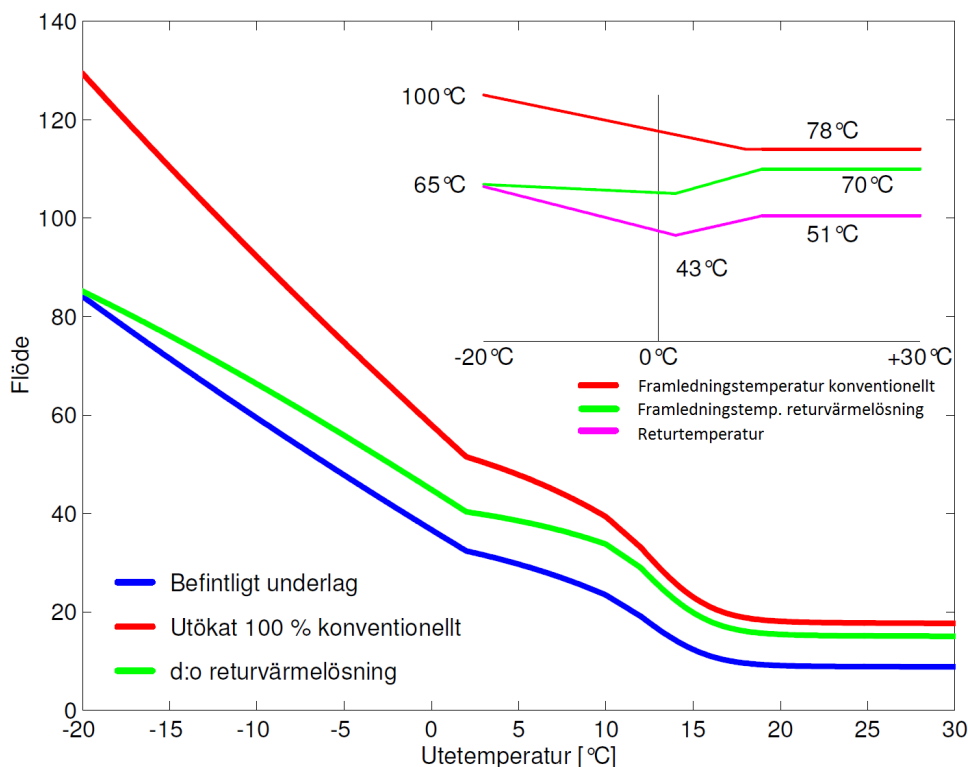
Med kännedom om responsen T_{inne} på störning i P kan gränsen för tillåtlig avvikelse i P beräknas och via det utvärderas i vilken grad Noda till fullo (i för låg eller hög grad) utnyttjar detta.

5.2 NÄTÅTGÄRDER I SOLLENTUNA

Sollentunanätet består av tre intill varandra liggande nätområden, alla idag fullt utbyggda. Ytterligare exploatering kommer att kräva förstärkningar eller alternativt, som här studerats, andra åtgärder som via effektreduktion frigör kapacitet i befintligt nät.

Vad som i Sollentuna förefaller mest aktuellt är uppförande av en station för shuntpumpning från returen i syfte att till priset av marginell ökning av flöde i ett kritiskt avsnitt av nätet kunna ansluta ett nytt område, gärna från början anpassat för lägre temperaturer och leveransen kan då innebära ett väsentligt inslag av returvärme.

Om temperaturkravet vid kallaste väder sänks till i nivå med returtemperaturen från en avkylningsmässigt sämre nätdel behöver nyanslutningen inte medföra knappt någon flödesökning, även om väsentlig spets från framledningen skulle behövas vid varmare väder, se Figur 56 nedan där ett nytt område ansluts med konventionell teknik samt med hjälp av en shuntpump (se avsnitt 3.2.3).



Figur 56. Flöde plottat mot utetemperatur för det befintliga underlaget, nytt område anslutet konventionellt samt nytt område anslutet med shuntpump och spets via framledningen.

Det nätflöde som föreligger lokalt sätter ovillkorliga gränser för rena returvärmeuttag. Det finns ingen möjlighet att nyttja mer energi än vad som finns i returledningen från de kunder som ligger nedströms utan att spetsa. Bortom aktuell anslutning i SEOMs fall finns det ett ganska stort värmeunderlag.

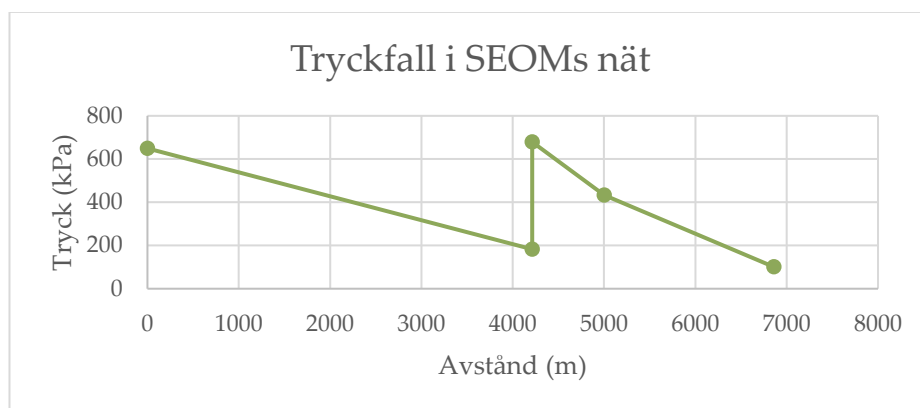
I en särskilt anlagd shuntpumpstation kompletteras dessutom returvärmen med temperaturspets i form av en mindre del primärvärme. Avsikten är att ökningen i uttaget flöde över kritiskt avsnitt av nätet skall vara så litet som möjligt i förhållande till tillkommande värmeunderlag.

En fördel med lägre temperaturregim i en nät-del är möjligheten att ansluta en spillvärmekälla som inte klarar av att leverera "prima värme" till huvudnätet men klarar de temperaturer och tryck som råder i det mindre avshuntade området.

Temperaturer och tryckfall i nätet har beräknats med NetSim. Den befintliga modell som använts med tillåtelse av SEOM är kalibrerad för en dimensionerande utetemperatur på -18 °C.

5.2.1 Funktion

Styrande kund i SEOMs nät har idag 142 kPa differenstryck vid DUT (dimensionerande fall). I Netsim haren nyanslutning simulerats med samma prestanda som nätets övriga anläggningar. Nyanslutningens storlek uppgår till 1,3 MW tillkommande last innan differenstryck hos styrande kund minskat till 100 kPa.



Figur 57. Differenstryck i SEOMs nät från inkopplingen från Akallaverket fram till nätets sämsta punkt.

Figur 57 visar hur differenstrycket sjunker från inmatningen vid Akallaverket till en pumpstation innan flaskhalsen. Pumpen lyfter sedan 500 kPa varefter följer ett ca 750 meter långa parti med hastigt tryckfall innan nätet fortsätter i grövre ledningar igen. Trycket faller därför mindre brant 4500 meter ut till nätets slut. Bilden visar de sista 1850 meterna ut i en arm fram till styrande punkt.

5.2.2 Potential

Idag är avkylningen ganska dålig i flera nät-delar som gränsar till platsen för en nyanslutning och returledningen håller ca 55 °C vid DUT. En nyanslutning skulle kunna utformas med krav på väsentligt bättre avkylning, kanske nedåt 40 °C vid DUT vilket skulle frigöra 0,4 MW i kapacitet.

Med angränsande varmt returflöde som bas och endast med spets från framledningen reduceras ökningen i flöde kraftigt, till en tredjedel även om nyanslutningen skulle få hela 70 °C vid DUT.

Spetsad returvärme tillsammans med ett sänkt maxtemperaturkrav i nyanslutning bör kunna frigöra betydande resurser:

- Konventionell utbyggnad: 1,3 MW vilket motsvarar ca 290 lägenheter
- Returtemperaturutbyggnad: 3,9 MW vilket motsvarar ca 870 lägenheter

Sommartid skulle nyanslutningen behöva matas med enbart framledning men den tiden på året utgör den trånga sektionen inget problem.

5.2.3 Förutsättningar för utvärdering

Norra Storstockholm är föremål för intensivt byggande och trots en förhoppningsvis kortvarig nedgång i byggandet kommer planer på flerfamiljshus i det studerade området behöva konkretiseras. En skarp förstudie kommer behövas och kan öka chansen till att fjärrvärme verkligen kommer användas.

5.3 KOMMUNIKATION OCH EFFEKTSTYRNING I TÄBY

I E.ONs prismodell finns ett avsevärt inslag av månadsvis effektpris. Därmed finns incitament för kunderna att genomföra effektreducerande åtgärder. Detta incitament skulle dock kunna göras mer verkningsfullt om en större andel av kunderna, genom information och utbildning, gavs bättre insikt både om vad som går att göra och åtgärdernas värde.

Initiativtagarna till produktionen i nätet utgör en speciell, redan motiverad grupp: Dessa fyra bostadsrättsföreningar är gemensamt, via sitt ägarbolag SVAF, direkt involverade i produktionen med önskan att deras investering i fliseldade Täby Fjärrvärmeverk skall stå för så stor del av produktionen som möjligt även när värmeunderlaget växer.

En eventuell åtgärd som involverar samtliga byggnader i dessa föreningar påverkar effektuttaget för ett samlat värmeunderlag om 35 GWh/år, idag hela 35 % och i framtiden över 20 % av totalt försäld värme.

5.3.1 Funktion

De befintliga styrsystemen i de fyra föreningarnas fastigheter har möjlighet till dämpning i värmestyrningen (se avsnitt 4.1.5). Funktionen behovsstyrd förskjutning av värmekurvan finns också.

Båda dessa funktioner skulle kunna användas så att ett underskott i klimatkompensering körs ikapp via behovsstyrningen.

5.3.2 Potential

I typiska bostadshus är dämpning med i storleksordning 12 timmars tidskonstant optimalt för inneklimatet men 20-25 timmar kan användas innan mer än 20 % av maximal komfortvinst har intecknats. Detta skulle vara värt ca 20 % reduktion i maxeffekt under den månad årsmaximum uppnås.

I E.ONs nät är det största dygnsuttag som omräknat till dygnsmedeleffekt som taxeras månadsvis. Om dygnsmedeleffekten uppgår till 350 kW/GWh och 10 % av

detta kan vinnas (i detta fall ca 1,3 MW) skulle ekonomin påverkas med minst 100 tkr i minskad effektagift dyraste månad eller ca 500 tkr/år för ägarnas samtliga fastigheter.

Med det linjärt marginalkostnadsförlopp 0 – 1100 kr/MWh är värdet av dämpning med 25 timmars tidskonstant ca 15 kr/MWh eller 500 tkr/år för ägarnas samtliga fastigheter.

5.3.3 Förutsättningar för utvärdering

I åtminstone en fastighet (10 GWh/år) används idag frånluftskompenenserad förskjutning av värmekurvan men i övrigt är ännu ej känt i vilken utsträckning möjligheten till dämpning mm utnyttjats fullt ut. Tidigare presenterad beräkningsmetodik i avsnitt 4.1.5 kan appliceras på detaljerat underlag i fråga om produktion och bränsle så att indirekt vinst (avkastning på ägandet) kan bestämmas såväl som vilket värde dämpningen skulle ha om ägarna betalade effektagift.

5.4 ACKUMULATOR I TÄBY

Som beskrivs i avsnitt 2.3 så är nätet begränsande för utmatningskapaciteten från produktionsanläggningarna i Arninge. Det relativt långa avståndet mellan Arninge och centrum, där den största lasten ligger, tillsammans med en ogynnsam topografi som begränsar utmatningstrycket i Arninge gör att man inte kan leverera ut anläggningarnas fulla kapacitet och samtidigt upprätthålla erforderligt differenstryck hos alla kunder. För att maximera kapaciteten i ledningen så kör man med så hög framledningstemperatur som möjligt, vilket i dagsläget innebär 110 °C.

5.4.1 Funktion

En ackumulator, placerad på lämplig plats i nätet, skulle möjliggöra ett ökat nyttjande av produktionsanläggningarna i Arninge och minskat behov/färre starter av spetsanläggningen i Åva utan att ytterligare belasta matningsledningen från Arninge. Med bibehållen framledningstemperatur (max 110 °C) ut från Arninge hålls kapaciteten i ledningen uppe på dagens nivå och ackumulatoren ger således ett effekttillskott totalt sett.

Ytterligare kapacitet skulle kunna erhållas genom att höja framledningstemperaturen än mer. Ledningsnätet är konstruerat enligt fjärrvärmestandard (16 bar, 120 °C). Att man idag inte kör varmare än 110 °C beror på en begränsning i produktionsanläggningen och denna begränsning behöver i så fall byggas bort.

Det är ofta önskvärt att hålla ned framledningstemperaturen då hög temperatur försvårar akuta drift- och underhållsarbeten, förkortar livslängden på material och utrustning och ger ökade nätförluster. Man kan därför tänka sig att kombinera ackumulatorinstallationen med en shunt pump som sänker temperaturen nedströms då denna del av nätet, som utgör mer än 90% av värmeunderlaget, inte är lika hårt belastad ur ett tryckfallsperspektiv.

5.4.2 Potential

Med en 2000 m³ ackumulatortank, knappt 3 MWh per MW, kan 150 kW per MW eller ca 5 MW sparas. Detta höjer gränsen för vilket värmeunderlag som kan betjänas från Arninge med nära 20 %. Med 10 °C extra i utgående temperatur kan kapaciteten i transiteringsledningen ökas ytterligare lika mycket.

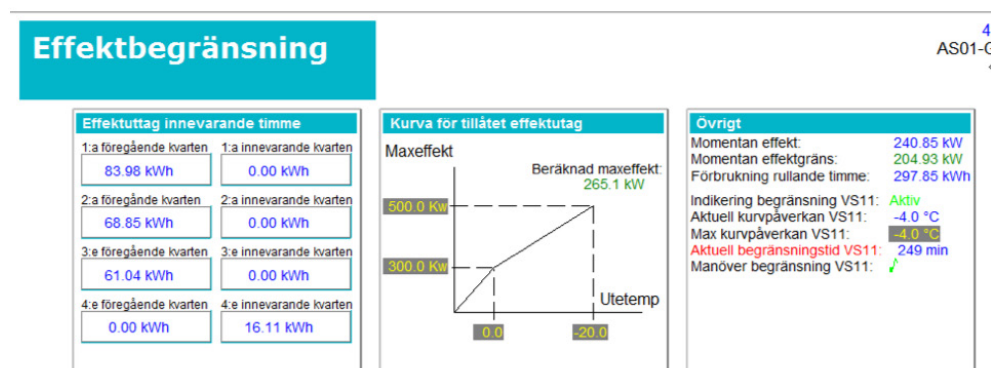
5.4.3 Förutsättningar för utvärdering

Eftersom det inte är flödes hastigheten, eller tryckfallet per meter, som utgör begränsningen i nätet i detta fall, så är en traditionell lösning med en eller flera tryckhöjningsstationer, i kombination med en ackumulator placerad vid produktionsanläggningen, naturligtvis ett alternativ för att uppnå motsvarande funktion. Föreslagna lösningar med en utlokaliserad ackumulator och bibehållen, alternativt höjd, framledningstemperatur måste därför ställas mot detta i en kvantitativ jämförelse mellan olika investeringsalternativ.

Det är intressant att redan en måttligt stor ackumulatortank innebär kapacitetsförstärkning med lika mycket som temperaturhöjning och pumpstation var för sig. Detta öppnar för en kombination av åtgärder och en systemoptimering där de olika lösningarnas fördelar tas tillvara.

5.5 EFFEKTSTYRNING I MICASA

Micasa Fastigheter har i några av sina fastigheter nyttjat möjligheten att i fastighetsövergripande, överordnat styrsystem lägga in funktioner för effektstyrning. Syftet har varit att modifiera och begränsa effektuttag för att på så sätt spara pengar.



Figur 58. Inställningsmeny för effektbegränsning i ett av Micasas styrsystem.

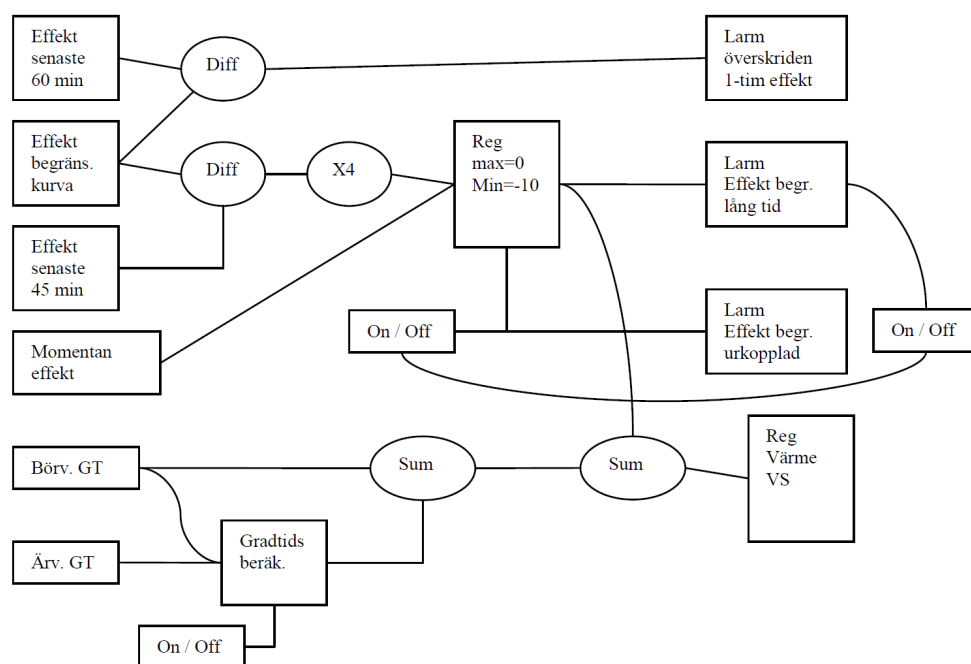
Konceptet utgör något man kallade för "effektbegränsningsprogram" och som ingick i det energisparprojekt Micasa genomförde under åren 2007 – 2012. Programmet utgör ett överordnat tillägg i undercentralernas styrsystem. Vid hög momentaneffekt skulle det värde som radiatorsystemet reglerades till styras ned. År 2012 ändrade värmebolaget sin prissättning så att momentaneffekt ersattes med dygnsmedeleffekt i debiteringen, något som effektbegränsningsprogrammet inte

lika verksamt hade möjlighet att påverka. Detta förklarar varför programfunktionen i slutänden driftsattes endast i några enstaka hus. Exempel på hur effektbegränsningen ser ut visas ovan i Figur 58.

5.5.1 Funktion

Tidigare registrerades avtalsperiodens tio högsta tim-effekterna varav användes medelvärdet av de fem lägsta av dessa som grund för effektagiften kommande avtalsperiod. År 2008 var avgiften för på detta sätt bestämd effekt 375 kr/kW.

Vid utformning av programmet förutsattes att tappvarmvattenanvändning utgjorde ett till totalt uttagen effekt väsentligt bidrag som kunde balanseras med tillfällig sänkning i radiatortemperaturen. Effektbegränsningsprogrammet, se Figur 59, bygger sedan på att effekten styrs ned till vad som med ledning av uttaget under 45 minuter finns utrymme för att ta ut under återstående 15 minuter. Löpande 60-minuters medelvärde hålls på så sätt under en i kurva angiven effektgräns.



Figur 59. Blockschemamodell för Micasas effektbegränsningsprogram.

5.5.2 Potential

I beskrivningen anges "Den energi man stryper bort kan motsvara ca 0,5 graders dygnsmedel sänkning av rumstemperaturen som alltså kan ge en ren energibesparande effekt. Om man inte vill att det skall bli en sänkning av inomhustemperaturens dygnsmedel, får man aktivera gradtidskompensering." Konceptet rymmer således beräkningsmässig ett slags återkoppling som är en förutsättning för att så ingripande manipuleringen av utkörd effekt som krävs skall kunna tillåtas.

Vid sänkning av börvärdet erhålls en omedelbar, mycket stor effektreduktion. Om programmet skall fungera krävs att det inte är utformat så att begränsningen därvid omedelbart hoppar ur igen.

I de fall ett överordnat system skall byggas eller redan finns bör till ganska begränsad merkostnad effektbegränsning av sådan typ som Micasa provat kunna införas. Förutsättningar och gynnsamma omständigheter föreligger med:

- pålitlig tillgång till debiteringsmätarens registrerade effekt
- återkoppling så att underskott vid tillfälle kan hämtas tillbaka
- lagom snabb regulator för förskjutning som stabilt kan styra ned systemtemperaturen
- styrprincip som minimerar avvikelse i största tillåtligt värde på löpande timmedelvärde
- ventilationsvärmekrets kan ej användas
- radiatorsystem står för stor andel av uppvärmningen
- gärna termiskt tungt radiatorsystem och stomme
- gärna behovsstyrning av ventilationen med begränsning av flöden vid inneklimatavvikelser

Micasa har på ett för oss tillgängligt sätt infört effektbegränsningsprogrammet i system baserade på Schneider och Kabona.

5.5.3 Förutsättningar för utvärdering

Micasa kan medverka i en kvantitativ utvärdering av konceptet i form av bestämning av exakt storlek på möjlig effektreduktion i två större fastigheter (ca 1-2 GWh/år vardera). Utvärderingen sker lämpligen på samma sätt som i fråga om Noda med tillägget att i fallet Micasa även skulle behöva bestämmas vilka parametrar programmet skulle behöva köras med: Hur långt kan effektreduktionen drivas och hur väl utnyttjar effektstyrprogrammet möjlighet till effektreduktion sett mot ur komfortmässigt optimal strategi.

6 Slutsatser

Den viktigaste orsaken till värmebehov är klimatreglering av fastigheter. Utan värme skulle innetemperaturen med viss eftersläpning tendera att följa vädrets växlingar och för att upprätthålla ett angenämt inneklimat behöver värme tillföras, mer ju kallare det är ute.

Hur varmt det är ute varierar med årstid och tid på dygnet. Ovanpå det finns en vädret som en slumpmässig signal med samma sannolikheter som normalfördelat (gaussiskt) brus. Viktigast för förutsägelse av vädret är hur varmt eller kallt det råkar vara för tillfället. Den bakomliggande bredbandiga stokastiska signal som orsakar vädret verkar därför via en signalteoretisk process där bruset filtreras och vädrets långsamma växlingar uppstår. Såväl process som ursprung är invarianta men varierar i styrka under dygnet och året.

Bruskällans och processens egenskaper behöver ej klarläggas explicit. Med stöd av konstateranden i fråga om processmekanismerna kan underliggande stokastiska signal extraheras ur klimatdata för en godtyckligt vald period. Utan påverkan på autokorrelation och fördelningsfunktion går det med permutation sedan att göra tidsserien godtyckligt lång, återföra dygns- och årstidsväxlingarna och på så sätt skaffa ett betydligt bättre statistiskt underlag för extremhändelser mm än den tillgängliga klimatdataserien i sig utgjorde.

Vid köldgrader tenderar utetemperaturen göra större avvikelser än vid blidväder. Naturens värmemagasin per grad räknat förefaller öka till drygt det dubbla vid temperaturer över 0 °C. Vid sidan av de mekaniska dygns- och årstidsväxlingarna är detta den viktigaste faktorn i fråga om frekvensfunktionens förlopp. En tendens till förhöjd varaktighet för temperaturer kring 12-16 °C röjer en icke linjär process som därmed inte täcks av modellen. Eftersom frekvenstoppen är ännu mer uttalad med uppvisande av ytterligare regelbundenhet när atmosfärluftsens ånghalt avsätts mot temperatur framkastas gissningen att frekvenstoppen har sitt ursprung i Golfströmmen. Inte heller detta behöver dock klarläggas för att modellen skall vara användbar inom området för forskningsprojektet och mer än så. Alla icke fjärrvärmeinriktade aspekter av modellen kan lämnas åt sidan.

Ett hus tröghet samtidigt som inneklimatet svarar ganska snabbt på tillförd värme. Tillförs värme i samma takt som utetemperaturen växlar kommer inneklimatet växla. En enkel dämpning (första ordningens lågpasfilter) ger beräkningsmässigt möjlighet till signifikant förbättring i komfort. Samtidigt reduceras effektuttaget. Med för stor dämpning försämras komforten men endast sakta och vinsten i minskat effektuttag fortsätter att öka.

Klimatmodellens frekvensanalys är direkt tillämpbar även på värmeproduktion, exempelvis för analys av de delar som bygger upp bränslekostnaden och även en näteffektmodell går att skapa på samma sätt. För bestämning av delprocesser i byggnadsfysik, klimatreglering och nät är slutligen det signalanalytiska angreppssättet ett ytterst kraftfullt verktyg och rekommenderas därför med eftertryck för arbetet med kvantitativ utvärdering av de olika koncepten.

Som beskrivits i avsnitt 1 så kan ett behov av att reducera effektuttaget i ett fjärrvärmesystem föranledas av många olika omständigheter och händelser. De olika metoder för effektreducering som står till buds har för- och nackdelar och det finns ingen metod som alltid är den mest lämpliga.

Vilken metod som i det enskilda fallet är det mest lämpliga ur ett teknoekonomiskt perspektiv beror dock på hur förutsättningarna ser ut mer i detalj. Det är viktigt att i ett tidigt skede besluta vilka situationer effektreduceringen ska hantera för att nå önskat slutresultat i systemet.

7 Diskussion

Ovan har behandlats fem olika projekt syftande till att hålla nere, i något fall även utifrån styra effekt och flöde i kundanläggningar och nät. Projekten har haft bäring på effektreserv, optimering, hantering av nätkapacitetsbegränsning och ekonomi.

Begränsningar i kapacitet hos nät och produktion är ett särskilt område för ständig uppmärksamhet och egenskaper hos kundanläggningarna aktualiseras i högsta grad. Vid effektbrist i ett nät som hunnit slå igenom i form av sjunkande framledningstemperatur kommer kundanläggningarna ha svårt att uppnå inställda temperaturer och styrventiler öppna helt med genomspolning som följd vilket i sig förstärker problemet.

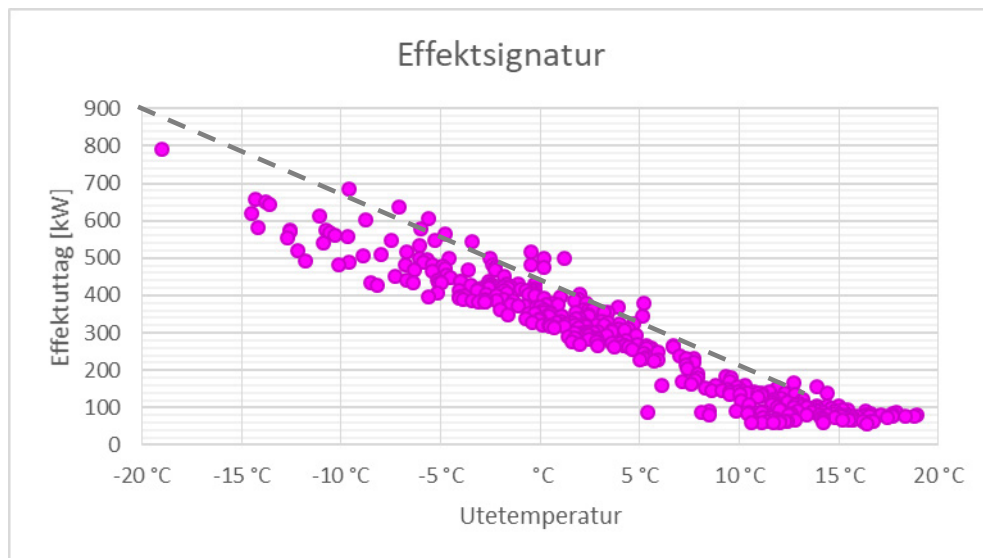
7.1 FJÄRRVÄRMEPRISER OCH INCITAMENT

Om prismodellen innehåller ett inslag av fast avgift relaterad till effekt kan kunder så småningom tänkas försöka begränsa sitt effektuttag, förutsatt att vinsten tillräckligt hög i förhållande till den insats som krävs.

Beroende på utformning kommer prismodellen påverka uttaget under betydligt fler än endast de kallaste timmarna. Så är fallet särskilt med via regression fastställd maxeffekt, eller effektsignatur. Uttaget vid kallt väder hålls nere, enklast genom ökad tröghet i värmeregleringen, vilket inledningsvis även ger påtaglig vinst i komfort.

Med tanke på kostnadsmässiga konsekvenser av mätfel använder många värmebolag dygnsmedeleffekt som grund för effektagiften. Med tanke på sammanlagring kan det vara motiverat att gå ett steg till och bestämma maxeffekt med regression. Det kan dock även leda till att kundens uttag vid varmt väder ökar, exempelvis genom att värmepumpar stoppas, något som i sin tur är produktionsmässigt gynnsamt och via förbättrad utnyttjning något minskar behovet av full täckning av den faktiska effektkostnaden.

Med insikten om att det går att "lura systemet" har dock så kallad tvådelad effektsignatur börjat användas. Detta ökar dock den ekonomiska risken. Med enkel effektsignatur tenderar nämligen maxeffekten överskattas under milda år vilket i viss mån kompenserar den mindre försålda volymen. Tvådelad effektsignatur kan upplevas mer rättvis men det kan vara värt att notera att såväl kundens som värmebolagets ekonomiska risk ökar.



Figur 60 Exempel på tvådelad (dvs regression mot kurva med knä) effektsignatur för en byggnad. Rekommenderad maxeffekt i detta exempel skulle bli 700 kW.

8 Vidare frågeställningar

Då rapporten är allmän och berör många olika tekniska koncept finns det möjligheter att fortsätta utreda både brett och i olika riktningar. Nedan är tre förslag på fortsatt arbete:

8.1 KVANTITATIV JÄMFÖRELSE AV METODER FÖR EFFEKTREDUCERING

Det finns en naturlig fortsättning på denna studie, som lämnades som förslag redan innan rapporten skrevs. Det är att jämföra dessa koncept kvantitativt – att ekonomiskt jämföra olika metoder för effektreducering. Med både en kvalitativ och kvantitativ beskrivning fås en större helhet för varje effektreducerande åtgärd och det blir enklare att använda resultatet som underlag till beslutsfattande.

Ett förslag för vad en sådan studie skulle kunna utgå ifrån ges i kapitel 5 under utvärdering av respektive resultat.

8.2 SAMVERKAN AV FLERA EFFEKTREDUCERANDE ÅTGÄRDER

I de fall där det är aktuellt med flera effektreducerande åtgärder finns det fortfarande mycket att utreda vidare. Både synergier men kanske framförallt de fall där effektreducerande åtgärder konkurrerar om samma utrymme till effektreducering. En intressant ingångsvinkel skulle vara att se på värde och dimensionering av en ackumulatortank i ett nät vars laster blir mer och mer dämpade. Hur många kubikmeter motsvarar laststyrning av 1 GWh värmeunderlag?!

Om prissättningen fortsätter utvecklas på samma sätt som den gjort de senaste 10 åren i Sverige med ökande kostnad för effekt i förhållande till energi kommer eventuellt intresset för dämpning och effektbegränsning hos kunderna öka. Det är därför intressant för energibolagen att följa sina kunders effektuttag och planera större nät- och produktionsåtgärder därefter.

8.3 SWOT-ANALYS AV EFFEKTREDUCERANDE KONCEPT

Fjärrvärmebolagen i Sverige drivs och verkar på olika sätt. En intressant vinkel för en fortsatt studie skulle vara att göra en SWOT-analys ("Strengths", "Weaknesses", "Opportunities" och "Threats") för olika effektreducerande metoder ur ett företagsekonomiskt perspektiv.

Ett förslag på fokus kunde vara implementering och underhåll av koncepten. Koncepten skiljer sig i kostnad och arbete i utredning, projektledning, drift, underhåll/abonnemangskostnader. Beroende på företagsstruktur och erfarenheter kan konceptens lämplighet eventuellt passa olika företag olika bra rent ekonomiskt. Det är möjligt att resultatet visar på att det kan vara försvarbart att välja ett från början "dyrare" alternativ eftersom det passar organisationen väldigt bra vilket är intressant.

9 Litteratur och referenser

- Berenskiöld, D (2018). *Dämpning av utomhusgivare i mindre fastigheter*. Examensarbete, Energispecialist byggnader, KYH Yrkeshögskola, Stockholm.
- Energiföretagen (2017).
<https://www.energiforetagen.se/statistik/fjarrvarmestatistik/tillford-energi/>
- Fredriksson, E (2015). *Effektiviserad avkylning av fjärrvärmevatten*. Examensarbete, Högskoleingenjörsprogrammet i energi- och miljöteknik, Karlstads Universitet
- Granström, J. (2008) Effektivare fjärrvärmearvändning med bättre exergiprestanda i fjärrvärmecentralen, Examensarbete, Högskoleingenjörsprogrammet i Energiteknik, Umeå universitets tekniska högskola
- Gåverud H., Sernhed K. et al (2016) Kundernas uppfattning om förändrade prismodeller, Energiforskrapport 2016:301, ISBN 978-91-7673-301-1
- Larmérus A. (2014) Styrning av värmesystem i kontorsbyggnader, Examensarbete KTH School of Industrial Engineering and Management, Energy Technology EGI-2014-050MSC, Division of Applied Thermodynamics and Refrigeration
- Lindén A. et al (2009) Metoder för att sänka effektbehovet vid fjärrvärme, Fjärrsynrapport 2009:41, ISBN 978-91-7381-056-2
- Lindkvist H., Walletun H. (2004) "Konsekvenser av mindre styrventil i distributionsnät", Rapport 2004:105, ISSN 1402-5191, Svensk Fjärrvärme AB
- Marckert P. (2012) Avancerad reglering av värme till flerbostadshus, Sweco Energuide AB på uppdrag av Högskolan Dalarna för Projekt Energi- och miljökompetenscentrum Rapport 2012:5
- Persson, J.; Vogel, D. (2011) Utnyttjande av byggnaders värmetröghet, Examensarbete Avdelningen för installationsteknik, Lunds tekniska högskola, Rapport TVIT--11/5030
- Rydén B., Sandoff A. et al (2013) Slutrapport för Fjärrsynprojektet: Fjärrvärmens Affärsmodeller, Fjärrsyn rapport 2013:7, ISBN: 978-91-7381-105-7
- Råberger, L. & Walletun, H. (1996). *Effektivisering av konventionella fjärrvärmecentraler: (abonnentcentraler)*. Stockholm: Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Schneider-Electric, Handbok för TAC 2232, http://www.hvacshop.schneider-electric.com/shop/assets/shop_files/2232_handbok.pdf
- Walletun H et al. (2000) *Avkylningen i ett fjärrvärmesystem*. Svenska Fjärrvärmeföreningens Service AB. Art nr: FVF 2000:03. Stockholm: Svensk Fjärrvärme AB
- Walletun, H. (1999). *Effektivisering av fjärrvärmecentraler: metodik, nyckeltal och användning av driftövervakningssystem*. Art. nr: FOU 1999:27
- Walletun H. & Näsholm K. (2004) *Effektivare rundgångar*. Stockholm: Svensk Fjärrvärme AB. Art. nr: FOU 2004:109

Wallin, E. (2011) Utvärdering av Laststyrning av fjärrvärme hos Umeå Energi, Examensarbete Umeå Universitetet, Institutionen för Tillämpad Fysik och Elektronik

Wernstedt, F, Johansson C, Wollerstrand, J (2008). *Sänkning av returtemperaturen genom laststyrning*. Fjärrsynrapport 2008:2, ISBN 978-91-7381-007-4, Svensk Fjärrvärme

Wernstedt, F.; Johansson C. (2009) Demonstrationsprojekt inom effekt och laststyrning, Fjärrsynrapport 2009:26, ISBN 978-91-7381-041-8

Zinko H., Selinder P. (2005) "Reducering av anslutningseffekten med hjälp av VV-prioritering", Rapport 2005:141, ISSN 1401-9264, Svensk Fjärrvärme AB

JÄMFÖRELSE AV EFFEKTREDUCE- RINGSÅTGÄRDER I FJÄRRVÄRMENÄT

Vad ligger bakom att nät och anläggningar för värme måste göras mer än tre gånger så stora som vad som utnyttjas i genomsnitt? Och går det att göra något åt det?

Effektrelaterad kapacitetsbrist är en återkommande fråga för fjärrvärmebolag. Ett alternativ till att bygga ut kapaciteten i nät och produktionsanläggningar kan då vara att genomföra åtgärder som reducerar kritiska effekt- och flödesuttag i systemet. Här har fem effektreducerande åtgärder applicerade på fem olika objekt undersökts.

Flera kända metoder att minska effekten finns redan: Ackumulering har gjorts i alla tider och redan med magasin som rymmer bråkdelen av den samlade dygnsvolymen av verksamhetsrelaterat uttag har bidraget till effekt från detta kunnat jämnas ut helt.

Också själva byggnaden kan fungera som värmemagasin och här redovisas den byggnadsfysik som avgör hur det fungerar. En så enkel sak som dämpning i värmestyrningen reducerar maxeffekten samtidigt som komforten ökar.

Fem aktörer i fyra olika nät prövar nu var sin metod för att reducera effektbehovet påtagligt, exakt hur mycket beror på i vilken omfattning koncepten tillämpas.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin.