

NÄSTA GENERATIONS FJÄRRVÄRME



RAPPORT 2013:1



Framledningstemperatur och rundgångsflöden
värmepumpar i samtliga områdets fastigheter.

Figur 41 redovisas temperaturen i fjärr
med antagandet att anslutna fastigheter
beredning och temperaturstyrda rund
ngstemperaturen. Trots ett visst rundg
emperaturen sjunker över 20°C innan fjärr
rådets ändrar. Man kan konstatera att d
en i detta område. Det beror dock från
nög nivå ända fram till Rud. Bostadso
nenätet kan behöva betydligt högre ru
ärdena i byggnadernas klimatskal red
% (se

NÄSTA GENERATIONS FJÄRRVÄRME

ULRIKA OTTOSSON

JANUSZ WOLLERSTRAND PATRICK LAUENBURG

HEIMO ZINKO MAREK BRAND

ISBN 978-91-7381-099-9

© 2012 Svensk Fjärrvärme AB

FÖRORD

Villkoren för fjärrvärme förändras när bostäder och lokaler kräver mindre energi eller tidvis till och med ger överskott av energi. Det här projektet har granskat konsekvenserna för fjärrvärmens teknik, ekonomi och miljö för att ge en vägledning om följderna, i några olika tänkbara situationer. Här analyseras konsekvenser med olika systemlösningar, vilket ger en bild av hur fjärrvärmesystemet påverkas. Rapporten ger dock inte alla svar om hur nästa generations fjärrvärme kommer att se ut, men visar på att förutsättningarna för fjärrvärme i framtiden är svåröverskådliga och utmanande.

Projektledare har varit Ulrika Ottosson på FVB i Nyköping som har genomfört projektet tillsammans med Janusz Wollerstrand och Patrik Lauenburg från Lunds tekniska högskola, Heimo Zinko från FVB Sverige och Marek Brand från Danmarks Tekniske Universitet DTU.

Till projektet har en referensgrupp varit knuten som har bidragit med kunskap och erfarenheter från branschen. Referensgruppen har bestått av Bo Johansson från Karlshamns Energi (ordf.), Gunnar Nilsson från Göteborgs Energi, Kjell Andersson från Mälarenergi, Harald Andersson från E.ON och Anders Björböle från Karlstads Bostads AB.

Projektet ingår i forsknings- och kunskapsprogrammet Fjärrsyn som finansieras gemensamt av Energimyndigheten och fjärrvärmebranschen. Fjärrsyn ska stärka möjligheterna för fjärrvärme och fjärrkyla genom ökad kunskap om fjärrvärmens roll i klimatarbetet och för det hållbara samhället genom att bana väg för affärsmässiga lösningar och framtida teknik.

Bo Johansson
Ordförande i Svensk Fjärrvärmes tekniskråd

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Fjärrsyns styrelse eller Svensk Fjärrvärme har tagit ställning till innehållet.

SAMMANFATTNING

Nya systemlösningar för fjärrvärme förväntas bli aktuella inom en snar framtid. EU:s program för energieffektivisering av byggnader kommer leda till att nybyggda hus kommer att utmärkas av låg energiförbrukning och husen kommer generellt ha lägre systemtemperaturer än dagens byggnader. I fjärrvärmenätet kommer dessa nya hus att blandas med existerande, men välisolerade byggnader, delvis försedda med andra former av energisparåtgärder som t.ex. olika typer av frånluftsvärmeåtervinning. I detta projekt har simuleringar gjorts på byggnader och fjärrvärmenät med hjälp av bl.a. programvarorna IDA ICE, VIP-Energy och NetSim, för att analysera vilka konsekvenser sänkta systemtemperaturer och en sänkt värmeenergiförbrukning får för fjärrvärmecentraler och distributionsnät. Nyttan med adaptiv reglering i befintliga respektive nya byggnader har utvärderats och fältförsök i två sekundäranslutna bostadsområdet har genomförts med syftet att sänka returtemperaturen i nätet genom att justera utgående framledningstemperatur.

Olika val av värmesystem (radiator, golvvärme resp. luftburen värme) har simulerats för att analysera vilken typ av internt uppvärmningssystem som är gynnsammast ur fjärrvärmesynpunkt. Resultaten visar ingen tydlig riktning på vilket system som är bäst lämpat för lågenergihus i fjärrvärmenät, men alla de studerade systemet har potential för att ge låga returtemperaturer. Beräkningarna demonstrerade bl.a. att det finns en lönsamhet för större radiatorer, med lägre returtemperatur. Vidare blir inverkan av värmetillskott från sol, människor och elapparater så pass betydande i lågenergihus att man kan ifrågasätta om en framledningstemperatur för värmesystemet baserad på utomhustemperatur är berättigad. Istället antogs en fast framledningstemperatur (55°C), där radiatorernas termostatventiler justerade flödet. Låga flöden genom radiatorernas termostatventiler kan komma att orsaka on/off-reglering. Även golvvärmesystem kan uppvisa motsvarande lastmönster. För det större systemet kommer dock sammanlagringseffekten att jämna ut dessa variationer. De flödesmätare som finns på marknaden idag verkar också vara tämligen väl förberedda för att registrera även de mycket låga flöden som kan uppstå. För uppvärmningssystemet med lägst radiatorflöde hamnade endast 1,4 % av fjärrvärmefflödet under mätarens s.k. cut-off-gräns.

FTX-system med eftervärmare samt frånluftsvärmepumpar med olika inkopplingsprinciper har studerats, dels inom byggnaden och dels utifrån ett större systemperspektiv. Andelen värme som tillfördes luften via FTX-aggregatens eftervärmare visade sig vara en relativt liten del av den totala värmelasten. Ur ekonomisk synvinkel kan man därför ifrågasätta lönsamheten i att ansluta dessa eftervärmare till fjärrvärme istället för el, även om det är önskvärt ur andra perspektiv. Ett alternativ är att inte installera eftervärmare alls; något som provas i bl.a. Västerås. För detta krävs roterande luftvärmeväxlare. Till skillnad från en motströmsvärmeväxlare krävs inga bypassflöden (vilket även ger högre totalverkningsgrad), men man bör vara observant på eventuella problem i samband med fuktåterföring.

För byggnader i fjärrvärmenät är FTX, sett ur ett samhällsperspektiv, att föredra framför frånluftsvärmepump. Detta gäller både vid nyproduktion och vid renovering/energieffektivisering. Såväl primärenergianvändning som CO₂ emissioner blir lägre när FTX väljs istället för frånluftsvärmepump. Ekonomiskt kan FTX-systemet också vara ett fördelaktigt alternativ, men kalkylen beror i stor utsträckning på byggnadens förutsättningar, elprishöjningar (gynnar FTX) och effektiv ränta (högre ränta gynnar frånluftsvärmepump). Även en årstidsdifferentierad fjärrvärmesatser ger en fördelaktigare ekonomi för FTX. En frånluftsvärmepump, kopplad till värmesystemet enbart, kan vara en acceptabel kompromiss för fastigheter där FTX inte är genomförbart av ekonomiska eller tekniska skäl. Installations- och underhållskostnad blir lägre än för ett system med frånluftsvärmepump även för varmvattenkretsen och för fjärrvärmedriften blir inverkan nästan som för en byggnad med FTX. Ur primärenergi- och CO₂-synpunkt är dock FTX klart att föredra framför värmepump, oavsett inkopplingsprincip.

Inkoppling av plushus på nätet, som levererar mer solvärme än sin totala årsvärmeförbrukning, kan visa sig vara en kostsam och tekniskt riskabel affär för fjärrvärmebolaget. En sådan installation kräver avsevärt grövre servisledning är vad husets uppvärmning erfordrar, vilket ger högre installationskostnader och värmeförluster (ca 30 % högre i simuleringsfallet). Man kan även få problem med att hålla tillräcklig hög framledningstemperatur till huset. Frågan om vad som händer dynamiskt i nätet vid dessa intermittenta värmeleveranser är inte heller tillräckligt utredd.

Framtiden för fjärrvärme ligger i en gradvis övergång till välisolerade lågtemperaturnät, vilket kommer att resultera i lägre värmeförluster och, med tiden, ge bättre förutsättningar för kraftvärmeproduktion. Lägre temperaturer kommer också att öppna upp för en ökad användning av spillvärme. Värmedrivna vitvaror kommer att ha en liten, men viktig, roll att spela när energins ursprung tas med i beaktande.

För implementeringen av erfarenheter i denna studie, och andra, ska bli framgångsrik, är det avgörande att ett samarbete upprättas mellan kommuner, lokala fastighetsägare och fjärrvärmebolag och att diskussioner kommer igång redan i ett tidigt skede av projekten.

SUMMARY

In the imminent future, district heating is projected to find new system approaches. The 20-20-20 EU policy¹ will ensure that new buildings consume significantly less energy than before. The heat systems of those buildings are also likely to keep lower temperatures than buildings of today. These buildings will, in the district heating net, be mixed with existing, retrofitted, buildings; some with various forms of exhaust air recuperation².

Simulations have been carried out in software like IDA ICE, VIP-Energy and Net-Sim, in order to evaluate the consequences on buildings and district heating nets of lower system temperatures and decreased heat demand. An evaluation of the potential for adaptive control in existing as well as in new buildings has been carried out and two field studies in residential areas, connected indirectly to the net, has been performed, where the aim has been to lower the return temperature by adjusting the supply temperature.

Simulation of three different types of internal heating systems (radiator, floor heating and air heating) failed to give a definite conclusion as to which system would be most suitable for district heating, but all studied systems show a potential for low return temperatures. Profitability for increased radiator areas, with lower return temperatures as result, was demonstrated³. An important lesson is that internal gains from residents, appliances and solar irradiation will become increasingly significant in low energy houses. So much so that adjusting the supply temperature according to outdoor temperature will no longer be needed. Heat distribution can be adjusted through thermostatic valves on the radiators. Low flow rates through the valves might, however, lead to on/off regulation. This might also be found in under floor heating. In the overall system, there will be an accumulative effect which will smoothen out these variations, though. Flow meters available on the market today seem to be well adapted to register even the very low flows that might occur. In the worst case scenario, only 1.4% of the total flow volume was below the cut-off limit for the meter.

Different exhaust air recuperation systems⁴ have been studied, both at the building level and from a larger systems perspective. For a single family dwelling, the ratio of heat supplied to the ventilation air, after the recuperative unit was relatively low, compared to the total heating demand. From an economic viewpoint this means that there is low profitability (if any) in connecting these air heaters to district heating⁵, although it would be desirable from other perspectives. Using no air heater after the

¹ 20% total energy reduction by the year 2020. By 31 December 2020, all new buildings shall be nearly zero-energy consumption buildings.

² Including exhaust air heat pumps, which are especially popular in countries like Sweden, where the price of electricity is still on a relatively low level.

³ Provided a district heating fare that takes flow volume into consideration.

⁴ Including exhaust air heat pumps.

⁵ The alternative being electric heating.

recuperative unit could be a solution. This is being tried out in Västerås, for example. This would require a rotating heat exchanger as a cross flow heat exchanger would require by-pass flows to prevent build-up of ice.

For buildings where district heating is available, using heat exchangers to recover heat from exhaust air, both for new developments and for retrofittings, will leave a smaller carbon footprint than heat pumps. Exhaust air heat exchangers will also be the financially sound choice, provided that the building is easily adapted to the system and that the price of electricity is high compared to the district heating fare. A low effective interest rate will also promote the exhaust air heat exchanger. If it is difficult to convert an existing building to an exhaust air heat exchanger system, it is better to either refrain from exhaust air recuperation or to connect the exhaust air heat pump exclusively to the space heating system. Both installation and maintenance costs will be lower than for a system where also the domestic hot water is included and the impact on the district heating system will be similar to the impact from an exhaust air heat exchanger system. However, the carbon footprint will be smaller without exhaust air heat pumps, provided a low carbon district heat production.

Connecting so called "plus houses", where houses supply more solar heat to the grid than their annual consumption, can prove to be costly and technically hazardous for the district heating company. The installation would require considerably larger pipes than is motivated by the heat demand of the building, which would lead to higher installation costs and greater heat losses (about 30% in the simulated case). There are also issues regarding thermal cycling and maintaining adequate supply temperature to the connected buildings.

The future for district heating lies in a transition towards well insulated, low temperature nets; which will result in lower heat losses and, in time, better conditions for CHP production. Lower temperatures will also open up for an increased use of surplus energy. Heat driven appliances will have a small, but important role to play when attention is paid to the origin of the energy used.

For the implementation of lessons learned in this and other studies to be successful, it is vital that a collaboration between municipalities, local real estate owners and district heating companies is established and that discussions start at an early phase of a project.

INNEHÅLL

1	INLEDNING	13
1.1	BAKGRUND	13
1.2	NÄSTA GENERATIONS FJÄRRVÄRME	15
1.3	SYFTE	15
1.3.1	Frågeställningar	16
2	MINSKAT UPPVÄRMNINGSBEHOV I NYA OCH RENOVERADE BYGGNADER	17
2.1	VAD ÄR LÅGENERGIBYGGNADER?	17
2.1.1	Nollenergihus	18
2.1.2	Passivhus	18
2.1.3	Minienergihus	19
2.1.4	Nära-nollenergibyggnader	20
2.1.5	Plushus	21
2.2	INKOPPLING AV SOLVÄRME I FJÄRRVÄRMENÄTET	21
3	DAGENS SITUATION, LÅGENERGIBYGGNADER OCH DESS ENERGIANVÄNDNING	22
3.1	ÖVERENSSTÄMMELSE PROJEKTERAD OCH UPPMÄTT ENERGIPRESTANDA	22
3.2	ANDRA STUDIER AV ENERGIPRESTANDA I LÅGENERGIBYGGNADER	24
4	KONSEKVENSER AV FÖRÄNDRADE VÄRMELASTER	25
4.1	UTVÄRDERINGAR OCH ERFARENHETER AV LÅGENERGIBYGGNADER	25
4.1.1	Konflikt mellan lågenergibebyggelse och fjärrvärme?	25
4.1.2	Problemställningar i lågenergibyggnader med relevans för fjärrvärmesystemet	25
4.2	FJÄRRVÄRMEANSLUTNA LÅGENERGIBYGGNADER	32
4.2.1	Lägenhetsfjärrvärmecentraler	34
4.2.2	Legionella	35
4.2.3	Avslutande reflexioner	38
4.3	SIMULERINGSSTUDIE AV INVERKAN PÅ FJÄRRVÄRMESYSTEMET AV OLIKA VÄRMESYSTEM I LÅGENERGIBYGGNADER	38
4.3.1	Inverkan av värmetillskott	39
4.3.2	Radiatorer	40

4.3.3	Golvvärme	46
4.3.4	Luftvärme	47
4.3.5	Sammanfattning	48
4.4	INVERKAN AV SMÅ VATTENFLÖDEN	49
4.4.1	Reglering av små vattenflöden	49
4.4.2	Inverkan på energimätning	51
4.5	SLUTSATSER	52
5	HUR PÅVERKAS FJÄRRVÄRMENÄTET?	54
5.1	SIMULERING AV NÄTVERK	54
5.2	FJÄRRVÄRMEPRODUKTION	55
5.3	SIMULERADE BYGGNADER	55
5.3.1	Renovering av miljonprogrammet	56
5.3.2	Enfamiljshus	59
5.3.3	Flerbostadshus	63
5.3.4	Befintlig bebyggelse	68
5.4	SIMULERING AV TAPPVARMVATTENLAST	68
5.5	FJÄRRVÄRMEVÄRMDA VITVAROR	70
5.5.1	Varför nya värmelaster?	70
5.5.2	Värmedrivna vitvaror	71
5.5.3	Lastmodellering av apparater för simulering	74
5.6	FJÄRRVÄRMEKULVERT	77
5.6.1	Enkelrör	77
5.6.2	Twinrör	78
5.6.3	Andra systemlösningar	78
5.7	SIMULERADE OMRÅDEN	79
5.7.1	Energieffektivisering av ett miljonprogramsområde	79
5.7.2	Förtätning med passivhus, plushus och lågenergihus	84
5.7.3	Nytt småhusområde	87
5.7.4	Nytt flerfamiljshusområde	93
5.8	SLUTSATSER	98
5.8.1	Miljonprogrammet	98
5.8.2	Förtätning av stadskärnan	98
5.8.3	Plushus	99
5.8.4	Nybyggnation	99

6	SYSTEMKOSTNADER OCH KLIMATANALYS	101
6.1	ENERGIEFFEKTIV RENOVERING AV FLERBOSTADSHUS I MILJONPROGRAMOMRÅDEN	101
6.1.1	Miljöpåverkan miljonprogramsområde	101
6.1.2	Systemkostnader -miljonprogramhus	106
6.2	ANSLUTNING AV ETT OMRÅDE MED NYBYGGDA SMÅHUS TILL FJÄRRVÄRMENÄT	109
6.2.1	Miljöpåverkan -småhusområde	109
6.2.2	Systemkostnader - Småhusområde	112
6.2.3	Konsekvenser av förändringar i fjärrvärmesystem	116
6.3	SLUTSATSER	121
6.3.1	Småhus	121
6.3.2	FTX eller värmepump?	122
6.3.3	Förändrade förutsättningar i hela nätet	122
6.3.4	Miljövärdering av avfallsförbränning	123
7	FÄLTSTUDIE AV TEMPERATUROPTIMERING I SEKUNDÄRNÄT	124
7.1	INLEDNING	124
7.2	BAKGRUND OCH SYFTE	125
7.3	GENOMFÖRANDE	127
7.4	RESULTAT	128
7.5	LASTVARIATIONER OCH AVKYLNING I VILLACENTRALER	135
7.6	SLUTSATSER	139
8	SIMULERING ADAPTIV REGLERING I LÅG- TEMPERATURSYSTEM	140
8.1	TIDIGARE ARBETE	140
8.2	SIMULERINGAR FÖR ATT STUDERA INVERKAN AV FJÄRRVÄRMENÄTETS FRAMLEDNINGSTEMPERATUR	141
8.3	SLUTSATSER	147
8.3.1	Nya förutsättningar	148
9	SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION	149
9.1	LÄGRE SYSTEMTEMPERATURER – LÄGRE FÖRLUSTER	149
9.2	FJÄRRVÄRME I SAMARBETE FÖR HÅLLBAR UTVECKLING	149

9.3	FJÄRRVÄRME FÖR ALLA?	150
9.4	PLUS HUS OCH SOLVÄRME	151
9.5	REKOMMENDATIONER TILL FJÄRRVÄRMEBRANSCHEN	152
9.5.1	Systemtemperaturer	152
9.5.2	Installation av kulvert	153
9.5.3	Fjärrvärmetaxa	154
9.6	REKOMMENDATIONER VID RENOVERING/ ENERGIEFFEKTIVISERING AV BEFINTLIGA BYGGNADER ANSLUTNA TILL FJÄRRVÄRME	154
9.7	REKOMMENDATIONER FÖR NYA BYGGNADER DÄR ANSLUTNING TILL FJÄRRVÄRME ÖNSKAS	155
9.8	UPPMANINGAR TILL KOMMUNALA ELLER STATLIGA BESLUTFATTARE	156
9.9	BEHOV AV TEKNIKUTVECKLING	157
10	BEHOV AV FORTSATTA STUDIER	158
10.1	DYNAMISK SIMULERING AV OMRÅDEN MED HÖG ANDEL DECENTRALISERAD SOLFJÄRRVÄRME	158
10.2	VILKA TYPER AV PRODUKTION/ PRODUKTIONSMIX ÄR BÄST ANPASSADE TILL KOMMANDE LASTBEHOV OCH KUNDKRAV?	158
10.3	INVERKAN AV ON/OFF REGLERING AV RADIATORER I LÅGENERGIHUS	159
10.4	DRIFTSERFARENHETER FRÅN OLIKA FTX-LÖSNINGAR	159
10.5	UTÖKNING AV SOMMARSÄSONGENS VÄRMEBEHOV	159
11	REFERENSER	161
Bilaga 1		168

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

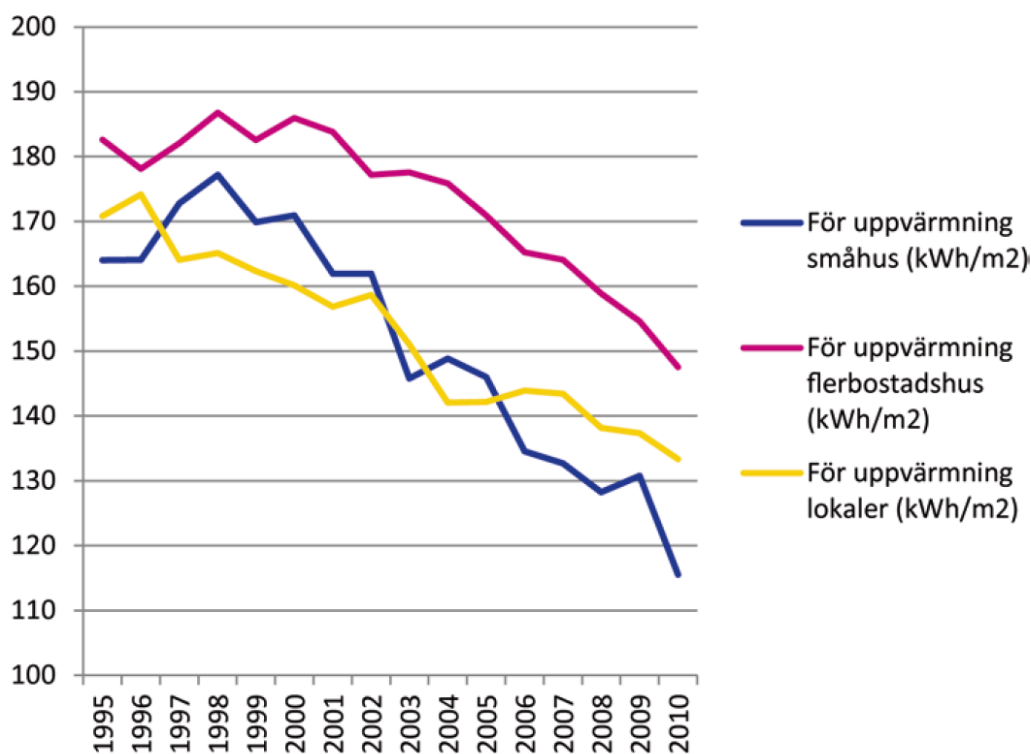
Vi märker i dag en rad trender i allmänhetens inställning till miljösituationen, vilket allt som allt innebär att vi kan förvänta oss ett paradigmskifte i energianvändningen. Energi kommer inte längre användas enbart till lägsta möjliga kostnad, utan folk kommer att ställa allt högre krav på miljöpåverkan, uthållighet och konsekvenser för tredje part.

Följden av detta förväntas bli att vi i industriländerna de närmaste åren kommer att se en energianvändning som avviker från gängse mönster. För fastighetsuppvärmning kan man i första hand räkna med en långtgående effektivisering av energianvändningen samt, i viss mån, egenproduktion av värme i bostäder och övriga lokaler med hjälp av solfångare, värmepumpar och på sikt även andra typer av husnära värmesystem, t.ex. bränsleceller eller annan teknikutveckling. Husen blir inte bara energisnålare utan vissa hustyper blir även energiexportörer, s.k. plushus. Energieffektivisering och egen värmeproduktion kommer inte nödvändigtvis alltid innebära lägsta kostnadsalternativet för användaren, men kommer istället att ge en viss känsla av oberoende och valfrihet. För många fastighetsägare, inte minst privatpersoner och inom offentlig verksamhet, kommer även miljöaspekten väga tungt i val av energilösning.

För fjärrvärmens öppnar sig därmed nya perspektiv, nämligen genom att ställa sig på kundernas sida och erbjuda dem dels flexibla och miljöriktiga värmelösningar, dels nya tjänster. Framför allt kommer detta även att ställa nya krav på utformning och drift av fjärrvärmedistributionen, som i viss mån kan bli dubbelriktad med allt vad det innebär i nya system-, regler- och dimensioneringsmodeller.

Nya byggnader idag och i framtiden kommer att ha betydligt lägre systemtemperaturer för uppvärmning än gamla befintliga byggnader med exempelvis 80/60-system. Detta, kombinerat med en sänkt energiprofil i befintliga byggnader, kommer på sikt att öppna upp möjligheter för fjärrvärmebolag att sänka sina framledningstemperaturer, med minskade värmeförluster och ökat elutbyte i kraftvärmeverk som följd.

Figur 1 visar normalårskorrigerade energiförbrukningen för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler 1995-2010. Av diagrammet framgår att energianvändningen minskat med 15-20% på 15 år. Dock bör beaktas att upptagen "gratis" energi från värmepumpar inte inkluderas i den statistik över energianvändning som redovisas, vilket innebär att installation av värmepumpar har bidragit till minskningen som redovisas nedan.



Figur 1 Temperaturkorrigerad energianvändning för uppvärmning och varmvatten i bostäder och lokaler, kWh/m², 1995–2010. (Energiindikatorer, 2012)

Det är angeläget att redan nu identifiera hur förutsättningarna för fjärrvärmedistribution kan komma att förändras samt finna tekniska lösningar för att möta dessa förändringar, på nät- såväl som på kundnivå.

En relevant aspekt i det sammanhanget är att minskat energibehov påverkar utformning och dimensionering av komponenter i fjärrvärmecentralerna. Dagens komponenter som centralerna byggs av är framtagna för gamla driftsförhållanden och andra kapacitetsförhållanden mellan värmetillförsel för tappvarmvatten och uppvärmningsbehov än vad som kommer att gälla inom snar framtid. Det förefaller troligt att vissa komponentstorlekar saknas och att fjärrvärmecentralernas reglertekniska egenskaper inte är provade vid så låga laster som de minskade uppvärmningsbehoven innebär. Man har tidigare inte heller tagit hänsyn till värmeförluster från fjärrvärmecentralerna eftersom dessa ansetts komma byggnaden tillgodo och vara små i förhållande till överförd värmelast. Detta resonemang håller dock inte när det gäller lågenergihus, nära nollenergi (NNE)-hus och andra energisnåla byggnader. Då många nya, energisnåla hus helt kommer att sakna konventionella värmesystem ställer detta krav på ny utformning av fjärrvärmecentraler. Istället för radiatorsystem kan det bli aktuellt att ansluta badrumsgolv, handdukstorkar, vitvaror och trivselvärme (strålningsradiator). Dessutom ska solfångare kombineras med tappvarmvattensystemet.

1.2 Nästa generations fjärrvärme

Fjärrvärmen i Sverige började byggas under slutet på 40-talet/början av 50-talet, men tog inte riktigt fart förrän på 70-talet i samband med oljekriserna. Produktionen av fjärrvärme har genom åren anpassats efter förutsättningarna; när elen var billig producerades värme i elpannor, i samband med deponiförbudets införande i Sverige ökade antalet avfallsförbränningsanläggningar, där allt effektivare reningsutrustning har tagits i drift för att minska miljöpåverkan. Produktionen har med tiden alltmer övergått till miljövänliga bränslen, kraftvärmeproduktion och tillvaratagande av spillvärme.

Distributionen av fjärrvärme fungerar dock till största delen på samma sätt som den gjort sedan fjärrvärmen började byggas upp i landet. Tubvärmeväxlare har ersatts med plattvärmeväxlare och, i många fall, prefabricerade fjärrvärmecentraler, men temperatur- och trycknivåer i nätet är i stort sett oförändrade. Vi ser att fastighetsbeståndet i Sverige är på väg in i en förändring, där energieffektiviseringen tas till en högre nivå, delvis pådrivet av stigande energipriser, men även på grund av EU-direktiv och svensk lagstiftning. Om fjärrvärmen ska kunna konkurrera med lokala energilösningar måste tekniken kraftigt modifieras jämfört med tidigare.

Utmärkande för Nästa generations fjärrvärme kommer att vara:

- Lägre energiförbrukning i byggnader jämfört med tidigare
- Låga temperaturnivåer (ner mot 60°C, eller lägre⁶) i fjärrvärmenäten
- Flexibel tillförsel av värme till fjärrvärmenätet, med eller utan TPA

1.3 Syfte

Syftet med arbetet har varit att utforska vilka framtida krav som kommer att ställas på drift av fjärrvärmesystem p.g.a. förändrade driftförutsättningarna i form av energieffektivisering, nyexploatering med lågenergibebyggelse och kunder som levererar värme tillbaka på nätet, bl.a. i form av decentraliserad solenergi.

Vi kommer att belysa vilka tekniska och ekonomiska konsekvenser detta kommer att medföra för fjärrvärmeleverantören respektive för kunden och eventuell tredje part. Förutsättningarna för fjärrvärmebolagets driftsekonomi kommer att förändras, p.g.a. sjunkande värmeunderlag. Hur fjärrvärmelasten kommer att förändras och hur kommer det att påverka produktions- och distributionskostnader behandlas i rapporten och även vilka potentialer det finns för att möta denna utmaning.

Bl.a. visas på vikten av lämpliga interna värmesystem i byggnaderna. En jämförelse mellan olika typer av frånluftsvärmeåtervinning (FTX och frånluftsvärmepump) görs, men även mellan olika typer av interna värmedistributionssystem (golvvärme, radiatorvärme resp. FTX kombinerad med eftervärme).

Vikten av låga systemtemperaturer i nätet och verktyg för att sänka såväl framlednings- som returtemperatur demonstreras, dels i ett fältförsök i Lund, dels genom

⁶ Under förutsättning att låg Legionella-nivå ändå kan hållas, se 4.2.2 Legionella.

en simulering av adaptiv reglering av byggnaders interna värmesystem. Sekundära anslutningar till fjärrvärmenätet, med låga systemtemperaturer studeras också.

1.3.1 Frågeställningar

- Hur påverkar återvinning av frånluftsvärme i fjärrvärmeanslutna byggnader nätdriften samt ekonomi och miljö ur ett systemperspektiv? Vad blir skillnaden beroende på typ av återvinning: FTX eller frånluftsvärmepump, inkopplad på endast radiatorkrets eller på både radiator- och varmvattenkretsen?
- Hur kan man ansluta nya lågenergiområden till befintligt fjärrvärmenät på ett hållbart vis, med god ekonomi för kund och leverantör?
- Vilka tekniska utmaningar kan man förvänta sig när kunden tillåts leverera fjärrvärme till nätet? Hur kan man förebygga eller hantera dessa problem?

2 MINSKAT UPPVÄRMNINGS-BEHÖV I NYA OCH RENOVERADE BYGGNADER

I detta avsnitt redogörs för gällande, och föreslagna kommande, lagar och byggregler samt för de definitioner av olika former av lågenergibyggnader som förekommer.

2.1 Vad är lågenergibyggnader?

Lågenergihus är ett samlingsbegrepp som vanligen används för olika typer av byggnader som använder avsevärt mindre energi än rådande byggnorm (Axnell, 2010).

Energianvändningen i nya byggnader regleras i Boverkets byggregler (BBR 18, BBR 2012). Från och med 1 januari 2012 skärptes kraven till att maximalt uppgå till värdena i Tabell 1 för bostäder som har annan uppvärmning än elvärme.

Tabell 1

	Icke elvärmda			Elvärmda		
Klimatzon	I	II	III	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning (kWh per m ² A _{temp} och år)	130	110	90	95	75	55



Figur 2 Indelning av klimatzoner i BBR12 (Rockwool, 2012) Till klimatzon I hör Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län, till klimatzon II hör Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län och till klimatzon III hör Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län.

Boverket definierar byggnadens energianvändning som ”den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi”. Hushållsenergi räknas inte in.

Forum för energieffektiva byggnader (FEBY) tog tidigare fram kravspecifikationer för passivhus, minienergihus och nollenergihus. Ansvaret för detta har nu övertagits av Sveriges centrum för nollenergihus. Den senaste versionen av specifikationerna heter FEBY 12 (Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus) och är en revidering av den tidigare versionen FEBY 09.

2.1.1 Nollenergihus

Den strängaste kravnivån kallas för nollenergihus och har, förutom kraven som gäller för passivhus, ett krav på att summan av levererad viktad energi till byggnaden inte får överstiga summan levererad viktad energi från byggnaden under ett år. För viktningen av energi används en energiformsfaktor. Faktorererna överensstämmer med vad som kommer att gälla i danska byggregler år 2015. Den viktade energin beräknas som:

$$E_{viktad} = 2,5 \cdot (E_{el\ till} - E_{el\ från}) + (E_{\ddot{o}\ till} - E_{\ddot{o}\ från}) + 0,8 \cdot (E_{fjv\ till} - E_{fjv\ från}) + 0,4 \cdot (E_{kyla\ till} - E_{kyla\ från}) \leq 0 \text{ [kWh}_{viktad}/\text{m}^2 A_{temp}, \text{år}], \text{där}$$

E_{fjv}	fjärrvärme
E_{kyla}	levererad fjärrkyla
$E_{\ddot{o}}$	levererad övrig energi (biobränsle, naturgas etc.)
-till, -från	energi levererad till, respektive från, byggnaden

2.1.2 Passivhus

Passivhus ska uppfylla både krav för byggnadens värmeförlust och årsenergianvändning. Tidigare användes schablonvärden för antagande om intern värmeförlust från elapparater mm men i FEBY 12 har istället ett värmeförlusttal införts. Vid dimensionerande utetemperatur beräknas detta som summan av värmeförlusterna via transmission, ventilation och infiltration:

$$VFT_{DVUT} = \frac{H_T (21 - DVUT)}{A_{temp}} \text{ [W/m}^2 A_{temp}]$$

H_T är byggnadens värmeförlustkoefficient [W/K] och beräknas enligt EN ISO 13789:2008 och DVUT är den dimensionerande vinterutetemperaturen för aktuell byggnad och ort och väljs som 12-dygnsvärdet. Kravet på maximalt VFT_{DVUT} återges i Tabell 2.

Tabell 2

Klimatzon	I	II	III
Max VFT_{DVUT} [$W/m^2 A_{temp}$]	17	16	15

För byggnader mindre än 400 m² görs ett tillägg på 2 W/m² A_{temp} för att kompensera för högre formfaktor (förhållandet mellan en byggnads bottenarea och omslutande area, vilken kan skilja sig avsevärt mellan olika byggnader, främst beroende på antal våningar).

Ett alternativt tillvägagångssätt är att beräkna det maximala värdet enligt:

$$VFT_{DVUT} \leq 7,7 + 0,233 \cdot 21 - DVUT$$

För årsenergin i icke elvärmade byggnader gäller den maximala specifika energianvändning som återges i Tabell 3.

Tabell 3

	Icke elvärmade			Elvärmade		
Klimatzon	I	II	III	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning (kWh per m ² A _{temp} och år)	58	54	50	29	27	25

För blandade system tillämpas viktningsfaktorer, 2,5 för el, 0,8 för fjärrvärme, 0,4 för fjärrkyla och 1 för övriga. Den totala viktade energin anges i Tabell 4.

Tabell 4

Klimatzon	I	II	III
Max E _{viktad} (kWh per m ² A _{temp} och år)	73	68	63

2.1.3 Minienergihus

Förutom ovanstående regler och rekommendationer tillämpar många kommuner och byggföretag egna, hårdare krav än de Boverket ställer. Stockholm stad har exempelvis beslutat om passivhusnivå för nybyggnationer (VVS-forum Nr 1, 2011), Göteborg stad och Västerås tillämpar 60 kWh/(m² år) i flerbostadshus och flera kommuner har krav mellan 70-85 kWh/(m² år) – t ex Växjö, Malmö, Jönköping och Linköping. Bland byggföretagen har exempelvis JM, NCC och Skanska krav på maximalt 75 kWh/(m² år).

2.1.4 Nära-nollenergibyggnader

Enligt Europeiska rådets direktiv om byggnaders energiprestanda (2010/31/EU) ska medlemsstaterna se till att

1. alla nya byggnader senast den 31 december 2020 är nära-nollenergibyggnader, och
2. nya byggnader som används och ägs av offentliga myndigheter är nära-nollenergibyggnader efter den 31 december 2018.

Begreppet nära-nollenergibyggnad definieras som: ”en byggnad som har mycket hög energiprestanda, som bestäms i enlighet med bilaga I. Nära nollmängden eller den mycket låga mängden energi som krävs bör i mycket hög grad tillföras i form av energi från förnybara energikällor, inklusive energi från förnybara energikällor som produceras på plats, eller i närheten” (ibid.). I bilaga I finns ”en allmän ram för beräkning av byggnaders energiprestanda”, bland annat anges att en byggnads energiprestanda ”ska inkludera [...] en numerisk indikator för primärenergianvändning, grundad på primärenergifaktorer per energibärare”.

Medlemsstaterna ska upprätta nationella planer för att öka antalet nära-nollenergibyggnader och regelbundet rapportera om sådana planer till kommissionen.

Det har under en tid (parallellt med författandet av denna rapport) pågått en livlig debatt kring utformandet av reglerna för nära-nollenergibyggnader. Med utgångspunkt i Boverkets och Energimyndighetens utredningar (N2010/1474/E respektive ER 2010:39) togs en promemoria (Omarbetat direktiv om byggnaders energiprestanda, 2012) fram av regeringen som gick ut på remiss under januari 2012. Efter remissrunda utkom så den 29 mars 2012 regeringens skrivelse ”Vägen till nära-nollenergibyggnader” (Näringsdepartementet, 2012) med en handlingsplan som redovisar bedömningar av hur antalet nära-nollenergibyggnader ska öka. Regeringen konstaterar att det ”inte finns i tillräckligt underlag för att ange en kvantifierad riktlinje för hur långtgående skärpning som skulle kunna bli aktuellt”, även om det sägs att kraven för nära-nollenergibyggnader bör skärpas framöver. Detta ska bedömas bland annat baserat på utvärderingar av befintliga lågenergibyggnader, demonstrationsprojekt och ekonomiska analyser. År 2015 utförs en kontrollstation för detta. Inget konkret sägs i skrivelsen om primärenergiaspekter på byggregler, vilket förts fram av bland annat Svensk Fjärrvärme. Skrivelsen ska behandlas av riksdagen.

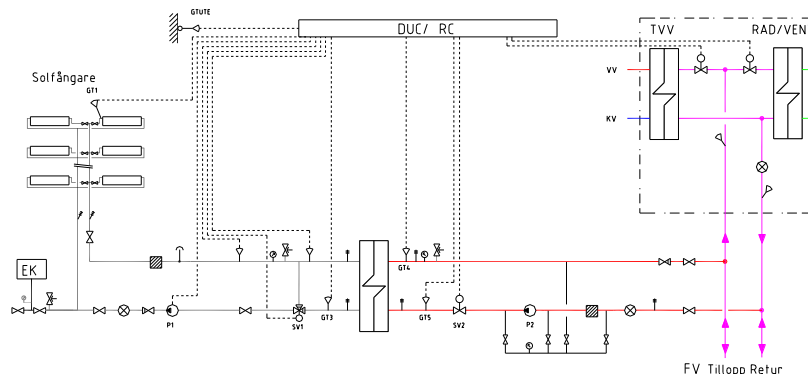
2.1.5 Plushus

Definitionen för ett plushus är att det genererar mer energi än det gör av med. Energin kommer typiskt från sol eller vind. Hus med exempelvis solceller, vindsnurror eller annat som ger ett överskott på el, levererar detta till elnätet. Plushus som levererar ett värmeöverskott till fjärrvärmenätet har hittills inte förekommit⁷ i Sverige, men i Växjö byggs nu ett plushus (enfamiljshus) som planeras ha en nettoleverans av energi till både el- och fjärrvärmenätet. Huset kommer att byggas som ett demonstrationshus, med byggstart i slutet på juni 2012 och planerad inflyttning november 2012 (Eriksson M., 2012). Mer information om projektet finns bl.a. på VEABs hemsida.

2.2 Inkoppling av solvärme i fjärrvärmenätet

Det finns ett antal exempel på fjärrvärmeanslutna byggnader med solvärmepaneler i Sverige; där en del använder solvärmen endast för eget behov, medan andra exporterar värme ut på nätet. Som exempel på en solvärmeinstallation där värme levereras till nätet kan nämnas Västra Hamnen i Malmö, där 1 400 m² solfångare är placerade på tio olika byggnader och är direkt anslutna till fjärrvärmenätet. E.ON äger dessa solpaneler och har tecknat avtal med husägarna för bruk av vägg- och takyta. Förutom solfångarna har E.ON även installerat 120 m² solceller för elproduktion, ett 2 MW vindkraftverk samt ett akviferlager som arbetar med en 1,2 MW värmepump för produktion av värme och kyla (E.ON, 2006).

I *Fjärrvärmecentraler - Kopplingsprinciper* (Svensk Fjärrvärme, 2009) finns rekommenderade inkopplingsprinciper för inkoppling av solfångare i fjärrvärmecentraler; såväl primär som sekundär inkoppling. För t.ex. inkoppling av solvärmearläggning som periodvis levererar värme till framledningen på fjärrvärmens primärledning rekommenderas kopplingsprincipen i Figur 3. Inkoppling av solvärme på sekundärsidan i ett småhus beskrivs i stycke 5.3.2.2.



Figur 3 Kopplingsprincip för solvärmesystem som levererar värme till fjärrvärmenätets framledning. Solvärmearläggningen hämtar det vatten som skall värmas från fjärrvärmesystemets returledning och trycker ut det, pumpar tillbaka det, med hjälp av P2 på fjärrvärmesystemets framledning.

⁷ Det finns ett flertal exempel på byggnader som levererar ett solöverskott in på fjärrvärmenätet, dock inte inom kategorin "plushus", eftersom årsförbrukningen för dessa hus är högre än vad de producerar.

3 DAGENS SITUATION, LÅG-ENERGIBYGGNADER OCH DESS ENERGIANVÄNDNING

I detta kapitel ges en litteraturöversikt beträffande energianvändningen i lågenergihus och uppfattningen att denna ofta underskattas på förhand.

3.1 Överensstämmelse projekterad och uppmätt energiprestanda

Stämmer de beräkningar för energiprestanda som görs under projekteringsstadiet av nya byggnader? Frågan är relevant eftersom fjärrvärmebranschen upplevt exempel på nya lågenergibyggnader där den faktiska energianvändningen i efterhand visat sig vara högre än förväntat (Svensk Fjärrvärme, 2011).

I en doktorsavhandling från Lunds tekniska högskola med den svenska titeln Byggnadsprestanda Metoder för förbättrad prediktering och verifiering av energi-användning och inneklimat (Bagge, 2011) har denna problematik studerats. Författaren hänvisar till ett flertal svenska och internationella forskningsprojekt som visat att uppmätt energianvändning kraftigt överstiger predikterade värden skillnaden kan uppgå till mellan 50 och 100 procent. I avhandlingen redovisas metoder för att koppla energianvändningen till fler parametrar än bara utetemperatur: klimatparametrar såsom solinstrålning och vindhastighet samt brukarrelaterade parametrar såsom närvaro och användning av hushållsel.

Fjärrvärmebranschen har påtalat att det varit ett problem att lågenergibyggnader inte visat sig klara projekterad energiprestanda vilket fått återverkningar på fjärrvärmebolagen som fått kritik för otillräckliga leveranser. Till exempel pekar man på Hammarby Sjöstad som byggdes 2000-2004 och där projekterade värmebehov på 65-90 kWh/(m² år) i själva verket hamnade kring 150-160 kWh/(m² år). (Svensk Fjärrvärme, 2011)

LÅGAN (program för byggnader med mycket låg energianvändning) är ett samarbete mellan bland andra Energimyndigheten, Boverket, byggherrar och entreprenörer som syftar till att öka byggtakten av lågenergibyggnader. I deras rapport Marknadsöversikt av uppförda lågenergibyggnader (Wahlström et al, 2011) från 2011 görs en sammanställning av lågenergibyggnader uppförda under 2000-talet. Efter en mycket långsam utveckling har marknaden för lågenergibyggnader börjat ta fart. Bland bostäder rör det sig om drygt 100 villor och 3 200 lägenheter. Andelen bland flerbostadshus under 2010 uppgick till 11 procent. Majoriteten av bostadshusen som har annan uppvärmning än elvärme har en energianvändning som är mindre än hälften av kraven i byggreglerna (2011). Eftersom de flesta byggnader är uppförda de senaste åren så saknas uppföljningar av energianvändningen, även om flera uppföljningsprojekt pågår.

Lågans utvärdering redovisar uppmätt energianvändning i 39 villor, 29 flerbostads-
husobjekt och 26 lokalobjekt. Av dessa har 2 villor, 24 flerbostadshusobjekt och 12
lokalobjekt både projekterad och uppmätt energianvändning. I genomsnitt är den
uppmätta energianvändningen $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ lägre. Som mest är den uppmätta
energianvändningen $28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$ lägre än projekterat respektive $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ år})$
högre. I många fall sträcker sig mätningarna endast över ett år. (ibid.)

Lågans utvärdering slår fast att det finns ”ett relativt stort antal uppförda byggnader
der där det tekniskt är möjligt att nå ett krav på 50-40 procent av gällande byggregler”.
(ibid.)

Sveby är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen.
Namnet betyder Standardisera och verifiera energiprestanda för byggnader och i pro-
grammet fastställs standardiserade brukardata för beräkningar och hur verifiering av
energiprestanda skall gå till.

För att tillämpa resultat från programmet, undersöka precision och spridning på
resultat av energiberäkningar har en energiberäkningstävling genomförts och result-
erat i en rapport med erfarenheter och slutsatser (2011). De tävlande fick i ett första
steg tillgång till ritningar och teknisk information om tävlingsobjektet och uppmana-
des att använda Svebys anvisningar om brukarindata för att därefter prediktera energi-
användningen. I det andra steget av tävlingen fick deltagarna tillgång till uppmätta
värden.

Det kunde konstateras brister i såväl in- som utdata. Levererad fjärrvärme och el,
som skulle utgöra ”facit” till tävlingen var avsevärt högre än väntat. En kompletter-
ande utredning utfördes varefter justeringar gjordes. El som bör räknas som hushållsel
(ett gruppboende, motorvärmare, gårdsbelysning och tvättstugor) räknades bort.
Tappvarmvattenanvändningen baserades initialt på ett antagande om 38 procent
varmvatten av kallvattenanvändningen som troligen grundades på en schablon. Den
verkliga kallvattenanvändningen för 2010 var 77 procent större och sannolikt därmed
även varmvattenanvändningen, vilket styrktes av utredningens loggningar. Fjärr-
värmeanvändningen korrigerades med $19,3 \text{ kWh}/\text{m}^2, A_{\text{temp}}, \text{år}$. Ytterligare $10,3$
 $\text{kWh}/\text{m}^2, A_{\text{temp}}, \text{år}$ fjärrvärme kunde härledas till kulvertförluster efter fjärrvärme-
centralen samt $7,4 \text{ kWh}/\text{m}^2, A_{\text{temp}}, \text{år}$ fjärrvärme till försämrade verkningsgrad i FTX-
aggregat på grund av ickeoptimal avfrostning. Totalt justerades energianvändningen
från $125,3$ till $82 \text{ kWh}/\text{m}^2, A_{\text{temp}}, \text{år}$. (ibid.)

Spridningen bland tävlingsbidragen var totalt sett stor i båda stegen av tävlingen.
Dock var det ett fåtal bidrag som avvek kraftigt. Medelresultatet blev ungefär 86
 $\text{kWh}/\text{m}^2, A_{\text{temp}}, \text{år}$ med en standardavvikelse på 10 procent. Det kunde konstateras stor
spridning för beräknade värmeförluster på grund av transmission, ventilation och luft-
läckage och även beträffande beräkning av A_{temp} . Rapporten pekar också på handhav-
andefel av beräkningsprogramvara och bristande rimlighetskontroller av resultat.
Energiberäkningar behöver troligen en marginal på minst 10 procent. (ibid.)

De första svenska passivhusen i Lindås och passivhus i Glumslöv har utvärderats
av SP (Sikander et al, 2011). Energianvändningen redovisas för åren 2002-2010.
Även om energianvändningen varierar från år till år ligger den på en jämn nivå.
Variationerna kan bland annat förklaras av att energianvändningen inte har

normalårskorrigerats (det finns ingen etablerad metod för normalårskorrigerings av passivhus). Av tio hus utmärker sig ett hus med hög energianvändning. Det visade sig att spjället i ventilationsaggregatet stod halvöppet vilket förhindrade värmeväxlingen. Övriga hus hamnar för år 2010 i ett intervall mellan 55 och 85 kWh/m². Dessa siffror inkluderar även hushållenergi (eftersom husen är elvärmda och har solfångare). Enligt uppgifter i Lågans databas (2012-03-06) var den beräknade specifika energianvändningen 35,2 kWh/m². Hushållenergin hade beräknats till 33,3 kWh/m² vilket ger 68,5 kWh/m² i total levererad energi. För husen i Glumslöv redovisas elanvändning för åtta elvärmda radhus (inga solfångare). Här ligger den levererade energianvändningen mellan 60 kWh/m² och 100 kWh/m² bortsett från ett hus som ligger på 120 kWh/m². En jämförelse av vattenanvändningen i husen visar att hushåll med hög vattenanvändning även har hög elanvändning och tvärtom. Värt att notera är att det skiljer 40 kWh/m² mellan högsta och lägsta vattenanvändning. Rapporten bedömer att energiprestandan är god efter nio års användning i Lindås och fyra år i Glumslöv.

Det är inte avsikten att med denna rapport ifrågasätta energiprestandan i lågenergi-byggnader. Utvecklingen har visat en utveckling mot allt bättre energiprestanda i nya byggnader. Brister i överensstämmelse mellan beräknad och verklig fjärrvärmeanvändning är dock ett upplevt problem i branschen som finner stöd i ovanstående referenser. Eftersom lågenergibyggnader har ett lägre uppvärmningsbehov får den brukarrelaterade energianvändningen större genomslag. Detta påtalas också av Sveby (Energiprestandaanalys, 2010).

3.2 Andra studier av energiprestanda i lågenergibyggnader

Ytterligare en referens som belyser problematiken med brukarrelaterad energianvändning är en artikel från byggnadsfysik på Lunds tekniska högskola (Johansson et al, 2011), i vilken resultat från en studie av utnyttjandegraden av flerbostadshus (occupancy levels) redovisas, med syfte att utreda potentialen med behovsstyrd ventilation i bostäder. Bland annat konstateras att i passivhus är variationer i intern värmeförsel från människor av samma storleksordning som inverkan av utomhustemperaturen, vilket borde tas i beaktande vid analyser av energiprestanda. Mer om detta tas även upp i nästa kapitel.

Molin et al (2011) har gjort en utvärdering av energiprestanda och inomhusklimat av passivhus i Linköping. Författarna menar att medan tidigare utvärderingar av husen i Lindås endast avsett genomsnittlig inomhustemperatur så studeras i denna artikel temperaturer i olika rum. Även inverkan på temperaturen av huruvida rummen brukas ("time-use data", TUD) har studerats mer ingående. Arbetet avser både mätningar och simuleringar. Bland annat konstateras att luftburen värme medför svårigheter att uppnå en jämn inomhustemperatur samt att variationer i interna värmeförluster har stor inverkan på inomhustemperatur och energianvändning för uppvärmning.

4 KONSEKVENSER AV FÖRÄNDRADE VÄRMELASTER

Forskningsområdet lågenergibygnader är oerhört omfattande. I synnerhet kring passivhus finns mycket litteratur, dels i Sverige men kanske framför allt i Tyskland och Österrike som länge legat långt framme med passivhus. Mycket fokus ligger på det rent byggnadstekniska, hur man bygger så täta och välisolerade hus som möjligt med hänsyn till aspekter som inomhuskomfort, fukt, ekonomi mm. Detta avsnitt ämnar lyfta fram det mest relevanta inom forskningen om lågenergihus som kan tänkas vara av intresse för fjärrvärmebranschen, det vill säga sådant som rör energianvändning, komfort och installationsteknik, snarare än rent byggnadstekniskt.

4.1 Utvärderingar och erfarenheter av lågenergibygnader

4.1.1 Konflikt mellan lågenergibebyggelse och fjärrvärme?

Avsikten är inte att gå in närmare på denna frågeställning då det finns gott om annan litteratur inom detta område. Några studier förtjänar dock att tas upp då de direkt knyter an till vårt arbete:

Åberg och Henning (2011) har studerat påverkan av minskat värmebehov på fjärrvärmesystemet i Linköping och funnit att en minskad värmeleverans på upp till 40 procent minskar koldioxidutsläppen men att det finns ett optimum vid 20 procent där utsläppen blir som lägst. Detta beror på hur kraftvärmeproduktion påverkas av de förändrade driftsförutsättningarna. Författarna menar att studiens resultat minskar den påstådda konflikten mellan lågenergibebyggelse och fjärrvärme.

En annan övergripande systemstudie värd att nämnas kommer från Danmark, Lund et al (2010), vilken utgår från ett scenario där Danmark år 2060 har ett energisystem som till 100 procent baseras på förnybara energikällor (jämfört med dagens 20 procent) och där uppvärmningsbehovet är reducerat med 75 procent. En analys av landets hela energisystem, med hänsyn till efterfrågan på bränsle, koldioxidutsläpp och ekonomi, och olika möjligheter för uppvärmning, leder till slutsatsen att det optimala är en successiv utbyggnad av fjärrvärmens kombinerat med värmepumpar i resterande byggnader. Författarna understryker dock att analysen förutsätter en gradvist förbättrad fjärrvärmeteknik med särskilt fokus på sänkta systemtemperaturer.

4.1.2 Problemställningar i lågenergibygnader med relevans för fjärrvärmesystemet

I SP:s ovannämnda utvärdering av passivhus har en erfarenhetsåterföring sammanställts. Trots överlag positiva erfarenheter så listas en del förbättringsmöjligheter som är intressanta ur ett fjärrvärmeperspektiv. Värmesystem – oavsett om det gäller eftervärmningsbatterier, radiatorer eller golvvärme – måste dimensioneras så att värmen

räcker till även i hushåll med få boende och låg användning av hushållsel. Mätningar i Lindås uppvisar en skillnad i temperatur mellan våningsplan. Även om denna bedöms som acceptabel föreslås möjlighet till individuell rumsreglering. En del boende ställer ned luftflöden vilket medför sämre värmeförsel. Boende efterfrågar lätt-använda aggregat, t ex med ”hemmaläge” och ”bortaläge”. Vid nedsatt ventilation i ett sådant ”bortaläge” måste värmeförseln tillgodoses. Beträffande komfort så är de boende generellt nöjda. Värt att notera är dock att sju av tio hus i Lindås har extra värmekälla och handdukstorkar (i båda fall eldrivna) utöver värmebatteriet.

I en tidigare rapport från SP (Sikander et al, 2009) framhålls att även om det idag är fullt möjligt att bygga väl fungerande lågbyggnader så finns det kunskapsluckor att fylla. Dessa rör bland annat termisk komfort såväl sommar som vinter och brukarens inverkan på energianvändningen. Beträffande behovsstyrd ventilation konstateras att även om den är nödvändig för att minimera energianvändningen så måste värmeförseln (samt fukt och föroreningar) beaktas om denna endast sker via tilluften. Liknande problematik föreligger beträffande värmeförsel från människor och hushållsapparater: innetemperaturen sjunker om bostaden inte används. Speciellt påtalas att värmesystemet inte ska dimensioneras utifrån ett genomsnittligt bidrag från elapparater utan utifrån ett minvärde. Detta är särskilt viktigt vid en utveckling mot allt mer energisnåla elapparater. Gällande effekt av kallras och strålningsutbyte med fönster konstateras att mer kunskap erfordras. Varaktigheten i passivhusens låga energianvändning diskuteras också. Även om den visat sig god i Lindås efter längre tid finns anledning att vara observant på vad som händer vid ombyggnader som påverkar klimatskalet. Detta är särskilt angeläget vid fjärrvärmeanslutning (författarens anmärkning).

4.1.2.1 Ventilation

Ur ett primärenergiperspektiv, såväl som ur fjärrvärmebranschens perspektiv, så är FTX-system att föredra framför frånluftsvärmepumpar.

För- och nackdelar med dessa två ventilationsalternativ behandlas exempelvis i SP-rapporten Teknik- och systemlösningar för lågenergihus av Sikander och Ruud (2011), bortsett från primärenergiaspekten som inte tas upp. Generellt framstår FTX som ett fördelaktigare alternativ.

Värmeväxlarna har generellt blivit bättre och har idag högre verkningsgrad än förr; kring 80 procent, vilket delvis sker på bekostnad av mer driftel. En del problemställningar tas dock upp. Motströms värmeväxlare har nackdelen att de fryser på vid kyla och kräver avfrostning, ett problem som ökar i omfattning ju effektivare de är. Dessutom kan de kräva ett speciellt spjäll, ”bypass”, för att reglera varvtalet och justera ventilationsflödet. En roterande värmeväxlare är oftast något dyrare, men kräver å andra sidan ingen avfrostning och är nuförtiden också lätt att varvtalsreglera. En nackdel med roterande växlare är att den kan överföra lukt till bostaden från rök och matos, erfarenheten är att detta problem är mer påtagligt i flerbostadshus än i villor. Gustavsson och Joelsson (2010) har genom livscykelanalys av primärenergianvändning i bostadshus funnit att den ökade elanvändningen i FTX-system kan

resultera i högre primärenergianvändning för en byggnad i ett fjärrvärmesystem med kraftvärme. En annan egenskap hos roterande värmeväxlare är att de återför fukt, vilket både kan vara en fördel (för komforten) och en nackdel (för själva byggnaden) i relation till luftfuktigheten i bostaden.

FTX-system har bättre förutsättningar att ge ett bra inomhusklimat. Förekommande problem relaterar till ljud och luktöverföring då roterande värmeväxlare används. FTX kräver något mer underhåll, i synnerhet om systemet är decentraliserat med lägenhetsaggregat. Detta underlättas om aggregaten kan placeras med åtkomst från exempelvis trapphus. (Mjörnell et al, 2011, Sikander och Ruud, 2011)

FTX-system ger goda möjligheter att använda behovsstyrd ventilation. Det innebär att ventilationsflödet regleras med avseende på parametrar som närvaro, temperatur, fukt- eller koldioxidhalt. Hittills har detta mest använts i större lokaler men börjar även dyka upp i bostäder med möjlighet till individuell reglering av ventilationen. Från att det tidigare inte var möjligt med lägre ventilationsflöden än $0,35 \text{ L/s, m}^2$ är det numera möjligt att sänka till $0,1 \text{ L/s, m}^2$ då ingen vistas i bostaden (Axnell et al, 2010). Syftet med att sänka ventilationsflödet är självfallet att det sparar energi. Som nämntes tidigare kan dock detta orsaka problem exempelvis om de boende i en lägenhet reser bort under vinterhalvåret och bostaden kyls ner. Om bostaden är ett radhus eller en lägenhet minskas utkylningshastigheten på bekostnad av värmeöverföring från angränsande bostäder. Blomsterberg (2009) har utvärderat en teknikupphandling av sju olika system för behovsstyrd ventilation i nya byggnader, samtliga dock baserade på frånluftsventilation. I FTX-system antas besparingen bli betydligt mindre.

På uppdrag av Energimyndighetens beställargrupp (BeBo) har rapporterna Energi-relaterade godhetstal för flerbostadshus – Nyproduktion (Sandberg, 2011) och Energi-relaterade godhetstal för flerbostadshus – Ombyggnation (Sandberg, 2011) utarbetats av Aton Teknikkonsult AB. Syftet är att stötta byggherrar som önskar bygga med bättre prestanda än BBR:s krav. I denna rapport påtalas att energieffektiva byggnader med FTX har en bra värmelastprofil för fjärrvärmeleverantören.

I Tyskland förekommer mer komplicerade ventilationslösningar som integrerar värmeväxlare och frånluftsvärmepumpar. Det förekommer även förvärmning av tilluft i markförlagd kulvert. (Sikander och Ruud, 2011)

Johansson et al (2011) har, som nämntes tidigare, studerat utnyttjandegraden av flerbostadshus i syfte att utreda potentialen med behovsstyrd ventilation i bostäder. Behovsstyrd ventilation har hittills mest använts i lokaler. Slutsatsen är att det finns potential för att spara energi men att mer forskning behövs på utformningen av dessa system samt hur fuktnivå och termisk komfort ska kunna säkerställas.

4.1.2.2 Värmesystem

Beträffande systemval i värmedistributionen påtalas i Energi-relaterade godhetstal för flerbostadshus ett behov av snabbreglerade system, orsakat av kombinationen små värmeförluster och stort, men varierande, värmetillskott från sol, elapparater och människor. Det är dessa variationer, som i mycket större grad än utetemperaturen,

bestämmer inomhustemperaturen. Snabbast att reglera anses luftvärmesystem vara. För att minimera värmeförluster bör eftervärmningen av tilluften placeras i direkt anslutning till lägenheten, till exempel i trapphallen.

De första passivhusen i Sverige har använt sig av ventilationsluften som distributionssystem för uppvärmning. Det har varit möjligt då uppvärmningsbehovet är litet. Det attraktiva med denna lösning är att den är billig och det är ofta det som har framhållits som en av fördelarna med passivhus – att uppvärmningsbehovet är så litet att det räcker med tilluften som värmesystem. (PHI, 2011, Janson, 2010) Samtidigt så finns det inte några krav eller rekommendationer att endast värma via tilluften. Såväl Janson (2010) som Sikander och Ruud (2011) visar att det i svenskt klimat kan vara problematiskt med enbart luftvärme. Även om inomhuskomforten överlag är god i passivhus så förekommer det att fastighetsägare eller hyresgäster tar hjälp av elradiorer eller vattenburna värmare för att höja komforten. Efterhand har flera passivhusprojekt inkluderat vattenburen värme, antingen via golvvärme eller via radiatorer. Exempelvis MKB Fastighet i Malmö, som inte har börjat bygga lågenergihus än, planerar för att bygga passivhus med FTX och radiatorer framöver (Janson, 2012).

Beträffande luftburen värme nämns vikten av tilluftsdon som ger god omblandning och svårigheter med värmeförsörjning vid nedsatt ventilation (Sikander och Ruud, 2011, Janson, 2010). En styrka med luftburen värme är att den är snabbreglerad (Sandberg, 2011). Kostnadsfördelen med luftburen värme gäller generellt främst vid nybyggnation, vid renovering är det ofta kostsamt att bygga tilluftssystem och även om så görs väljs ofta ett (existerande) vattenburet system för värmedistribution (Mjörnell et al, 2011).

I Danmark är man tveksam till luftburen värme med central temperaturstyrning i småhus eftersom en sådan lösning ger samma inblåsningstemperatur i alla rum. Detta leder till stora skillnader i erhållen rumstemperatur beroende på skillnader i solinstrålning och internt genererat värme. De nya regler (Energistyrelsen, Byggningsreglementet) som föreskriver individuell temperaturreglering i alla rum gör en sådan lösning omöjlig.

Radiatorer är en beprövad teknik som också medger snabb reglering och erbjuder generellt bättre möjligheter till individuell reglering än luftburen värme (Sikander och Ruud, 2011). Energieffektiva fönster medger en friare placering av värmekällor. På grund av fönsterytors sämre värmeisolerande förmåga avråds rentav från att placera radiatorer framför fönsterglas (Sandberg, 2011).

Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus framhåller vidare att golvvärmesystem är olämpliga i lågenergihus av flera skäl: de är tröga att reglera, de är mindre energieffektiva på grund av sämre reglerbarhet och extra värmeförluster via bjälklag mot vägg och mark samt att de kan komma att fungera som ofrivillig takvärme i underliggande lägenhet. Dessutom är den erforderliga ytemperaturen så låg att brukare kan bli besvikna över att golven inte upplevs som varma. Komfortgolvvärme avråds helt och hållet ifrån, med motiveringen att värmeeffekten för denna i många driftssituationer hamnar på samma storleksnivå som hela bostadens värmeeffektbehov. Likväl finns exempel där komfortgolvvärme används även i passivhus. I exempelvis Linköping har man i passivhus gjort en konstruktion där returledningen från

värmeslingan i luftbatteriet leds genom golvet i badrummet (Molin et al, 2011). Liknande lösningar har provats i Karlstad.

Den låga yttemperaturen tas även upp som en nackdel av SP (Sikander och Ruud, 2011). Samma rapport lyfter dock fram fördelen med den låga yttemperaturen, det vill säga att systemet får en mycket snabb passiv reglering. Så fort lufttemperaturen överstiger golvets yttemperatur sker konvektiv värmeöverföring från luften till golvet som då i själva verket får en kylande effekt. Det sker dock fortfarande värmeöverföring genom strålning från golvet till ytor med lägre temperatur än golvet, till exempel väggar. Om denna självreglerande effekt kan man läsa mer om i exempelvis Karlssons avhandling (2010) som visar på en inbyggd styrka hos golvvärmesystemen att jämna ut interna värmelaster och hålla inomhustemperaturen på en jämn nivå. Den här potentialen med att utnyttja självregleringen för att konstruera enkla golvvärmesystem för lågenergihus utvecklas vidare i Karlsson och Hagentoft (2012) där en simuleringsmodell visar på mycket lovande resultat.

En studie av Schneiders (2005) vid tyska Passivhausinstitut menar också att golvvärmesystem inte leder till högre energianvändning.

Sikander och Ruud (2011) lyfter även fram fördelarna för värmepumpar med att golvvärmesystemen håller en låg framledningstemperatur. En fördel som går om intet ifall komfortgolvvärme används, som kräver en högre framledningstemperatur. Det är emellertid endast värmepumpar som diskuteras.

Den potentiella nyttan av sänkta framledningstemperaturer i fjärrvärmesystemen är generellt avsevärd. Kraftvärme gynnas exempelvis betydligt mer av en sänkt framtemperatur än en sänkt returtemperatur. Effekten på hela fjärrvärmessystemet är dock inte helt självklar. Den nedre gränsen för vilken framledningstemperatur som används i bebyggelse med lågenergihus beror på krav på tappvarmvattentemperatur, det vill säga 50-60°C. Även temperaturbehoven hos fjärrvärmvärmda vitvaror ligger i samma storleksordning. Detta gör att man inte får en direkt nytta av en låg framledningstemperatur i ett golvvärmesystem. Istället är det returtemperaturen som är mest intressant. Golvvärmesystemet har självfallet potential att ge mycket låg returtemperatur, men även radiatorsystem i lågenergibyggnader kan ge mycket låg returtemperatur.

Eftersom den erforderliga framledningstemperaturen i golvvärmesystem i lågenergibyggnader är så låg (det handlar om ett fåtal grader över rumstemperaturen) skulle man kunna söka lösningar där golvvärmesystemet är kopplat i serie med ett annat system i fjärrvärmecentralen (varmvatten, eftervärmning av tilluft eller vitvaror). Detta skulle i så fall behöva undersökas närmare. Mot sådana lösningar står önskemål om så enkla fjärrvärmecentraler som möjligt.

Det förefaller som att många som arbetar med ett ökat byggande av lågenergibyggnader helst inte vill se golvvärme och i synnerhet inte komfortgolvvärme (Sikander och Ruud, 2011, Sandberg, 2011, Janson, 2012). Vad vill fjärrvärmebranschen se för utveckling? Det är oklart om golvvärme eller radiatorsystem är att föredra för fjärrvärmebranschen. Komfortgolvvärme torde vara en fördel för fjärrvärmebranschen förutsatt att den inte bara höjer topplasten utan även baslasten. Mot en högre energianvändning får ställas risken att detta "behov" tillgodoses delvis av

eldrivna handdukstorkar eller helt av elslingor i golvet då fastighetsägare själv renoverar badrum. Försök i Danmark (EUDP, 2010) visar dessutom på en intressant möjlighet där komfortgolvvärme utnyttjas för att ersätta bypassfunktioner för att upprätthålla flödet i utkanten av fjärrvärmenätet sommartid.

Om det är så att golvvärme ökar den slutliga energianvändningen, och det ligger i fjärrvärmebranschens intresse att förespråka golvvärme, borde primärenergianvändningen jämföras mellan ett fjärrvärmeanslutet radiatorsystem, golvvärmesystem, respektive luftvärmesystem med hänsyn tagen även till elanvändning i fläktar mm. Jämförelsen kan självfallet inkludera exempelvis värmepump som värmekälla. En sådan jämförelse tar då hänsyn till att de olika lösningarna för värmedistribution arbetar med olika temperaturer.

Sikander och Ruud (2011) påtalar ett behov hos många brukare av att ha en värmekälla som man själv kan reglera, se och känna på och som dessutom är enkel och ger snabb återkoppling. Likande behov framgår av undersökningar i Jansons avhandling om passivhus (2010) samt i examensarbetet Passivhusteknik i ett svenskt klimat (Martinsson, 2008) som sammanställt erfarenheter om passivhus.

Eksta Bostads AB har tillsammans med Ingenjörbyrå Andersson & Hultmark (Bernestål, 2012) tagit fram ett system för passivhus där endast ett system används i bostaden för både varmvatten och värmning av tilluft. Passivhusen är radhus som är anslutna till en gemensam panncentral. I varje bostad finns en värmeväxlare för varmvattenberedning och en krets för varmvattencirkulation. VVC-returen leds oreglerad genom en värmeväxlare som förser en mellankrets med glykolblandning som för värme vidare till luftbatteriet för värmning av tilluften. Värmetillförseln regleras genom glykolkretsen. Glykol tillsätts som en extra säkerhet för att undvika frysrisk om något skulle gå fel med luftbatteriet. Enligt uppgift är VVC-kretsen något kraftigare dimensionerad än vad den annars hade varit och utgående varmvattentemperatur är inställd på 60°C. På så sätt anser man sig kunna garantera att VVC-returen aldrig kyls under 50°C. En nackdel med denna lösning torde vara att den inte ger så låg returtemperatur.

Det kan konstateras att det råder olika uppfattningar om hur installationssystemen i lågenergibyggnader ska utformas. Det går åtminstone inte att urskilja en tydlig riktning mot endera luftburen värme, radiator- eller golvvärmesystem. Fjärrvärmebranschen har en möjlighet att påverka utvecklingen i en riktning som gynnar fjärrvärmesystemen med avseende på exempelvis erforderlig framtemperatur och resulterande returtemperatur, lastprofil och spetslast.

Slutligen en reflexion som dels återknyter till inledningen på detta avsnitt – om den ökade inverkan av interna värmetillskott – samt föregående kapitel om dålig överensstämmelse mellan projekterad och faktisk energianvändning: Den så kallade rekyleffekten, som innebär att det ekonomiska utrymme som uppstår hos en användare efter en energieffektivisering används till att öka energianvändningen på ett annat område, gör det svårbedömt hur stort faktiskt bidrag man kan förvänta sig från interna värmetillskott i framtiden samt vilka profiler dessa kommer att ha.

Elanvändningen i kategorin hushållsel har varit relativt konstant de senaste tio åren (Energimyndigheten, 2011) som ett resultat av å ena sidan effektivare

elapparater och å andra sidan ett ökat användande av elapparater. Dock är det tänkbart att effektiviseringstakten ökar, till exempel genom Ekodesigndirektivet (2009).

I en ny rapport från Konjunkturinstitutet studeras detta fenomen (Broberg, 2011). Där påpekas att ”trots att rekyleffekten är accepterad och av betydelse för utvärderingar av styrmedel i miljö- och energipolitiken negligeras den ofta i analyser”. Det finns även internationella studier på detta område (Greening et al, 2000). För området bostadsuppvärmning kan en rekyleffekt mellan 10 och 30 procent förväntas beroende på ökad termisk komfort med avseende på inomhustemperatur, varmvattenanvändning och en ökad uppvärmd yta.

4.1.2.3 Termisk tröghet i lågenergibyggnader

För konventionella byggnader brukar det hävdas att en tung stomme bidrar till att begränsa spetslastbehovet och att skapa en jämnare inomhustemperatur (Ståhl, 2009). På grund av den goda isoleringsförmågan så har lågenergihus höga tidskonstanter även om klimatskalen är lätta i de flesta lågenergihus som har byggts hittills i Sverige (Sikander och Ruud, 2011). Snarare är det så att behovet av snabba reglersystem för värmesystemen i lågenergihus påtalas, se till exempel (Sandberg, 2011). Emellertid har en del lågenergihus i Sverige, och framför allt i övriga Europa, byggts med betongelement i klimatskalet. Därmed ökas värmelagringsförmågan och tidskonstanten. Om värme ska kunna lagras i stommen och därmed bidra till ett jämnare termiskt klimat så måste den tunga massan vara exponerad mot innemiljön utan mellanliggande isolerande material. För lågenergibyggnader finns ett behov att vidare studera värmelagrings effekter både på energianvändning och på inneklimat för lågenergihus. Det finns system för aktiv värmelagring (Thermodeck) där vatten eller luft får passera genom den termiska massan. Även system med fasomvandling är under utveckling. (Sikander och Ruud, 2011, Axnell et al, 2010)

I ett examensarbete från 2011 har sex olika kommersiella system för utnyttjande av byggnaders värmetröghet utvärderats (Persson och Vogel, 2011). Resultaten visar att tillverkarnas egna uppgifter om energibesparingspotential förefaller optimistiska men att systemen likväl ger möjlighet till sänkt energianvändning. Särskilt intressanta torde de vara i samband med renovering av byggnader inom miljonprogrammet som har hög värmelagringsförmåga och förvisso dålig värmetröghet vilken dock ökar vid tätning av klimatskalet. (ibid.)

Det talas allt oftare om möjligheter att utnyttja byggnaders värmetröghet för att optimera driften av fjärrvärmenätet, se till exempel (Värmetröghet Workshop Lund, 2011, Project application 4DH, 2011), så kallat smarta fjärrvärmenät, bland annat genom att spetslastproduktion inte behöver användas lika ofta. Det närmaste ett smart fjärrvärmenät vi sett hittills, som dessutom nått kommersialisering, finns beskrivet i ett flertal rapporter, se till exempel (Wernstedt och Johansson, 2009). I begreppet smart fjärrvärmenät kan även storskalig lagring av värme i fjärrvärmesystemet inkluderas. Detta diskuteras inte vidare här men mer läsning finns på området, se till exempel (Zinko och Gebremedhin, 2008).

4.2 Fjärrvärmeanslutna lågenergibyggnader

Detta avsnitt avser att gå igenom relevant forskning rörande fjärrvärmeanslutna lågenergibyggnader. IEA DHC CHP-rapporterna (Zinko et al, 2008, Sipilä, 2011) ger en beskrivning av utmaningen med en ökad andel lågenergibyggnader i fjärrvärmenäten. Viktiga slutsatser är att värmelastkurvor generellt kommer att jämnas ut, dock med osäkerhet kring hur spetslastbehoven kommer att se ut, bland annat med tanke på användning av värmepumpar och solvärme i fjärrvärmeanslutna byggnader. Som en naturlig följd av lägre värmebehov kommer relativa värmeförluster att öka och varmvattenandelen kommer att utgöra en betydligt högre andel. Låg värmetetthet skapar efterfrågan på ny teknik såsom bättre rörisolering och förbättrade intelligenta regler-system. Det senare syftar till att öka interaktionen mellan produktion och konsumtion. Olika metoder för värmelagring efterfrågas också, såväl centralt som decentralt i systemen. För att dra nytta av de lägre temperaturer som kan användas i lågenergibebyggelse rekommenderas att separera områden med olika distributionstemperaturer, det vill säga att använda sekundärnät.

Nyström et al (2009) har studerat betydelsen för svensk fjärrvärme av energieffektivisering i bebyggelsen. Förutom att redogöra för möjliga kraftigt ändrade förutsättningar för fjärrvärmen efterlyses en fortsatt utveckling av samverkan mellan fjärrvärmebransch, fastighetsbransch och samhällsplanering.

Danmark har, enligt författarnas uppfattning, kommit längst på området fjärrvärmeanslutna lågenergibyggnader. Att använda maximalt 50°C i fjärrvärmenätet ingår i det som i Danmark definierats som low-temperature district heating, LTDH. LTDH-konceptet studerades i (EFP 2007, 2009), där teoretiska beräkningar slog fast att fjärrvärme är ekonomiskt jämförbart med individuella uppvärmningsformer såsom värmepump även för lågenergibyggnader förutsatt att fjärrvärmetemperaturerna kan sänkas så mycket som möjligt för att minimera värmeförlusterna. I studien jämfördes olika temperaturval för dimensionering av ett fjärrvärmenät med resultatet att 50/25°C är det ekonomiskt mest gynnsamma valet med avseende på investerings- och löpande kostnader.

Att använda maximalt 50°C i fjärrvärmenätet ingår i det som i Danmark definierats som low-temperature district heating, LTDH. LTDH-konceptet studerades i (EFP 2007, 2009), där teoretiska beräkningar slog fast att fjärrvärme är ekonomiskt jämförbart med individuella uppvärmningsformer såsom värmepump även för lågenergibyggnader förutsatt att fjärrvärmetemperaturerna kan sänkas så mycket som möjligt för att minimera värmeförlusterna.

I den efterföljande rapporten (Energistyrelsen, 2011) realiserades LTDH-konceptet i 40 lågenergibyggnader i Lystrup i Aarhus. Fjärrvärmenätet dimensionerades för höga tryckfall för att kunna använda så små dimensioner som möjligt. Två nyutvecklade typer av fjärrvärmecentraler testades – en med genomströmningsberedare för tappvarmvatten och en med ackumulatortank för fjärrvärmevatten. Uppvärmningssystemen var direktanslutna.

Att använda maximalt 50°C i fjärrvärmesystemet kräver särskilda metoder för tappvarmvattenproduktionen. I Danmark, såväl som i Sverige, tillämpas krav på

lägst 50°C i tappvarmvattensystemet. Detta förordas även i rekommendationerna från Euroheat and Power (2008). För att uppfylla önskemålet om så låga temperaturer som möjligt i LTDH-konceptet har en tysk standard använts, WG 551, vilken inte ställer några temperaturkrav alls för tappvarmvattensystemet om den maximala volymen är mindre än 3 liter (exklusive värmeväxlare/varmvattenberedare). Den önskvärda tappvarmvattentemperaturen har istället satts till 45°C vilket anses vara önskvärt ur ett användarperspektiv. (EUDP, 2010)

Ett tappvarmvattensystem med en maximal volym på 3 liter innebär indirekt att ett konventionellt tappvarmvattensystem inte kan användas i ett flerbostadshus utan måste ersättas med tappvarmvattenproduktion i varje bostad. Detta åstadkommes genom att använda lägenhetsfjärrvärmecentraler. De båda fjärrvärmecentraler som togs fram för att användas i demonstrationen av LTDH-konceptet har anpassats för att temperaturdifferensen mellan primär framledning och tappvarmvattentemperatur är mycket liten, i vissa fall endast 3°C. (ibid.)

Demonstrationsstudien gav ett positivt resultat med tillfredsställande tappvarmvattenkomfort. Medeltemperaturen på tappvarmvattnet låg på 40-45°C. Vidare studerades skillnader i sammanlagring mellan fjärrvärmecentral med förråd på primärsidan respektive med genomströmningsberedare utan att ett entydigt resultat kunde erhållas. Beträffande värmeförluster var resultatet väntat, en fjärdedel jämfört med vad som varit fallet vid traditionell dimensionering. Dock används booster-pumpar i nätet vilket ökar elanvändningen. (ibid.)

Den danska LTDH-studien innehåller dessutom några ytterligare studier. Befintliga bostadsområden där LTDH skulle kunna byggas har studerats. Vissa har fjärrvärme idag och nytt primärsystem skulle kunna sänka värmeförlusterna avsevärt. Svårigheten är att anpassa de sekundära systemen till de låga primära temperaturerna. Vid typisk 70-talsbebyggelse har exempelvis funnits att enklare renovering såsom fönsterbyte medger maximal framledningstemperatur i radiatorsystemen på 50°C under större delen av uppvärmningssäsongen. Eventuellt kan vissa radiatorer bytas mot större. Existerande förrådsberedare för varmvatten måste bytas ut och volymen i varmvattendistributionssystemet maximeras till 3 liter. Spetslaster för uppvärmning har också studerats. Vid golvvärme kan spetslasterna reduceras med 40 procent genom övergång från on/off-reglering till kontinuerlig reglering. I nätdelar med få kunder föreslås en ackumulatortank i primärnätet för att hantera spetslastbehovet. (ibid.)

Andra delstudier inkluderar hur primärflödet kan upprätthållas sommartid i utsatta delar av nätet då genomströmningsberedare används. En föreslagen lösning, som alternativ till bypass i fjärrvärmecentralen, är att försörja komfortgolvvärme i badrum året runt, något som inte hävdas påverka inomhustemperaturen nämnvärt utan ger en komforthöjning till låg kostnad. Faktum är att det erforderliga primärflödet är av samma storleksordning som vid bypass. (ibid.)

Nästa fas av det danska LTDH-projektet (EUDP 2010), är igång och pågår till 2013. Huvudfokus ligger på att implementera LTDH i existerande småhusbebyggelse. Området Sönderby i Höje Taastrup består av småhus byggda 1997, utrustade med golvvärme. Här testas en förbättrad värmeväxlare. Sekundärnätet ägs av fastighets-

ägarna och fungerar dåligt med höga värmeförluster varför man gått med på att bygga om det enligt LTDH-konceptet. En utmaning är att klara tappvarmvattenförsörjningen. Möjliga lösningar är att bygga om systemen till max 3 liter eller att använda desinficering – antingen med elvärmare eller genom UV-ljus. (ibid.)

Ett annat område som ska studeras är Langovænget i Aarhus, bestående av elva 70-talshus med högre energibehov förutom några som nyligen renoverats. Området i Lystrup ska också fortsatt utvärderas och ge förslag till förbättringar av LTDH-konceptet. Ambitionen är även att det ska författas internationella riktlinjer för LTDH-konceptet. (ibid.)

I ett annat nyligen startat danskt projekt ska möjligheterna studeras till extremt låga framledningstemperaturer (35°C) kombinerat med lokala värmepumpar för tappvarmvattenproduktion (Fjernvarmen, 2012).

Ännu ett danskt projekt, som dock kommer att utföras tillsammans med flera olika utländska aktörer, bland annat i Sverige och Kina, startar under 2012 och kallas 4th Generation District Heating Technologies and Systems (Project description 4DH, 2011, 4dh.dk). Detta måste betraktas som det största projekt som ska studera fjärrvärmens i framtiden med totalt 13 doktorandprojekt på teman som spänner över byggnadsinstallationer, fjärrvärmecentraler, distributionssystem, fjärrvärmelager, produktionsanläggningar, energiplanering, ekonomi mm.

4.2.1 Lägenhetsfjärrvärmecentraler

Ett teknikområde inom fjärrvärmens som sannolikt kan få stor betydelse framöver är så kallade lägenhetsfjärrvärmecentraler (LFC), det vill säga att varje lägenhet i ett flerbostadshus utrustas med en egen fjärrvärmecentral. Ett sådant system skiljer sig fundamentalt från dagens system med en eller flera byggnader per fjärrvärmecentral.

Då nybyggda småhus idag ansluts till fjärrvärme sker det ofta genom att ett helt område ingår i ett sekundärt nät som ansluts till fjärrvärmennätet i en gruppcentral. I det sekundära nätet kan temperaturer och tryck anpassas så att husens värmesystem kan anslutas direkt, utan värmeväxling. Tappvarmvatten bereds igenomströmningsberedare i respektive hus och varmvattencirkulation är inte nödvändig. Någon form av varmhållningsfunktion är dock ofta nödvändig för att kunna undvika för långa väntetider på god tappvarmvattentemperatur sommartid. Principen för LFC i ett flerbostadshus är densamma, den huvudsakliga skillnaden består i att bostäderna ligger närmare varandra och ovanpå varandra.

I Sverige finns LFC hos flera tillverkare men det förefaller som att konceptet är betydligt vanligare i andra länder, till exempel i Danmark. I det tidigare nämnda danska projektet om lågtemperaturfjärrvärme är LFC en central teknisk lösning. I en dansk artikel (Thorsen, 2010) görs en jämförelse mellan konventionell FC och LFC med resultatet att de båda systemen är jämförbara ur ett ekonomiskt perspektiv. I Sverige initierades, i samband med byggandet av Hammarby Sjöstad år 2000, en tekniktävling om LFC. Resultatet blev att man gick vidare och installerade en produkt benämnd "Värmeklossen" som togs fram av Sundsvalls Energi. Pilotprojektet följdes upp och utvärderades med gott resultat 2008 (Friskopp et al, 2008). Det har emellertid

inte hänt så mycket sedan dess, rättigheterna till Värmeklossen har sålts vidare och ska förhoppningsvis leda fram till en ny produkt för LFC (Ullberg, 2012). Kännedom om konceptet varierar i fjärrvärme- och fastighetsbranschen, men hos referensgruppen för detta projekt finns exempel på att LFC planeras i nya flerbostadshus.

Karakteristiskt för LFC är (Ullberg, 2012, Friskopp, 2008, Thorsen, 2010):

- Individuell mätning och debitering underlättas avsevärt genom att varje lägenhetsinnehavare har en fjärrvärmecentral
- Bättre möjligheter för lägenhetsinnehavaren att själv bestämma nivå för inomhuskomfort och som följd sannolikt färre klagomål över för låg inomhustemperatur
- VVC är inte nödvändig och sannolikt är risken lägre för legionellatillväxt på grund av små volymer i tappvarmvattensystemet
- Ger förutsättningar för att enklare kunna ansluta vitvaror
- Ökad mängd fjärrvärmerör i byggnaden, dock är detta ett mindre problem om tekniken används i ny lågenergibebyggelse som befinner sig i sekundärnät eller nätdelar med lägre tryck och temperatur. Totalt sett blir det mindre mängd rör då VVC inte behövs. Dessutom behövs inte injusteringsventiler i värme- och VVC-system.
- Fjärrvärmeleverantören får en direkt relation till slutkunden, det vill säga lägenhetsinnehavaren
- Ökat servicebehov men sannolikt färre klagomål. Man kan tänka sig olika lösningar för hur serviceansvaret kan delas mellan fjärrvärmeleverantör, fastighetsägare och lägenhetsinnehavare. Vem som ska äga LFC:n är också öppet för diskussion.
- I existerande svensk bebyggelse förefaller det svårare att gå över till LFC eftersom våra värmesystem inte är byggda med ”lägenhetsmoduler” utan med vertikala stamledningar som var och en förser många lägenheter.

4.2.2 Legionella

4.2.2.1 DTU⁸

I ett LTDH-projekt som genomförs på DTU i Danmark försöker man motivera sänkning av temperaturkrav för tappvarmvatten under det obligatoriska 55-60 °C genom att hänvisa till en regel som gäller i Tyskland (DVGW Arbeitsblatt W551). Regeln säger bl.a. att det inte finns några strikta krav på temperaturhållning i distributionsledningar och kopplingsledningar för tappvarmvatten i

1. en- och tvåfamiljshus
2. andra byggnader där tappvarmvattensystemet kan klassas som ”litet”.

⁸ Danmarks Tekniske Universitet

Enligt Gerhardy (2012), som nyligen förtydligat regeln, ska ett tappvarmvattensystem betraktas som ”litet” om tappvarmvattenberedarens totala vattenvolym är högst 400 liter och om volymen av det avsvalnade vattnet i ledningar mellan beredaren och systemets längst belägna tappställe är högst 3 liter. Det sistnämnda kan även uttryckas så att den största volymen av avsvalnat tappvarmvatten som behöver tappas vid något av systemets tappställen inte får överskrida 3 liter. Observera att den totala volymen av systemets ledningar dock får vara större än 3 liter eftersom volymen av de för tillfälle ”icke aktiva” ledningar inte tas med i beräkningen. Om det finns en cirkulationsslinga i systemet tas returledningens volym inte heller med.

Alla system som inte uppfyller kriteriet ovan betraktas som ”stora”. Om ”3-liters-regeln” inte är uppfylld krävs det varmvattencirkulationskrets i systemet. 3-liters-regeln gäller då fortfarande systemets delar som ligger utanför cirkulationskretsen, fast det avsvalnade vattnets volym räknas då från anslutning av en perifer fördelningsledning/stamledning/kopplingsledning till cirkulationsledningen och fram till det längst belägna tappstället i den aktuella systemdelen.

3-litersregelns förutsätter att det finns tappvarmvattenkälla som är ”säker” ur Legionellaprofylax synvinkel. I normalfallet handlar det om en tappvarmvattenberedare med utloppstemperatur lägst 60 °C (Tyskland) eller en cirkulationsslinga där det största tillåtna temperaturfallet mellan dess inlopp och retur är 5 K. Normen poängterar även att profylaxsäkerheten gäller under förutsättning att alla ledningar används regelbundet (”blir regelbundet genomspolade av färskvatten”).

Slutsats:

Normen diskuterar inte huruvida det har betydelse för Legionellaprofylaxen att det inkommande vattnet som då och då passerar ledningarna håller 55-60°C. Ur den synvinkeln borde man kunna likställa vatten som är Legionellafrött genom termisk avdödning med vatten som är Legionellafrött genom annan form av avdödning vid lägre temperatur, t ex UV-ljus (AOT) i ”små” tappvarmvattensystem. Däremot kan det vara diskutabelt om man kan åberopa regeln direkt om tappvarmvattnet ska beredas med utgående temperatur lägre än 55 °C och utan någon annan typ av Legionellaavdödning. Kravet att det inkommande tappvarmvattnet, med rimlig säkerhet, är Legionellafrött är då inte uppfyllt.

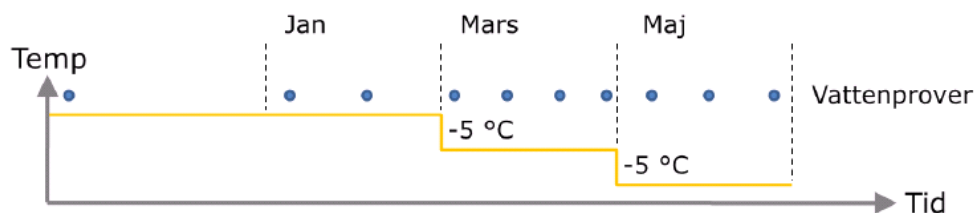
Den ”danska” idén kan dock inte avfärdas så lätt om man beaktar att det i de flesta villor i Sverige finns tappvarmvattenberedare som visserligen ska värma upp tappvarmvattnet till 55-60 °C, men som innefattar en termostatisk blandningsventil som sänker vattnets temperatur under 45 °C innan det lämnar beredaren, genom inblandning av kallt vatten. Detta innebär att de Legionellabakterier som naturligt finns i kallt vatten obehindrat kan ta sig in i husets distributionsledningar och utvecklas där om förutsättningar finns. Legionellaprofylaxen är således inte uppfylld men uppfattas inte som ett signifikant problem i småhus utan, om vi bortser från problem med förrådsberedare, de kända fallen kopplas huvudsakligen till större system med tappvarmvattencirkulation. Observera att blandningsventiler för tappvarmvatten sällan finns i fjärrvärmeanslutna småhus och om de finns används de snarare som övervärmnings-

skydd. Detta förändrar dock inte giltigheten i resonemanget ovan eftersom 90 % av småhus i Sverige värms upp på annat sätt än fjärrvärme.

4.2.2.2 Teknikmarknad

Företaget Teknikmarknad, med ursprung från KTH, har genomfört ett projekt ”Sänkta tappvattentemperaturer och ökat legionellaskydd” (Teknikmarknad, 2011). Projektet hade som syfte att praktiskt undersöka om avdödning av Legionella och andra mikroorganismer i inkommande kallvatten, samt i cirkulerande tappvarmvatten, med hjälp av s.k. oxidationsteknik kunde möjliggöra sänkning av temperaturnivåer i tappvarmvatteninstallationer med 5-10 K.

Fältextperiment utfördes i 10 flerbostadshus där utgående tappvarmvattentemperatur sänktes i två steg med 5 grader, ungefär varannan månad, se Figur 4. Resultat visade att av 8 hus, som var Legionellafria från början, fortsatte 6 hus vara fria från Legionella efter temperatursänkningarna. Resterande två hus fick Legionellatillväxt, i såväl VVC-krets som i lägenheternas duschslangar, redan vid första temperatursänkning. Samma problem hade man i ytterligare två hus, som hade Legionella i VVC-kretsen från början. Det hade visat sig att den använda avdödningstekniken inte kan sänka bakterienivåerna där bakterierna fått fäste.



Figur 4 Schema för provtagning och temperatursänkning i Teknikmarknads projekt. Källa: Teknikmarknad (2011).

Teknikmarknads slutsats blev att den testade avdödningsmetoden är en framkomlig väg om man betraktar den som barriärskydd och ser till att tappvarmvattensystemen innanför barriären är fria från Legionella då skyddet sätts in. När man begrundar fältförsökens resultat, där 25 % av de hus som ansågs vara Legionellafria vid försökets början fick bakterietillväxt efter första temperatursänkning, kan man dock tycka att övervakningsrutiner gällande Legionella i tappvarmvattensystem måste skärpas rejält innan sänkta temperaturer kan börja tillämpas i större utsträckning.

4.2.2.3 Snabb detektering av Legionella i tappvarmvatten

Den etablerade metoden att upptäcka Legionella i tappvarmvatten idag är provtagning och odling. Metoden är säker men något långsam eftersom vattenproverna måste skickas in till ett laboratorium och det typiskt tar minst 2 veckor att få resultat. Nya metoder håller på att tas fram, men än så länge kan de bara betraktas som ett komplement till odlingsmetoden. En av dessa metoder är qPCR (quantitative polymerase chain reaction), också baserad på provtagning. Enligt Lee et al (2011) håller den på

att testas, med avseende på övervakning av förekomst av Legionella i tappvarmvatten och för riskbedömning ur hälsosynvinkel, i ett flertal länder. Hittills är resultaten uppmuntrande, men med vissa förbehåll. De senaste jämförande studierna visar att qPCR-metoden med framgång kan användas för att försäkra sig om låg bakterienivå i vattnet. Problem med tillförlitligheten uppstår dock då bakterienivån har varit hög i ett tappvarmvattensystem och det behövde saneras. En överskattning av smittorisken kan då uppstå eftersom qPCR-metoden har svårt att skilja mellan levande och döda bakterier som finns kvar i systemet under lång tid efter avdödning (Krøjgaard et al, 2011). Vid uppföljande kontroller av ett och samma system som sanerats kan metoden visa trender på bakterienivåer, men om mängden levande bakterier ska fastställas med säkerhet kan den inte ersätta konventionell bakterieodling ännu. Standardisering av metoden pågår för närvarande internationellt. I Sverige avvaktar på att metoden ska vidareutvecklats avseende detektering av levande bakterier (Allestam, 2012).

4.2.3 Avslutande reflexioner

Flera studier har gjorts beträffande nya användningsområden för fjärrvärme, exempelvis fjärrvärmeanslutna vitvaror och fjärrvärmedriven kyla (till exempel Svensk Fjärrvärme, 2010 resp. Nyström et al, 2009).

Sandberg (2011) anser, i Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus – nyproduktion, att man kan klara nya värmeglesa områden genom att fjärrvärmeleverantören eller byggherrarna, kollektivt i ett område, anlägger ett lågtemperaturnät med drifttemperaturer kring 60/25-30 samt använder PEX-rör och cellplastisolering. Samma författare har genom Sveriges centrum för nollenergihus (2012) utrett vilka ogynnsamma konsekvenser det kan medföra för energisystemet om byggnader värms med värmepump och använder fjärrvärme vid spetslast.

4.3 Simuleringsstudie av inverkan på fjärrvärmesystemet av olika värmesystem i lågenergi-byggnader

Följande avsnitt beskriver resultaten av en beräkningsstudie där radiator-, golvvärme- och luftvärmesystem jämförs med avseende på inverkan på fjärrvärmenätet. Denna del har utförts i samarbete med DTU i Köpenhamn och som grund för simuleringarna har danska förhållanden använts. Resultaten kan dock i huvudsak generaliseras till svenska förhållanden.

Simuleringen är gjord med hjälp av programvaran IDA-ICE. Modellen utgörs av ett småhus på 159 m² med ett uppvärmningsbehov enligt danska lågenergibyggnadsklassningen för år 2015 (Energistyrelsen, Byggnadsreglementet) vilket innebär 32 kWh/m² (30 kWh/m² plus 1000 kWh/år dividerad med uppvärmd area). Ventilationssystemet är av FTX-typ och omsätter 60 l/s. Värmeåtervinningen sker i en motströmsvärmväxlare med en totalverkningsgrad på 76 %. I radiator- och golvvärme-fallen sker eftervärmning av tilluften när det är nödvändigt.

Dimensioneringen av värmesystem baseras på (DS 418) med dimensionerande utomhustemperatur (-12°C för Danmark) utan hänsyn till sol och interna värmeskott.

4.3.1 Inverkan av värmeskott

Som framgått tidigare i detta kapitel så utgör värmeskotten (solinstrålning och interna värmeskott från människor och elapparater) i lågenergibyggnader en betydligt större andel av energianvändningen och kan periodvis leda till betydande övervärmning samt orsaka större variationer i värmetillförseln jämfört med konventionella byggnader. Normalt antas ett konstant värde på 5 W/m^2 (1,5 från människor och 3,5 från elapparater) för interna värmeskott under hela året. För lågenergibyggnader föreslås att nivån sänks till 3 W/m^2 . Konsekvensen av en överskattning av värmeskotten vid dimensioneringen är att den faktiska energianvändningen blir högre än den beräknade, något som delvis kan förklara erfarenheterna beskrivna i 3.1

Överensstämmelse projekterad och uppmätt energiprestanda. En annan anledning till högre energianvändning än förväntat i Danmark, är att värmebehovet beräknas för en inomhustemperatur på 20°C medan nya studier visar att de boende generellt föredrar 22°C (Energistyrelsen, 2011). Motsvarande observationer har även gjorts i Sverige (Boverket, 2007).

Anledningen till att konstanta värden för värmeskott används är att modellering av en varierande tillförsel är resurskrävande vid energibalansberäkningar och inte ansetts vara av tillräcklig betydelse. För värmesystem med fjärrvärmeanslutning är dock variationerna av stor betydelse eftersom de påverkar värmeleveransen på timbasis, vilket exempelvis kan ha betydelse för varmhållningen av servisledningar i områden med låg värmetäthet. För att därför kunna studera inverkan av ett varierande värmeskott, så definierade vi ett schema baserat på rimligt utnyttjande av bostaden och studerade skillnaden mellan att använda detta och ett konstant värmeskott. Medelvärde av det varierande värmeskottet uppgår till $4,18 \text{ W/m}^2$. Schemat finns i Bilaga 1.

Ur ett fjärrvärmeperspektiv är det önskvärt om värmesystemet inte kräver en högre temperatur än tappvarmvattensystemet, som då blir dimensionerande för fjärrvärmesystemets framledningstemperatur på över 55°C . En fördel med lågenergihusens lägre värmebehov är att värmesystemen då inte heller kräver lika hög temperaturnivå som i konventionella hus. I denna studie har en konstant framledningstemperatur i radiatorsystemet på 55°C antagits. Motivet att anta en konstant framledningstemperatur, istället för en utomhustemperaturkompenserad, är ett det är en metod som ger förutsättningar för lägsta möjliga returtemperatur i och med att värmeskotten varierar mycket. Dessutom innebär den ökade andelen värmeskott i lågenergibyggnader (i relation till det totala värmebehovet) att det inte är tillräckligt med en framkopplad reglering av värmesystemet utan att återkoppling från rumstemperaturen är nödvändig. Metoden provas av Mälarenergi i Västerås för ny lågenergibebyggelse, med lovande resultat.

Traditionellt har uppvärmningssystem varit kraftigt överdimensionerade. Därför är det relevant att fråga sig om så kommer att vara fallet även i framtida nybyggda låg-

energihus. Erfarenheter från Danmark visar att dimensionering för 20°C inomhus-temperatur i praktiken likväl innebär typiska inomhustemperaturer kring 22°C, något som är möjligt genom att uppvärmningssystemen i allmänhet fortfarande är överdimensionerade. Det är viktigt att komma ihåg att i lågenergihus, där mindre energi tillförs för uppvärmning, får alla avvikelser större genomslag, relativt sett. Vi har till exempel observerat hur stor påverkan de interna värmestillskotten och solinstrålningen har (i synnerhet om dessa missbedöms). En höjning av inomhustemperaturen från 20 till 22°C innebär därför en relativt sett större ökning i energianvändning än i motsvarande normalenergibyggnad. Simuleringarna visade att ett antagande om något lägre värmestillskott, 4,18 W/m² istället för 5 W/m², men med antagande om en mer realistisk variation över dygnet och veckan, resulterade i en 23 % högre energianvändning samt en förlängning av uppvärmningssäsongen med en och en halv månad, d.v.s. sju och en halv månader istället för sex. Det är framför allt värmestillskottens effektstorlek som påverkar energianvändningen, medan dess variation påverkar längden på fjärrvärmeleveransen. Om inomhustemperaturen dessutom höjs till 22°C ökar värmeanvändningen med 75 % och uppvärmningssäsongen blir nio och en halv månad lång. Dessa resultat framgår av Tabell 5 i nästa avsnitt.

4.3.2 Radiatorer

Tabell 5 redovisar resultaten av simuleringar med radiatorsystem. Det första fallet; 01, motsvarar dimensionering enligt dansk standard, vilket innebär ett statiskt värmebelastfall med -12°C och inga värmestillskott. Resterande simuleringsfall är utfall av dynamisk simulering med karakteristisk temperaturdata för Köpenhamn. För fall A1 antas ett konstant värmestillskott på 5 W/m² medan fall B1 har motsvarande värde på 4,18. Varierande värmestillskott med 4,18 W/m² i medeltal användes för fall C1. I fall D1 antas inomhustemperaturen vara höjd till 22°C. Samtliga fall 01-D1 förutsätter dimensionerande radiatortemperaturer enligt 55/25/20 (Fram-/retur-/rumstemperatur), det vill säga lågflöde. Högflödesalternativen med temperatur enligt 55/40/20 motsvaras av fallen 03-D3.

Dels kan man ur tabellen utläsa tidigare nämnda inverkan av värmestillskott, dvs. att såväl energianvändning som uppvärmningssäsongens längd underskattas om värmestillskottens karaktär inte beaktas. Den primära returtemperaturen blir mycket låg, 20-25°C i som flödesviktat årsmedel. Något högre, 27 respektive 32°C, för högflödessystemet, det högre värdet på grund av höjd inomhustemperatur till 22°C.

Tabell 5 Resultat från simuleringar av radiatorsystem.

Fall	Rad-temp	Ti	Värme-tillskott [W/m ²]	Värme-tillskott, typ	Uppvärmnings-energi [kWh/år]	Skillnad [%]	Värme-säsong [månader]	Viktad primär retur [°C]
01	55/25/20	20	0	-	-	-	-	25/29*
A1		20	5	konstant	3274	0	6	20,4
B1		20	4,18	konstant	3890	19	7	20,5
C1		20	4,18	schema	4029	23	7,5	21,2
D1		22	4,18	schema	5744	75	9,5	24,0
03	55/40/20	20	0	-	-	-	-	39,4/46,9*
C3		20	4,18	schema	4025	23	7,5	26,8
D3		22	4,18	schema	5800	77	9,5	32,4

* Avser fall 0 men med Ti = 22°C

Om man jämför kostnaden för radiatorer dimensionerade för 55/25/20 och 55/40/20, så är den 194 % högre i det första fallet, se Tabell 6 Priser för flöde har hämtats från Köpenhamn (2012). Beräkningarna ger att det, för danska förhållanden, går att räkna hem ett lågflödessystem som kräver större radiatorer men som i gengäld ger en mycket låg returtemperatur. Under rådande antaganden är återbetalningstiden för större radiatorer 26 år om inomhustemperaturen är 20°C (C1 vs C3) och 12 år för 22°C (D1 vs D3). Förväntad avkylning i denna prismodell är 28°C, vilket ger en returtemperatur om 27°C om en framtemperatur på 55°C antas. Bonusen/avgiften uppgår till 5,14 DKR/(MWh/°C). Tappvarmvattendelen antas utgöra 13,1 kWh/m² med 20°C i medelreturtemperatur. För en mer fullständig ekonomisk utvärdering måste antaganden om kalkylränta och framtida (ökade) avgifter för flöde/avkylning göras, här är endast syftet att belysa olika aspekter av nyttan med lågflödessystem i lågenergihus.

Tabell 6 Ekonomisk jämförelse av två möjliga radiatordimensioneringar.

Fall	Kostnad radiatorer [%]	Kostnad radiatorer [DKK]	Volym [m ³ /år]	Medelretur	Avkylningsbonus [DKK/år]
C1	194	6523	155	20,86	193
D1			237	23,08	158
C3	100	3361	186	24,73	71
D3			340	29,70	– 109

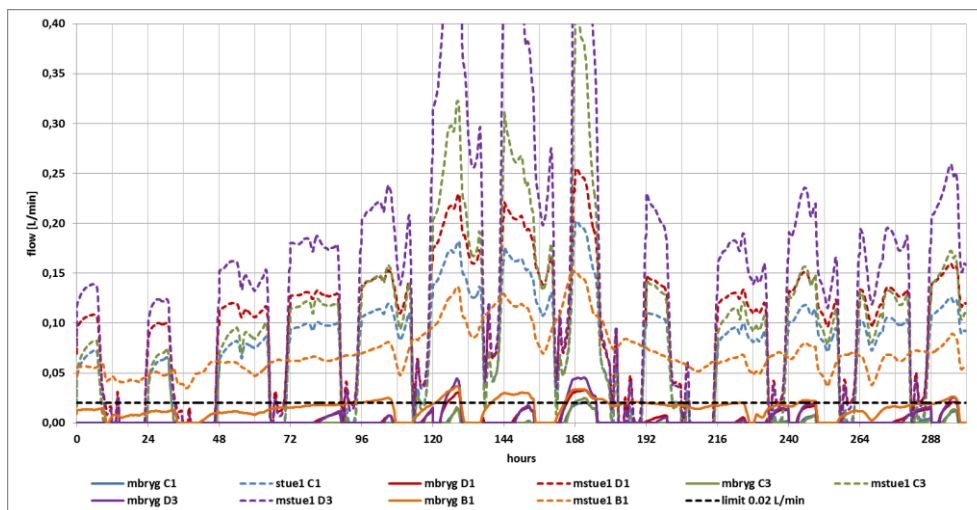
Antaganden:

Medelretur	27	°C
Avkylningsbonus	5,14	DKK/(MWh/K)
Tappvarmvattenbehov	2096	kWh
Medelretur TVV	20	°C

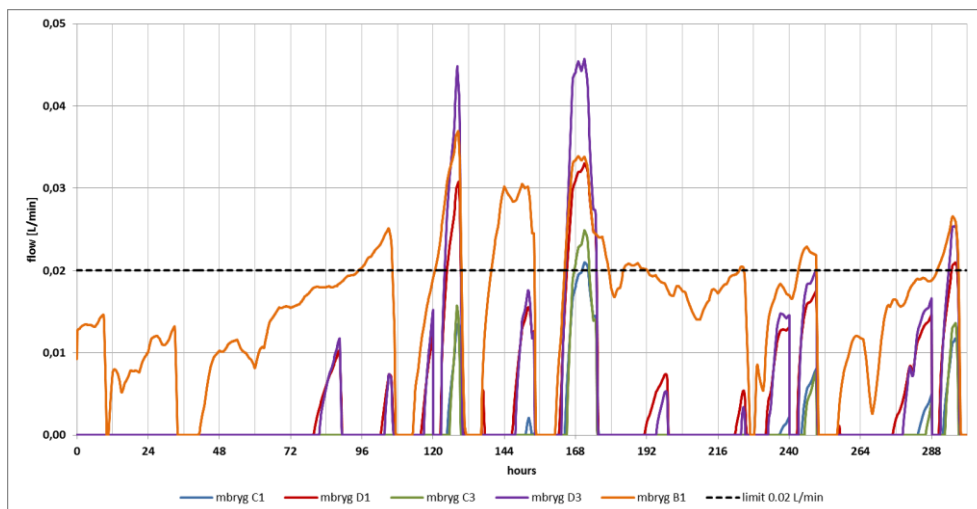
4.3.2.1 Radiatorflöde i lågenergihus

Det är på sin plats att kommentera flödets storlek genom radiatorerna i ett lågenergihus, då dessa är väldigt små. Det svenska företaget MMA tillverkar radiatorventiler lämpliga för lågflödesinjusterade radiatorkretsar. Det lägsta reglerbara flödet, enligt laborietest som nyligen genomförts av MMA för projektets räkning, är 0,02 l/min (Samuelsson, 2012). Se vidare i avsnitt 4.4.

Figur 5 visar simulerade flöden genom två valda radiatorer under vinterperiod, timme 0-300, för de olika simuleringsfallen. De är placerade i vardagsrummet (stue) respektive grovköket (bryg); den ena har det högsta och den andra det lägsta flödet. Flödet i vardagsrummets radiator är som minst 0,03 L/min, vilket är reglerbart, medan flödet i grovkökets radiator hela tiden är lägre än gränsflödet enligt ovan. Figur 6 visar samma diagram med 0,05 L/min som maxvärde på y-axeln. Här syns tydligt hur flödet i grovkökets radiator är mindre än lägsta reglerbara flöde. Det sistnämnda gäller för de flesta radiatorer i huset, inte minst under vår och höst, så man kan fråga sig hur detta påverkar radiatorventilernas funktion. Det mest sannolika är att dessa arbetar on/off hela tiden med några minuters intervall (Samuelsson, 2012). Liknande fenomen bör uppstå i lågflödesinjusterade radiatorkretsar, speciellt under våren, i rum exponerade mot söder, men har inte rapporterats som ett problem. Situationen är dock litet annorlunda i lågenergihus som är känsligare för effektvariationer, varför inverkan av on/off reglering av radiatorer i sådana hus borde undersökas vidare.

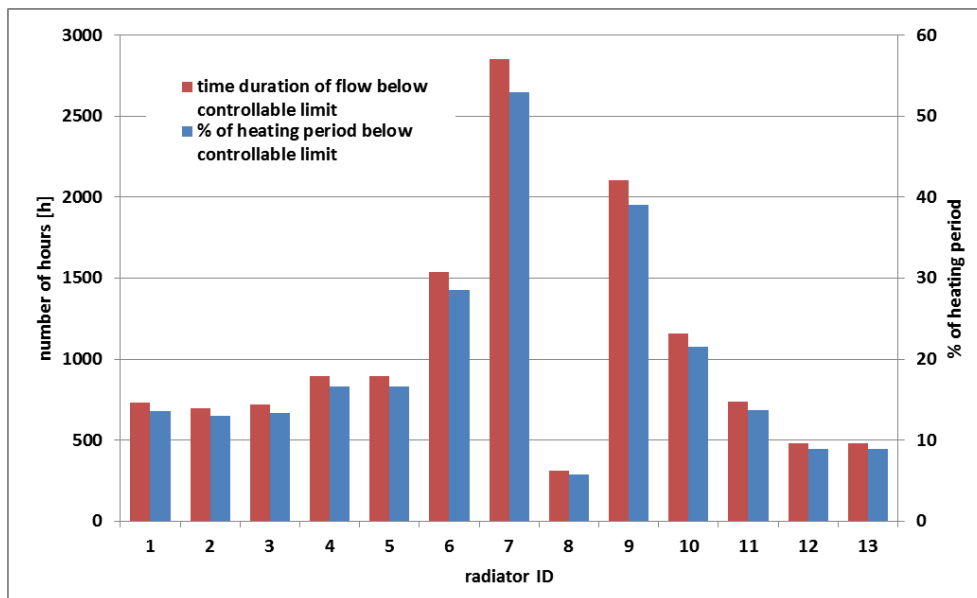


Figur 5 Variabla vattenflöden i radiatorn med lägst flöde (bryg/grovkök) respektive högst flöde (stue/varagsrum) för de olika simuleringsfallen.



Figur 6 Variabla vattenflöden i radiatorn med lägst flöde (bryg/grovkök) för de olika simuleringsfallen.

Figur 7 är ett försök att ytterligare illustrera i vilken omfattning man kan tänka sig att man har radiatorflöden som ligger under gränsen för reglerbarhet. Staplarna visar alla radiatorer i huset och hur många timmar respektive radiator ligger under gränsen (röda staplar) samt hur stor andel av tiden det motsvarar (blåa staplar). Slutsatsen är åter att det skulle behövas undersökas ytterligare.



Figur 7 Varaktighet för radiatorflöden under gränsen för reglerbarhet (0,02 L/min).

4.3.2.2 Överdimensionering

Tabell 7 visar maxeffekten från radiatorer och ventilationens eftervärmare för de olika simuleringsfallen. Syftet är att återigen belysa betydelsen av hur värmetillskotten hanteras. Fall 01 tar inte hänsyn till värmetillskott utan förutsätter konstant utetemperatur på -12°C . För övriga fall redovisas registrerad momentan maxeffekt baserat på den lägsta utetemperatur som förekommit (-21°C). För fall A1, där 5 W/m^2 i värmetillskott tillkommer gäller att maximalt registrerad effekt från radiatorerna uppgår till 73 % av dimensionerat värde. Vad som är intressant är att i fall D1, med inomhustemperatur 22°C och $4,18 \text{ W/m}^2$ värmetillskott enligt schema, är maxeffekten mycket nära det dimensionerade värdet. Detta förklarar de danska erfarenheterna där faktisk inomhustemperatur uppgår till 22°C , alltså att även ett ”korrekt” dimensionerat system för 20°C inomhustemperatur medger en faktisk temperatur på 22°C . Att värmebatteriets effekt blir avsevärt högre i fall A1-D1 jämfört med fall 01 beror på högre bypassflöde i värmeväxlaren då utemperaturen är -21°C istället för -12°C .

Tabell 7 Maxeffekter i värmesystemet.

Fall	$P_{\max}[\text{W}]$		Radiatorernas överkapacitet
	Radiatorer	Värmebatteri	%
O1	2967	607	0
A1	2154	1247	27
B1	2298	1251	23
C1	2613	1258	12
D1	2972	1117	0

4.3.2.3 Ventilationssystemets värmeåtervinning

I Tabell 8 jämförs inverkan av två olika tilluftstemperaturer i ventilationssystemet samt två olika verkningsgrader för luftvärmväxlaren för simuleringsfall B1. Den lägre tilluftstemperaturen (16°C) används vid inomhustemperatur 20°C och den högre (18°C) vid 22°C. En höjd verkningsgrad, från 76 % till 85 % medför endast 1 % sänkt värmeanvändning. Det beror på längre drifttider med bypass. För fallet med 22°C inomhus blir sänks värmeanvändningen med 16 %. Frostskyddet i en motströmsvärmväxlare begränsar alltså effekten av en höjd verkningsgrad.

Tabell 8 Inverkan av två olika tilluftstemperaturer i ventilationssystemet samt två olika verkningsgrader för luftvärmväxlaren.

	Tilluftstemperatur 16°C		Tilluftstemperatur 18°C	
	76	85	76	85
Verkningsgrad FTX [%]	76	85	76	85
Värmebehov [kWh/år]	3276	3246	2918	2511
%	100	99	89	77

Låt oss avsluta radiatoravsnittet med en titt på hur stor andel av uppvärmningsenergin som tillförs genom eftervärmning av tilluften. Värmebatteriets energianvändning uppgår till 3-4 % av det totala uppvärmningsbehovet vid 20°C inomhustemperatur och till 1 % vid 22°C inomhustemperatur, se Tabell 9. En elslinga skulle medföra lägre installationskostnad och ta mindre plats. Å andra sidan, vill man från fjärr-

värmebranschens sida fånga upp så mycket värmebehov som möjligt, så finns det anledning att ha fjärrvärmeanslutna värmebatterier.

Tabell 9 Andel uppvärmningsenergi för eftervärmning av tilluften.

Fall	Värmebehov [kWh/år]	Värmebatteri [kWh/år]	Andel %
A1	3274	137	4,2
B1	3890	138,2	3,6
C1	4029	129,4	3,2
D1	5744	64,8	1,1

Man kan fråga sig om inte ventilationsflödet kan sänkas vid mycket låga utetemperaturer. Det skulle leda till att mindre eftervärmning erfordras utan negativa konsekvenser för komforten. Frysrisken kvarstår emellertid, om man inte väljer en roterande värmeväxlare. Ett system med radiatorer kombinerat med roterande värmeväxlare utan eftervärmning skulle kunna vara en förhållandevis enkel lösning för småhus av lågenergistandard. Dock bör den tidigare nämnda problematiken med fuktöverföring studeras närmare.

4.3.3 Golvvärme

Ett lätt golvvärmesystem har modellerats. Varje rum har en individuell krets där regleringen, något förenklat, modelleras med on/off-reglering baserad på återkoppling från temperaturgivare i rummet. Framledningstemperaturen regleras efter en kurva anpassad till utetemperatur och flödet är konstant. Systemet är dimensionerat för att ge 3°C temperaturfall och därmed ett relativt högt flöde för att säkerställa jämn värmedistribution. On/off-regleringen kan fungera olika beroende på fabrikat. Genomgående är gångtiden för reglerventilen några minuter. Kontinuerlig flödesreglering kan åstadkommas genom användning av lågfrekventa pulssignaler. En sådan lösning används till exempel av Danfoss. Simuleringsprogramvaran medgav dock inte möjlighet till en sådan reglerstrategi.

Simuleringsresultaten visas i Tabell 10. Faktum är att golvvärmesystemet ger högre returtemperatur än de andra två testade systemen. Totalt sett så ligger dock såväl fram- som returtemperatur på en mycket låg nivå. Simulering av fallen A1 och D1 har här prioriterats bort av tidsskäl. Resultaten för B1 och C1 redovisar något högre värmeanvändning jämfört med motsvarande fall för radiatorer, på grund av att regleringen är långsammare. För enkelhets skull jämförs dock resultaten för B1 och C1 i tabellen med A1 för radiatorer.

Tabell 10 Simuleringsresultat för golvvärmesystem.

Fall	Värmetillskott [W/m ²]	Typ av värmetillskott	Värmebehov [kWh/år]	Ökning [%], relativt A1 radiatorer	Uppvärmningssäsong [månader]	Viktad primär retur [°C]
01	0	-	-	-	-	26,2
B1	4,18	konstant	4198	28	7,2	22,9
C1	4,18	schema	4160	27	7,9	23,3

Värmeanvändningen blir 8 respektive 3 % högre än motsvarande fall med radiatorer. Golvvärmen karakteriseras, till skillnad från radiatorer och luftvärme, av en intermittent lastprofil med korta perioder av maxlast följt av perioder utan värmelast orsakat av on/off-regleringen.

4.3.4 Luftvärme

Inledningsvis användes IDA-ICE:s inbyggda modell för värmebatteriet, kallad Ashrae advanced model, tillsammans med aktuella parametrar och ingångsvärden. En begränsning i denna modell är att den förutsätter turbulenta flöden, vilket stämmer väl då lasten är nära den dimensionerande, men då aggregatet framför allt arbetar vid dellast är såväl vatten- som luftflöden ofta laminära vilket försämrar värmeöverföringen. Detta har hanterats genom att utveckla en iterativ modell i Excel med hjälp av tillverkardata (Veab.com) för att beräkna värmeöverföringen och därmed returtemperaturen. Dessvärre kräver beräkningen oerhört mycket datorkapacitet varför endast årets första 1 100 timmar har simulerats, och då endast för konstanta värmetillskott. Eftersom luftvärmen inte kan regleras på rumsnivå så visar simuleringarna på kraftigt varierande temperaturer i olika rum. Totalt för de 1 100 timmarna ger originalmodellen en primär returtemperatur på 19°C medan den modifierade modellen resulterar i 25,8°C. Varierande interna tillskott ger ännu större variationer mellan olika rum och modellen får problem att konvergera. Därför redovisas inga resultat för detta fall. Se Tabell 11 för resultat för samtliga simuleringsfall.

Tabell 11 Simuleringsresultat för luftvärme. Även här har fallen A1 och D1 utelämnats.

Fall	Värmetillskott [W/m ²]	Typ av värmetillskott	Värmebehov [kWh/år]	Ökning [%], relativt A1 radiatorer	Uppvärmningssäsong [månader]	Viktad primär retur [°C]
01	0	-	-	-	-	53,1
B1	4,18	konstant	4446	36	6,9	18,2
C1	4,18	varierande	4670	43	7,3	-

För designfallet (01) så åstadkommer luftvärmesystemet en temperatur i alla rum kring $20 \pm 0.25^\circ\text{C}$. Värmebatteriet arbetar med $9/49^\circ\text{C}$ på luftsidan och $55/53.1^\circ\text{C}$ på vattensidan. Då värmetillskott introduceras sjunker den maximala tilluftstemperaturen till 41.5°C . I genomsnitt blir tilluftstemperaturen 30°C och den viktade primära returtemperaturen $18,2^\circ\text{C}$. Värmeanvändningen för luftburen värme blir 14 respektive 16 % högre än motsvarande fall med radiatorer. Det beror på att det krävs ett högre ventilationsflöde (90 l/s istället för 60 l/s) för att kunna leverera erforderlig mängd värme utan att tilluftstemperaturen blir för hög.

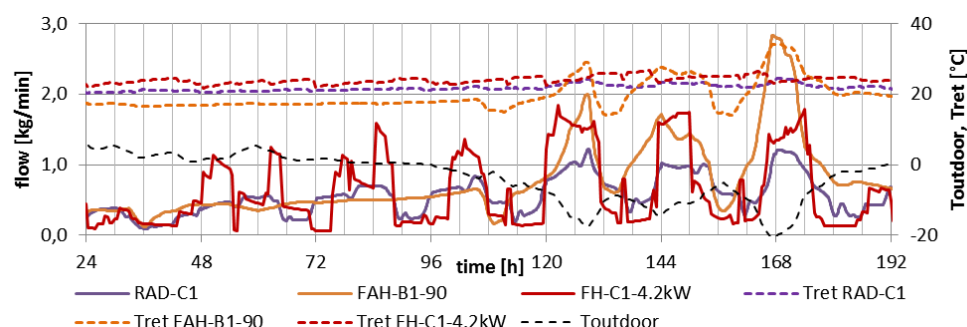
Luftvärmesystemet är sämre än de andra två systemen på att ge en jämn inomhus-temperatur i alla rum. Regleringen för luftbatteriets värmetillförsel baseras på den totala medelreturtemperaturen från alla rum (frånluften), vilket skapar problem om det till exempel råder kraftig solinstrålning i de södra rummen som höjer rumstemperaturen i dessa. Reglersystemet sänker då tilluftstemperaturen vilket orsakar alltför låg temperatur i de norra rummen. Liknande förlopp upprepas ofta under simuleringen.

Situationen blir ännu värre då varierande värmetillskott används istället för konstanta. En annan reglermetod än den samlade frånluftstemperaturen skulle förstås avhjälpa problemet med kalla rum men problemet med avsaknad av rumsreglering kvarstår. En lösning på det är att ha individuell reglering av ventilationsflöde i respektive rum (vanligt vid ventilation i lokaler), vilket skulle bli mer kostsamt.

Totalt sett så blir värmeanvändningen högre än med radiatorer och golvvärme, vilket beror på att man tvingats höja luftflödet för att tillgodose värmeförsörjningen, varpå ventilationsförlusten ökar. Samma luftflöde som i radiatorfallet ger samma värmebehov. Den primära returtemperaturen har alla förutsättningar att bli låg; hittills förefaller det dock som att de värmeväxlare som används för att överföra värme från fjärrvärmenätet till tilluften inte är optimerade för fjärrvärmedrift, det vill säga god avkylning av vätskeflödet, utan snarare för kompaktet (Bernestål, 2012).

4.3.5 Sammanfattning

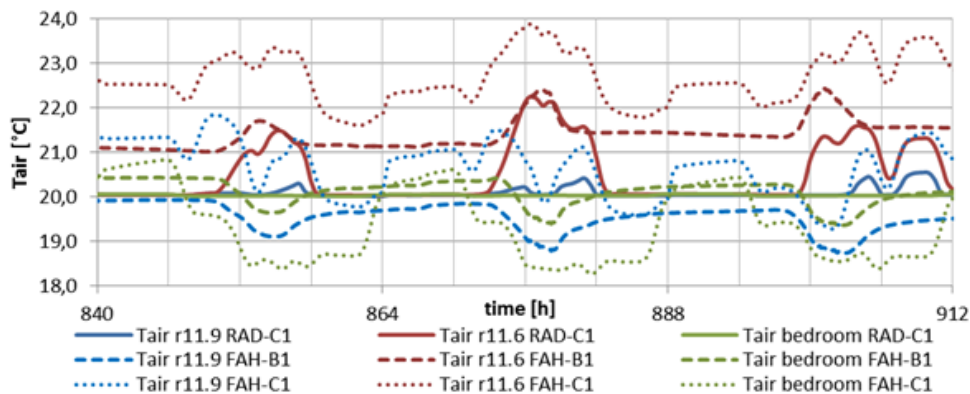
Figur 8 visar erforderligt primärflöde och returtemperatur för de studerade uppvärmningssystemen under den kallaste delen av året.



Figur 8 Primärflöde respektive primär returtemperatur vid hög last för respektive värmesystemlösning.

Medan radiator- och luftvärmesystemet arbetar mer kontinuerligt, så arbetar golvvärmesystemet on/off vilket orsakar stora flödestoppar. Returtemperaturen är låg för alla system, dock, vid hög last, något högre för luftvärme på grund av dålig avkylning på vätskesidan. Radiatorsystemet har lägsta maxflödet på 1,2 kg/min, följt av golvvärmesystemet med 2 kg/min och luftvärmesystemet med 2,8 kg/min.

Radiatorsystemet ger jämnast inomhustemperatur då det reagerar snabbt på ändrade värmetillskott. Golvvärmesystemet ger liknande resultat, om än något sämre på grund av större tröghet. Sämst är luftvärmesystemet eftersom det regleras baserat på den samlade frånluftstemperaturen. Med korrekt antagande om varierande värmetillskott innebär det att även om den genomsnittliga frånluftstemperaturen är 20°C, så kan några rum bli övervärmda medan andra är för kalla. Figur 9 visar temperaturen i tre olika rum för radiator- respektive luftvärmesystem.



Figur 9 Inomhustemperatur i tre olika rum för radiator- respektive luftvärmesystem.

4.4 Inverkan av små vattenflöden

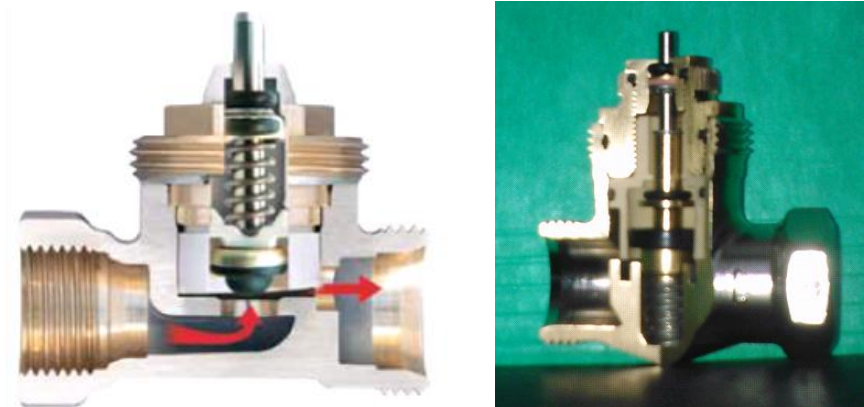
4.4.1 Reglering av små vattenflöden

Resultat av simuleringar ovan visar att vattenflöden som passerar enskilda radiatorer i lågenergihus ofta blir väldigt låga. Vid projektets uppstart hade vi en hypotes att befintlig armatur för sekundära värmekretsar klarar att reglera sådana flöden och därför vill vi verifiera den nu.

Anledningen till små vattenflöden i radiatorerna är att de dimensionerande effekterna blir små, 100-300 W per radiator, och att, trots redan låga temperaturnivåer, hög avkylning, 20-30 K, eftersträvas. Om vi tar en radiator, dimensionerad för 100 W vid avkylning 25 K, som exempel blir det nödvändiga flödet knappt 0.001 l/s (c:a 20 droppar!) eller 3.6 l/h. Är ett sådant flöde fortfarande reglerbart?

Varje ventil har ett s.k. reglerområde, d.v.s. ett förhållande mellan det största flöde, som erhålls vid fullt öppen ventil och det lägsta flöde som fortfarande är reglerbart. Lägsta möjliga flödet genom ventilen beror på ventils konstruktion, se Figur 10, och tillverknings toleranserna, men även på ställdonets egenskaper (främst upplösning). I varje styrning finns det i slutändan friktionskrafter som måste övervinnas genom att styrkraften ökar tills den statiska friktionen övervinns. Därför kan lägesändring av t ex en ventilspindel inte bli oändligt liten och små hopp vid positionering

förekommer. Dessutom finns det fluidmekaniska fenomen i ventilen som gör att flödet, då ventilen är nära stängningsläge, blir instabilt (pulserande) vilket påverkar kraftbalansen i ventilen. I praktiken måste det lägsta reglerbara flödet bestämmas experimentellt.



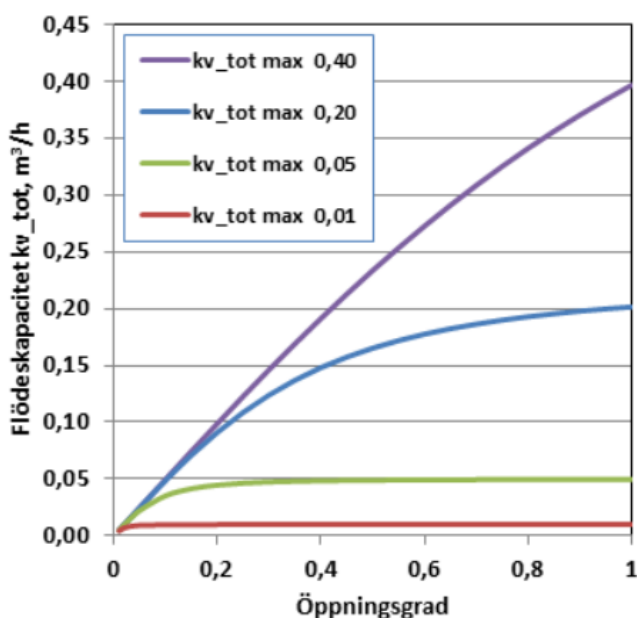
Figur 10 Genomsnitt av ett typiskt ventilhus hos radiatorventiler. Till vänster TAH typ TRV2, till höger MMA typ AN.

En parameter som vi även måste ta hänsyn till är s.k. förinställning av radiatorventiler. Förinställning innebär inbyggd förstrykning i syfte att begränsa ventilens maximala flödeskapacitet, s.k. k_v -värde, så att det passar enskild radiator. Förstrykningen utförs så att det i ventilhuset finns, förutom ordinarie ventilkäglas, en inställningsbar strypning. Detta innebär att det under drift finns två strypningar i serie; en variabel och en fast.

Den totala stryppuffekten kan beräknas enligt:

$$k_{v,tot} = \frac{1}{\frac{1}{k_{v,förinställning}^2} + \frac{1}{k_{v,käglas}^2}}$$

Om vi väljer en ventil med största möjliga kapacitet, $k_{v_max} = 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ som exempel, och antar att $k_{v,käglas} = 0.43 \text{ m}^3/\text{h}$, då får vi $k_{v,förinställning} = 1.1 \text{ m}^3/\text{h}$ enligt formeln. Hur kapaciteten k_v kommer att variera beroende på ventilkäglans öppningsgrad vid olika förinställningar visas i Figur 11. Man ser att en från början nästan linjär flödeskaraktistik kröks mer och mer då ventilens kapacitet begränsas med hjälp av förinställningen, d.v.s. då $k_{v,förinställning}$ minskas. När begränsningen är störst ($k_{v_max} = 0.01$) och ventilen stänger, så börjar kägla verka först vid mycket låga öppningsgrader (i fjärrvärmesammanhang brukar man tala om att styrventilens auktoritet är för låg). Regleringen i det fallet blir mycket känslig för ventilhusets och ventilkäglans utformning samt för termostathuvudets upplösning vid positionering, vilket i sig skulle kunna leda till on/off-reglering.



Figur 11 Flöde genom radiatorventilen vid olika förinställningar, $kv_{tot,max}$, beroende på ventilkäglans öppningsgrad.

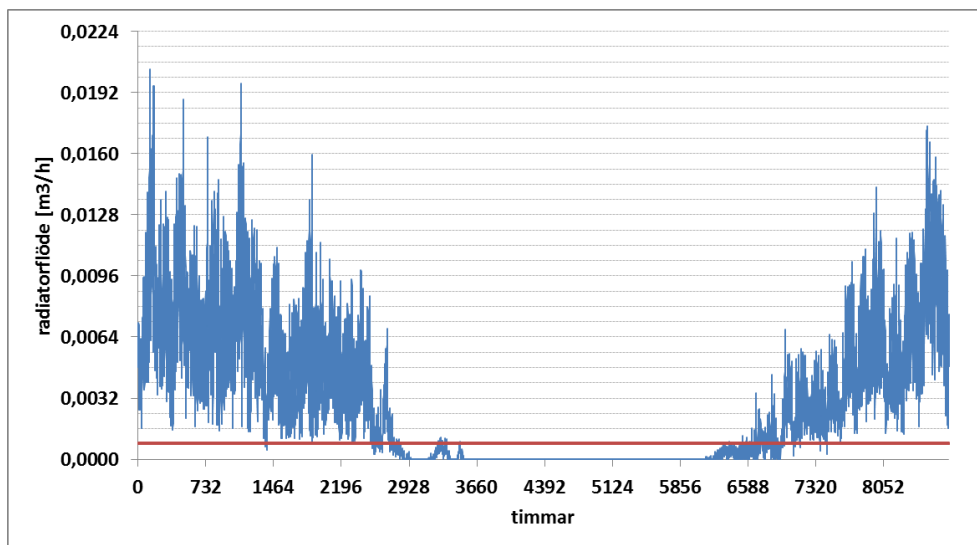
Leverantörer av radiatorventiler, såsom Danfoss, TA Hydronics eller MMA m.fl., tillhandahåller tryckfallsdiagram där flöden vid olika tryckfall kan avläsas. De lägsta flöden angivna i diagrammen är ofta 1 l/h men det lägsta reglerbara flödet specificeras inte. För att få klarhet har vi inom projektet vänt oss till företaget MMA AB i Markaryd, som tillverkar radiatorventiler, bland annat en som är lämpad för lågflödesinjusterade radiatorkretsar. Företaget har beredvilligt ställt sitt testlaboratorium till förfogande och kontrollerat hur flödet ändras vid stängning/öppning i en ventil typ AN, $k_v = 0.4 \text{ m}^3/\text{h}$ vid tryckfall över ventilen 3 kPa och vid förinställning motsvarande $k_v = 0.1, 0.05$ resp. $0.01 \text{ m}^3/\text{h}$. Testerna gav vid handen att det lägsta erhållna flödet inte ändrades med förinställning och var ca 0.0003 l/s eller 1.2 l/h vid de olika försöken.

Detta bekräftar att de låga flödena i radiatorer i lågenergihus kan vara ett problem, speciellt för mindre radiatorer eller vid reglering med konstant framledningstemperatur och variabelt flöde över radiatortermostaten. On/off-reglering kommer att uppstå.

4.4.2 Inverkan på energimätning

Med tanke på att flöden i direktanslutna radiatorsystem med konstant framledningstemperatur kan bli väldigt låga finns det anledning att fundera hur detta påverkar energimätarens noggrannhet. Energimätarens flödesgivare registrerar flöde inom ett visst område (definierat i normen EN 1434-1), där det lägsta flödet som mäts med föreskriven noggrannhet, q_{min} , är 1% av det dimensionerande flödet q_p och där mätaren slutar registrera flödet vid $q_{cut-off}$, som brukar vara minst hälften av q_{min} eller ännu lägre. Flöden som är lägre än $q_{cut-off}$ kommer således förbli oregistrerade.

För att undersöka denna inverkan har vi valt den minsta mätarstorleken i energimätarserien Multical 402 (tillv. Kamstrup), $q_p = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$. I det fallet blir $q_{\min} = 6 \text{ l/h}$ och $q_{\text{cut-off}} = 3 \text{ l/h}$. Vi väljer nu fall C1 RAD och använder flödesdata från simuleringen för att bedöma hur stor del av radiatorflödet kommer att förbli oregistrerat, se Figur 12. Vi har konstaterat att den vattenvolym som motsvarar flöden lägre än 3 l/h utgör 1,4 % av den totala årsförbrukningen, motsvarande 40 kWh energiförbrukning.



Figur 12 Radiatorflöde för C1 RAD i blått och mätarens $q_{\text{cut-off}}$ i rött.

Detta är det mest ogynnsamma fallet, där radiatorventilerna antas klara av att reglera obegränsat låga flöden. Som redan konstaterats så är det inte fallet i verkligheten; vi har konstaterat att det lägsta flöde en radiatorventil klarar att reglera är c:a $1,2 \text{ l/h}$, annars arbetar den on/off. Detta förbättrar flödesmätarens möjligheter att registrera flödesförbrukning eftersom så fort tre radiatorventiler öppnar samtidigt så överskrider det totala flödet flödesmätarens cut-off-gräns. Således är uppskattningen av oregistrerad flödesvolym enligt ovan överdriven. Vi har försökt utreda frågan vidare men inte kunnat implementera radiatorventilernas verkliga beteende i IDA-ICE. Det konstaterade flödesbortfallet ligger dock inom flödesmätarens mättolerans.

4.5 Slutsatser

De studier som är gjorda på lågenergihus visar ingen tydlig riktning beträffande val av värmesystem i framtida lågenergihus. Det råder viss osäkerhet kring hur den termiska komforten i lågenergihus påverkas av olika värmesystem, en bild som förstärks av våra simuleringar. Både en del litteratur och simuleringarna visar även att inverkan av värmestillskott från sol, människor och elapparater blir betydligt kraftigare i lågenergihus.

Med en mer realistisk profil för värmestillskott från sol, människor och elapparater, det vill säga som varierar enligt ett schema vars medelvärde uppgår till $4,18 \text{ W/m}^2$, blir resultatet en höjd värmeanvändning och förlängd uppvärmningssäsong (23 %

respektive 1,5 månad i fallet med radiatorsystem). Med avseende på totalt värmebehov så är ett korrekt värde på värmetillskotten av större betydelse än den varierande karaktären, som dock har betydelse för funktionen hos luftvärme samt påverkan på fjärrvärmenätet.

Ett lågflödessystem för radiatorer, 55/25°C, istället för högflöde, 55/40°C, ger en återbetalningstid på 26 år men sjunker till 12 år om inomhustemperaturen hålls på 22°C istället för 20°C. Om värmepriset och vikten av god avkylning ökar, så minskar återbetalningstiden. Ur teknisk synvinkel är skillnaden mellan systemen mindre, i båda fallen kommer de minsta förekommande flödena att bli mycket små som en följd av lågenergihuset låga värmebehov. Med befintlig armatur kommer on/off-reglering att uppstå i de flesta radiatorer. Inverkan av on/off-reglering på komfort och energiförbrukning i lågenergihus borde undersökas närmare.

Hög termisk verkningsgrad på en luftvärmväxlare av motströmstyp lönar sig knappast då drifttiden med bypass kommer att öka och bromsa höjningen av den totala verkningsgraden.

Luftvärmesystemet har teoretiskt en möjlighet att generera mycket låg returtemperatur till fjärrvärmenätet (eftersom den kyler mot lufttemperaturen efter värmväxlaren, som är lägre än inomhustemperaturen). Emellertid har luftvärmen problem med att upprätthålla en jämn inomhustemperatur och saknar möjlighet till rumsreglering. Radiatorsystem och golvvärmsystem kan också erbjuda mycket låga returtemperaturer i lågenergibyggnader. Golvvärmen karakteriseras, till skillnad från radiatorer och luftvärme, av en intermitterant lastprofil med korta perioder av maxlast följt av perioder utan värmelast orsakad av on/off-regleringen, vilket kan vara en nackdel för fjärrvärmenätet.

De låga radiatorflödena kan skapa problem för värmeregleringen då flödena under betydande del av tiden ligger under nivån för lägsta reglerbara flöde. För flödesmätningen bedöms dock problemet vara mindre. Högst 1,4 % av värmemängden hamnar under värmemätarens nedre gräns för flödesregistrering (cut-off-flöde).

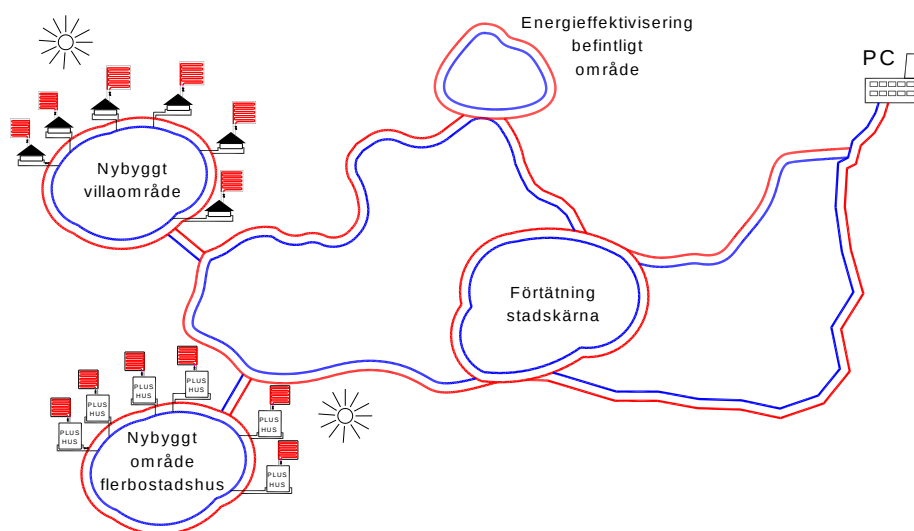
5 HUR PÅVERKAS FJÄRRVÄRMENÄTET?

5.1 Simulering av nätverk

För att få en bild av hur förändrade förhållanden i nätet kommer att påverka driftsparametrar som temperaturer, tryck och flöde, har simuleringar av olika scenarier utförts i NetSim[®], som är ett beräkningssystem för fjärrvärmenät. Systemet används av ett flertal fjärrvärmeleverantörer i Sverige. Med inlagda data för produktion och fjärrvärmekulvert i nätet, och med hjälp av detaljerad information om kundernas förbrukning och avkylning går det att simulera vad som händer i nätet vid olika utomhus-temperaturer och driftsfall.

För denna studies ändamål har vi använt en nätmodell av Karlstads fjärrvärmenät. Det bör dock påpekas att, trots att simuleringarna bygger på ett befintligt nät, så återspeglar de studerade/simulerade områdena inte nödvändigtvis existerande eller planerade nybyggnadsområden i Karlstad. Placeringen av de simulerade områdena är dock utvalda i samråd med Karlstad Energi, för att komma så nära verkliga scenarier som möjligt. En principskiss över nätets simulerade områden visas i Figur 13.

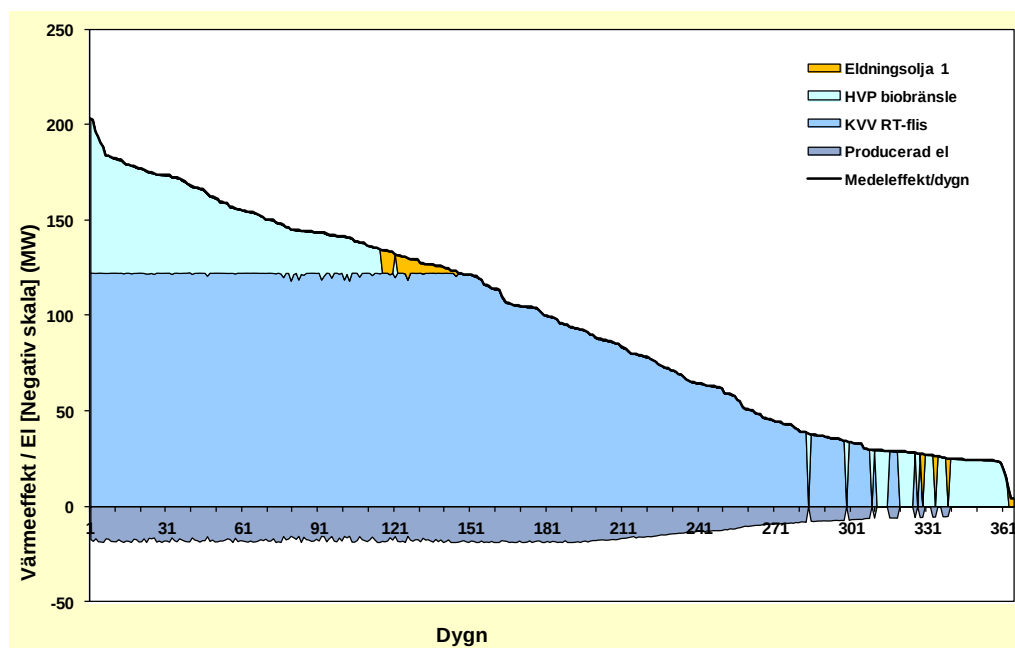
I NetSim-modellen för Karlstads fjärrvärmenät finns alla befintliga laster inlagda. Effekterna för dessa laster baseras på 2010 års energiförbrukning och räknas om m.h.a. s.k. kategorital, som skiljer sig något för olika kundtyper. För framtidsscenarioet anpassas nätmodellen efter de förutsättningar som beskrivs i avsnitt 5.6 *Fjärrvärmekulvert*.



Figur 13 Fjärrvärmenät med de olika typområden som simuleras.

5.2 Fjärrvärmeproduktion

Fjärrvärmeproduktionen för nätet antas komma från en produktionsmix med kraftvärme från RT⁹-flis i botten (ca 60% av maxlast), biobränslepanna samt oljepanna för spets (täcker de sista 10% av maxlasten). De angivna effektandelarna gäller ursprungsscenarioet. Hur produktionen förändras med ändrade lastförhållanden i nätet behandlas i kapitel 6 *Systemkostnader och klimatanalys*.



Figur 14 Varaktighetsdiagram för värmeproduktionen i utgångsläget

5.3 Simulerade byggnader

Samtliga nyanslutna byggnader som simulerats i NetSim har beräknats i VIP Energy, som utför dynamiska beräkningar baserade på en byggnadsmodell och väderdata för aktuell ort. Ett antal olika byggnadskategorier, som kan vara aktuella för nybyggnation i framtiden, har beräknats; lågenergihus, passivhus, hus med solfångare för eget behov samt plushus. Beräkningar har gjorts för enfamiljshus (160 m²) och större flerbostadshus (4000 m²) samt för ett miljonprogramshus (ca 8000 m²). Dessa byggnader ska ses som exempel på kommande fjärrvärmelaster. I verkligheten kommer byggnader med såväl lägre som högre värmebehov att byggas och värmelasten kommer förmodligen, som konstaterats tidigare i denna rapport, att i större utsträckning bero mer på brukarbeteende och mindre på klimatfaktorer.

⁹ Returträ; d.v.s. utsorterat bygg-, rivnings- och industriavfall, emballagematerial, lastpallar och liknande.

5.3.1 Renovering av miljonprogrammet

En modell av ett hus med relativt hög energiförbrukning byggdes upp i VIP Energy®. En lastprofil har beräknats för byggnaden före åtgärder, och för byggnaden efter åtgärder har tre olika fall simulerats:

- Enbart renovering av byggnadsskalet
- Renovering av byggnadsskalet samt installation av FTX för frånluftsåtervinning
- Renovering av byggnadsskalet samt installation av frånluftsvärmepump för frånluftsåtervinning

En sammanställning av energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten, fördelat på fjärrvärme och el presenteras i Tabell 12 och varaktigheten för fjärrvärmelasten för de beräknade åtgärdsalternativen visas i Figur 15. Det bör noteras att endast fjärrvärmelasten redovisas i diagrammet; därutöver har byggnaderna även ett elbehov (speciellt frånluftsvärmepumplösningarna)

5.3.1.1 Före renovering

Huset antas vara relativt dåligt isolerat, ha läckflöden samt sakna frånluftsåtervinning. Årligt fjärrvärmebehov är ca 126 kWh/m^2 , år. Som framgår av Figur 15 överstiger det dimensionerade effektbehovet 60 W/m^2 .

5.3.1.2 Efter renovering (utan frånluftsåtervinning)

De huvudsakliga åtgärderna för att förbättra byggnadsskalet är

- Nya fönster med låga U-värden. Samtidigt minskas även läckflöden kring fönstren.
- Taket har tilläggsisolerats.
- Köldbryggor och onödiga läckflöden har åtgärdats. Väggar och golv är oförändrade i övrigt.

Nytt årligt fjärrvärmebehov blir ca 96 kWh/m^2 , år. Driftelen till värmesystemet minskar också något. Som framgår av Figur 15 blir det dimensionerade effektbehovet drygt 40 W/m^2 .

5.3.1.3 Efter renovering och installation av FTX

Förutom de angivna åtgärderna i 5.3.1.2, så installeras även ett system för från- och tilluftsventilation med återvinning, så kallat FTX-system. Detta system kräver oftast att byggnaden kompletteras med tilluftskanaler (och i förekommande fall även från-

luftskanaler), då dessa sällan finns i bostäder byggda under miljonprogramsåren. SFP¹⁰ för ventilationssystemet är 0,67 kW/(m³/s).

Årligt fjärrvärmebehov blir ca 74 kWh/m², år. Elförbrukningen beräknas bli 4,1 kWh/m², år. det dimensionerade effektbehovet för fjärrvärme blir ca 38 W/m², se Figur 15.

5.3.1.4 Efter renovering och installation av frånluftsvärmepump på radiator- och varmvattenkrets

Förutom de angivna åtgärderna i 5.3.1.2, så installeras även ett system för återvinning av värme ur frånluften med värmepump. Det är värt att påpeka att värmepumpens COP inte påverkar hur mycket värme som kan återvinnas ur frånluften, däremot innebär ett högre COP att fjärrvärmebehovet blir högre, eftersom en mindre mängd el bidrar till husets värmeförsörjning. Något som däremot påverkar hur mycket värme som kan tas ur frånluften är arbetsmediets förångningspunkt. De flesta frånluftsvärmepumpar har en förångningspunkt kring 0°C, vilket innebär att utgående lufttemperatur blir ca 5°C. Det finns dock kondenserande frånluftsvärmepumpar som har en utgående lufttemperatur på ca -15°C. Dessa värmepumpar tar då även tillvara kondenseringsvärmen i frånluften.

Frånluftsvärmepumpen i simuleringsmodellen antas kunna kyla frånluften ned till 0°C och har ett COP på 2,5–3,5, beroende på framledningstemperatur i byggnaden. Utvunnen värmemängd ur frånluften antas vara lika stor som för FTX (5.3.1.3) vid 0°C. Den värme man får från värmepumpen används i radiatorkretsen samt för tappvarmvatten så långt den räcker, därefter tar man energin från fjärrvärmen. I de fall byggnaden saknar ventilationskanaler måste den kompletteras med frånluftskanaler. Eftersom ett system med frånluftsvärmepump kopplad till tappvarmvattnet kräver en ackumulatortank för att fungera effektivt har vi förutsatt att ackumulatören även nyttjas för att jämna ut tappvarmvattenlasten för fjärrvärmen.

Årligt fjärrvärmebehov blir ca 46 kWh/m², år och elbehovet för uppvärmning 19 kWh/m², år. Det dimensionerade effektbehovet för fjärrvärme blir ca 34 W/m², se Figur 15. Av de studerade alternativen är det den lösning som har störst behov av primärenergi. Varaktigheten för fjärrvärmelasten är mindre än 5000 timmar, därutöver är det endast ett marginellt tillskott för att spetsa temperaturen.

5.3.1.5 Efter renovering och installation av frånluftsvärmepump endast på radiatorkretsen

För denna systemlösning gäller samma förutsättningar som för 5.3.1.4 *Efter renovering och installation av frånluftsvärmepump på radiator- och varmvattenkrets*. Skillnaden är att i detta fall ansluts endast radiatorkretsen till frånluftsvärmepumpen. Detta innebär att värmepumpen tillvaratar något mindre värme från frånluften, men eftersom radiatorkretsen generellt har ett lägre temperaturkrav än tappvarmvattnet, så

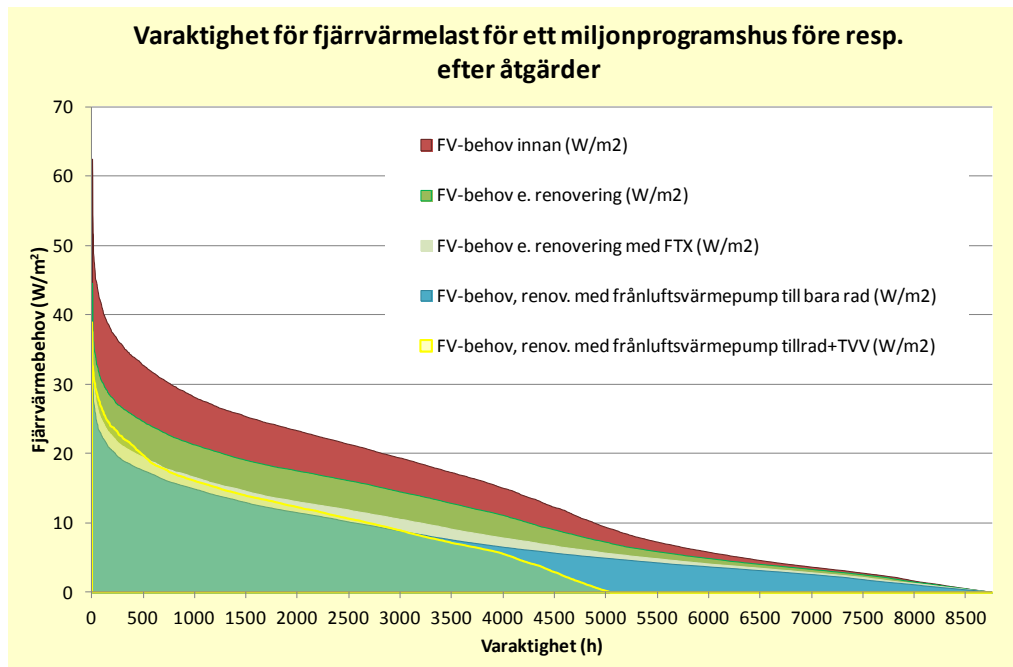
¹⁰ Specific Fan Power (SFP) är en parameter som anger ett ventilationssystems energieffektivitet; den eleffekt som krävs för att driva en eller flera fläktar, i förhållande till volymflödet genom fläkten (er).

får pumpen ett högre COP. Installationen blir både enklare och billigare, eftersom ingen ackumulering av varmvatten behövs.

Årligt fjärrvärmebehov blir ca 61 kWh/m², år och elbehovet för uppvärmning ca 13 kWh/m², år. Det dimensionerade effektbehovet för fjärrvärme blir ca 36 W/m², se Figur 15.

Tabell 12 Sammanställning av fjärrvärme- och elförbrukning (uppvärmning och tappvarmvatten) för simulerad miljonprogrambyggnad. För beräkning av primärenergi är fjärrvärme viktad med 0,8 och el med 2,6.

	Innan	Renoverat	Renoverat med FTX	Renoverat Frånlufts- värmepump	Renoverat Frånlufts- värmepump endast rad
Årsenergi Fjärrvärme (kWh/m ²)	126	96	74	46	61
Årsenergi El (kWh/m ²)	0,24	0,16	4,1	19,0	13,2
Årsenergi tot. (kWh/m ²)	127	96	78	65	74
Årsenergi primär- energiviktad (kWh/m ²)	102	77	70	86	83
Minskad energiförbr. (oviktad)	-	24%	38%	48%	42%



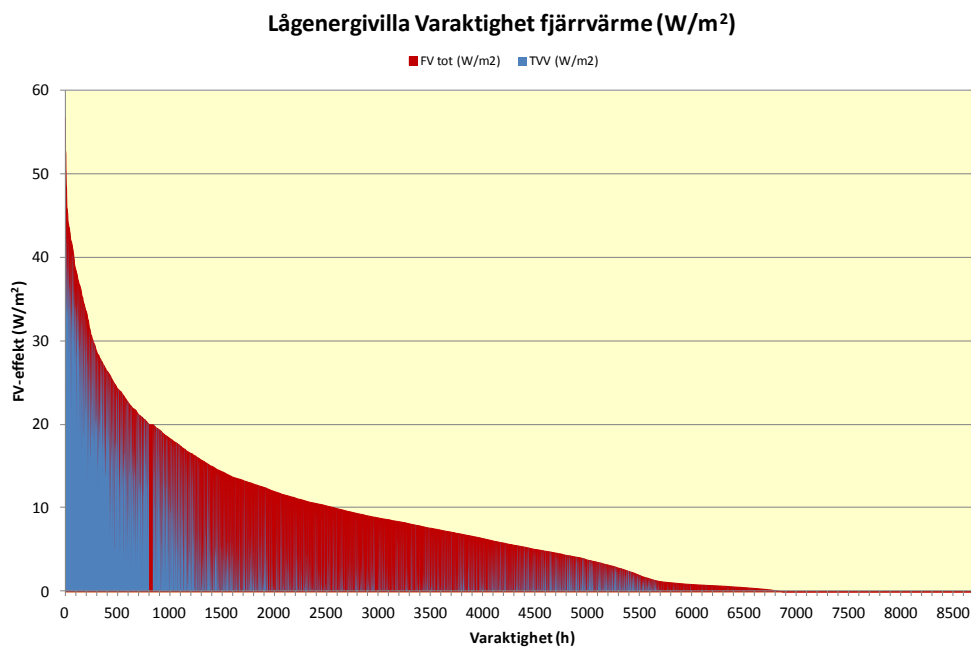
Figur 15 Varaktighet för fjärrvärmebehovet för ett miljonprogramshus, beräknat i VIP Energy. 5 olika lastfall presenteras: behovet innan åtgärder samt behovet efter renovering; utan frånluftsåtervinning; med FTX; med frånluftsvärmepump till enbart radiatorsystemet resp. till både tappvarmvatten- och radiatorkrets.

5.3.2 Enfamiljshus

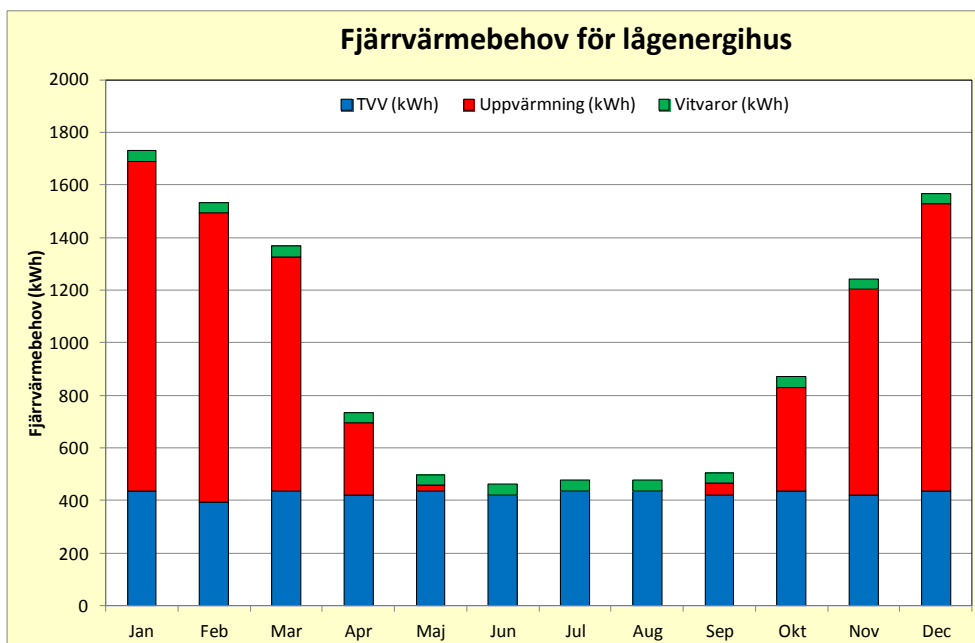
5.3.2.1 Enfamiljshus av lågenergityp

Som nämns i avsnitt 2.1 *Vad är lågenergibyggnader?*, så finns det ett antal olika begrepp för hus med lågt energibehov, bl.a. minienergihus, nära-noll-byggnader och passivhus. Ett hus som byggs enligt senaste BBR kan, i viss mån, även anses vara ett lågenergihus, i jämförelse med befintligt bebyggelse. Lågenergihuset i denna studie är beräknade med FTX för värmeåtervinning av ventilationsluften.

De simulerade lågenergihuset som används i småhusområdet i studien har en årsförbrukning på ca 69 kWh/m², år. Med värmedrivna vitvaror ökar årsförbrukningen till ca 72 kWh/år, beroende på disk- och tvättfrekvensen. I Figur 16 visas ett varaktighetsdiagram över fjärrvärmelasten för ett enfamiljshus av lågenergityp. Som framgår av diagrammet så utgör tappvarmvattenbehovet en stor del av hela lasten. Den branta formen på varaktighetsdiagrammet består till stor del på effektoppar som tappvarmvattnet ger. Varmvattenförbrukningen är i högsta grad brukarberoende och kan variera stort mellan olika hushåll. Även tidpunkter och tappningsfrekvenser kan skifta.



Figur 16 Varaktighet för fjärrvärmebehovet för uppvärmning och tappvarmvatten (TVV) för ett enfamiljs-lågenergihus.

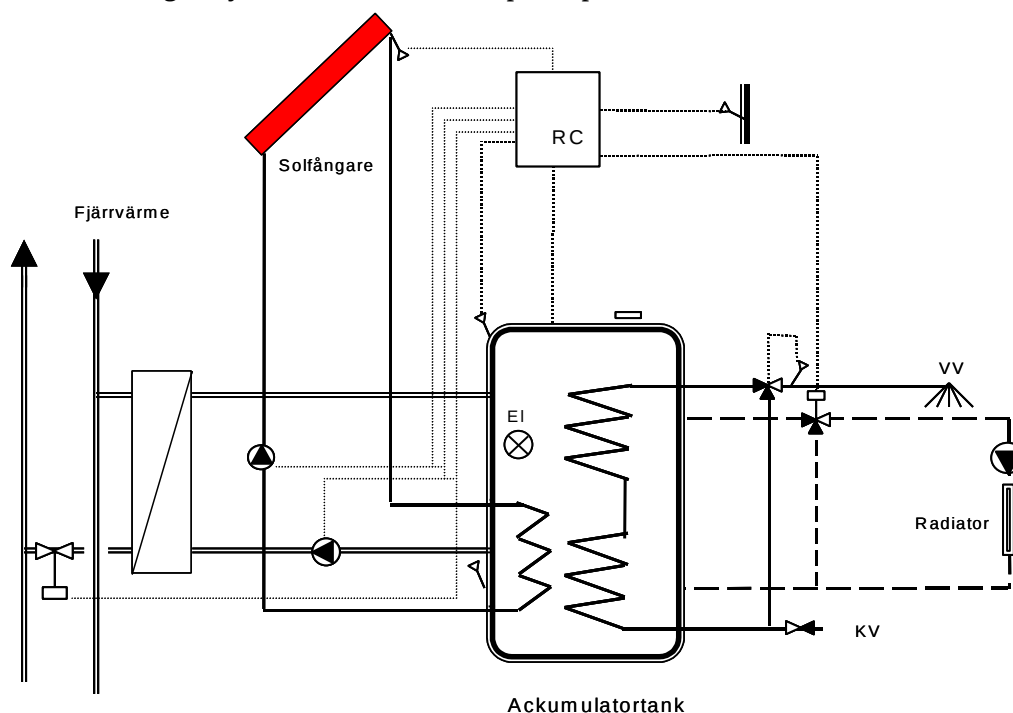


Figur 17 Månadssammanställning över fjärrvärmeförbrukning för ett enfamiljs-lågenergihus med värmedrivna vitvaror.

5.3.2.2 Hus med solfångare för eget behov

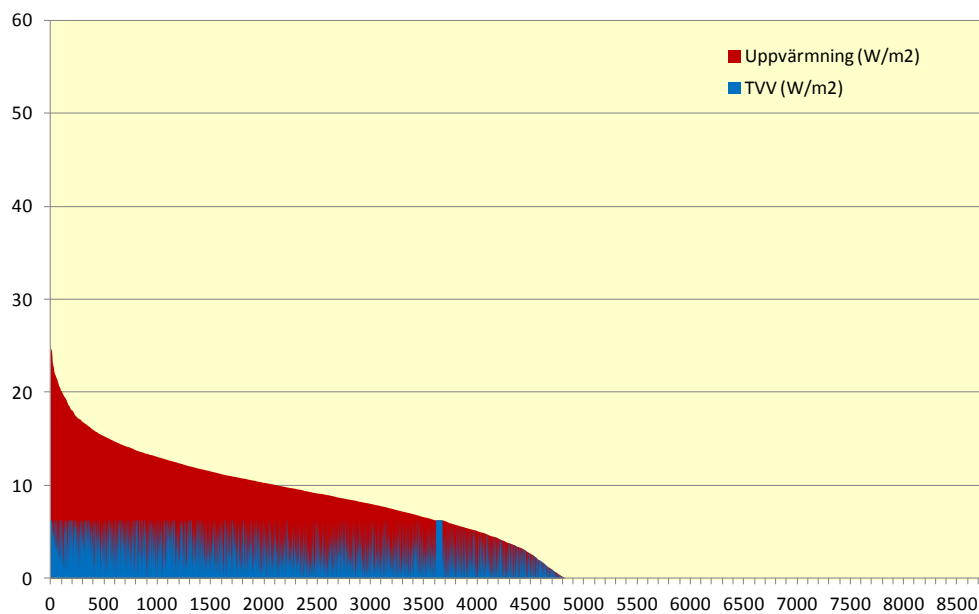
I det tänkta villaområdet är ungefär halva bebyggelsen försedda med solfångare för beredning av eget tappvarmvatten. Kopplingsprincipen för solvärmeinkopplingen är hämtad från *Solfjärrvärme för villaområden* (Zinko, 2003), se Figur 18. I denna installation används systemets ackumulatortank även för fjärrvärmeinkopplingen, vilket innebär att lasttoppar kan undvikas. För ett enfamiljshus innebär det en betydande skillnad i dimensionerande värmelast, vilket framgår tydligt om man jämför varaktighetsdiagrammen för de båda enfamiljshusen med varandra (Figur 16 och Figur 19).

Villorna med solfångare i småhusområdet i studien har en årsförbrukning av fjärrvärme på ca 52 kWh/m², år. Med värmedrivna vitvaror ökar årsförbrukningen till ca 56 kWh/år, beroende på disk- och tvättfrekvensen. I det simulerade scenariot har vi antagit att vitvarorna är anslutna till fjärrvärme. Beroende på val av inkoppling skulle vitvarorna även kunna vara anslutna till solfångaren, vilket skulle minska fjärrvärmelasten, men samtidigt innebära en något mer komplicerad kopplingsprincip. I Figur 20 redovisas månadssammanställningar över fjärrvärmelasten för huset med solfångare. Eftersom tappvarmvattenbehovet utgör en stor del av hela lasten, så blir det en märkbar reducering av fjärrvärmelasten under april-september.



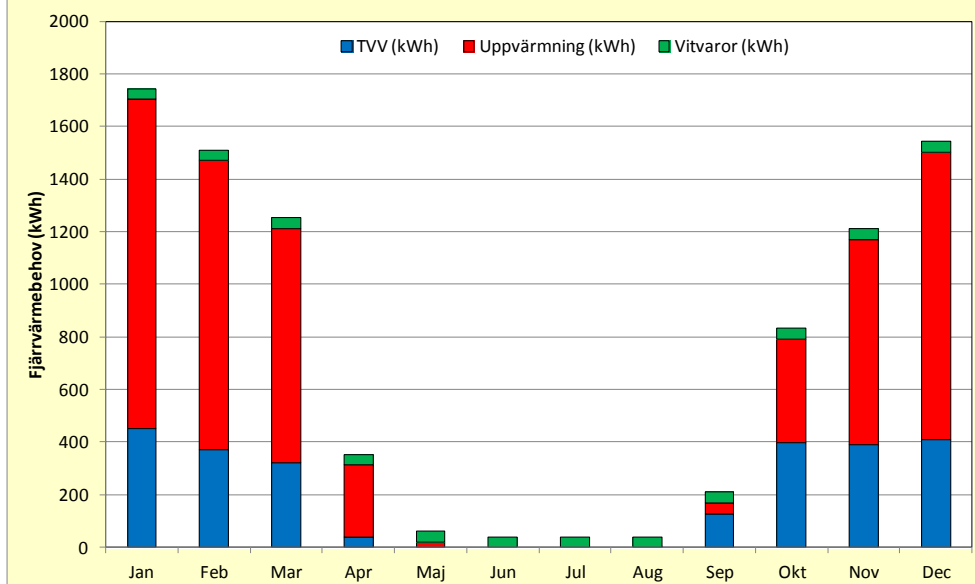
Figur 18 Installation av solfångare och fjärrvärme för ett enfamiljshus (Zinko, 2003).

Varaktighet fjärrvärme för lågenergihus med solfångare (enfamiljshus)



Figur 19 Varaktighet för fjärrvärmebehovet för uppvärmning och tappvarmvatten för ett enfamiljs-lågenergihus med värmedrivna vitvaror och solfångare för tappvarmvattenberedning.

Fjärrvärmebehov för lågenergihus med solfångare för TVV

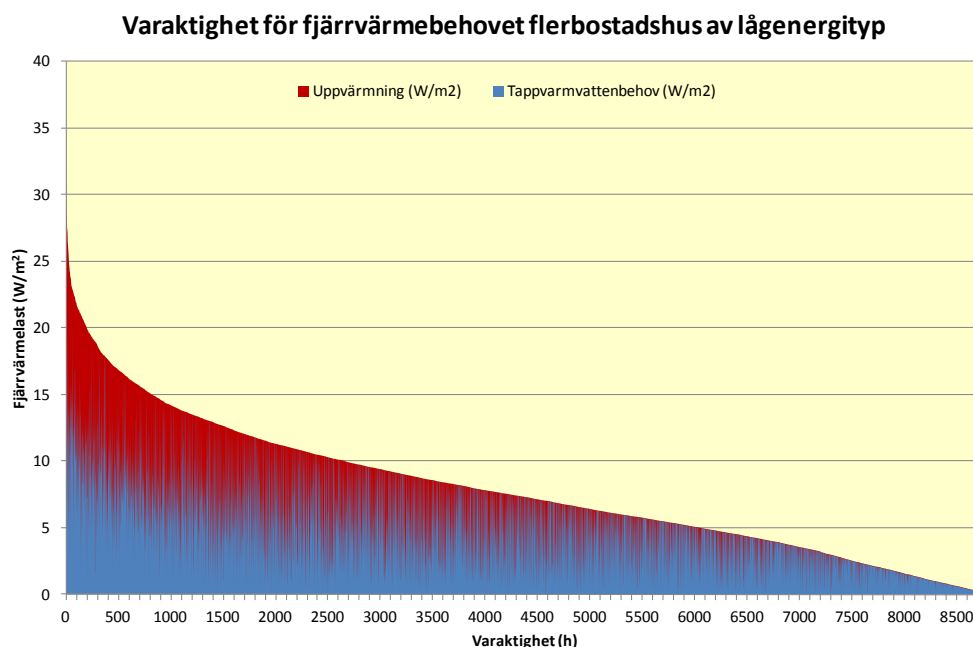


Figur 20 Månadssammanställning över fjärrvärmeförbrukning för ett enfamiljs-lågenergihus med solfångare för tappvarmvattenberedning samt med värmedrivna vitvaror.

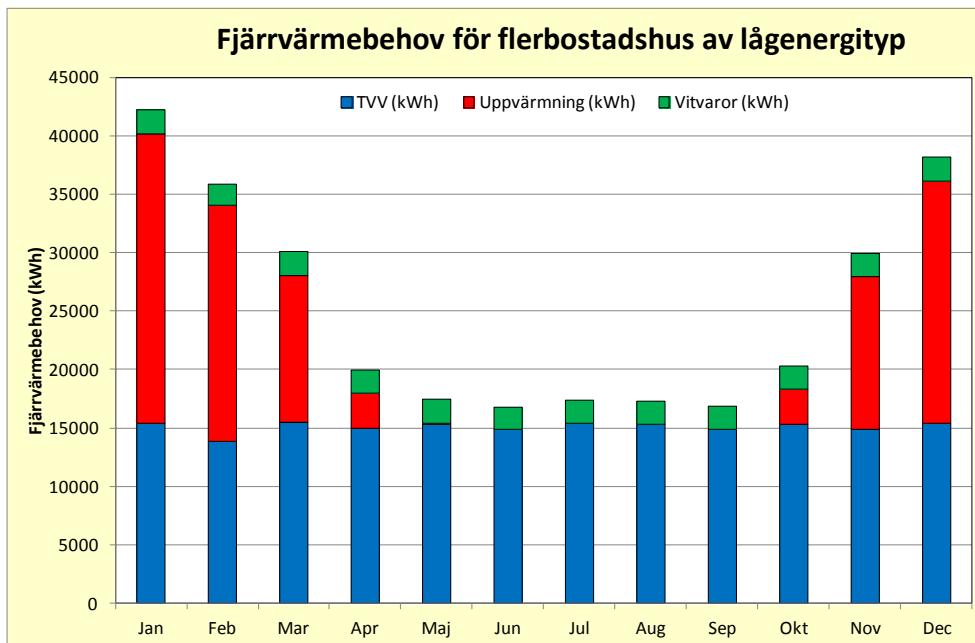
5.3.3 Flerbostadshus

5.3.3.1 Flerbostadshus av lågenergityp

Modellen för flerbostadshuset har en uppvärmd yta på 4000 m² och 50 lägenheter. De simulerade lågenergihusen som används i flerbostadshusområdet i studien har en årsförbrukning på ca 70 kWh/m², år. Med värmedrivna vitvaror skulle årsförbrukningen bli ca 76 kWh/m², år. I Figur 25 visas ett varaktighetsdiagram över fjärrvärmelasten för ett flerbostadshus av lågenergityp. Precis som i fallet med enfamiljshuset så utgör tappvarmvattenbehovet en stor del av hela lasten, men sammanlagringen av tappningarna gör att det inte blir lika stora effekttoppar.



Figur 21 Varaktighet för fjärrvärmelasten för ett flerbostadshus av lågenergityp

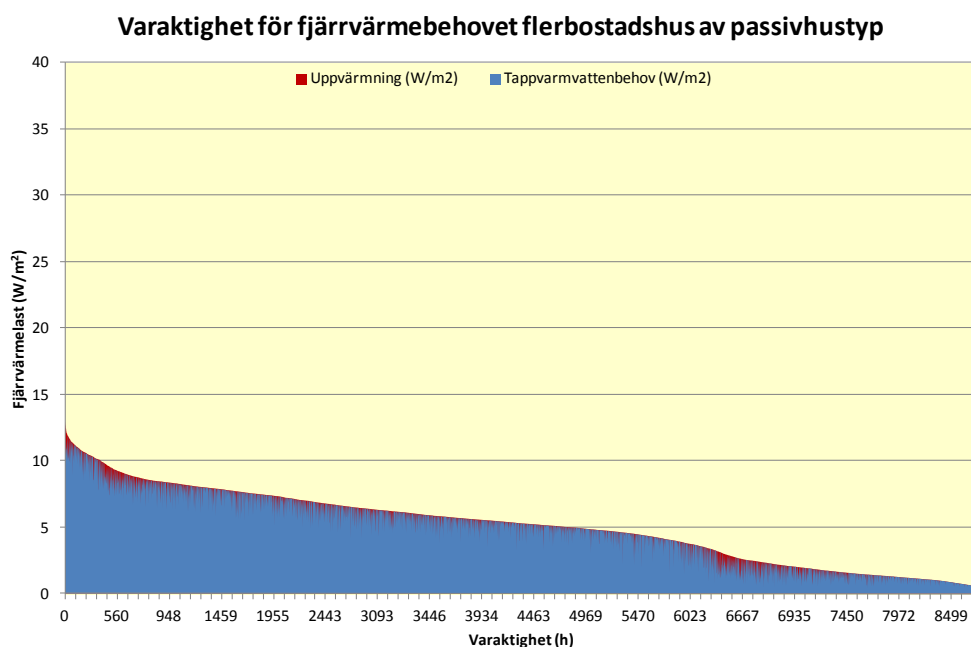


Figur 22 Månadssammanställning över fjärrvärmeförbrukning för ett flerfamiljs-lågenergihus med värmedrivna vitvaror.

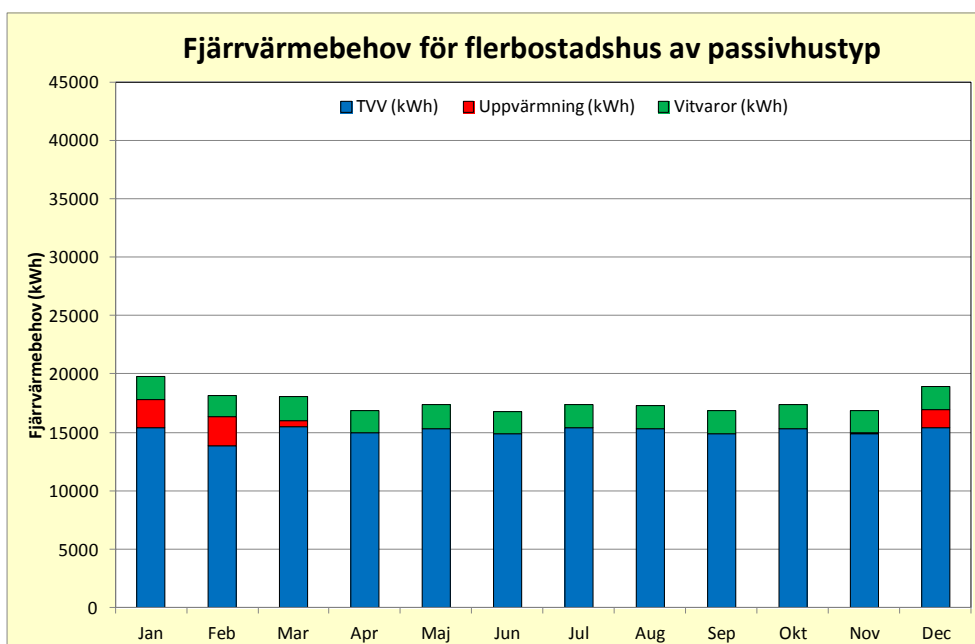
5.3.3.2 Passivhus - flerbostadshus

Precis som för lågenergihuset har flerbostadshuset av passivtyp en uppvärmd yta på 4000 m² samt 50 lägenheter. De simulerade passivhusen har luftburen uppvärmning; FTX-aggregat med fjärrvärme som eftervärmning. En månadssammanställning över fjärrvärmelasten presenteras i Figur 24. Årsförbrukningen för fjärrvärmen är ca 47 kWh/m², år (varav tappvarmvattnet står för ca 45 kWh/m², år). Med värmedrivna vitvaror skulle årsförbrukningen bli ca 53 kWh/m², år.

Eftersom fjärrvärmebehovet för uppvärmning är så pass lågt, så får varaktighetskurvan ett flackt utseende (Figur 23). Dimensionerande effektbehov är ca 12 W/m².



Figur 23 Varaktighet för fjärrvärmebehovet för uppvärmning och tappvarmvatten för ett passivhus (flerbostadshus).



Figur 24 Månadssammanställning över fjärrvärmeförbrukning för ett passivhus (flerbostadshus) med värmedrivna vitvaror.

5.3.3.3 Plushus- flerbostadshus

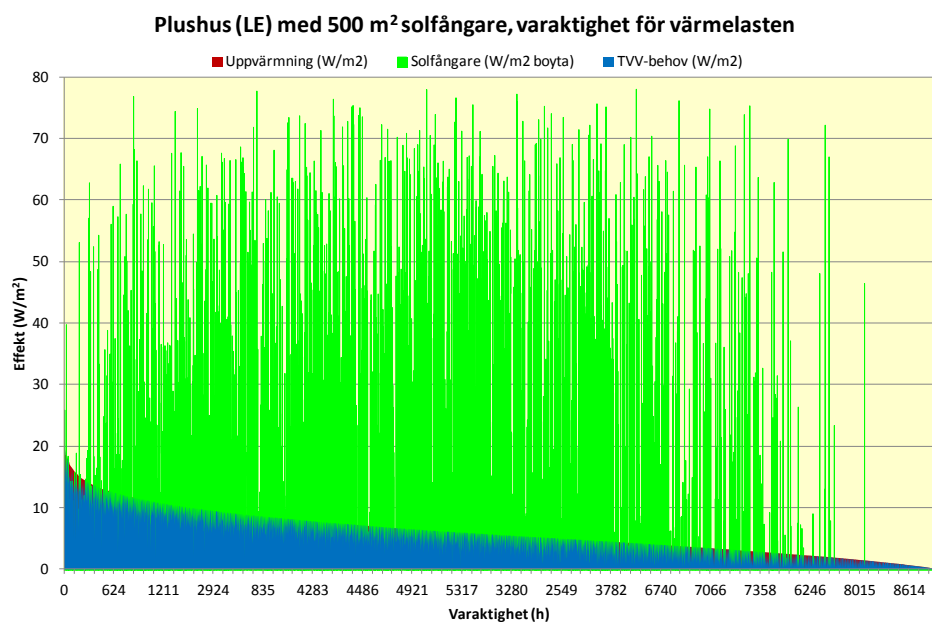
Definitionen för ett plushus är att det genererar mer energi än det gör av med. Energin kommer typiskt från sol eller vind. Hus med exempelvis solceller, vindsnurror eller annat som ger ett överskott på el, levererar detta till elnätet. Plushus som levererar ett värmeöverskott till fjärrvärmenätet har hittills inte förekommit¹¹ i Sverige, men i Växjö byggs nu ett plushus (enfamiljshus) som planeras ha en nettoleverans av energi till både el- och fjärrvärmenätet. Huset kommer att byggas som ett demonstrationshus, med byggstart i slutet på juni 2012 och planerad inflyttning november 2012.

I denna studie har vi valt att inte ha enfamiljshus av plustyp, eftersom installationen som skulle krävas bedömdes som kostsam i förhållande till den energimängd som är möjlig att leverera. Däremot har vi tänkt oss plushus i två områden med flerbostadshus; dels nybyggnadsområdet, dels i förtätningen av stadskärnan. Varje byggnad förses med 500 m² vakuumrör-solfångare, vilket ligger på gränsen för hur stor takyta en byggnad av den här storleken har till förfogande för en vettig solfångarinstallation. Inmatning av värmen sker till fjärrvärmens framledning, med en fastställd framledningstemperatur (80°C). Byggnaderna har inga egna ackumulatortankar, utan använder fjärrvärmenätet för att avsätta solenergin. I VIP Energy® beräknas, förutom själva byggnadens värmelast, även värmen som tillvaratas i solfångarna. För att husen ska kvalificera som plushus krävs rimligen att de även har ett nettoöverskott på el som levereras till elnätet. Den elen behöver komma från någon annan källa än solceller på taken, eftersom den tillgängliga ytan redan är upptagen av solfångarna. Tankbara lösningar är vindsnurror, för byggnader i stadens utkanter eller solceller på väggarna. Det är även tänkbart att utnyttja ytan effektivare genom att använda kombinerade värme/el-solfångare¹². Analys över plushusens elproduktion inkluderas dock inte i denna studie

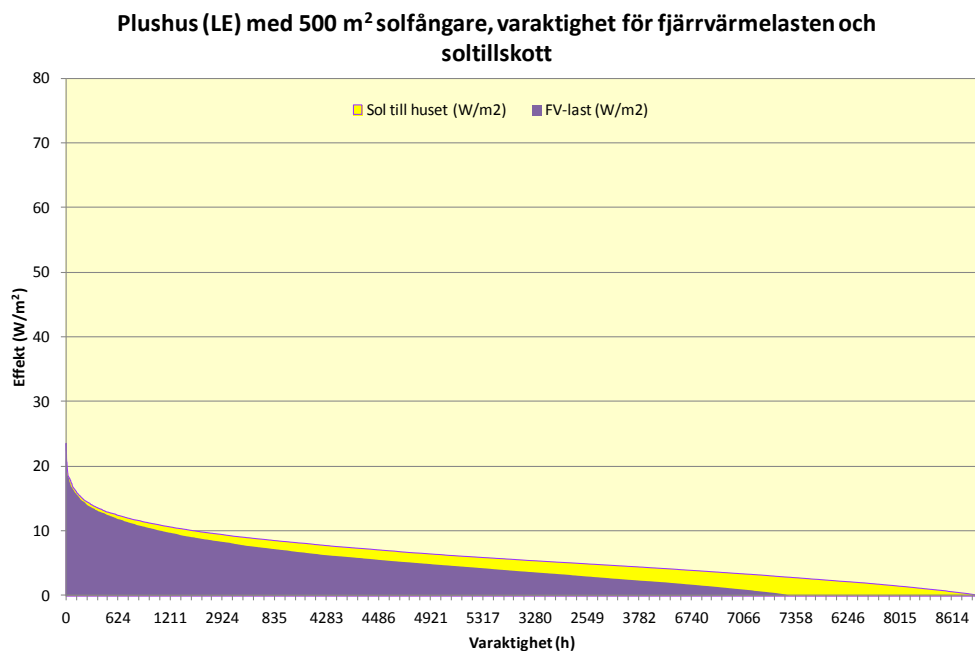
Förutom uppvärmning och tappvarmvattensystem har byggnaden även värmedrivna vitvaror i alla lägenheter. Varaktighet för husets värmebehov presenteras i Figur 25 och hur lasten fördelas mellan byggnadens användning av fjärrvärme och solvärme framgår av Figur 26. För att huset ska klara av att, på årsbasis, leverera ett nettoöverskott av värmeenergi till nätet krävs att byggnaden har ett lägre värmebehov än de flesta lågenergihus; nästan passivhusstandard. Plushuset har en årsenergiförbrukning av värme (sol- och fjärrvärme) på ca 53 kWh/m², år och en maxeffekt på 23 W/m². Se Figur 27 för en månadssammanställning av fjärrvärmebehov och solvärmeleverans till nätet. Årsförbrukningen av fjärrvärme motsvarar ca 45 kWh/m², år och huset levererar årligen ca 50 kWh/m², år tillbaka till nätet.

¹¹ Det finns ett flertal exempel på byggnader som levererar ett solöverskott in på fjärrvärmenätet, dock inte inom kategorin "plushus", eftersom årsförbrukningen för dessa hus är högre än vad de producerar.

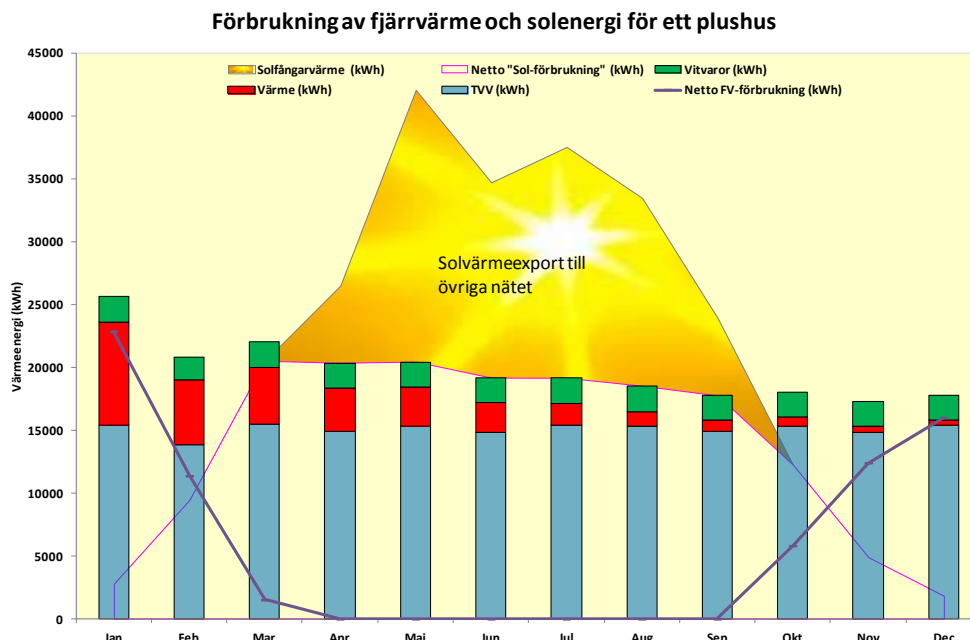
¹² Tillverkas av svenska Absolicon och finns bl.a. installerade i Härnösands energipark (Härnösand Energi & Miljö).



Figur 25 Varaktighet för totala värmebehovet för uppvärmning och tappvarmvatten för plushuset. Den gröna ytan markerar värmeeffekt från solfångarna.



Figur 26 Varaktighet för fjärrvärmelast och soltillskott till plushuset. Den solvärme som inte används i huset exporteras till övriga nätet (se Figur 25 för totala solenergin från solfångarna).



Figur 27 Månadsförbrukningar av fjärrvärme resp. solvärme för plushuset. Gulmarkerat område representerar solvärme som exporteras till nätet.

5.3.4 Befintlig bebyggelse

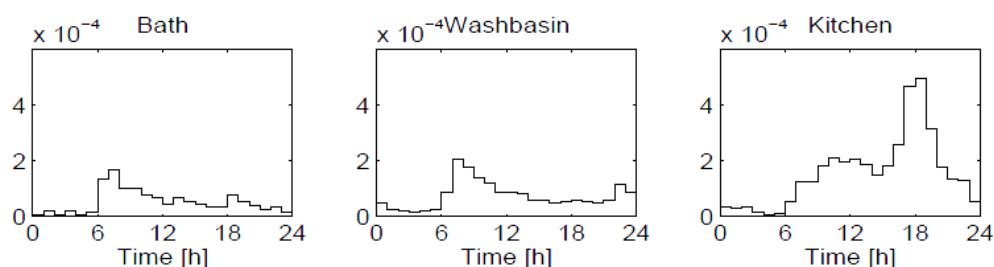
Byggnader har oftast väldigt långa livslängder. Även om vi blickar 20-30 år framåt i tiden, så kommer dagens befintliga bebyggelse fortfarande att dominera fastighetsmixen i samhället. Vi har i denna studie inte beräknat lastprofiler för enskilda byggnader inom existerande bostadsområden, utan använt uppmätt fjärrvärmelast som indata. I NetSim® beräknas sedan effekterna ut m.h.a. valda s.k. kategorital (omvandlar årligt värmebehov till dimensionerande effektbehov) och omvandlingsfaktorer beroende på utomhustemperatur.

5.4 Simulering av tappvarmvattenlast

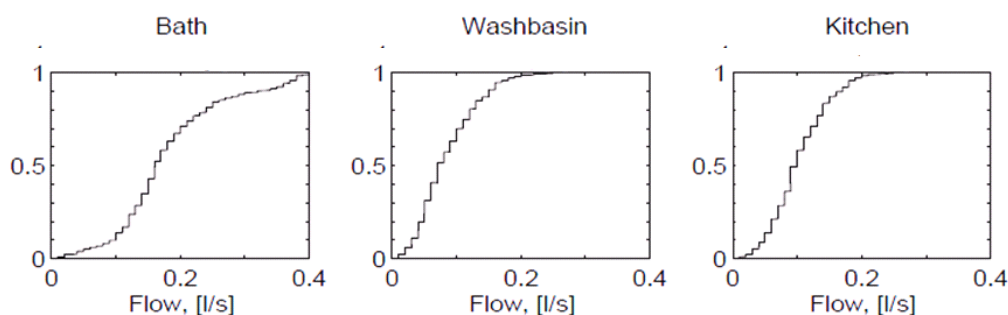
Simulering av tappvarmvattenlast har genomförts med hjälp av ett dataprogram framtaget vid LTH i samarbete mellan institutionerna för Energivetenskaper och för Matematisk statistik. Simuleringarna bygger på den vedertagna Monte Carlo-metoden. Sannolikhetsprofiler för användning av tappvarmvatten togs fram av Sture Holmberg i ett mätprojekt genomfört i Norrköping 1980 [avhandling] och hade bearbetats vidare av Peter Gummérus [avhandling]. En detaljerad beskrivning av modelleringstekniken och alternativa algoritmer kan hittas hos Arvastsson och Wollerstrand [paper/ avhandling].

Tillvägagångssättet är följande: Det vanliga är att man förutsätter tre tappställen per lägenhet, en dusch, en handfatsblandare och en köksblandare. I en villa är det motiverat att utöka med en dusch till. Förekomst av tappningar slumpas fram en gång per sekund för varje typ av tappställe, genom att ett rektangelfördelat slumpstal genereras och jämförs med sannolikhetsprofil som gäller för respektive tappställe.

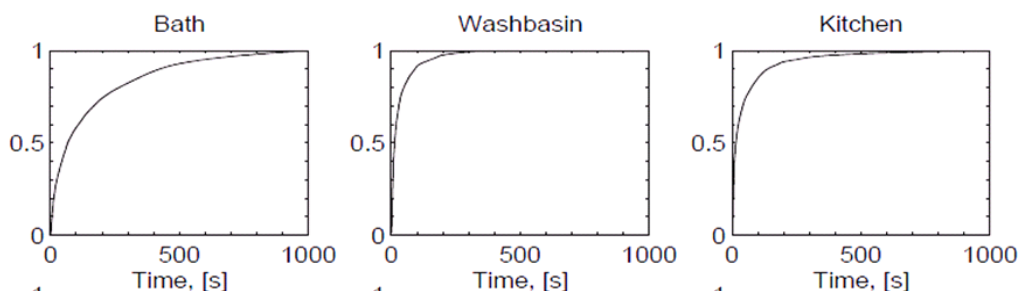
Sannolikhetsprofilerna skiljer i utseende beroende på typ av tappställe, se Figur 28. För varje tappställe gäller att om slumpförsöket blir negativt så avvaktar man en sekund och försöker igen eller, om utfallet blir positivt då fortsätter man med att slumpa fram förväntat tappflöde, se sannolikhetsprofilerna i Figur 29, respektive tappningens förväntade längd, se Figur 30.



Figur 28 Sannolikheten att en tappning inträffar vid en viss tidpunkt (rektangelfördelad, 0..1)



Figur 29 Sannolikheten att en tappning för ett visst flöde i l/s (rektangelfördelad, 0..1).

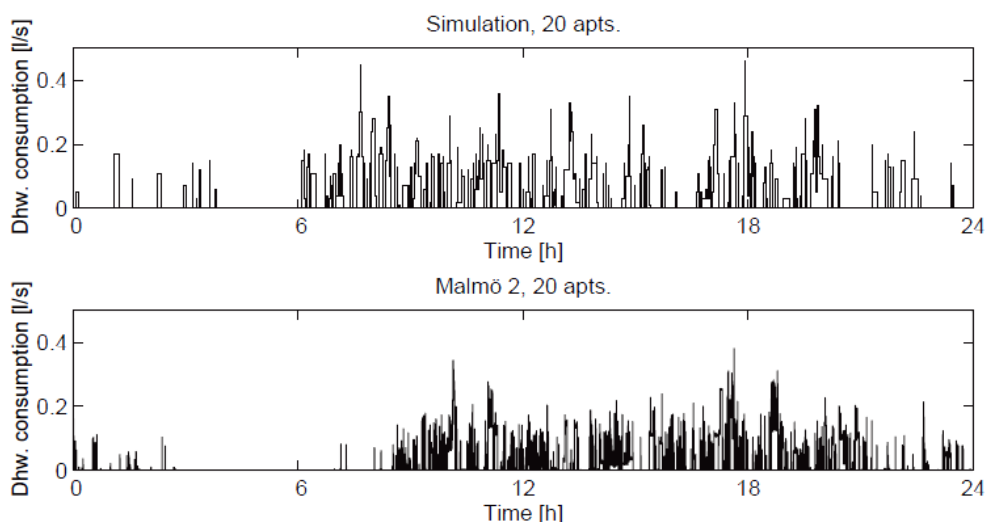


Figur 30 Sannolikheten att en tappning varar ett visst antal sekunder (rektangelfördelad, 0..1).

Metoden är enkel och har använts i flera forskningsprojekt samt kommersiellt. Man bör påpeka att viss justering av erhållna tappvarmvattenflöden kan vara nödvändig. Sannolikhetsprofilerna togs ju fram i början på 1980-talet och tappvarmvattenförbrukning har minskat generellt sedan dess. Metoden kan dock ”kalibreras” genom att man slumpar fram ackumulerad tappvarmvattenförbrukning för ett år och jämför det erhållna resultatet med faktiskt uppmätt års förbrukning för den intressanta typen av fastighet. Därefter beräknar man procentuell skillnad mellan den simulerade och den uppmätta vattenvolymen och beräknar en skalfaktor för justering av den simu-

lerade förbrukningen. Man utgår då ifrån att den minskade tappvarmvattenförbrukningen beror huvudsakligen på att snålspolande tappvarmvattenarmatur har installerats medan tappningsfrekvensen, som är beteendeberoende, har inte förändrats nämnvärt.

Figur 31 visar en jämförelse mellan simulerade tappningsflöden i en flerbostadsfastighet om 20 lägenheter och förbrukning som mättes upp i motsvarande fastighet i Malmö.



Figur 31 Simulerade och uppmätta tappningsflöden (överst resp. underst) i en flerbostadsfastighet om 20 lägenheter.

5.5 Fjärrvärmvärmda vitvaror

Genom att flytta energianvändningen från el till fjärrvärme kan värmelasten för låg-energi- och passivhus ökas något. Fjärrvärmvärmda vitvaror är sedan ett antal år installerade i ett demonstrationshus i Göteborg (Zinko, 2007).och håller på att installeras i ett par nybyggnadsområden, bl.a. i Västerås och Växjö¹³.

5.5.1 Varför nya värmelaster?

Avsikten är främst att bidra till fjärrvärmens övergripande mål, dvs. att vara ett miljövänligt energisystem. Samtidigt bör detta inte orsaka någon nämnvärd ökning av kundens energikostnader (viss ökning av kostnaden kan accepteras om även komforten ökar).

Det finns två huvudsakliga problemen i samband med fjärrvärmedistribution i områden med låg värmetäthet; låg årlig värmelast gör det svårare att skriva ned investeringarna i distributionssystemet, och lågt värmebehov sommartid gör det svårt för fjärrvärmedistributionen att fungera effektivt. Därför är det intressant att söka sätt att öka värmelasten och främja en hållbar användning av fjärrvärme.

¹³ Se även 2.1.5 om plushuset i Växjö.

En uppenbar metod är att utnyttja tekniker där el kan ersättas med fjärrvärme. Så länge den marginella elproduktionen kommer från kolkondenskraft kommer en minskad elanvändning ha en betydande inverkan på CO₂-utsläppen och medföljande klimatpåverkan. Detta gäller även med gaskombinat som marginalelsproduktion, om än i mindre utsträckning.

Värmedrivna vitvaror passar även för andra förnybara energikällor som solenergi och pellets vilket, kombinerat med den utbredda användningen av dessa apparater gör det angeläget att fortsätta utforska möjligheten att använda värmeenergi i stället för el i dessa maskiner.

5.5.2 Värmedrivna vitvaror

Eldrivna hushållsapparater som (idag) använder värme för diskning, tvättning och torkning lämpar sig rätt självklart för fjärrvärmeanslutning. I privata sektorn är dessa maskiner idag normalt är anslutna till kallvattnet och all värme tillhandahålls genom elektriska värmare. Det finns dock disk- och tvättmaskiner med både varm- och kallvattenanslutningar, vilket innebär att en del, men inte all, värme kan tillhandahållas via varmvatten.

Fördelen och samtidigt svårigheten med moderna disk- och tvättmaskiner är att de är utformade för *låg vattenförbrukning*. Det innebär att mängden processvatten är så låg att vattnet inte kan bära den nödvändiga energin, utan den måste komma från värme överfört via en värmeväxlare. Det innebär att det behövs en helt ny maskinkonstruktion som, i stället för en maskinintegrerad elvärmare, har en värmeväxlare som förmedlar värme från en varmvattenkrets. Den elektriska värmaren kan dock behållas för back-up och temperaturspetsning.

Värmedrivna disk- och tvättmaskiner utvecklades ursprungligen i en doktorsavhandling (Persson T., 2006). De fjärrvärmedrivna prototyperna installerades i ett demonstrationshus av Göteborg Energi kring midsommar 2006. Sedan dess har de varit i drift och fungerat bra. I 5.5.2.1 *Värmedrivna disk- och tvättmaskiner* beskrivs de maskiner som använts i demoprojektet i Göteborg (Zinko, 2007).

Tomas Persson leder ett pågående Fjärrsynsprojekt på högskolan i Dalarna, där bl.a. provserier av industriellt tillverkade¹⁴ värmedrivna disk-, tvätt-, och torkmaskiner utvecklats. Inom projektet planeras utvärdering av följande värmedrivna vitvaror:

- 3 tvättmaskiner och två torktumlare i en tvättstuga (Göteborg energi).
- Två tvättmaskiner och två torktumlare som Mälarenergi har installerat i en tvättstuga i Västerås.
- Tvättmaskin och torktumlare i två villor i Göteborg.
- Två torkskåp som installeras i fält och utvärderas under hösten 2012.
- En tvättmaskin och torktumlare som SFAB håller på att installera.
- Fyra diskmaskiner som ska installeras av Lund Energi.

¹⁴ Under arbetets gång har ASKO tagit beslut om att ta fram en riktig serie som redan finns tillgänglig på marknaden. Se <http://www.asko.se/hwc/hwc-produkter/>

160 lägenheter i MIMER:s hus Råseglet i Västerås skall försees med diskmaskin, tvättmaskin och torktorktumlare, inflyttning till årsskiftet 2012-13. Dessa kommer dock inte hinna utvärderas inom projektet.

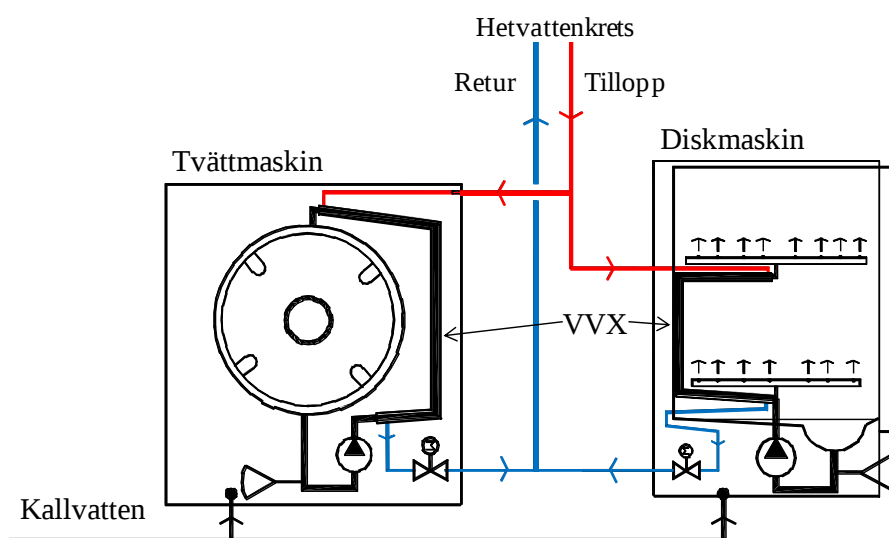
Projektet är ett samarbete mellan ASKO Appliances AB, Karlstad universitet och Högskolan Dalarna. Resultat från studien kommer att presenteras i en rapport som beräknas vara färdig i mars 2013.

5.5.2.1 Värmedrivna disk- och tvättmaskiner

Beräkningarna i detta projekt baseras på de vitvaror som är installerade i Göteborgshuset, och därför presenterar vi funktion och prestanda för dem i detta och kommande avsnitt. För beskrivning av ASKO:s produktlinje hänvisas till deras hemsida. Diskmaskinen som används i Göteborgshuset baseras på en känd produkt från Cylinda (DW 20,1) som byggts om enligt Figur 32. Värmeväxlaren är ett koaxialrör bestående av två kopparrör (DN 28 respektive 22 mm) som ersätter diskmaskinens övre spolarm. Processvattnet pumpas genom värmeväxlarens inre rör (längd 1,47 m) med en flödeshastighet på 0,6 kg/s. Det yttre röret är anslutet till värmemediet (t.ex. en sekundärkrets ansluten via en plattvärmeväxlare till fjärrvärmenätet). Flödeshastigheten i detta rör är 0,03 kg/s.

Tvättmaskinens konstruktionsprincip och flödeshastigheter liknar diskmaskinens, men värmeväxlaren (längd 1,3 m) sitter utanför maskinen med en extra vattenpump (P2) för cirkulation av processvatten (Figur 32).

Tabell 13 sammanfattar den totala energianvändningen för varje maskin. Dessa värden är något högre än för motsvarande eldrivna maskiner. Detta förklaras av att rör och värmeväxlare inuti maskinerna medför lite extra förluster.



Figur 32 Principschema för värmeväxlare i diskmaskin resp. tvättmaskin.

Vid riktigt höga tappvarmvattentemperaturer (65°C), kan halva energibehovet täckas av varmvatten för diskmaskiner kopplade till tappvarmvattnet, och med "normala" temperaturer (55°C) täcks endast en tredjedel. I värmedrivna maskiner med inkommande varmvattentemperatur på 70°C eller högre, kan all värme föras via värmekretsen, dvs. 78 % av den totala energin (resten är drivenergi för maskinen) (Persson T, 2007). Den sammanlagda energiförbrukningen för en diskcykel blir 1,18 kWh (Tabell 13).

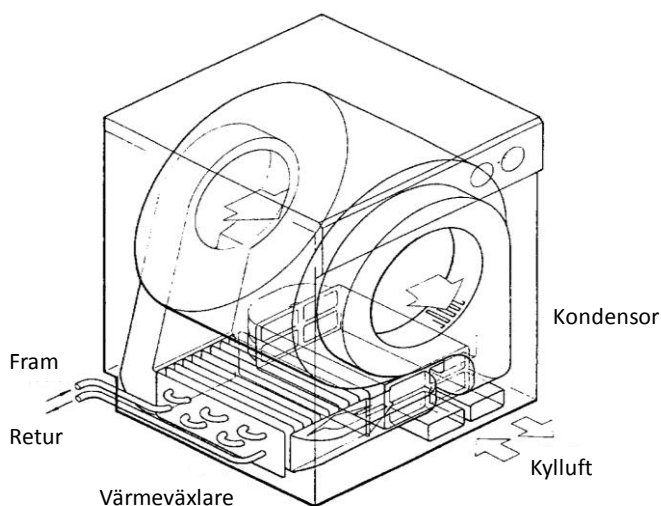
I tvättmaskinen beror andelen värmeenergi på den önskade tvättemperaturen. Vid en tvättemperatur på 60°C, kan 55°C tappvarmvatten ge 33 % av energin, och med 65°C varmvattentemperatur; 60 % av energin. Vid anslutning till fjärrvärme (>75°C) täcks i princip hela värmebehovet för en 60°C-tvätt, vilket är ca 77% av den totala energianvändningen på 1,05 kWh för en tvätt. Naturligtvis täcks även hela värmebehovet vid 40°C-tvätt (vilket är 0,3 kWh per tvätt, resterande 0,2 kWh i driftel), men för en 90°C-tvätt beror värmeandelen på fjärrvärmens tillgängliga framledningstemperatur. Vid 75°C kan t.ex. ca 1 kWh föras med fjärrvärme och 0,8 kWh tillhandahållas av el (för både maskindrift och temperaturspets), se Tabell 13.

5.5.2.2 Värmedriven torktumlare

I Figur 33 visas en bild av en värmedriven torktumlare för privata hushåll, utvecklad i Nederländerna. Torktummlaren bygger på en Miele Comfortline T559C. Processvärmens till denna kondenserande torktumlare föras via en korsströms plattvärmeväxlare. Maskinen har också modifierats med större kondensor och större fläktar för tork- och kylluft (Maskinen har tillverkats i en handfull exemplar och en av maskinerna installerades i demonstrationshuset i Göteborg).

Cykeltiden är ökad till 120 minuter (jämfört med normalt 80-100 minuter i elektriska maskiner). Elvärme kan användas som back-up. Vid minst 70°C framledningstemperatur på fjärrvärmens är flödet 0,025 l/s och den nominella eleffekten är 0,46 kW. För 5 kg skåptorr bomullstvätt använder processen 3,4 kWh värme och 0,77 kWh el (se Tabell 13).

Alla maskiner beskrivna i detta stycke kan (åtminstone huvudsakligen) användas i hushåll med fjärrvärmeanslutning och därmed ersätta el med låggradig värme.



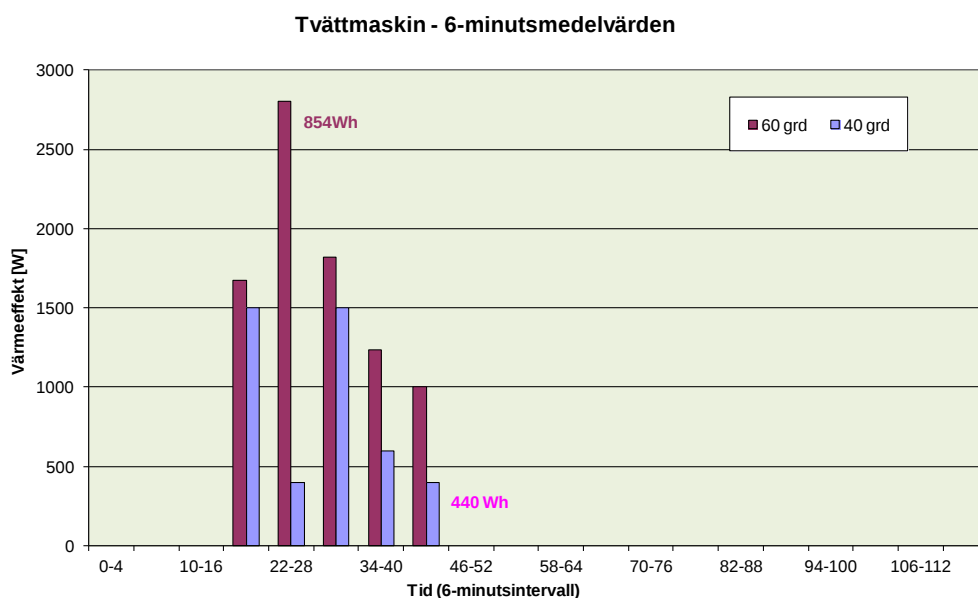
Figur 33 Torktumlare utvecklad för ett nederländskt demonstrationsprojekt (Zegers-Molenbroek, 2000).

Tabell 13 Beräknad el- och värmeförbrukning för en typisk driftcykel för fjärrvärmedrivna vitvaror installerade i demohuset i Göteborg. (Energiförluster i matarledning ingår ej).

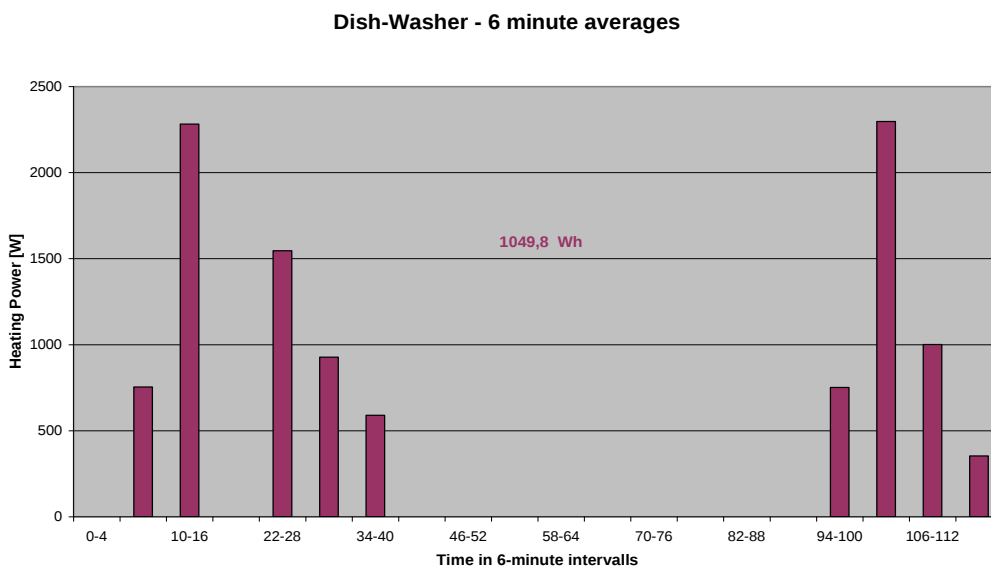
	Elförbrukning kWh	Värmeförbrukning kWh	Totalt kWh
Diskmaskin	0.13	1.05	1.18
Tvättmaskin 60°C	0.24	0.85	1.09
Tvättmaskin 40°C	0.24	0.44	0.68
Torktumlare, 70 % fuktighet	0.46	3.46	3.92

5.5.3 Lastmodellering av apparater för simulering

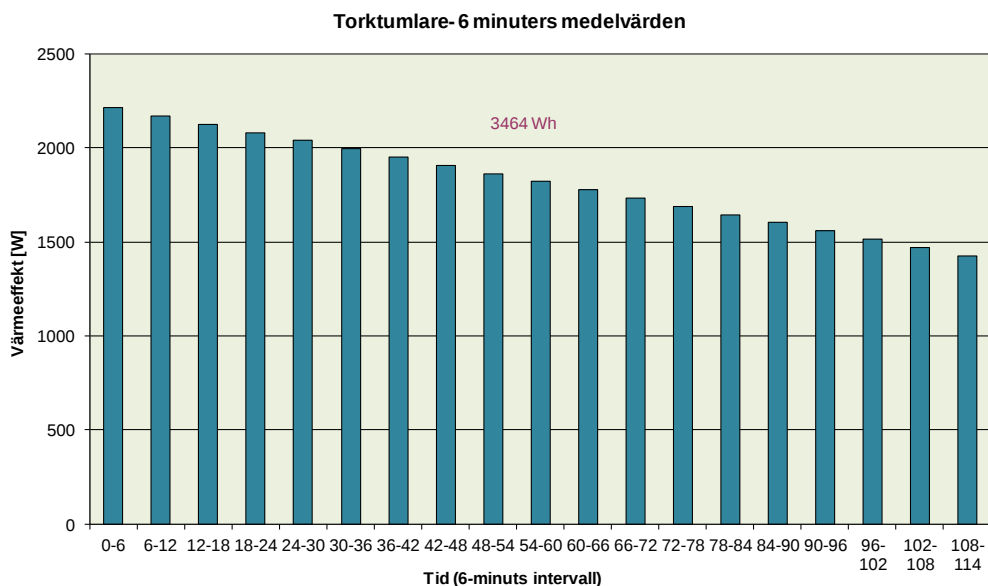
Indata till modelleringen har vi funnit i tillgängliga uppgifter om maskinernas lastfördelning från Persson (2006) resp. Zegers & Molenbroek (2000). Med detta som utgångspunkt har 6-minuters värden upprättats för de olika maskinerna. Dessa modeller har vidare använts i värmelast beräkningar, se Figur 34-Figur 36.



Figur 34 Värmeeffekt för en tvättmaskincykkel med 60°C resp. 40°C-tvätt. Värmeeffekten för de två olika tvättcyklerna redovisas i separata staplar. Staplarna presenterar den genomsnittliga effekten i watt under varje 6-minutersintervall (motsvarande energi är en tiondel av detta värde i wattimmar). Totala värmeenergieffekten för respektive cykel är angivet med siffror i diagrammet.

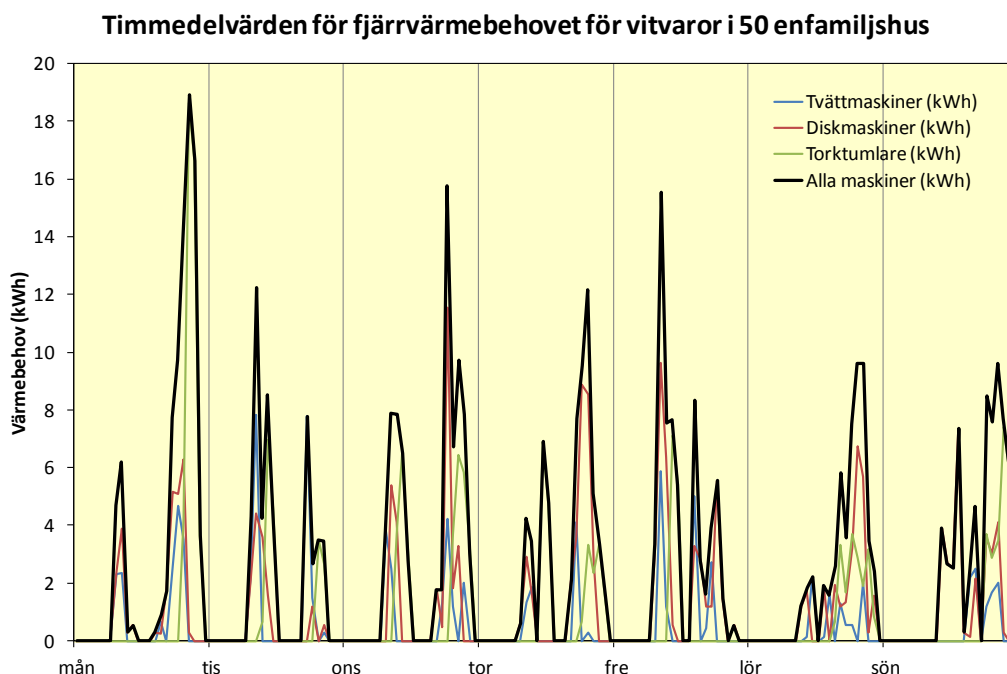


Figur 35 Värmeeffekt för en diskmaskincykkel. Staplarna presenterar den genomsnittliga effekten i watt under varje 6-minutersintervall (motsvarande energi är en tiondel av detta värde i wattimmar). Totala värmeenergieffekten för respektive cykel är angivet med siffror i diagrammet.



Figur 36 Värmeeffekt för en torktumlarcykel. Staplarna presenterar den genomsnittliga effekten i watt under varje 6-minutersintervall (motsvarande energi är en tiondel av detta värde i wattimmar). Totala värmeenergiebehovet för respektive cykel är angivet med siffror i diagrammet.

Genom att använda lastfördelningarna från Figur 34 till Figur 36 kan den sammanlagda lasten för ett bostadsområde uppskattas. Diagrammet i Figur 37 visar det beräknade fjärrvärmebehovet för vitvarorna. Användningen av maskinerna har en slumpmässig normalfördelning inom bestämda tidsintervall. Maskinernas användningsfrekvens följer konsumentverkets norm, dvs. 200 tvättar per år och 220 diskningar per år.



Figur 37 Exempel på det sammanlagrade fjärrvärmebehovet för värmedrivna vitvaror under en vecka för ett område med 50 enfamiljshus. Värmebehovet redovisas som timmedelvärden.

5.6 Fjärrvärmekulvert

För existerande fjärrvärmenät, med hög temperatur- och trycknivå, är urvalet av olika kulverttyper relativt begränsat; enkelrör eller twinrör. För nya fjärrvärmenät (t.ex. småskalig fjärrvärme) eller mindre nät som ansluts sekundärt till huvudnätet, finns möjligheten att ha en lägre temperatur- och trycknivå i nätet. Det är då möjligt att använda PEX i kulvertsystemen. PEX-rör finns, förutom som enkel- och dubbelrör, bl.a. som fyrrör för sekundärsystem där även tappvarmvattnet distribueras från en gemensam fjärrvärmecentral.

Med dagens PEX-rör finns ingen anledning att oroa sig för rörens tekniska livslängd och så kallad syrediffusion i plaströren.

5.6.1 Enkelrör

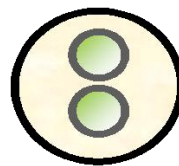
Traditionellt har de flesta fjärrvärmesystem byggts med två rör, en fram- och en returledning. Det vanligaste rörmaterial är stål, med isolering av polyuretan och mantel av polyetylen. Även kopparrör förekommer. För nät med låga tryck och



temperaturer¹⁵ finns även PEX-rör, Den huvudsakliga fördelen med att använda enkelrör har varit att det är en beprövad teknik, vilket leder till ett tillförlitlig (eller åtminstone förutsägbart) system.

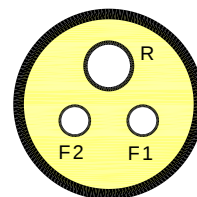
5.6.2 Twinrör

Twinrör kan vara av stål, koppar eller PEX, med fram- och returledning i samma mantelhölje. Värmeförlusterna från twinrör är lägre än från enkelrör med samma dimensioner. Dessutom är twinrör i små till medelstora dimensioner (upp till DN 100) oftast billigare att installera än enstaka rör. I Sverige är tekniken för twinrör numera väl erkänd och lika tillgänglig som enkelrör, med undantag för stora rördimensioner (större än DN 200). För nätsimuleringar i denna studie har för samtliga anslutningar primärt mot huvudnätet använts twinrör i stål och isolering klass 2.



5.6.3 Andra systemlösningar

I ett paper av Kristjansson och Bøhm (2006) beskrivs bl.a. trippelrör, d.v.s. tre rör i samma mantelrör. Grundtanken är att vid normal drift används endast det ena av framledningsrören (F1 i bilden). Endast vid hög last kommer det andra röret (F2) i bruk. Man kan även tänka sig att det andra röret fungerar som reserv och backup. I deras beräkningar jämfördes servisedningar av enkelrör respektive twinrör med trippelrör av motsvarande dimension. Resultatet blev att trippelröret minskar värmeförlusten med 45% jämfört med enkelrör och med 24% jämfört med twinrör. Eftersom det inte finns några trippelrör för närvarande finns på marknaden, så finns inte heller några faktiska investeringskostnader tillgängliga för systemet. Enligt Kristjansson och Bøhm är dock investeringskostnaden för trippelrör 21% lägre än kostnaden för traditionella enkelrör.



En variant på Pex-rörssystemet är EPS PEX; ett flexibelt system för värmedistribution där rör av PEX placeras i isoleringsblock av extruderad polystyren, EPS, två eller fyra rör i varje block, se Figur 38. Om så önskas, kan systemet även anpassas till tre rör. Genom att EPS-blocken tillverkas på beställning så kan systemet skräddarsys efter önskat värmeförlusttal. Investeringskostnaden ökar dock ju tjockare väggarna av EPS blir, så avvägningen blir att välja tillräckligt väl isolerade rör att värmeförlusterna hålls så låga som möjligt, utan att besparingen man gör på värmeförluster äts upp av installationskostnaden. Motsvarande förhållande gäller även för miljöhänsyn, eftersom även tillverkningen av kulverten har miljöpåverkan. Investeringskostnaden är vanligtvis lägre än för traditionella system och värmeförluster är också lägre. Det finns dock andra två- och fyrrörssystem, med gemensam mantel, på marknaden som

¹⁵ Max 6 bar och 80°C, med reservation för att olika tillverkare kan ha olika rekommendationer för tryck och temperatur.

också klarar att hålla låga värmeförluster och kan kanske även konkurrera prismässigt.



Figur 38 EPS PEX-rørsystem med varmvatten och VVC till vänster och värmens fram- och returledning till höger. Källa: Elgocell (2012)

För sekundärnätanslutningar har vi i våra simuleringar antagit PEX-rör med isolering motsvarande den som uppnås med exempelvis EPS PEX (se 5.7.3.3 *Sekundärnät*, (ca 60°C) för specifikation av värmeförlusttal).

5.7 Simulerade områden

Fyra olika typområden, som till viss del redan nu förekommer i bebyggelsen, men som i framtiden kommer att bli allt mer vanligt förekommande, har simulerats i studien:

- Energieffektivisering av befintligt miljonprogramsområde.
- Stadskärnan, förtätad med bebyggelse bestående av passivhus, plushus och lågenergihus.
- Nybyggt villaområde; ca 50 villor, bestående av nya bostadshus byggda enligt för lågenergihusstandard. Ca hälften av dessa hus har solfångare som producerar tappvarmvatten till eget behov.
- Nybyggd stadsdel, bestående av flerfamiljshus (ca 1000 lägenheter). Här ingår, förutom lågenergihus och plushus, även hus byggda enligt passivhusstandard.

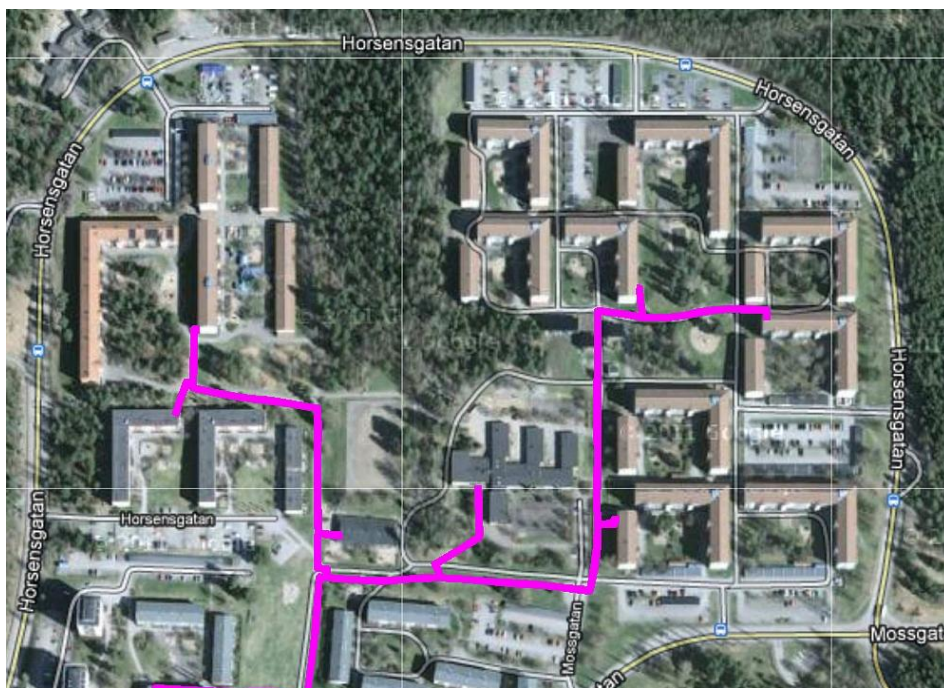
Områdenas utformning och NetSim®-modellering beskrivs i följande avsnitt.

5.7.1 Energieffektivisering av ett miljonprogramsområde

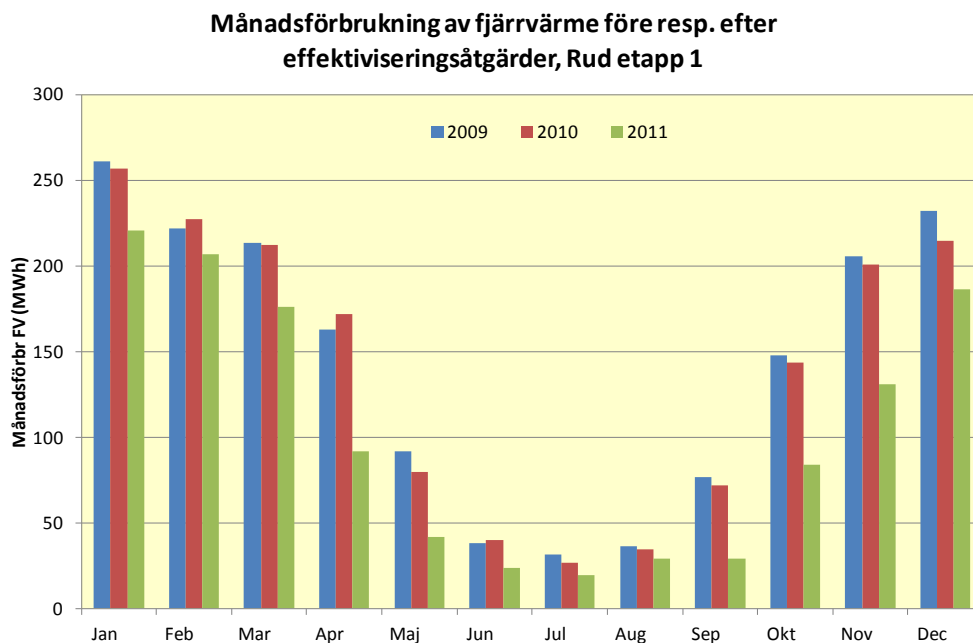
Det finns idag starka ekonomiska och politiska drivkrafter som styr mot ökande energieffektivisering av det befintliga bostadsbeståndet, inte minst inom miljonprogrammet, som i stora delar är i påtagligt renoveringsbehov idag. Hur omfattande dessa renoveringar kan komma att bli, och vilka åtgärder som kommer att genomföras,

skiftar förstås. Lönsamheten för energieffektiviseringsåtgärderna beror ett flertal faktorer, som exempelvis renoveringsbehovet för aktuella fastigheter, fastighetsbolagets kalkylränta och önskad pay off-tid, i vilken mån åtgärderna höjer värdet på fastigheten, men även faktorer som man inte vet exakt på förhand spelar in, som el- och fjärrvärmepriser i framtiden samt livslängd på installerade komponenter.

I Karlstad har renoveringar av ett miljonprogramsområde i Rud påbörjats, totalt 855 lägenheter (Figur 39). Renoveringen är indelad in i fyra etapper, där första etappen; Horsensgatan 100-126 är färdigrenoverat. I samband med standardhöjning av lägenheterna har även ett antal energibesparande åtgärder genomförts, bl.a. byte till energieffektivare fönster, inglasning av balkonger, injustering av värmesystem och installation av frånluftsvärmepump för tappvarmvatten- och radiatorkrets. Graddagskorrigerade månadsförbrukningar av fjärrvärme före resp. efter renovering redovisas i Figur 40. Sedan systemet togs i drift under våren 2011 ser man, som väntat, en märkbar minskning av fjärrvärmebehovet. P.g.a. inkörnings problem med frånluftsvärmepumpen blev fjärrvärmeförbrukningen relativt hög under sommarmånaderna.



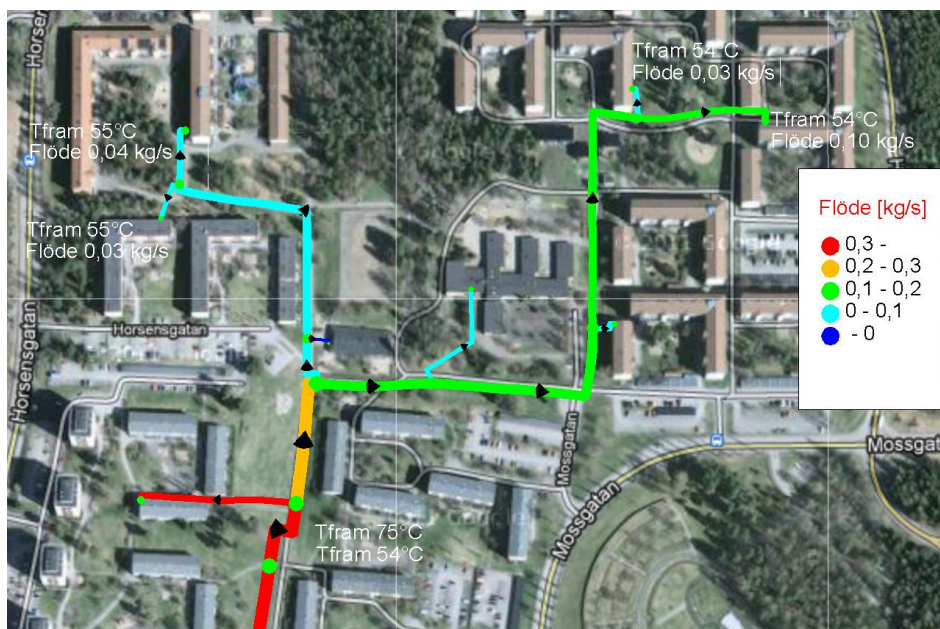
Figur 39 Flygfoto över bostadsområdet Rud i Karlstad, med fjärrvärmenätet i rött. (Google Maps med egen bearbetning). Horsensgatan 100-126 uppe till vänster i bild.



Figur 40 Graddagskorrigerad månadsförbrukning av fjärrvärme för Horsengatan 100-127 i Karlstad. Det nya systemet togs i drift under våren 2011. Man hade dock inkörningsproblem med frånluftsvärmepumpen under sommaren, vilket bidrog till högre fjärrvärmeförbrukning än beräknat.

Grundscenariot för nätsimuleringarna är ett befintligt miljonprogramområde i nätet, liknande Rud, där energiuttaget förändras i enlighet med vad som kan förväntas av byggnader där energieffektiviseringsåtgärder vidtagits. Vi har studerat hur ett antal olika åtgärds paket påverkar förbrukningen av fjärrvärme och el (se även 5.3.1 *Renovering av miljonprogrammet*). Eftersom detta är ett befintligt område i nätet har ingen förändring gjorts i rördimensioner eller -material.

En sänkning av fjärrvärmebehovet för områdets uppvärmning påverkar inte driften av nätet i någon större utsträckning. Något som däremot kan inverka negativt på fjärrvärmedistributionen är när frånluftsvärmepumpar nästan helt tar bort fjärrvärmelasten sommartid. Detta kan leda till otillfredsställande låg framledningstemperatur vid fjärrvärmecentralen. Problemen kan minskas m.h.a. rundgångsflöden i ändarna på serviserna för att öka flödet och därmed få mindre avkylning p.g.a. värmeförluster i kulverten. För att upprätthålla tillräckligt högt flöde kan man tvingas installera rundgångar. Dessa kan vara av varierande typ; vanligast är manuella ventiler eller termostatiska ventiler. Manuella ventiler ger oftast ett för högt flöde, eftersom de är svåra att justera. Dessutom kan ett flöde som är korrekt vid en lastperiod, t ex under vinterperioden, vara för litet sommartid. Termostatiska ventiler fungerar bättre men inte alltid helt tillfredsställande och får tyvärr ofta någon felfunktion efter en viss utesittningstid. En alternativ lösning kan vara en reglerad styrventil med ett fast börvärde på framledningstemperaturen. För byggnader med DUC:ar som reglerar systemet kan detta villkor t.o.m. styra den befintliga styrventilen för tappvarmvattnet.



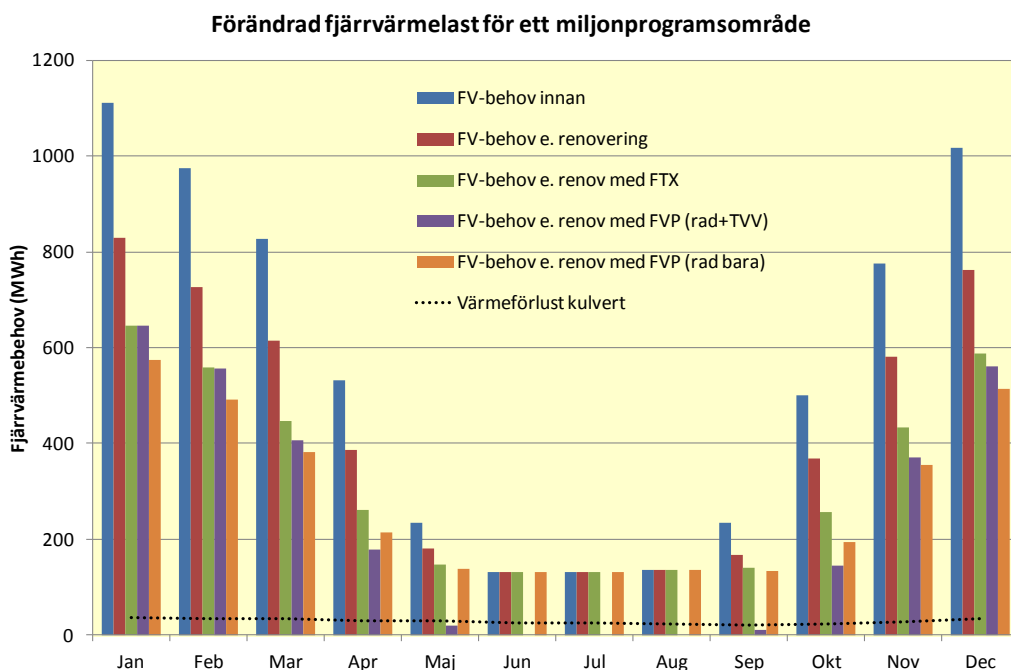
Figur 41 Framledningstemperatur och rundgångsflöden för Rud. Sommar driftfall med frånluftsvärmepumpar i samtliga områdets fastigheter.

I Figur 41 redovisas temperaturen i fjärrvärmens framledning under sommar drift i Rud, med antagandet att anslutna fastigheter har frånluftsvärmepumpar för tappvarmvattenberedning och temperaturstyrda rundgångar med 55°C som börvärde på framledningstemperaturen. Trots ett visst rundgångsflöde så kan man se att framledningstemperaturen sjunker över 20°C innan fjärrvärmens nått fram till fjärrvärmecentralerna i områdets ändar. Man kan konstatera att det inte krävs orimligt höga rundgångsflöden i detta område. Det beror dock främst på att framledningstemperaturen håller rätt hög nivå ända fram till Rud. Bostadsområden som ligger mer i utkanten av fjärrvärmens nät kan behöva betydligt högre rundgångsflöden.

Åtgärderna i byggnadernas klimatskal reducerar fjärrvärmeförbrukningen med ca 24 % (se Tabell 14). Läger man till FTX sjunker fjärrvärmebehovet med 41 % och om frånluftsvärmepumpar sätts in på varmvatten- och radiatorkrets (FVP värme+rad) i stället försvinner över 60 % av fjärrvärmelasten. Med frånluftsvärmepumpar inkopplade enbart på radiatorkretsen sänks fjärrvärmebehovet med 49%. Energibehovet sjunker dock inte lika mycket, eftersom elförbrukningen ökar (gäller FTX och FVP). En utförligare analys av klimatpåverkan och ekonomi ges i avsnitt 6.1. Från att ha utgjort ca 5 % av totala fjärrvärmelasten, ökar värmeförlusterna i kulverten till ca 12 %, om frånluftsvärmepumpar installeras (Tabell 14). Då ska även beaktas att detta endast avser värmeförluster från kulvert i området och att det även finns värmeförluster mellan produktionsställe och området, som delvis hör området till.

Tabell 14 Årsbehovet av fjärrvärme i ett miljonprogramsområde med ca 855 lgh., efter olika genomförda åtgärder.

Fjärrvärmelast vid olika åtgärder i miljonprogramsområde		
Åtgärd	MWh/år	Reducering FV-last
Ingen	6600	-
Renovering	5015	24%
- " - med FTX	3872	41%
- " - med FVP, värme+rad	2898	63%
- " - med FVP, endast rad	3392	49%
Värmeförlust, kulvert	341	-

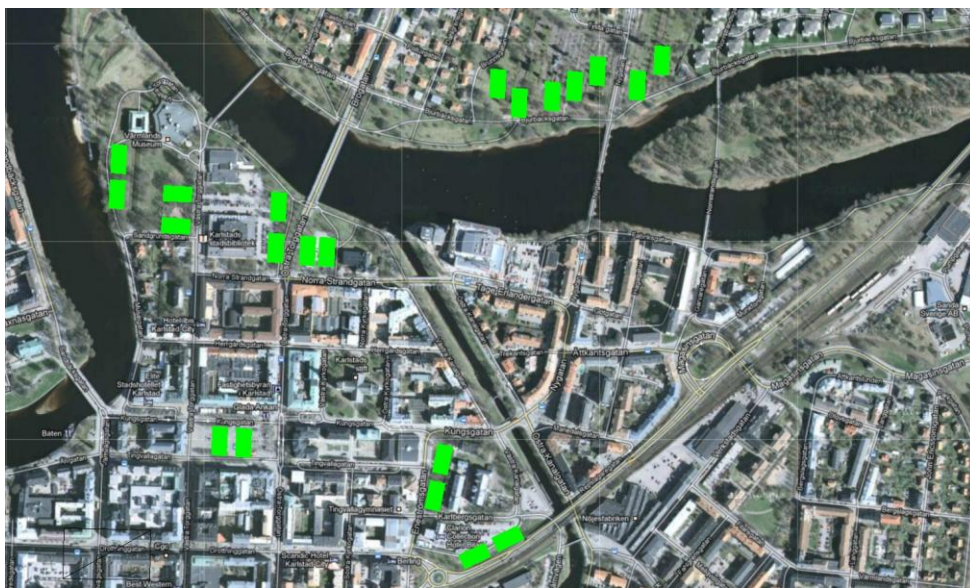


Figur 42 Månadsförbrukningar av fjärrvärme för byggnader i simulerat miljonprogramsområde.

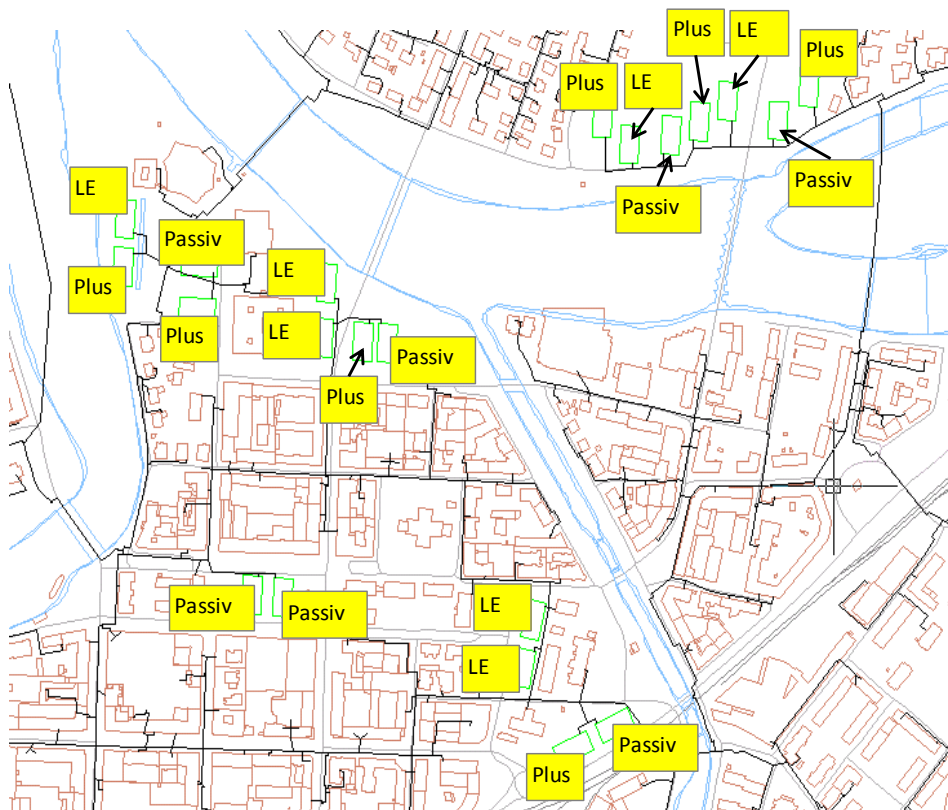
5.7.2 Förtätning med passivhus, plushus och lågenergihus

En av de centrala delarna av staden (Figur 43) har valts ut för en förtätning, där lågenergihus, passivhus och plushus införs (se 5.3.3 *Flerbostadshus* för beskrivning av husen). Totalt ansluts 7 passivhus, 7 lågenergihus och 7 plushus till fjärrvärmenätet (se Figur 44).

Största förändringen för detta område blir att nätet periodvis kommer att få leverans av solvärme från plushusen. Nätet måste även klara att, med bibehållen värmelast hos övriga kunder, leverera värme till de nya anslutningarna. Servisledningar till plushusen dimensioneras för att klara leverans av solvärme till nätet. För passivhusen och lågenergihusen blir tappvarmvattenlasten dimensionerande, se Figur 45. Till nya kulvertdragningar har twin-rör av standardtyp valts. En sammanställning över ledningsdimensioner och rörlängder redovisas i Tabell 15. Total ny kulvertlängd blir 953 meter med en genomsnittlig medelinnerdiameter på 59 mm.

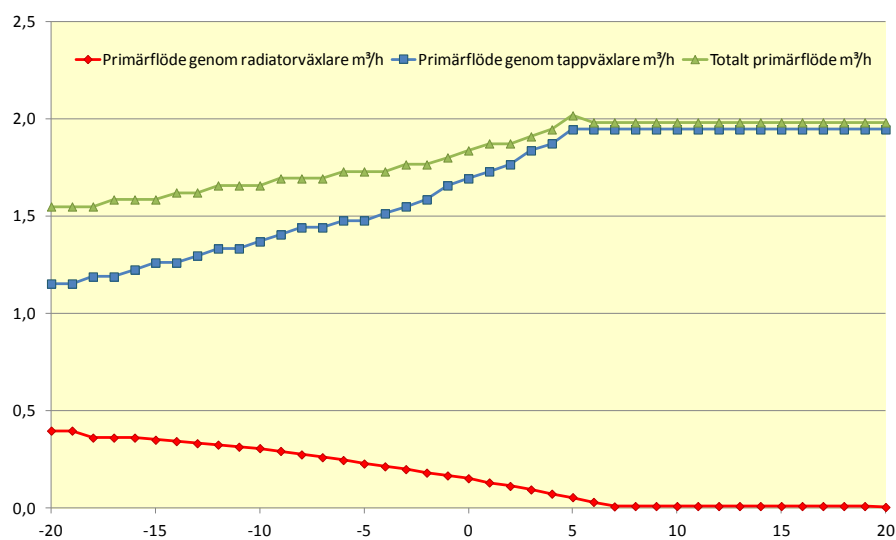


Figur 43 Centrala Karlstad med fiktiva nya byggnader inlagda (gröna). Ingen hänsyn har tagits till stadsplan eller genomförbarhet (Google Maps, med egen bearbetning)



Figur 44 Fördelning av de olika hustyperna i förtätningen, med de nya servisledningarna inlagda i NetSim®.

Fjärrvärmeflöde för ett lågenergihus -flerbostadshus



Figur 45 Fjärrvärmeflöde till ett flerbostadshus av lågenergityp med FTX. Beräkning gjord med ISAC®.

Tabell 15 Förteckning över installerade servis- och fördelningsledningar i förtätningsområdet.

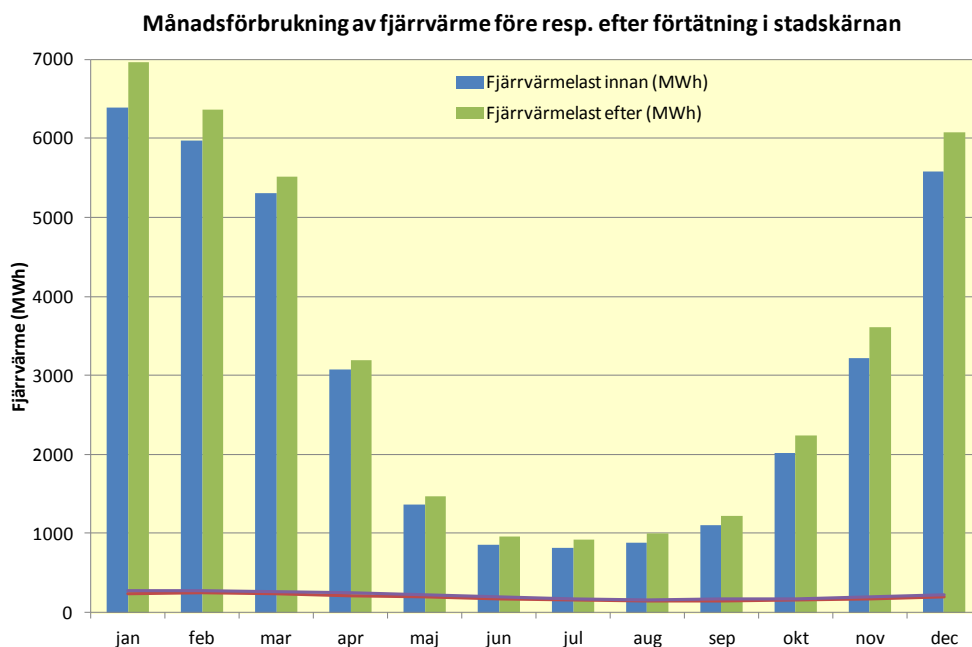
DN	Antal rörpar	Di (mm)	Längd (m)	Förlusttal (W/m/°C)
DN32	14	37,2	227	0,30
DN50	6	54,5	266	0,40
DN65	10	70,3	361	0,44
DN80	2	82,5	99	0,46
Totalt*	30	59,3	953	0,40

*Förlusttal och medeldiameter är viktade mot ledningslängden

Trots att några av de nybyggda husen även periodvis levererar värme till nätet, så innebär förtätningen en nettoökning av fjärrvärmelasten, se månadsförbrukningar i Figur 46. Nätförlusterna ökar också något, men rätt marginellt i förhållande till det ökade fjärrvärmeunderlaget. Den årliga fjärrvärmelasten i centrum, före förtätningen är 36,6 GWh. Med ovan beskrivna förtätning skulle fjärrvärmelasten öka med 2,9 GWh till 39,5 GWh per år. Det årliga tillskottet av solenergi till nätet skulle bli ca 2 GWh.

Detta visar att även med byggnader med låg eller mycket låg energiförbrukning, så finns det en potential för att öka fjärrvärmelasten i städer där förtätning av stads-kärnan sker.

Nätet i centrala Karlstad är något överdimensionerat för dagens situation, eftersom fjärrvärmens huvudproduktion tidigare låg i centrum. Det är därför inte särskilt komplicerat att ansluta ytterligare laster till det befintliga nätet. För nät med trängre fjärrvärmekulvert kan anslutning av lågenergihus via fjärrvärmenätets returledning vara en intressant lösning. Detta förekommer idag, bl.a. i just Karlstad; Kvarteret Seglet, ett lågenergihus uppfört som ett förtätningsprojekt i befintligt miljonprogramsområde (Beiron, Frodeson, & Wikström, 2010).



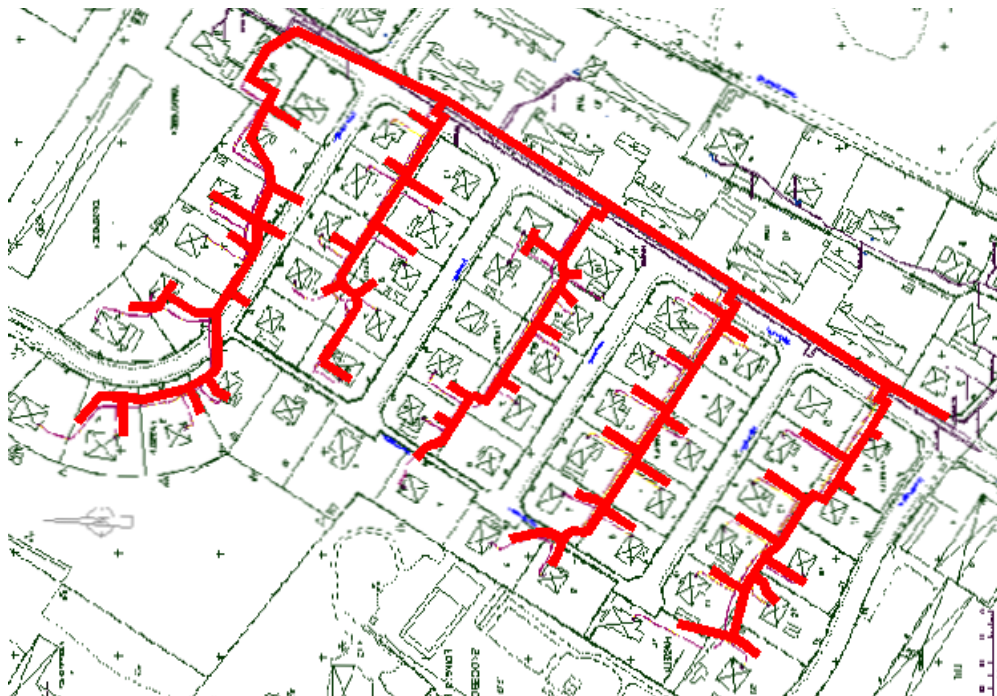
Figur 46 Sammanställning över fjärrvärmeförbrukning i stadskärnan, före resp. efter att den förtätats.

5.7.3 Nytt småhusområde

I fjärrvärmenätets utkant ansluts ett nybyggt småhusområde med låg energiförbrukning (se 5.3.2 *Enfamiljshus* för utförligare beskrivning av byggnaderna i nätet). Utan förändringar i nätets tryckhållning är tillgängligt differenstryck vid anslutningspunkten ca 2 bar.

Den vanligaste anslutningsformen idag, även för småhus, är genom primäranslutning till fjärrvärmenätet. De flesta nät har dock några enstaka områden som är sekundäranslutna, ibland med avsikt, men ofta är det samfälligheter som haft en egen, gemensam, produktion men anslutit sig till fjärrvärmen och man har låtit distributionsnätet vara kvar, men med en sekundär anslutning till fjärrvärme, då nätet inte byggts för att klara trycket i fjärrvärmenätet. Inte sällan är dessa sekundärnät överdimensionerade och dåligt isolerade, med stora värmeförluster som följd. Idag finns dock tekniker och material för att lägga betydligt effektivare kulvertsystem; dels genom korrekt dimensionering av kulverten, dels genom att använda välisolerade rör.

I denna studie jämförs olika anslutningsmetoder för villaområdet, såväl primäranslutning som sekundäranslutning.



Figur 47 Nätdragning för småhusområdet. Husen på högra sidan gatorna är försedda med solfångare för beredning av tappvarmvatten.

5.7.3.1 Referensområde. Primäranslutning med villa-prefab och solfjärrvärmeackumulatorer

För beskrivning av husen i området se 5.3.2 *Enfamiljshus*. Lågenergihusen utan solfångare ansluts, enligt gängse kutym, med parallellkopplade värmeväxlare för TVV och radiatorsystem, s.k. villa-prefab, d.v.s. genomströmningsberedning av varmvatten och radiatorvärme. Husen med solfångare har däremot en gemensam ackumulator för solvärme och fjärrvärme (Figur 18). Serviserna till husen med solvärme dimensioneras för uppvärmningsbehovet plus laddningseffekt för tappvarmvattenbehovet. De övriga serviserna dimensioneras efter tappvarmvattenbehovet. P.g.a. risk för igensättning av rör p.g.a. partiklar i fjärrvärmevattnet sätts minsta möjliga rördimension till DN20. Nätet består av stålrör av standardtyp med isoleringsklass 2. En sammanställning över installerad kulvert finns i Tabell 16.

Tabell 16 Rörlista för primäranslutning av villaområde med prefab resp. solfjärrvärme-ackumulatorer, min DN20

DN	Antal	Di (mm)	Längd (m)	Förlusttal (W/m°C)
DN20	57	21,7	768	0,22
DN25	32	28,5	473	0,26
DN32	9	37,2	329	0,3
DN40	1	43,1	70	0,36
DN63	1	70,3	26	0,44
Totalt	100	28,4	1666	0,26

5.7.3.2 Primäranslutna villor med TVV-ackumulering



Figur 48 Fjärrvärmecentral med varmvattenackumulator och värmeväxlare för radiatorsystem

Trots att även värmebehovet för tappvarmvatten kan antas minska något i framtiden, så kommer varmvattenbehovet i framtida byggnader utgöra en betydligt större andel av den totala värmelasten jämfört med idag. Dessutom kan det bli stora momentana effekttoppar då varmvatten tappas av kunderna. För att slippa dimensionera servisledningarna för att möta dessa momentana värmeflöden, kan en varmvattenberedare installeras i fjärrvärmecentralen, se Figur 48. Detta kommer att göra det möjligt att använda mindre rördimensioner.

Detta kommer att minska värmeförlusterna i distributionsnätet, men installationskostnaden blir högre än för en vanlig villa-prefab och tanken kommer också att ha en del värmeförluster.

I tidigare installationer av ackumulatortankar har det förekommit problem med höga returtemperaturer i nätet, men om ackumulatören är korrekt installerad, kan den t.o.m. hjälpa till att sänka returtemperaturen.

I områden med låg värmetäthet kan det vara värt den extra investeringen som en varmvattenberedare medför eftersom värmeförlusterna från rören blir mer kritiska med lång distributionskulvert.

I det simulerade nätet förses även villor utan solvärme med ackumulator. Effektbehovet dimensioneras på samma sätt som för villor med solvärme. Samma ackumulator används för de solfångarförsedda husen som i referensfallet (se även stycke om referensfallet ovan och 5.3.2.2 *Hus med solfångare för eget behov*).

Som i referensfallet är rören av stålrör av standardtyp med isoleringsklass 2. Här har vi dock tagit oss friheten att dimensionera med DN15 rör för att trimma rörstorlekarna så mycket det går. En möjlig lösning för att förhindra igensättning kan vara att installera filter vid anslutningspunkten till området. I Tabell 17 kan vi se att medelrördiametern blir mindre än för inkopplingen i referensfallet (5.7.3.1); 24,8 mm jämfört med 28,4 mm. Skillnaden är dock inte dramatiskt stor, vilket till en del beror på att hälften av husen i referensfallet redan är utrustade med ackumulatortankar.

Tabell 17 Rörlista för primäranslutning av villaområde med varmvattenackumulatorer

DN	Antal	Di (mm)	Längd (m)	Förlusttal (W/m°C)
15	69	19,3	931	0,21
20	7	21,7	104	0,22
25	14	28,5	337	0,26
32	8	37,2	198	0,3
40	2	43,1	97	0,36
Totalt	100	24,8	1666	0,24

5.7.3.3 Sekundärnät, (ca 60°C)

Det finns flera fördelar med ett sekundärt anslutet distributionsnät:

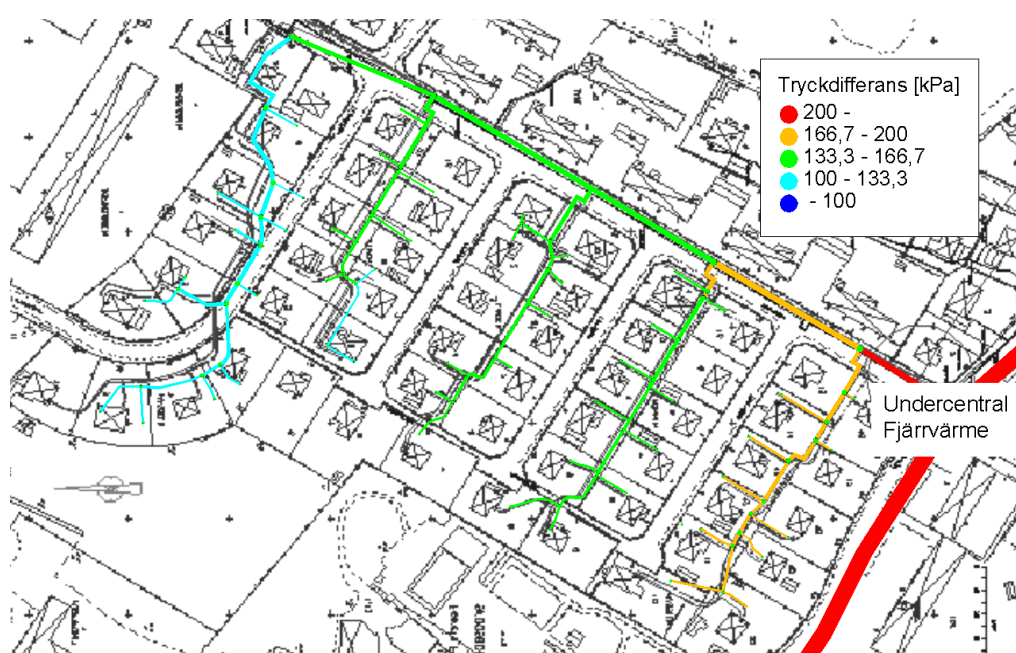
Området blir mindre känsligt för tillgängligt differenstryck, det räcker med 1-1,5 bars dP vid områdesundercentralen.

För ett område med nyproduktion räcker en framledningstemperatur på 60-65°C, vilket får en betydande inverkan på värmeförlusterna

Trycknivån i sekundärnätet kan hållas lägre. Lägre tryck och temperaturer innebär att Pex-rör kan användas, vilket ger en flexibilitet i val av system och öppnar för lägre installationskostnad. En lägre tryckklassning på komponenter bidrar också till lägre installationskostnad.

Sekundärnätet dimensioneras för en framledningstemperatur på 65°C och en medelreturtemperatur på 30°C. Nätet består av välisolerade PEX-rör, avsedda för nät med

låg värmetetthet. Det finns några leverantörer som tillhandahåller likvärdiga¹⁶ alternativ; Elgocell och Maxitherm. Uponor har även ett system som, kompletterat med LECA som kringfyllning, får motsvarande isoleringsgrad. Med Elgocells system finns möjlighet för kunden att själv specificera önskat värmeförlusttal; investeringskostnaden stiger förstås ju lägre förlusttalet blir. Rörlista för nätet presenteras i Tabell 18. Eftersom ΔT i nätet blir lägre så får nätet en större totalvolym än i referensfallet ($2,7 \text{ m}^3$ mot $2,5 \text{ m}^3$).



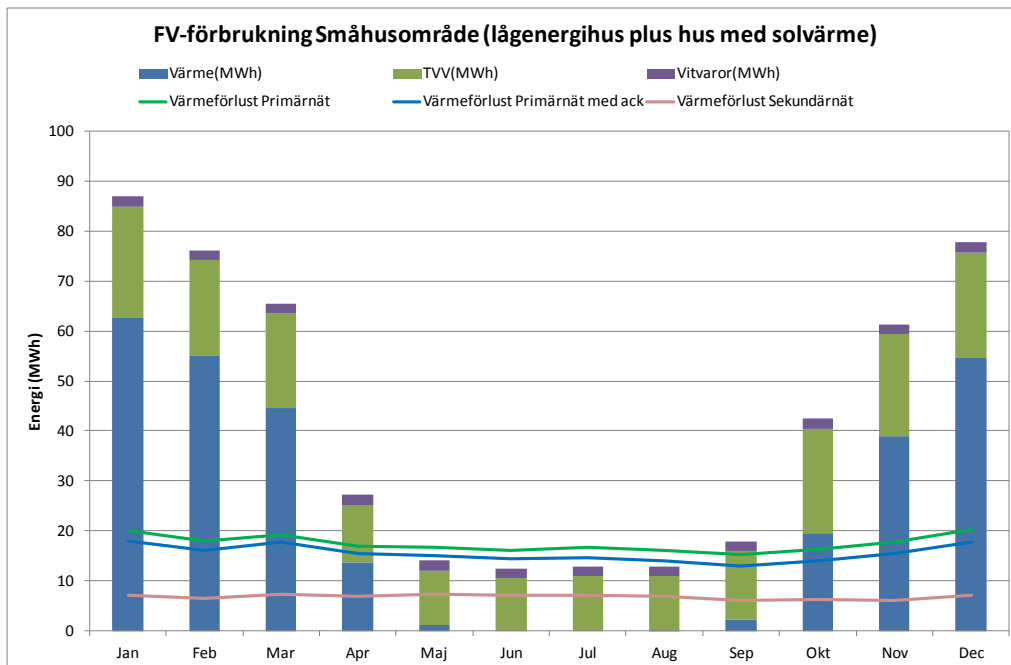
Figur 49 Sekundärnät för småhusområde, med dP i nätet under dimensionerande driftfall. Rördimensionerna är förstorade med en faktor 40.

¹⁶ Hittills finns ingen oberoende jämförelse mellan de olika alternativen. Mälarenergi har påbörjat installation av rörsystem från olika fabrikanter, men ännu finns ingen färdig utvärdering.

Tabell 18 Rörlista för sekundäranslutning av villaområde

DN	Antal	D _i (mm)	Längd (m)	Förlusttal (W/m°C)
DN16	25	14	321	0,12
DN20	27	17,5	370	0,12
DN25	7	22,5	110	0,13
DN32	18	29,4	246	0,15
DN40	19	37,4	385	0,18
DN50	2	47,4	134	0,21
DN63	2	51,6	105	0,21
Totalt	100	28,0	1671	0,15

I Figur 50 ser vi en sammanställning över områdets fjärrvärmebehov (uppdelat på uppvärmning, tappvarmvatten och vitvaror). Byggnadernas fjärrvärmebehov har antagits vara samma oavsett inkopplingsmetod. Där framgår även storleken på värmeförlusterna i fjärrvärmekulverten. Eftersom området är extremt värmeglest, så är det naturligt att värmeförlusterna är höga i förhållande till lasten. Högst är de för den referensinkopplingen (trots att hälften av husen har ackumulering av TVV-lasten), och märkbart lägre blir värmeförlusterna med ett sekundärnät. De viktigaste faktorerna för detta är den sänkta systemtemperaturer och kulvertens avsevärt bättre isoleregenskaper.



Figur 50 Månadsförbrukning av fjärrvärme i ett småhusområde med lågenergihus och hus med solfångare. Värmeförlusterna för de olika inkopplingsalternativen redovisas som linjer i diagrammet.

5.7.4 Nytt flerfamiljshusområde

I fjärrvärmenätets utkant ansluts också ett nybyggt flerbostadshusområde bestående av lågenergihus, passivhus och plushus (se 5.3.3 *Flerbostadshus* för beskrivning av husen). Området är relativt glest bebyggt (Figur 51). Totalt ansluts 7 passivhus, 7 lågenergihus och 6 plushus till fjärrvärmenätet. För jämförelse simuleras även ett område utan solvärme; dvs. 7 passivhus och 13 lågenergihus.

5.7.4.1 Flerbostadshusområde med plushus

Byggnaderna primäransluts till fjärrvärmenätet. Överskottsvärme från solfångare levereras till fjärrvärmens framledning, vilket även kan innebära att området blir en värmeleverantör till huvudnätet vissa tidpunkter sommartid. Huvudnätet fungerar då som värmelager och lastutjämning.

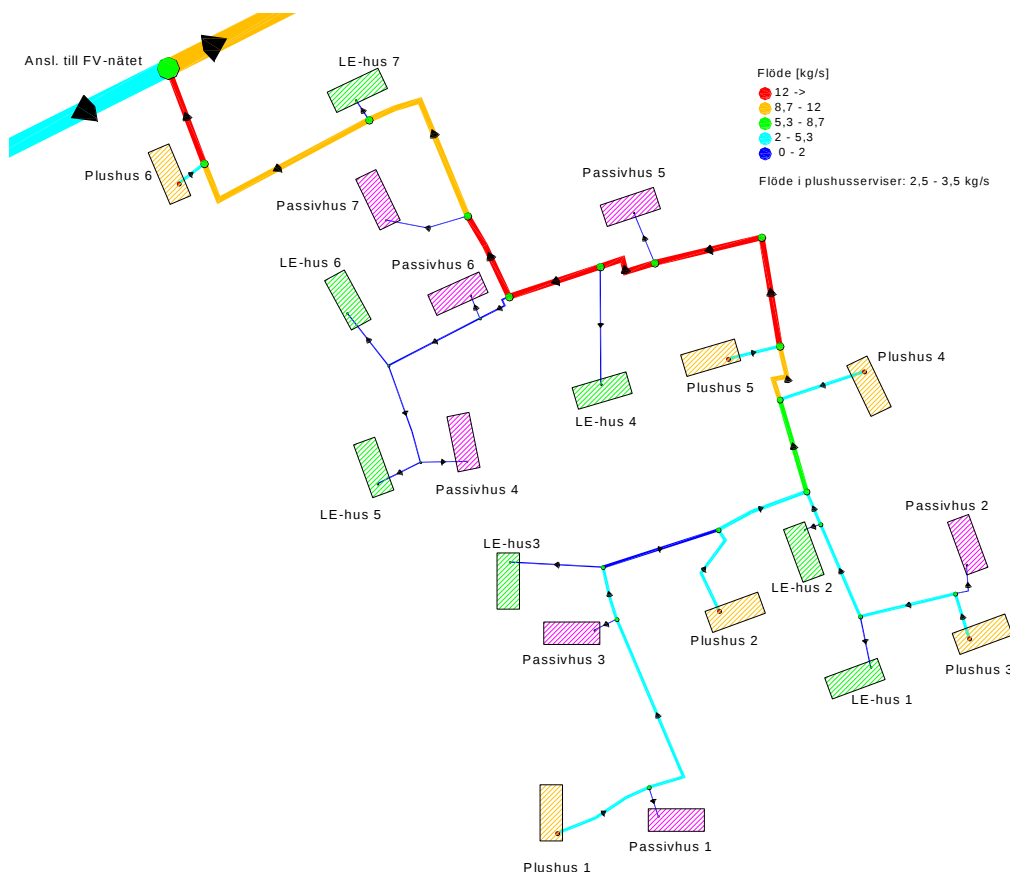
Solvärmetillskottet överskrider ibland totala värmebehovet från övriga byggnader i området, vilket gör området till en exportör av värme till övriga fjärrvärmenätet. Det som är kännetecknande och påverkar driftförutsättningarna är att områdets byggnader under varma sommardagar kan göra området självförsörjande på värme, medan de vintertid behöver full värmeeffekt, som tillförs via fjärrvärmeleverans.

För plushusen blir det flödesbehovet för att distribuera solvärme till övriga nät som blir dimensionerande för servisledningarna. Förutom solvärmeeffekten så påverkas flödesbehovet även av den returtemperatur som plushusen får in från fjärrvärmenätet. För det simulerade området är det rätt stor skillnad mellan huvudnätets returtemperatur (ca 60°C) och returtemperaturen från de nybyggda flerbostadshusen i

området (33°C). De plushus som ligger närmare huvudnätet (t.ex. plushus 6, se Figur 51) måste m.a.o. ha serviser som klarar ett högre flöde än de som ligger längre in (t.ex. plushus 1).

Precis som för området med förtätning av stadskärnan (5.7.2 Förtätning med passivhus, plushus och lågenergihus), så dimensioneras övriga hus efter effektbehovet för tappvarmvatten.

Nätet består av stålrör av standardtyp (twin) med isoleringsklass 2. En rörlista för området presenteras i Tabell 19. Total rörlängd för nätet är 2880 m och medeldiameter på rören blir 113,7 mm.



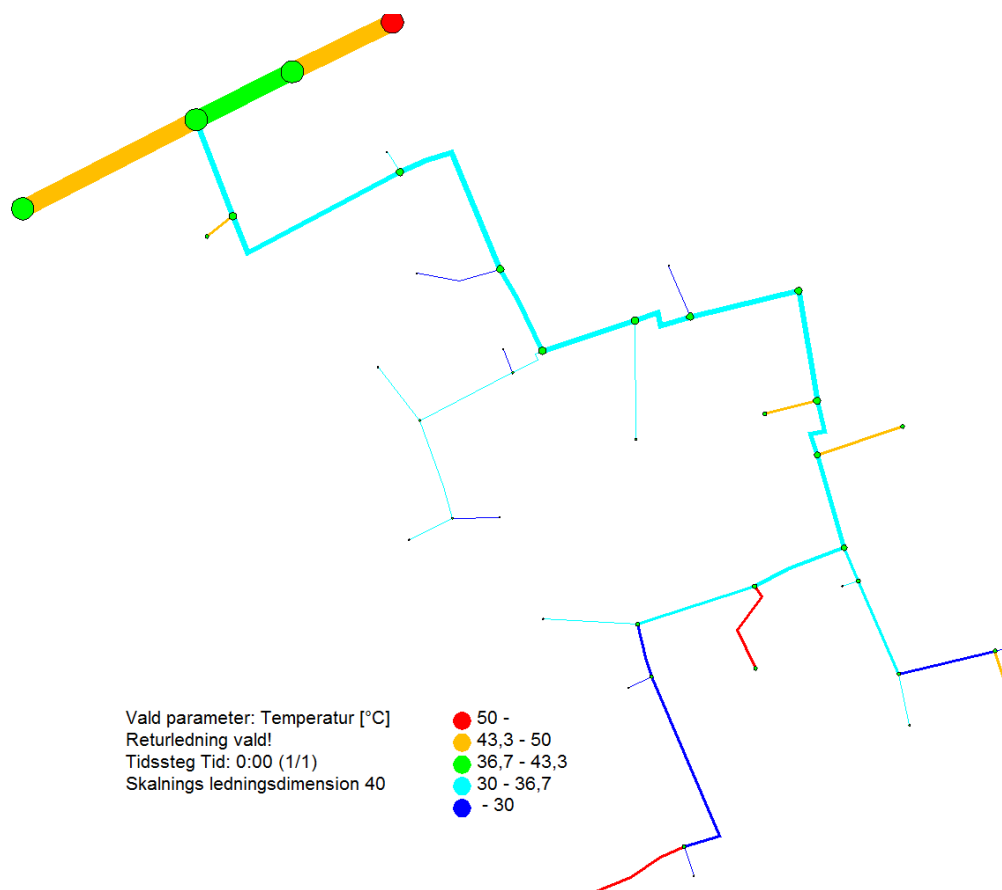
Figur 51 Flerbostadshusområde med passivhus, lågenergihus och plushus. Simulering av dimensionerande solenergileverans till nätet (300 kW/hus), vid 20°C utomhustemperatur. På bilden framgår flödes-hastigheter i ledningarna samt flödesriktning.

Tabell 19 Rörlista för flerbostadshusområde med passivhus, lågenergihus och plushus

DN	Antal rörpar	D _i (mm)	Längd (m)	Volym (m ³)	Förlusttal (W/m°C)
DN20	8	21,7	288	0,23	0,22
DN25	7	28,5	449	0,62	0,26
DN32	2	37,2	130	0,31	0,30
DN65	12	70,3	923	7,79	0,44
DN80	1	82,5	86	1	0,26
DN100	2	107,1	145	2,83	0,48
DN125	8	132,4	860	25,74	0,56
Totalt	40	78,2	2880	39	0,42

Områdets kulvertsystem har dimensionerats för att nätets kapacitet ska räcka till för att leda värme från plushusen till övriga nätet. Förutom serviserna till plushusen så är i stort sett alla distributions- och fördelningsledningar grövre än vad som är nödvändigt, om man endast skulle se till byggnadernas fjärrvärmebehov. Detta leder i sin tur till högre värmeförluster än vad området i annat fall skulle ha haft.

För plushusen blir det dessutom nödvändigt med termiska rundgångar för att få tillräckligt hög framledningstemperatur till fjärrvärmecentralerna, även vid dimensionerande värmelast. Detta leder bl.a. till högre returtemperaturer i området.



Figur 52 Returtemperaturer i Plushus-området, vid dimensionerande värmelast (-23°C)

5.7.4.2 Flerbostadshusområde med enbart passivhus och lågenergihus

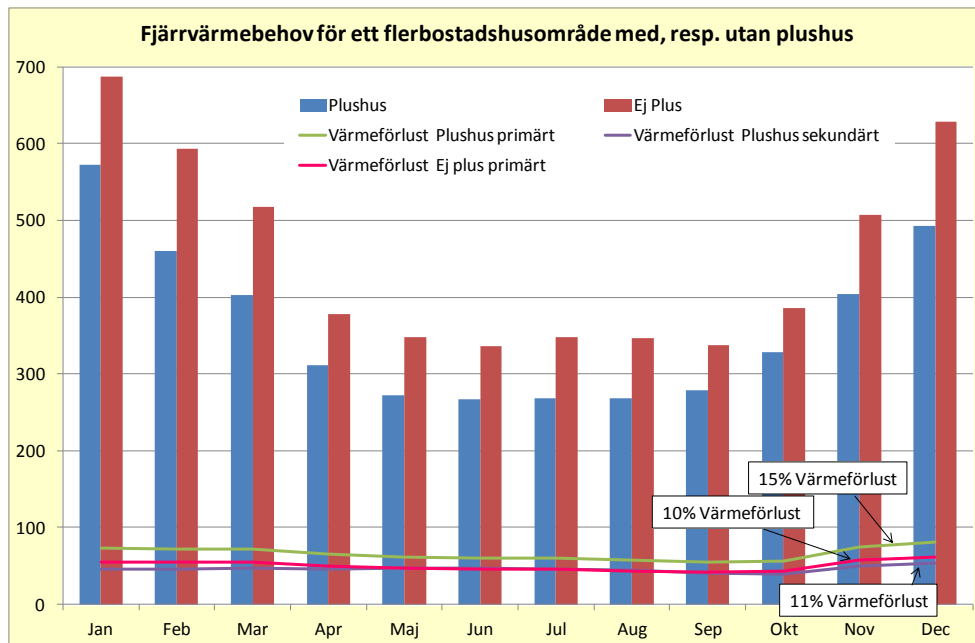
Eftersom rördiametrar och därmed nätets totalvolym blir större med plushus i området, gjordes en simulering med samma område, där plushusen ersatts med lågenergihus. En rörlista för området presenteras i Tabell 20. Total rörlängd för nätet förändras inte, men medeldiametern på rören blir 48,5 mm (mot 78,2 mm för samma område med plushus). Om nätet dimensioneras enbart för byggnadernas fjärrvärmebehov mer än halveras alltså fjärrvärmevolymen i nätet (15 m^3 jämfört med 39 m^3 för plushusområdet).

I Figur 53 jämförs månadsförbrukningen av fjärrvärme i plushusområdet med motsvarande månadsförbrukning för ett flerbostadshusområde utan plushus. Förutom att det senare området har ett högre fjärrvärmebehov, så är även värmeförlusterna lägre; 10 % mot plushusområdets 15 %. I Figur 53 visas även värmeförlusterna för ett sekundärt anslutet nät för plushusområdet, som i övrigt har samma egenskaper som det primärt anslutna nätet (

Tabell 19). Där framgår tydligt vikten av låga systemtemperaturer. Utan några andra åtgärder sjunker värmeförlusterna från 15 % till 11 %. Visserligen bör man ta i beaktande att lägre systemtemperaturer, i detta fall, även innebär lägre temperaturdifferens (DT) mellan fram- och returledning, vilket kräver högre flöden. Eftersom det är tappvarmvattenlasterna samt levererad solvärme som är dimensionerande i detta fall så är dock serviser och fördelningsledningar tillräckliga för att klara detta flöde.

Tabell 20 Rörlista för flerbostadshusområde med enbart passivhus och lågenergihus

DN	Antal	Di (mm)	Längd (m)	Volym (m3)	Förlusttal (W/m°C)
DN20	8	21,7	288	0,23	0,22
DN25	7	28,5	449	0,62	0,26
DN32	7	37,2	559	1,32	0,30
DN40	6	43,1	462	1,47	0,30
DN65	7	70,3	518	4,37	0,44
DN80	5	82,5	604	7,02	0,46
Nätet	40	48,5	2880	15	0,32



Figur 53 Månadsförbrukning av fjärrvärme i ett flerbostadshusområde med lågenergihus, passivhus och plushus resp. ett flerbostadshusområde med enbart lågenergihus och plushus. Värmeförlusterna för de olika inkopplingsalternativen redovisas som linjer i diagrammet.

5.8 Slutsatser

5.8.1 Miljonprogrammet

Om alla fastigheter i ett miljonprogramsområde utrustas med frånluftsvärmepumpar inkopplade på värme- och varmvattenkretsen försvinner hela fjärrvärmelasten för området under nästan halva året (vår, sommar, höst). Antingen kan man då välja att helt stänga ned den delen av nätet (konsekvenser av detta bör i så fall utredas vidare), eller så behövs ett rundgångsflöde för att upprätthålla framledningstemperaturen. Det är inte heller otänkbart att det i området finns en eller ett par kunder som fortfarande har ett värmebehov, och för vilka det är nödvändigt att säkerställa leveransen. Dessa rundgångsflöden kommer att höja värmeförlusterna något, eftersom fjärrvärmereturen då inte kyls av i fjärrvärmecentralerna.

5.8.2 Förtätning av stadskärnan

För stadskärnan i Karlstad fanns god kapacitet i ledningsnätet för anslutning av nya laster. Så är inte fallet i alla innerstäder. Sänkt energiförbrukning i befintligt bestånd öppnar dock upp för nya anslutningar. Man bör dock vara vaksam även på byggnadernas effektbehov, t.ex. vid hög andel frånluftsvärmepumpar i området. Det kan ändå finnas utrymme för nyanslutningar, trots oförändrat effektbehov, om man förbättrar avkylningen i de existerande fjärrvärmecentralerna. Alla returtemperaturer i fjärrvärmesystemet över 40°C vid 0°C utetemperatur beror på felaktiga abonnentcentraler eller ej injusterade radiatorsystem hos kunden (Gummérus P och Werner S, 1994).

Det innebär att för anläggningar med högre returtemperaturer finns utrymme att öka avkylningen och därmed öka effektkapaciteten med bibehållet flöde.

5.8.3 Plushus

För att huset ska klara av att, på årsbasis, leverera ett nettoöverskott av värmeenergi till nätet krävs att i princip hela den tillgängliga takytan är täckt av solfångare samtidigt som husets eget värmebehov är i nivå med, i det närmaste, passivhus-standard. För att kunna leverera värme från solfångarna ut på nätet krävs, förutom tillräcklig pumpkapacitet för att trycka ut värme på framledningen, även att servis- och fördelningsledningar för fjärrvärmen dimensioneras för det erforderliga flödet. Detta innebär dels en högre installationskostnad, dels högre värmeförluster i nätet. I vårt simuleringsfall (stycke 5.7.4) innebär det att servisledningens dimension blev DN65. Hade servisledningen istället dimensionerats för byggnadens effektbehov (ref) hade servisen fått DN32. För områdets del innebär de större rördimensionerna att rörförlusterna blev drygt 30 % högre än om ledningarna dimensionerats efter byggnadernas värmebehov. Ett enkelt överslag m.h.a. kulvertkostnadskatalogen (2007) ger att installationskostnad för kulverten också ökat i motsvarande grad. Rekommendationen om solvärme för leverans på nätet ska installeras är därför att solvärmeinstallationen bör dimensioneras så att överskottsvärmen kan skickas ut på nätet i den kulvert som är dimensionerad efter byggnadens effektbehov. De ytor på taket som "blir över" kan lämpligen användas för solceller. Om man ändå väljer att installera plushus med kulvert som är överdimensionerad för att klara av solvärmeleverans bör rimligen den extra kostnad som uppstår i form av högre installationskostnad och högre värmeförluster täckas av den som äger solvärmeanläggningen.

5.8.4 Nybyggnation

Simuleringarna visar att det fortfarande kommer att vara möjligt att ansluta småhusområden till fjärrvärmenätet, men kanske inte på det traditionella sättet via primäranslutning. De viktigaste faktorerna för ekonomin är att öka intäkterna samt få ner installationskostnaderna (fasta kostnader) och värmeförlusterna (årliga kostnader). Utrymmet för att öka intäkterna är relativt begränsade i småhusområdet. För att kunderna ska välja fjärrvärme måste priset vara konkurrenskraftigt gentemot alternativen och prisutvecklingen på fjärrvärme se fördelaktig ut. Ett sätt är dock att öka försäljningen genom att installera värmedrivna vitvaror, något som dessutom sänker elanvändningen. För att få låga värmeförluster krävs kulvert med god isoleringsförmåga, vilket i sin tur ger högre installationskostnader. De rör som vi använt i simuleringarna för ett sekundäranslutet område är relativt väl avvägda vad gäller värmeförluster kontra installationskostnader, men det är flera faktorer att ta hänsyn till i varje enskilt fall, som t.ex. kulvertlängder/dimensioner, produktions- och distributionskostnad för värmen samt kostnadsläget för kulverten. (ev. hänvisning till IEA-rapporten igen). P.g.a. detta är det avgörande att den som ansvarar för kulvertinstallationen även tar ansvar för kommande drift av sekundärnätet. En viktig bidragande orsak till de märkbart lägre värmeförlusterna för sekundärnätet är temperaturnivån i nätet.

Även flerbostadshusområden kan med fördel anslutas sekundärt till fjärrvärmenätet. Genom att skapa ”öar” av lågtemperaturnät inom fjärrvärmenätet förbereder man även hela systemet för en gradvis övergång till lågtemperaturdrift för hela nätet. Förutom att en lägre systemtemperatur ger lägre värmeförluster, gynnsammare elproduktion vid kraftvärme och andra produktions- och distributionsfördelar, så ökar även möjligheten att ta tillvara spillvärme av lägre temperatur. 60-70°C är tillräckligt i de sekundärsystem som simulerats i denna studie, men det är teoretiskt möjligt att gå ännu lägre i temperatur, förutsatt att risken för Legionellatillväxt kan elimineras.

Tidigare studier har visat att det är av stor betydelse för totalekonomin för ett distributionsnät att så små rördimensioner som möjligt väljs, och korrekt dimensionering av servisledningar är nog så viktigt. Detta visas även i (plushus). Tidigare forskningsprogram inom bl.a. Värmegles och Fjärrsyn (se t.ex. Sandberg, E, 2003 och Pohl H, Klingmann M, 2006) har även demonstrerat metoder för att hålla nere installationskostnader, som exempelvis grundare förläggning, samförläggning med andra system, samlad upphandling eller alternativa förläggningsmetoder.

6 SYSTEMKOSTNADER OCH KLIMATANALYS

6.1 Energieffektiv renovering av flerbostadshus i miljonprogramområden

De i avsnitt 5.3.1 beskrivna åtgärderna leder till förändrad energianvändning för miljonprogramområden. Konsekvenserna av dessa åtgärder analyseras i detta avsnitt. Vi antar att värmen levereras av ett fjärrvärmesystem med en nominell effekt på 200 MW. Baslasten täcks av ett kraftvärmeverk med RT-bränsle, övrig produktion består av en biomassapanna och en topplast-oljepanna (EO5) enligt varaktighetsdiagrammet i Figur 14. Som alternativ räknas också med värme från ett avfallsbaserat kraftvärmeverk. Produktionsmixen har följande sammansättning:

- System A): Kraftvärme RT bränsle 130 – 30¹⁷ MW, biomix 130 – 10 MW, olja EO5 100 MW
- System B): Kraftvärme avfallsbränsle 100 – 25 MW, biomix 130 – 10 MW, olja EO5 100 MW.

6.1.1 Miljöpåverkan miljonprogramsområde

De viktigaste parametrarna av fjärrvärmesystemets klimatpåverkan framgår av Tabell 21. Eftersom avfallspannan är mindre i effekt än pannan för RT-bränslet blir det olika värmefördelningar mellan pannorna inom de två systemalternativen. Energifördelningsmixen har beräknats med hjälp av Lava-kalkylen (Selinder, 2009). Primär-energifaktorerna och CO₂-utsläppsvärden är hämtade från Miljöfaktabok för bränslen (Uppenberg et al, 2001).

De totala utsläppen fördelas jämnt över den studerade perioden. El som produceras antas ersätta marginalet (Gode, J et al., 2009). Även el som används i produktion antas vara marginalet.

¹⁷ Intervallet anger max resp. minimilast för KVV eller panna. Oljepannan antas kunna regleras ned inom hela effektintervallet.

Tabell 21 Parametrar för värmesystemets miljö- och primärenergipåverkan

	Kraftvärme - RT			Kraftvärme Avfall			
	RT	Bio-mix	EO1	Avfall	Bio-mix	EO1	Elprod.
Andel	0,837	0,155	0,0078	0,7084	0,286	0,0054	
Primär- energifaktor	0,66	1,08	1,2	0,61	1,08	1,2	2,6
Spec. CO ₂ utsläpp (kg/MWh)	0	0	274	93,6	0	274	400* 70** 5***

* Huvudalternativ (europeisk elmix)

** Nordisk elmix

*** Förnybar elproduktion

Beräkningen av CO₂-utsläppen görs med tre olika antaganden. Huvudalternativet är 400 kg CO₂/MWh, vilket motsvarar den europeiska mixen samtidigt som värdet även motsvarar ett framtida marginalproduktionsutsläpp för gaskombisystem. Vi räknar dock också alternativt med utsläpp motsvarande den nordiska mixen (70 kg CO₂/MWh), respektive el producerad med förnybar energi (5 kg CO₂/MWh). Vid beräkningen av primärenergifaktorn tas även hänsyn till att kraftvärmesystemet producerar el som ersätter kondenskraft (primärenergifaktor 2,6).

Fjärrvärmens antas förse ett område med 15 anslutningspunkter (855 bostäder med totalt 52275 m² bostadsyta) med värme. För bostadshusen undersöks fem olika fiktiva effektiviseringsåtgärder såsom de beskrivs i avsnitten 5.3.1.1-5.3.1.4:

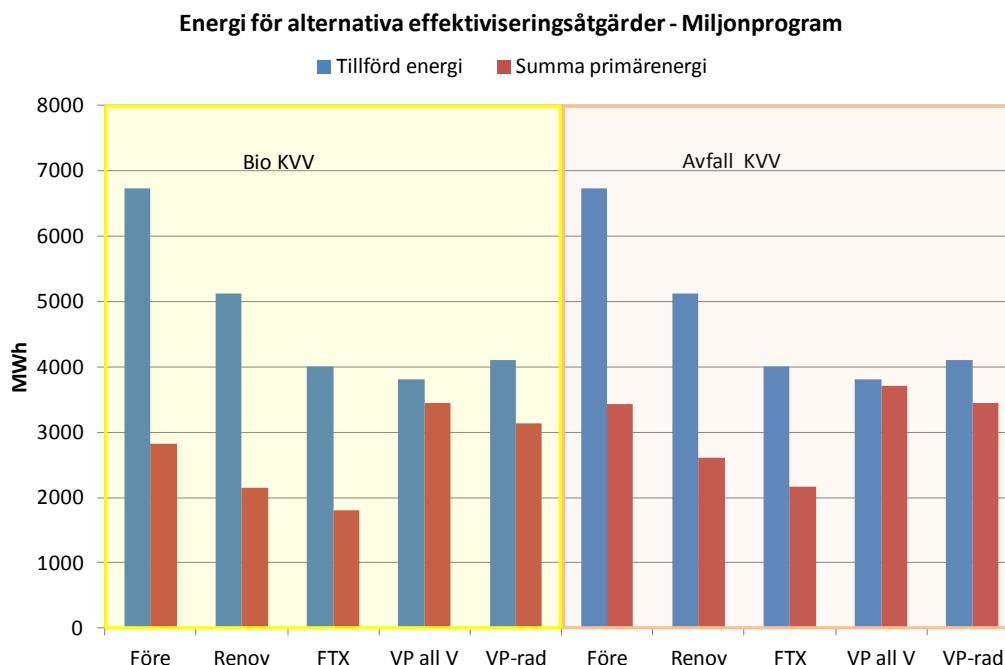
- Status före åtgärd
- Efter renovering
- Efter renovering med FTX-system
- Efter renovering med frånluftsvärmepump till värme och varmvatten (FVP rad+TVV).
- Efter renovering med frånluftsvärmepump endast till uppvärmning (FVP rad).

Energianvändningen av dessa fem olika lösningar framgår av Tabell 22 och Figur 54. I energibalansen ingår ingen kulvertvärmeförlust eftersom den antas vara i stort sett lika för alla systemutföranden.

Tabell 22 Energianvändning och miljöpåverkan för olika systemutföranden i miljonprogramområden.

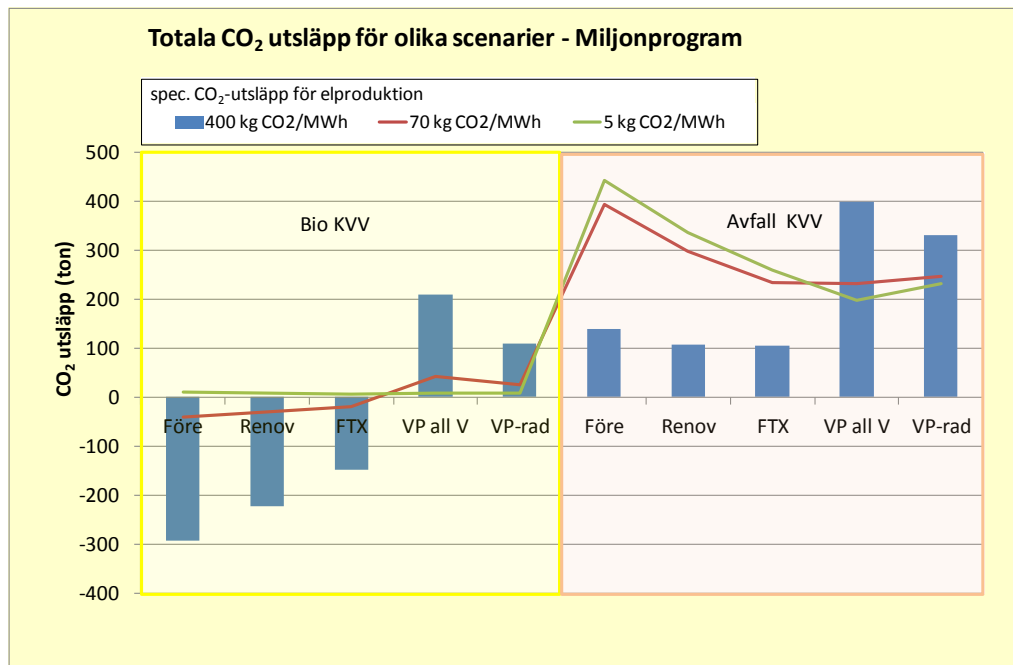
	Kraftvärme - RT					Kraftvärme - avfall				
per år	FV före renov	FV efter renov	FTX	FVP - rad+TVV	FVP -rad	FV före renov	FV efter renov	FTX	FVP - rad+TVV	FVP -rad
Tillförd värme MWh	6599	5014	3871	2897	3391	6599	5014	3871	2897	3391
Tillförd el MWh	132	100	135	905	717	132	100	135	905	717
Använd Primärenergi MWh	2818	2141	1802	3439	3136	3430	2606	2161	3707	3450
CO ₂ utsläpp (400 kg/MWh) ton	-293	-222	-149	210	109	141	107	105	400	332
CO ₂ utsläpp (70 kg/MWh) ton	-40	-30	-19	42	25	394	299	235	232	248
CO ₂ utsläpp (5 kg/MWh) ton	10	8	6	9	9	444	337	261	199	231

Av tabellen ovan och Figur 54 framgår energibesparingen för de här undersökta effektiviseringsåtgärderna. Alternativet med frånluftvärmepump anslutet till värme- och varmvattensystemen (VP all V) har, i detta exempel, lägst energianvändning. Samtidigt blir det tydligt att primärenergianvändningen för system med frånluftsvärmepump är betydligt högre än för fjärrvärmesystem med FTX. Även frånluftsvärmepump kopplad till enbart värmesystemet (VP-rad) har relativt hög primärenergianvändning, dock något lägre än om även varmvattnet skulle värmts med frånluftsvärmepump.



Figur 54 Tillförd totala energi och använd primärenergi för fem olika systemutföranden i miljonprogram-området.

Ett liknande samband finner man följaktligen för CO₂ utsläppen. Resultatet beror dock på vilka antaganden som görs för de specifika CO₂ utsläppen för el. Vi väljer här som huvudalternativ 400 kg CO₂/ MWh, vilket motsvarar den europeiska elmixen -samtidigt som detta också motsvarar ett framtida marginalproduktionsutsläpp för gaskombisystem. Elen som kraftvärmeverket producerar antas ersätta el från motsvarande produktion, vilket, för vissa driftfall, skulle ge en negativ CO₂-påverkan. Det råder delade meningar om man i realiteten kan tala om negativ CO₂-påverkan, då ett kraftvärmeverk naturligtvis inte är en koldioxidsänka i sig, även om produktionen av miljövänlig el leder till att marginalproduktion av el (kolkondens eller som, i vårt exempel, gaskombi) minskar. Ett alternativt synsätt är därför att sätta CO₂-påverkan till noll för dessa alternativ. Hur man, i vårt fall, väljer att redovisa CO₂-påverkan ger dock ingen större inverkan på slutsatserna. Som alternativ räknar vi även med utsläpp motsvarande den nordiska mixen (70 kg CO₂/MWh) respektive att elen produceras med förnybar energi (5 kg CO₂/MWh). Notera att även för dessa alternativ antas den kraftvärmeverksproducerade elen ersätta el från motsvarande produktion. Resultaten redovisas i Figur 55.



Figur 55 Totala CO₂ emissioner förorsakade av värme- och elproduktion för olika sätt att beräkna specifika CO₂ utsläppsvärden.

Här framgår klart att, för systemet med den biobränsleeldade kraftvärmens, så ligger värmepumpslösningarna högt i alla scenarier vad gäller CO₂-emissioner, utom då övriga elen antas komma från förnyelsebara energikällor. För systemet med avfalls-KVV blir det tydligare vilken inverkan antaget elursprung får. Med antagandet om marginalet (400 kg/MWh) medför bägge värmepumpslösningarna tydligt högre CO₂-utsläpp än de övriga alternativen. Om vi istället antar en nordisk elmix, så ger genomförda energieffektiviseringar en tydlig minskning i CO₂-utsläpp, där FTX-lösningen ger lägst utsläpp, medan värmepumparna ger något högre CO₂-utsläpp. När vi antar att den el som används och den el som produceras kommer från, respektive ersätter förnybar energi, så gynnas det alternativ som använder mest el och minst fjärrvärme; d.v.s. frånluftsvärmepump till värme och tappvarmvatten.

Beroende på vad man vill visa kan man alltså göra olika antaganden om elens ursprung. Det är inte heller ovanligt att fastighetsägare som installerar värmepump försöker kompensera för en ökad elanvändning genom att köpa "miljömärkt el". Gode, J et al. (2009) rekommenderar dock att marginalet¹⁸ används vid analys av förändrad elanvändning; eftersom "... En person som förändrar sin elanvändning påverkar alltså elsystemet på samma sätt oavsett om han/hon köper miljömärkt eller inte. Det är i båda fallen elproduktionen på marginalen som påverkas."

¹⁸ Kolkondens på kort sikt och naturgasbaserad elproduktion på lång sikt.

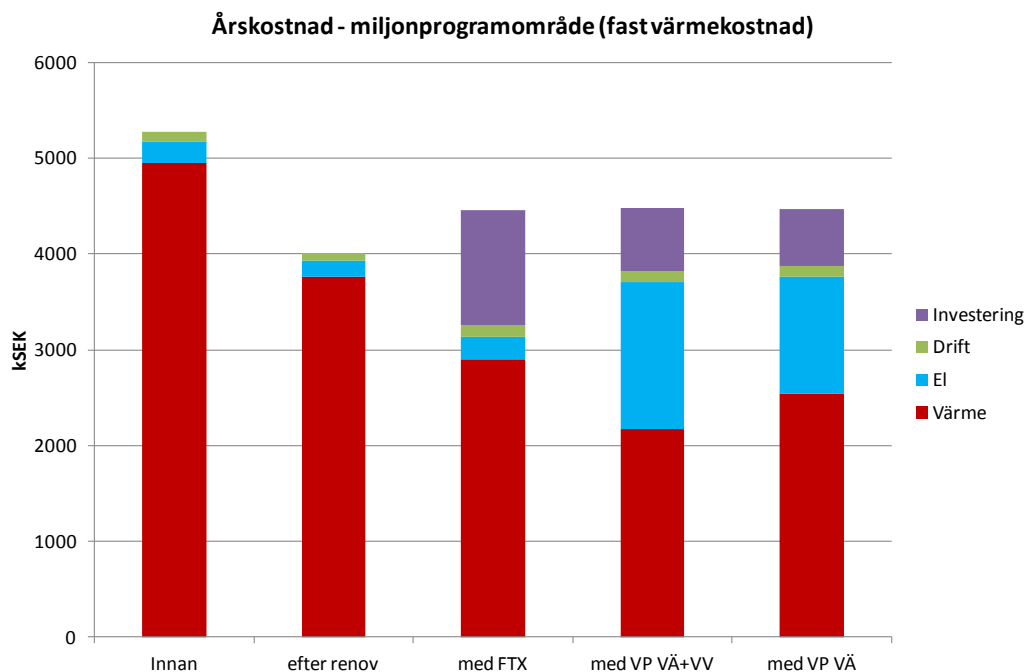
6.1.2 Systemkostnader -miljonprogramhus

De ovan beskrivna systemlösningarna bör också bedömas efter de totala kostnaderna dessa medför. I vår analys tillämpas den så kallade annuitetsmetoden som är ekvivalent med nuvärdesmetoden, med den skillnaden att den förre på ett enklare sätt tillåter en jämförelse av årliga kostnader för investeringen med de årliga rörliga energikostnaderna. Återigen är det de fem olika systemlösningarna som jämförs. Av Tabell 23 framgår de parametrar som används för kostnadsanalysen. Moms är ej inkluderad i kostnaderna.

Tabell 23 Parameter för kostnadsanalysen av miljonprogramhusen

	Enhet	
Avskrivningstid	år	25
Ränta	%	5
Inflation	%	2
Värmepris	SEK/MWh	750
Elpris	SEK/MWh	1700
FTX-investering	SEK/m ²	400
FVP-investering	SEK/m ²	220 (Inklusive ny kompressor efter 15 år)

De totala årskostnaderna framgår av Figur 56. I figuren ingår även driftskostnaderna för de olika systemlösningarna. Resultatet blir årliga kostnader för investeringen, underhåll och köpt energi under avskrivningsperioden på 25 år. Kostnaderna för FTX och FVP system är checkade mot kostnader som finns i litteratur, (exempelvis Thyrberg T. och Karlsson F., 2009).

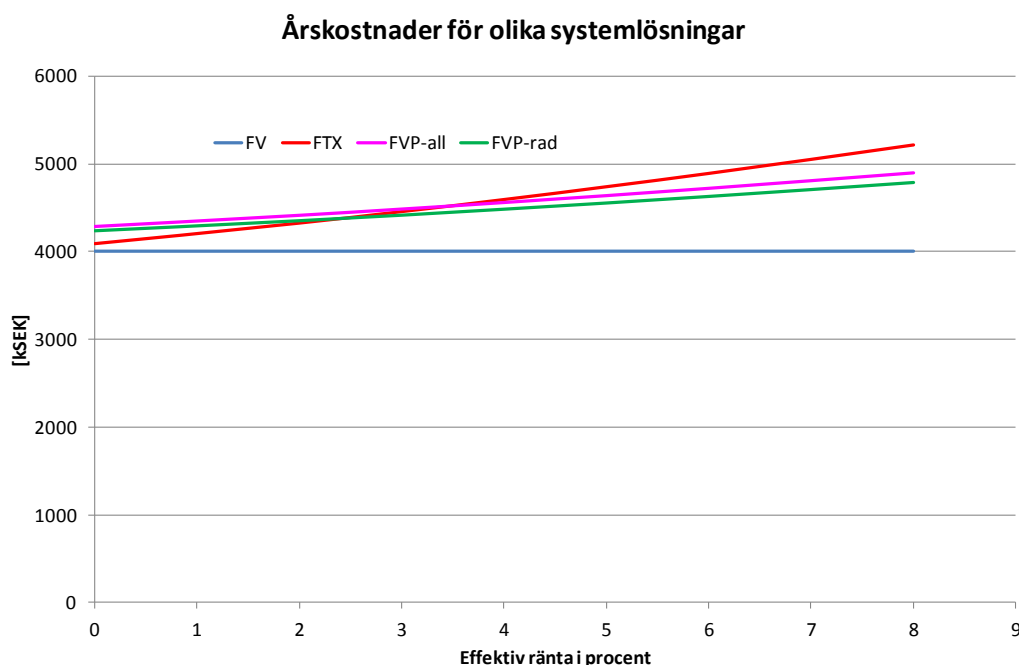


Figur 56 Årskostnader för olika systemlösningar vid renovering av miljonprogramhusen.

Kostnad för FTX lösning i existerande bostadshus inom miljonprogramområden kan variera stort, beroende på hur tilluftkanalerna kan dras. Eftersom långt ifrån alla miljonprogramshus har frånluftssystem i nuläget, kan det bli en kostnad även för den dragningen. I vårt grundfall är lösningen för FTX dyrare än lösningen för frånluftvärmepumpen.

Observera att kostnader för byggnadsrenoveringen inte ingår i kalkylen. Renoveringskostnaderna överstiger vida kostnaderna för FTX eller FVP. Renoveringen i endast energibesparingssyfte är ej lönsam.

Eftersom räntekostnader kan variera med tiden, så anges de totala systemkostnaderna i en känslighetsanalys som funktion av effektiv ränta (aktuell ränta minus inflation). Som framgår av Figur 57 är, i vårt exempel, FTX-lösningen gynnsammare än alternativen med frånluftvärmepump så länge den effektiva räntan håller sig under ca 2,5 %. Med en effektiv ränta på över 4 % är båda värmepumpsalternativen mer ekonomiskt fördelaktiga än FTX. Lönsammast är dock att inte installera någon frånluftåtervinning alls.



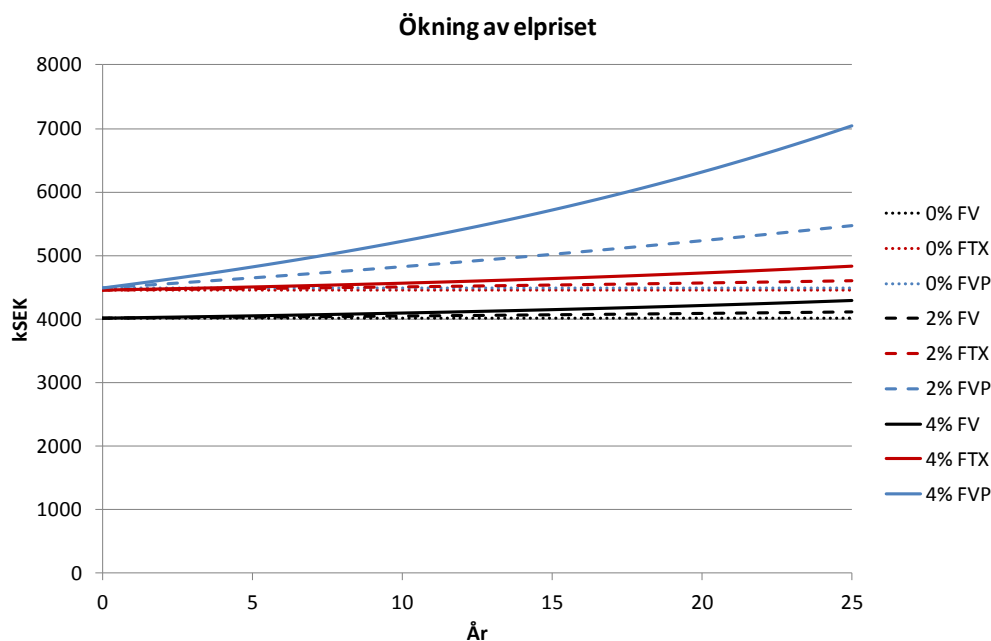
Figur 57 Årskostnader för olika systemlösningar som funktion av ränteläget för en 25-årsperiod.

Under en period av 25 år kan man också förvänta sig att förhållandet mellan elpris och värmepris förändrar sig, dvs. att elpriset ökar relativt värmepriset. I Figur 58 visas systemkostnadens förändring som funktion av elprisökningen. Här antas dels ett konstant värmepris och dels en elprisökning utöver inflationen med 2 resp. 4 % per år.

Figur 58 visar att kostnaden för den renoverade fjärrvärmeanslutningen alltid ligger lägst, och att de totala kostnaderna för frånluftsvärmepump (i detta fall ansluten till värme och varmvatten) blir avsevärt högre än för de andra alternativen efter ett antal år, när elpriset ökar i tiden. Det är alltså av stor betydelse vilka antaganden om prisutveckling på el och fjärrvärme som görs när man tar fram en ekonomisk kalkyl för en eventuell installation av frånluftsåtervinning. Vid en bedömning om vilken typ av åtgärd som är mest ekonomiskt fördelaktig bör denna typ av känslighetsanalys göras. Det kan nämnas att under åren 2004-2011 har elpriset ökat med 4 %, jämfört med fjärrvärmepriset, se Figur 61¹⁹.

Med avseende till primärenergianvändning och CO₂ emissioner, så är FTX klart att föredra redan nu. I vårt beräkningsexempel är FTX att föredra framför frånluftsvärmepump även ur ekonomisk synvinkel. Kostnaden för olika system kan dock skilja betydligt mellan olika byggnader, beroende på hur omfattande ombyggnationer som krävs för ventilationssystemen, så ekonomi och miljövärderingar måste bedömas från fall till fall.

¹⁹Gäller genomsnittspriser för småhus. Motsvarande trend gäller dock även flerbostadshus.



Figur 58 Årskostnader för olika systemlösningar när elpriset ökar i förhållandet till övriga kostnader med 2 respektive 4 % per år. "FVP" avser frånluftspump kopplad till värme- och varmvattenkretsen.

6.2 Anslutning av ett område med nybyggda småhus till fjärrvärmenät

I Figur 13 visas schematiskt att också ett nybyggt villaområde ska anslutas till fjärrvärmenätet. I vårt exempel undersöks ett område med 50 småhus enligt de tekniker som beskrivs i avsnitt 5.3.2. Husen, vars system jämförs med varandra, antas vara på 160 m² och har olika lågenergiprestanda, dels en konventionell (modern) energianvändningsnivå med ca 93 kWh/m² per år, dels två olika systemlösningar för att uppnå lägre energiförbrukning. I en systemlösning används ett FTX-system, i kombination med fjärrvärme, som resulterar i en specifik energianvändning av 67 kWh/m², år (totalt för fjärrvärme och el). En annan lösning med en frånluftvärmepump (FVP) resulterar i 58 kWh/m²,år tillförd el (hus med FVP är inte anslutna till fjärrvärme utan el används till spetsvärme). Fjärrvärmen antas komma från samma fiktiva produktionsystem som beskrevs i avsnittet för miljonprogrammet, dvs. ett system bestående av en kraftvärmepanna med RT-bränsle, uppbackad av en biomassapassa och spetsat av en oljepanna. Alternativt analyseras även här ett kraftvärmesystem baserat på avfall.

6.2.1 Miljöpåverkan -småhusområde

Parametrarna för det antagna värmeproduktionssystemet framgår av

Tabell 21. Tillförd energi, använd primärenergi och CO₂-utsläpp är sammanställda i Tabell 24.

Kulvertvärmeförlusten är inkluderad i beräkningen av den totalt tillförda värmen (FV, FTX).

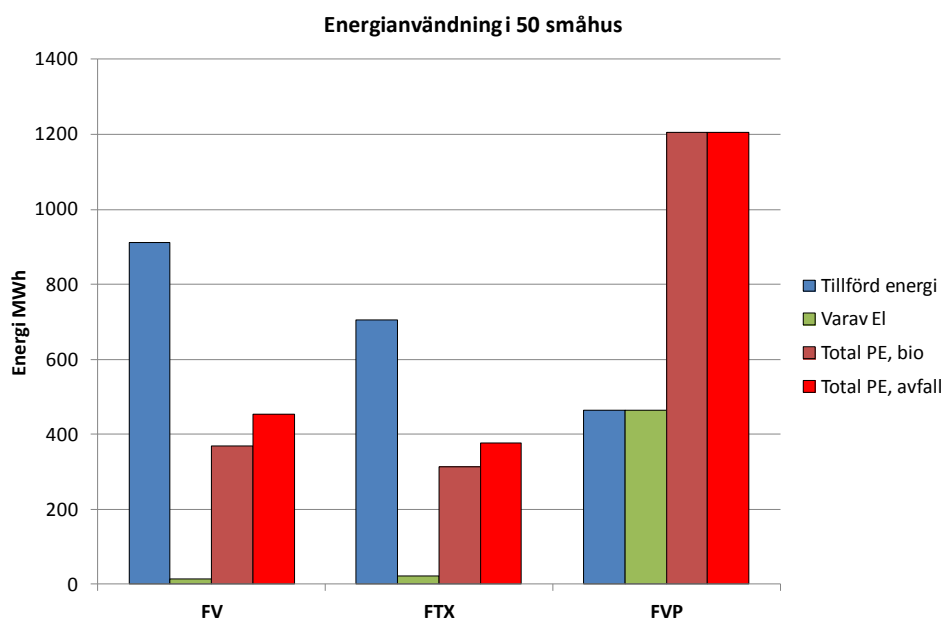
Beräkningen av CO₂-utsläppen görs återigen med de tre olika antaganden: 400, 70 respektive 5 kg CO₂/MWh²⁰. El producerad i kraftvärmeverk antas ersätta nordisk elmix (70 kg CO₂/MWh). Produktionen av el ger även en bonus vid primärenergiberäkningen som då dras bort från den beräknade totalprimärenergianvändningen. Detta resulterar i värden för använd primärenergi som presenteras i Tabell 24 och Figur 59. Eftersom husen med frånluftsvärmepumpsystem använder enbart el som energikälla, så resulterar det i höga värden för använd primärenergi men framför allt för koldioxidutsläpp (Figur 60). Husen med FTX system uppvisar de lägsta värdena avseende primärenergianvändning.

Tabell 24 Energianvändning och miljöpåverkan för olika systemutföranden (50 småhus):

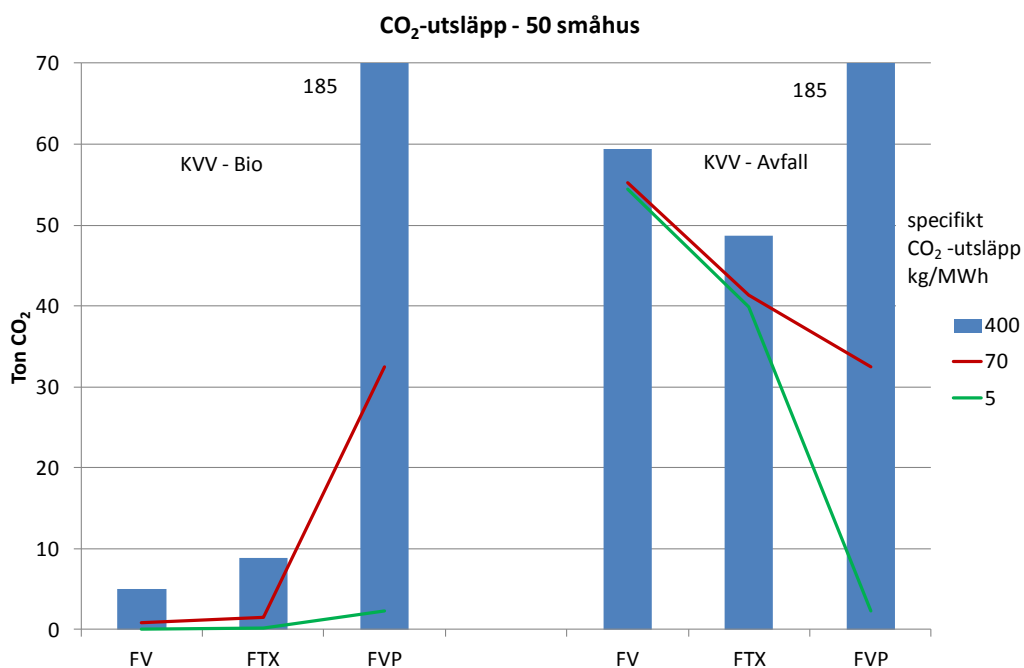
		Kraftvärme - RT			Kraftvärme - avfall		
per år		FV	FTX	FVP	FV	FTX	FVP
Tillförd värme	MWh	732	518		732	518	
Värmeförlust	MWh	165	165		165	165	
Tillförd el	MWh	12,6	22,2	464 ²¹	12,6	22,2	464
Använd Primärenergi	MWh	370	314	1207	453	377	1207
Totala CO ₂ -utsläpp (400 kg/MWh)	ton	5,0	8,9	185,6	59,4	48,7	185,6
Totala CO ₂ -utsläpp (70 kg/MWh)	ton	0,9	1,5	32,5	55,2	41,4	32,5
Totala CO ₂ utsläpp (5 kg/MWh)	ton	0,1	0,1	2,3	54,4	39,9	2,3

²⁰ Se stycke 6.1.1

²¹ Inklusive el för spetsvärme



Figur 59 Total tillförd energi (el + värme) samt endast tillförd el för de tre olika systemlösningar samt total tillförd primäre energi (PE) för två alternativa kraftvärmesystem.

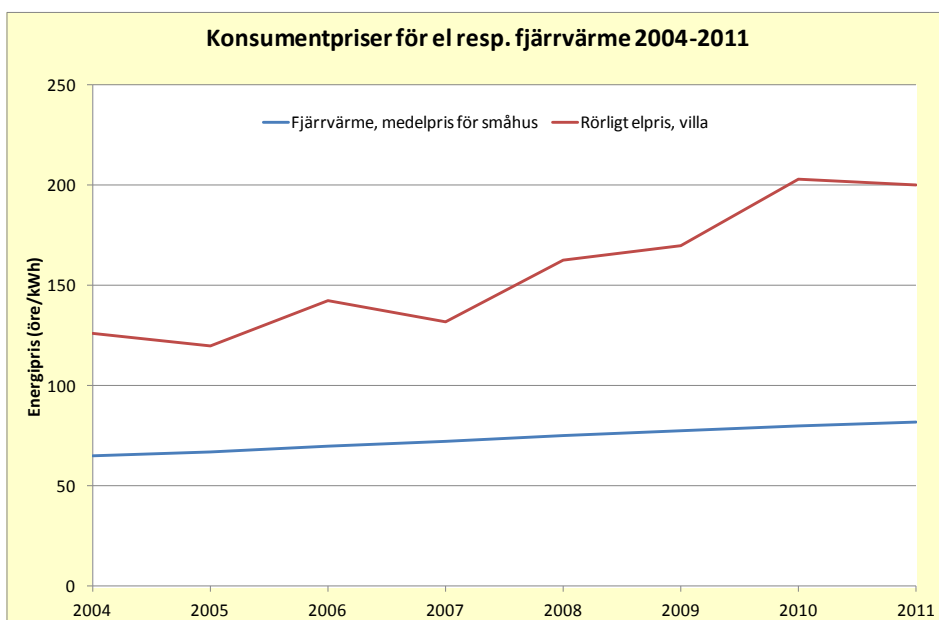


Figur 60 Totala CO₂-utsläpp för tre systemlösningar vid olika värderingar av specifika elgenererade CO₂-utsläpp, dvs. 400, 70 och 5 kg CO₂ per MWh. (Se vidare i texten). Staplarna för FVP sträcker sig utanför diagrammets gränser (185 ton CO₂).

Koldioxidutsläppen för de tre olika systemlösningarna framgår av Figur 60. I nätet med biobränsle-KVV blir fjärrvärme det miljövänligaste alternativet, tätt följt av kombinationen FTX+fjärrvärme. För nät med avfalls-KVV är fortfarande fjärrvärmen ett miljövänligt alternativ, som ger ännu lägre utsläpp när man kombinerar med FTX. El-alternativet (frånluftsvärmepump och spetselvärme) framstår däremot inte som en långsiktig hållbar lösning i något av systemen.

6.2.2 Systemkostnader - Småhusområde

För en kostnadsjämförelse är det viktigt att ta hänsyn till de olika systemlösningarnas egenheter. I våra system behövs fjärrvärme för såväl det enkla fjärrvärmealternativet som för huset med FTX-systemet. Värmepumpsystemet får däremot klara sig med endast elinstallationen med inkluderad spetsvärme. Detta innebär att FTX-lösningen har de högsta installationskostnaderna. Vid värmepumpalternativet räknas dock med ett kompressorbyte efter halva drifttiden. De antagna systemkostnaderna framgår av Tabell 25. Kostnaderna för FTX och FVP är baserade på en rapport över energianvändning och LCC för ventilations- och uppvärmningssystem för småhus (Torsell R., 2005). Kostnaderna för fjärrvärmenät och fjärrvärmecentraler baseras på ett sekundärnät med välisolerade twinrör av PEX. Även undercentralen mot huvudnätet ingår i kalkylen. I installationskostnaderna ingår även priset för radiatorer. Elpris och fjärrvärmepris är baserade på konsumentpriser (medelvärde för åren 2007-2011, se även Figur 61).

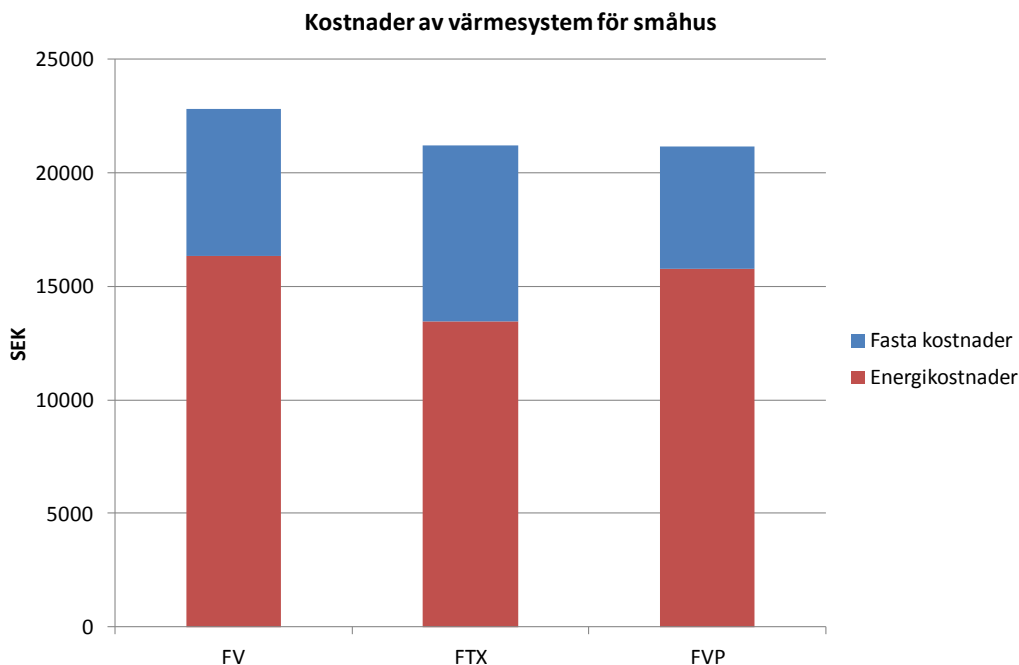


Figur 61 Prisutveckling för el resp. fjärrvärme 2004-2011. Elpriset gäller rörligt pris för villa utan elvärme. Källor: Svensk Fjärrvärme, Svensk Energi (hemsidor).

Tabell 25 Parameter för kostnadsanalysen av småhusområden.

Parameter	Enhet	Värde	Kommentar
Avskrivningstid	år	25	
Ränta	%	5	
Inflation	%	2	
Värmepris	SEK/MWh	750	
Elpris	SEK/MWh	1 700	
FV	SEK/per hus	112 500	Inklusive underhåll
FTX	SEK/per hus	135 000	Inklusive förnyelse av filter och 2 ggr rotormotorer
FVP + el	SEK/per hus	93 750	Inklusive ny kompressor efter 12 år

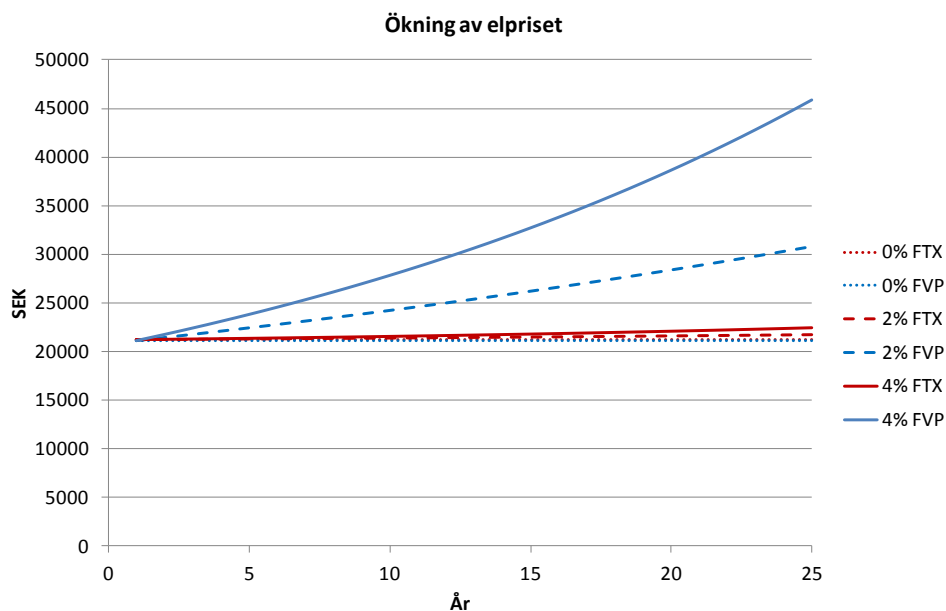
De totala årskostnaderna är återigen beräknade enligt annuitetsmetoden och redovisas i Figur 62. Energikostnaderna inkluderar även värmeförluster från det lokala nätet (165 MWh per år för FV och FTX systemet). Underhållskostnader för t ex kompressorbyte för frånluftvärmepumpen, motorbyte för filterrotorer och byte av luftfilter (1 per år) är inkluderade i priset. Priserna är inklusive moms och skatter.



Figur 62 Kostnader per hus för värmesystem i ett område av 50 småhus.

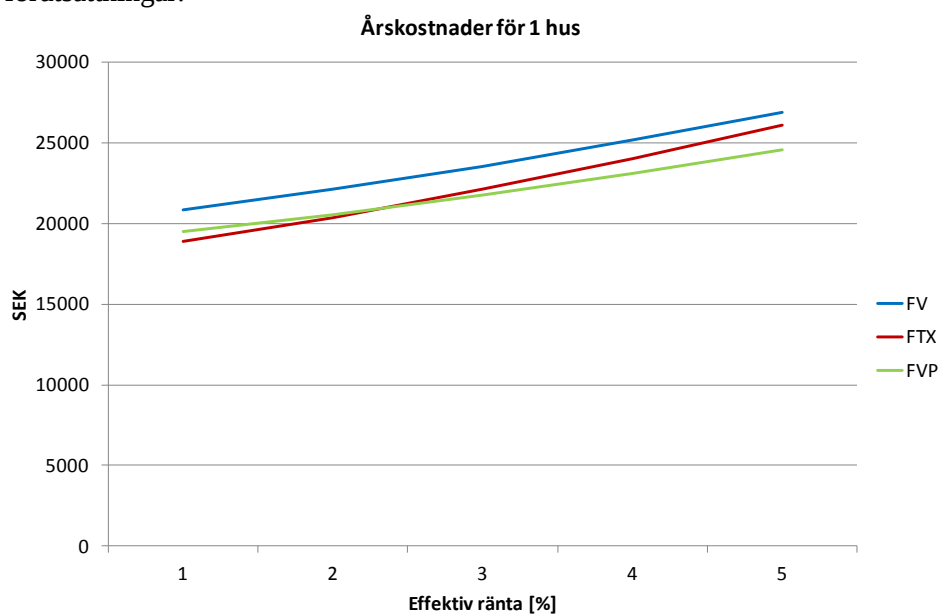
Som framgår av diagrammet är energikostnaderna för FTX-systemet lägst av de studerade alternativen, men p.g.a. den högre installationskostnaden för FTX-systemet blir årskostnaderna för alla tre systemlösningar nästan lika stora (något högre för fjärrvärmeinkopplingen utan FTX). FVP-systemet saknar fjärrvärmeanslutning, vilket ger den de lägsta fasta kostnaderna, men p.g.a. att elpriset är så pass mycket högre än fjärrvärmepriset, så blir den totala kostnaden ungefär lika hög som för FTX-systemet. Här bör dock påpekas att skillnader i fjärrvärmeprissättning mellan olika orter resulterar i olika kalkyler. För orter med fjärrvärmepriser över medel blir FVP ett gynnsammare alternativ och tvärtom för de orter där fjärrvärmepriserna är lägre. Valet att ansluta av småhus till fjärrvärme är alltså inte självklart ur ekonomisk synvinkel, men tar man hänsyn till miljönyttan så väger ändå vågskålen mot fjärrvärme, gärna i kombination med FTX. Dessutom blir kalkylen en annan om elpriset ökar i förhållandet till värmepriset. Som framgår av Figur 63 är ekonomin för frånlufts-
värmepumpen känslig för elprisökningar. Redan vid 2 % elprisökning²² per år blir årskostnaden för FVP till slut ca 30 % högre än för FTX och vid 4 % ökning blir årskostnaden 25 % mer än det dubbla. Även om värmepumpsystemet för närvarande är en gynnsam lösning för småhus, så kan det av miljö- och kostnadsskäl vara värt att hålla beredskap för att ansluta småhus till fjärrvärme lite längre fram i tiden.

²² Relativt fjärrvärmepriset.



Figur 63 Årskostnader per hus för FTX- och FVP-systemet när elpriset ökar i förhållande till övriga kostnader med 2 respektive 4 % per år.

Eftersom FTX-systemet har de högsta investeringskostnaderna av alla här jämförda system, så är det systemet även mest känsligt mot förändringar i ränteläget, se Figur 64. Vid ca 2,5 % effektiv ränta blir FTX systemet dyrare på årsbasis än FVP-systemet. Skillnaden är dock relativt liten i förhållande till övriga faktorer och avgörandet av vilket systemet som är fördelaktigare beror snarare på lokala förutsättningar.



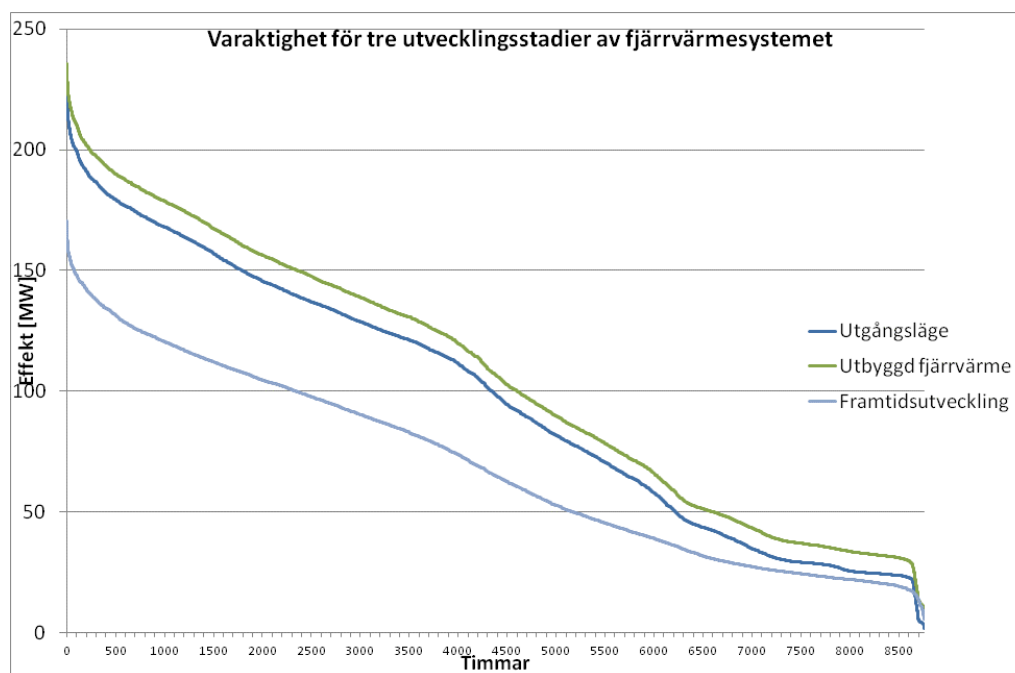
Figur 64 Årskostnader per hus för tre alternativa systemlösningar vid varierande effektiv ränta.

6.2.3 Konsekvenser av förändringar i fjärrvärmesystem

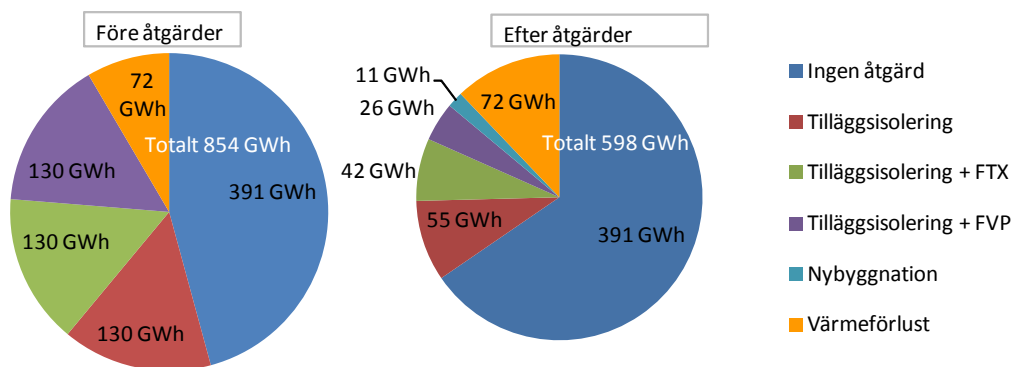
Vi utgår från en situation där vi betraktar ett fjärrvärmesystem som har utvecklats under en längre tid med väletablerad struktur. Fjärrvärmesystemet försörjer via ett existerande nät en medelstor stad med värme samtidigt som systemet producerar el i ett kraftvärmesystem. Låt oss kalla detta system för **"Utgångsläget"**. Energianvändningen visas i varaktighetsdiagrammet, Figur 65.

Detta fjärrvärmesystem förändras i likhet med vad som beskrivs i avsnitt 5.6; genom att ansluta två nya områden; ett med småhus samt ett med nya flerbostadshus. Vidare görs vissa förtätningar av stadskärnan samt vissa energieffektiviseringar och installation av frånluftsvärmepumpar i ett område. Detta leder såväl till energibesparingar hos en del fjärrvärmekunder som till anslutning av nya fjärrvärmekunder. Resultatet är en mindre ökning av energianvändningen såsom det framgår av lastkurvan i Figur 65 för systemet **"Utbyggd fjärrvärme"**.

Vidare kan vi tänka oss att detta system med åren förändras på så sätt att även en del av de övriga husen förses med energieffektiviseringsåtgärder. För att kunna beräkna resultatet av dessa förändringar utgår vi ifrån att *hälften* av alla äldre hus blir åtgärdade, varav en tredjedel med tilläggsisolering, en tredjedel med tillsattsisolering och FTX-system och en tredjedel med tilläggsisolering och frånluftsvärmepump (FVP), se Figur 66. Vi kallar detta system för **"Framtidsutveckling"**. Varaktighetsdiagrammen för alla tre systemalternativen framgår av Figur 65.



Figur 65 Varaktighetsdiagram för tre olika scenarier av ett fjärrvärmesystem under utveckling i en större stad.



Figur 66 Förändring i lastfördelning för systemet "Framtidsutveckling". Cirkeldiagrammet till vänster visar lasten innan några åtgärder vidtagits (men fördelar lasten på de tänkta bostadssektionerna). Tårtbiten som representerar området utan åtgärd motsvarar lika stor last före som efter förändringar (391 GWh), men eftersom totala fjärrvärmelasten minskat så är andelen större. Motsvarande gäller för värmeförlusten, som endast ökat marginellt.

Huvudvärmeproduktionen antas vara ett kraftvärmeverk (KVV) eldat med RT-bränsle. Toppvärmeeffekten produceras med en biomix och spetsvärme med olja. Alternativt antas även att ett avfallskraftvärmeverk används. Effektivvärden för pannorna anges i stycke 6.1.

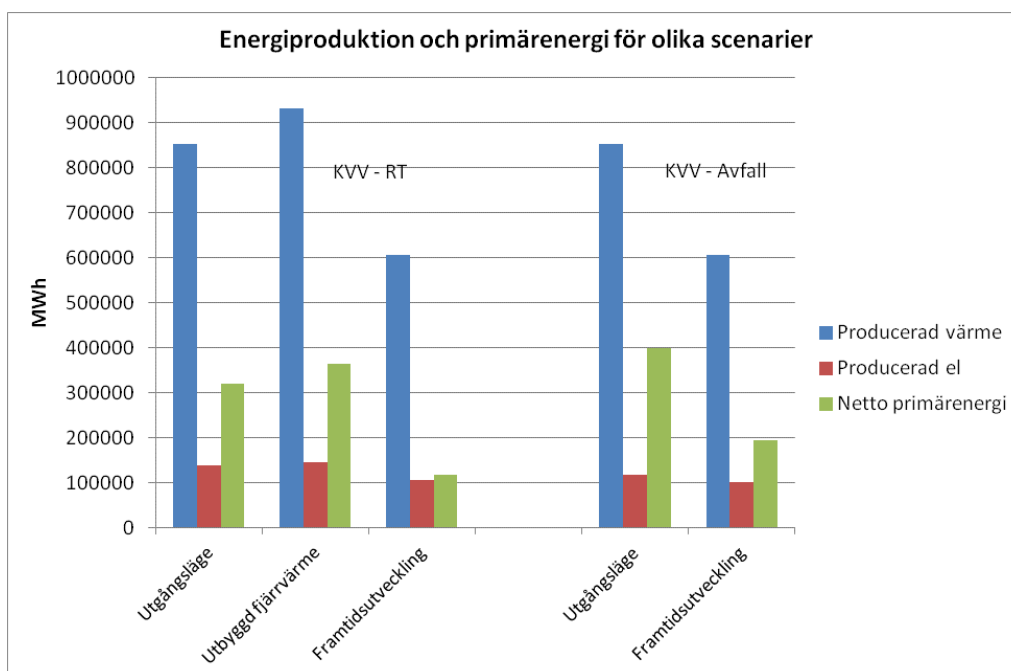
Av Tabell 26 framgår energiproduktionen för dessa tre systemvarianter. Mixen har beräknats med hjälp av LAVA-programmet (Selinder P. och Walletun H., 2007).

Tabell 26 Värme- och elleveranser från tre olika utvecklingsscenarier av ett fjärrvärmesystem

	Storlek	Utgångsläget		Utbyggd fjärrvärme		Framtidsutveckling	
		KVV-RT	KVV-Avf	KVV-RT	KVV-Avf	KVV-RT	KVV-Avf
Värme RT	GWh	715		750		556	
Värme avfall	GWh		605				520
Värme biomix	GWh	132	244	178		34	82
Värme EO5	GWh	7	5	5		16	4
Summa Värme	GWh	854	854	933		606	606
El från kraftvärme	GWh	139	118	146		107	101

6.2.3.1 Miljökonsekvenser – hela fjärrvärmesystemet

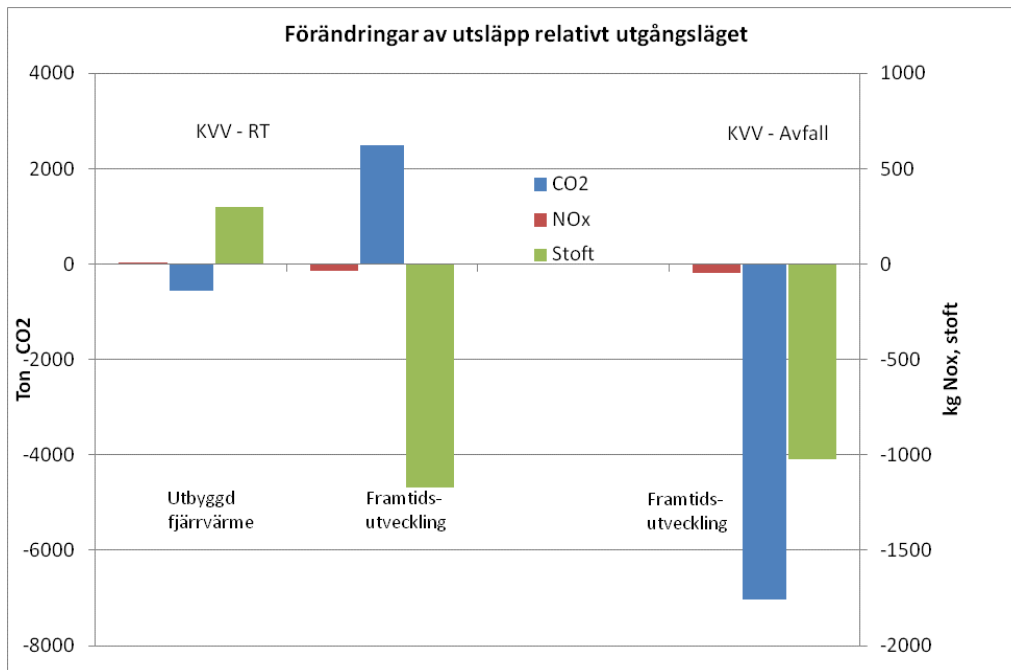
Som framgår av Tabell 26 så ökar värmeleveranserna i scenariot ”Utbyggd fjärrvärme” med ca 10 % eftersom det ökade värmeunderlaget från tillkomna nya kunder överstiger det som effektiverats bort. I ”framtidsutveckling” slår dock effektiviseringsåtgärderna igenom och värmeleveranser och elproduktion minskar med ca 30 %. Situationen är redovisad i Figur 67.



Figur 67 Levererad energi och primärenergi i olika utvecklingsstadier av ett fjärrvärmesystem

Det intressanta är vad som händer med nettoprimärenergin i vårt system. Eftersom vi är endast intresserade i stadens fjärrvärmesituation med motsvarande snäva systemgränser så utgår vi ifrån att den producerade elkraften ersätter annan kondensbaserad elkraft med en primärenergifaktor av 2,6. Denna primärenergi tillgodoräknas således fjärrvärmesystemets primärenergibalans, vilket resulterar i motsvarande låga primärenergivärden. I det framtida systemet produceras mindre värme och mindre el. Totalt sett minskar också primärenergianvändningen vilket är ju meningen med energibesparingsåtgärderna. Primärenergianvändningen är dock högre i avfallssystemet än i biomassasystemet, eftersom avfallet antas innehålla ca 30 % fossilt bränsle.

Utvecklingen av emissionerna för samma fjärrvärmesystem är lite mera nyanserad, som Figur 68 visar. I denna figur visas bara förändringarna av emissionerna CO₂, NO_x och stoft mellan ”Utgångsläget” och ”Utbyggd fjärrvärme” respektive mellan ”Utgångsläget” och ”Framtidsutvecklingen”.



Figur 68 Förändringarna av utsläppen för två olika systemscenarier.

När lasten ökar så ökar även utsläppen av NO_x och stoft, men inte av CO₂, som minskar något. Det senare beror på att vårt system kan producera mer kraftvärme vid högre last och använder då mindre olja. När dock värmelasten i det framtida systemet minskar, så kan kraftvärme inte täcka så stor del av leveranserna och mera olja används, vilket även resulterar i högre CO₂ utsläpp. I fallet med avfallsbaserat kraftvärme tar dock topplastpannan med biomix en större andel vilket återigen resulterar i en lägre oljeanvändning och mindre CO₂-utsläpp. Resultatet är ganska så känsligt för pannornas lägsta möjliga effekt vilket gör att det krävs en noggrann planering av pannkombinationen för att uppnå de avsedda miljöeffekterna.

Sett ur ett systemperspektiv bör dock beaktas att den minskade fjärrvärmelasten i systemet delvis ersatts med el till FTX och frånluftsvärmepumpar. Hur detta påverkar miljön beskrivs i stycke 6.1.1 *Miljöpåverkan miljonprogramsområde*. Om man antar att ca 11 % av den totala minskningen i fjärrvärmelast beror på frånluftsvärmepumpar och ca 5 % beror på FTX, så bidrar den ökade elenergianvändningen till en ökning av CO₂-utsläppen med ca 4900 ton för scenariot **Framtidsutveckling**.

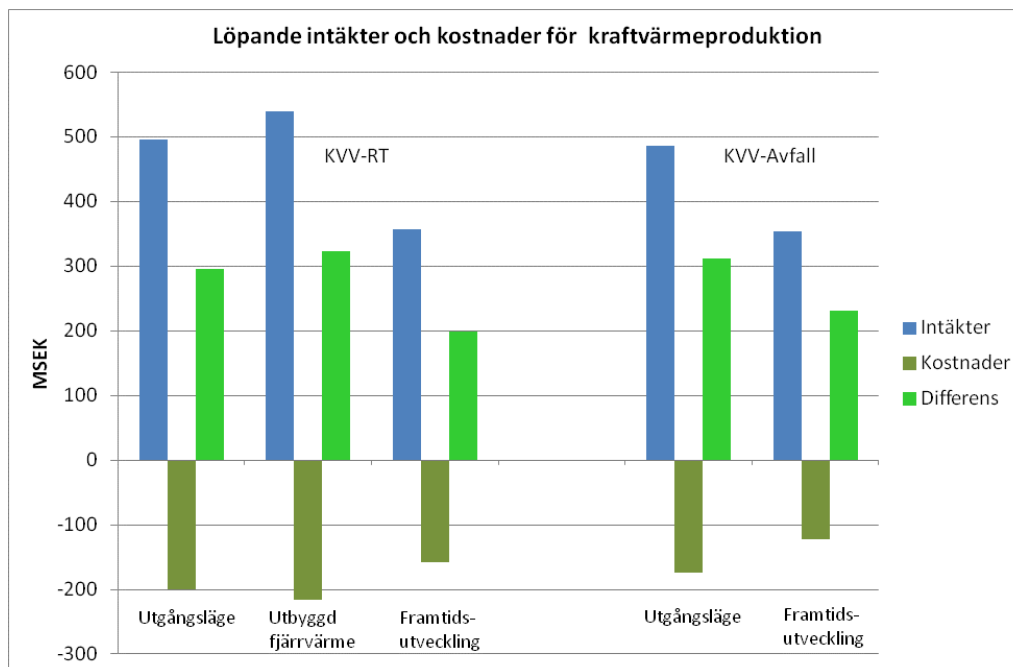
6.2.3.2 Kostnadskonsekvenser

En förändrad fjärrvärmemarknad resulterar självklart också i en förändrad ekonomisk situation för enstaka fjärrvärmebolag. I Figur 4 visas de ekonomiska konsekvenserna för våra modellsystem. Vi utgår ifrån att fjärrvärmeleveranserna och de därmed förknippade elleveranserna följer det mönster som vi har redovisat i Tabell 1. Vi räknar i denna analys med intäkter från försäljning av el och värme. För varje såld MWh (el eller värme) erhålls 500 SEK som intäkt. Kostnader å andra sidan uppgår för inköp av bränsle och el för den interna driften.

I Tabell 27 återges de värden för köpt bränsle och el respektive såld värme och el. Detta resulterar i intäkter och utgifter som redovisas i Figur 69 tillsammans med differensen av båda som mått för de medel som står till förfogande för driften av den övriga fjärrvärmerörelsen.

Tabell 27 Exempel på inköps- och försäljningspriser av energi och bränslen.

Inköp		
RT bränsle	SEK/MWh	163
Avfall	SEK/MWh	100
Biomix	SEK/MWh	261
EO5	SEK/MWh	546
El	SEK/MWh	1000
Försäljning		
Värme	Värme	500
El	EL	500



Figur 69 Intäkt-/kostnadsbalans för ett fjärrvärmesystem i olika utvecklingsscenarier

Som det framgår kvalitativt av Figur 69 så minskar omsättningen markant i det befintliga nätet när produktionen minskar. Följden av detta blir ju att rörelsekapitalet per installerad kulvert och per installerad produktionskapacitet minskar, medan värmeförlusterna och behovet av kulvertunderhåll är i stort sett desamma.

6.3 Slutsatser

6.3.1 Småhus

Den jämförande kalkylen mellan fjärrvärmeanslutning resp. frånlufts värmepump visar att det fortfarande går att finna en lönsamhet för småhus att ansluta till fjärrvärmenätet. Marginalerna är dock inte så stora, och för fjärrvärmebolaget innebär detta bl.a. att det krävs en hög anslutningsgrad för att projektet ska bli lönsamt. Värme drivna vitvaror kan hjälpa till att öka värmelasten något och därmed utgöra de sista kWh som får affären att fungera. De rekommendationer som nämns i 5.8 Slutsatser och Rekommendationer till fjärrvärmebranschen kan också vara till hjälp för att hålla nere kostnader. Även ur kundens synvinkel är inte affären alltid självklar. Det är därför viktigt att dels kommunicera miljöfördelarna med fjärrvärme, dels kunna erbjuda ett konkurrenskraftigt pris med en så förutsebar prisutveckling som möjligt.

6.3.2 FTX eller värmepump?

För byggnader anslutna till fjärrvärme så är FTX klart att föredra, om man ser till primär energianvändning och CO₂ emissioner (se 6.1 Energieffektiv renovering av flerbostadshus i miljonprogramområden). Ekonomiskt har FTX-systemet ibland lite svårare att hävda sig mot frånluftsvärmepumpen, p.g.a. att tilluftskanalen som krävs innebär en högre installationskostnad som regel. Installationskostnaden beror i stor utsträckning på byggnadens konstruktion, vilket gör att en individuell bedömning måste göras från fall till fall. Den ekonomiska analysen beror också till stor del av hur mycket elpriset kommer att öka i framtiden. Ju högre elprishöjning, desto konkurrenskraftigare blir FTX-lösningar, se Figur 63 och Figur 61. Här har även fjärrvärmebolagen en chans att påverka utvecklingen genom att utforma taxor och avtal som gynnar fastigheter med FTX framför de med frånluftsvärmepump. Även övriga ekonomiska och politiska styrmedel kan få en avgörande betydelse för utvecklingen.

För fastigheter där FTX inte är genomförbart av ekonomiska eller tekniska skäl, men fastighetsägaren ändå vill ha frånluftsåtervinning, rekommenderas att frånluftsvärmepumpen kopplas till värmesystemet enbart. En frånluftsvärmepump som endast levererar värme till uppvärmningssystemet har nästan samma inverkan på fjärrvärmedriften som ett FTX-system. Installationen för en sådan anläggning blir dessutom enklare än för en frånluftspump kopplad till varmvattnet, eftersom ingen varmvattenackumulering krävs. Därmed erhålls lägre installations- och underhållskostnad för systemet. Ur CO₂-synpunkt är dock FTX klart att föredra framför värmepump, se Figur 55.

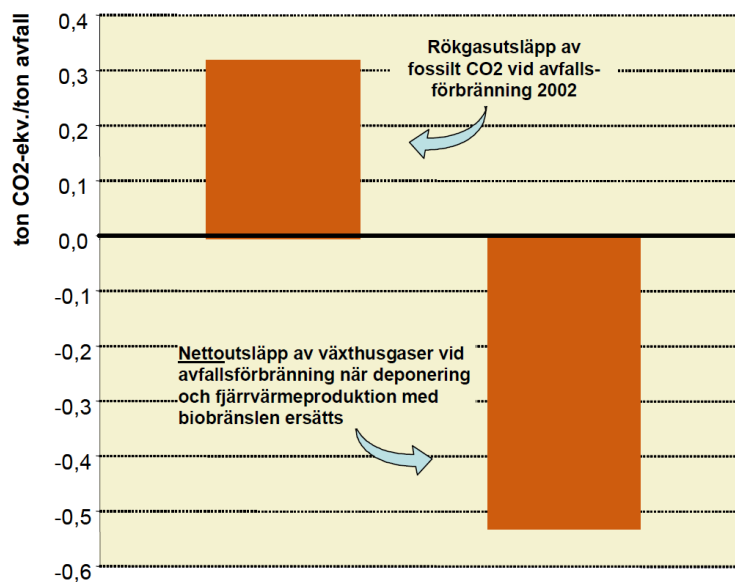
6.3.3 Förändrade förutsättningar i hela nätet

En sänkt fjärrvärmeförbrukning hos kunderna ger, med de studerade produktionsmixerna, en sänkning i utsläppen från anläggningarna. Om en stor del av den energieffektiviseringen består i eldrivna frånluftsvärmepumpar tillkommer dock CO₂-utsläpp kopplade till motsvarande elproduktion.

Omsättningen i det befintliga nätet kommer minska markant när produktionen minskar (Figur 69). Detta påverkar i hög utsträckning vinstmarginalen, eftersom rörelsekapitalet minskar, medan värmeförluster och fasta kostnader är i stort sett desamma. Vi har i den här analysen inte undersökt, hur detta problem kan motverkas. Ett sätt är naturligtvis att arbeta med sänkta ledningstemperaturer för att minska värmeförluster, ett annat sätt vore att öka värmelasten genom anslutning av industriella kombinat. Den framtida transportmarknaden behöver ju ersätta fossila bränslen, det borde således finnas förutsättningar för avsättning av större värmemängder mot denna bransch. Ett annat sätt att öka intäkterna är också att producera mera elkraft i det befintliga systemet. Det låter sig göra med introduktion av större värmelager i systemet. Det vore värt att studera i ett framtida arbete den nytta som värmelager i större fjärrvärmesystem kan göra i detta avseende.

6.3.4 Miljövärdering av avfallsförbränning

Primärenergifaktor och CO₂-utsläppsvärde för avfall hämtades från Miljöfaktabok för bränslen (Uppenberg et al, 2001). Det är dock viktigt för helhetsbilden att ha i åtanke vilka alternativ som finns till avfallsförbränning. Jämfört med deponi, exempelvis, ger avfallsförbränning betydligt lägre utsläpp av växthusgaser. (RVF/Profu, 2003). Även om vi framöver får bättre sortering av avfall så kan vi nog räkna med att avfallsförbränningen har en plats i det hållbara samhället åtminstone inom den närmaste framtiden.



Figur 70 Utsläpp av växthusgaser; jämförelse mellan två beräkningsmetoder. Den vänstra stapeln illustrerar emissioner av fossilt CO₂ i rökgaserna vid avfallsförbränning i Sverige 2002, med utsläppsvärden motsvarande de som använts i vår rapport. Den högra stapeln visar nettoutsläppen enligt Sundqvist et al (2002) när man tar hänsyn till att förbränningen innebär att deponering och fjärrvärmeproduktion med biobränslen ersätts. Källa: RVF/Profu, 2003.

7 FÄLTSTUDIE AV TEMPERATUROPTIMERING I SEKUNDÄRNÄT

7.1 Inledning

Inom projektet har ett mindre fältförsök genomförts i samarbete med fjärrvärmebolaget Lunds Energi AB. Fältförsöket genomfördes i Lund under värmesäsongen 2011/2012 och omfattade två sekundära nät bestående av knappt 90 radhus vardera, Stadskällaren och Stadsvapen, se Figur 71. Näten ligger bredvid varandra och är anslutna till huvudnätet via nyligen moderniserade separata gruppcentraler.



Figur 71 Radhusområden Stadsvapen (till vänster i bild) och Stadskällaren (till höger i bild) i Lund. Områdena är anslutna till Lunds Energis fjärrvärmenät via var sin gruppcentral i områdets södra del.

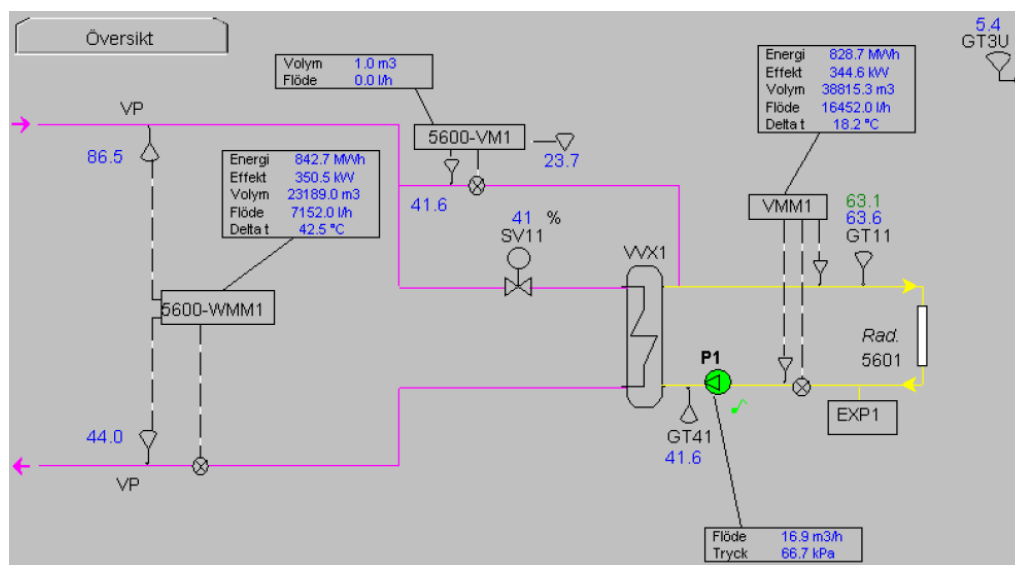
Projektets mål var att undersöka respons från två befintliga gruppcentraler vid systematisk höjning/sänkning av framledningstemperaturen i sekundnäten, undersöka möjlighet till adaptiv reglering, försöka hitta ett optimalt temperaturprogram för lägst

möjliga returtemperatur till fjärrvärmenätet och undersöka begränsningar som beror på FC.

Som alltid vid fältförsök har det förekommit praktiska problem såsom felkopplade mätkanaler, felinstallerade temperaturgivare, behov av omprogrammering av reglercentraler och att driftspersonalen måste ingripa vid behov och justera parametrar mitt i våra experiment. Men tack vare stor välvilja och ansträngningar från både Lunds Energi och Schneider Electric har projektet kunnat genomföras såsom det var tänkt.

7.2 Bakgrund och syfte

Radhuskunderna är anslutna via enskilda villacentraler med värmeväxlare. Den principiella skillnaden mellan näten ovan är att Stadskällaren har, förutom var sin värmemätare i gruppcentralen, individuell värmemätning installerad i varje hus. Alla värmemätare är fjärravlästa med en timmes intervall via fjärrvärmebolagets debiterings-system och värmemätare i gruppcentralen har även samlat data lokalt med samplingsintervall mellan 1-15 minuter under försökets gång. En processbild över en av gruppcentralerna visas i Figur 72.



Figur 72 Processbild för gruppcentralen Stadskällaren. Primäranslutning till vänster om värmeväxlaren och sekundärnätet till höger.

Det ursprungliga syftet med försöken från Lunds Energis sida var att hitta en algoritm som, i likhet med algoritmen beskriven i 8.1, kunde hitta den sekundära framlednings temperatur som ger den lägsta primära returtemperaturen i gruppcentralen. Efter inventering av systemet stod det dock klart att de tekniska förutsättningarna för att lyckas med adaptiv reglering i ett sekundärt nät av föreliggande typ är svåra. Algoritmen ovan har tagits fram för att fungera i ett flerbostadshus med ett sammanhängande radiatorsystem som man har full kontroll över (både sekundärflöde och framlednings temperatur till radiatorer). I vårt fall handlar det om ett system som

består av många parallellkopplade fjärrvärmecentraler med i princip okända egenskaper/inställningar. Det står varje husägare fritt att välja pumpinställning (flöde) och en individuellt anpassad temperaturkurva i radiatorkets reglercentral och skillnaderna kan vara stora.

Om vi bortser från perioder då tappvarmvattenberedare används så bestäms returtemperaturen i sekundärnätet huvudsakligen av de radiatorketsarnas returtemperaturer i de anslutna husen. Dessa temperaturer beror på de valda inställningarna och, i viss mån, på kondition av respektive radiatorkrets. Således påverkas de inte av förändrad framledningstemperatur och/eller flöde i sekundärnätet så länge effektkris inte uppstår, vilket är självklart inget man eftersträvar.

Den nätreturen från villacentralens radiatorvärmewäxlare påverkas av växlarens dimensionering och skick även om inverkan kan vara ganska litet med tanke på rådande överdimensionering. I ett idealiserat system skulle man dock kunna försöka se hur värmewäxlarna reagerar på höjd/sänkt framledningstemperatur i sekundärnätet. I ett verkligt system finns det flera hinder. Om man jämför ett sekundärnät med ett flerbostadshus så befinner sig radiatorketsens fördelningsledningar och stammar inomhus i det senare fallet och deras längd är normalt begränsad. I ett sekundärnät är ledningarna betydligt längre och placerade huvudsakligen utomhus. Dessutom kan isoleringens grad och skick i äldre nät vara diskutabelt. Två problem uppstår: värmeförlusternas inverkan och långa transporttider som orsakar långa responstider. I ett flerbostadshus är det realistiskt att förändra temperaturnivån och förvänta sig att tillståndet blir stabilt inom 1-2 timmar. Tiden man har till förfogande för utvärdering av en medveten störning är 4-5 timmar nattetid, då tappvarmvattentappningar är sällsynta. Det har visat sig att 4-5 timmar är för kort tid vid försök i ett sekundärnät och att de enskilda försöken måste avslutas innan rimlig stabilitet har inträffat.

Ett ytterligare problem finns som visat sig vara ännu viktigare. I ett nät där de anslutna fjärrvärmecentralernas kondition inte följs upp på ett systematiskt sätt är avkylning av primärvattnet vanligtvis mycket varierande mellan centralerna. Detta gäller både primära och sekundära nät men förekommer oftare i de sistnämnda. De två sekundärnäten vi beaktar är ett bra exempel på vikten av konditionsövervakning eftersom båda är drabbade av kortslutningar mellan fram och returledning, fast i varierande grad.

Det visar sig även att det finns en stor skillnad i avkylning mellan dessa två nät. Skillnaden kan sannolikt förklaras genom att nätägaren där avkylningen är sämst debiteras för energi som levererats av gruppcentralen och fördelning av kostnaden sker internt, medan i det andra nätet finns det individuella värmemätare i varje hus. Det har inte funnits möjlighet att inom projektet undersöka kundernas attityd till deras värmeförsörjningssystem, men utifrån undersökning av kortslutningseffekten i båda näten kan man dra slutsatsen att villacentralerna i husen där det finns individuell värme debitering är i betydligt bättre tekniskt skick än i husen utan mätare.

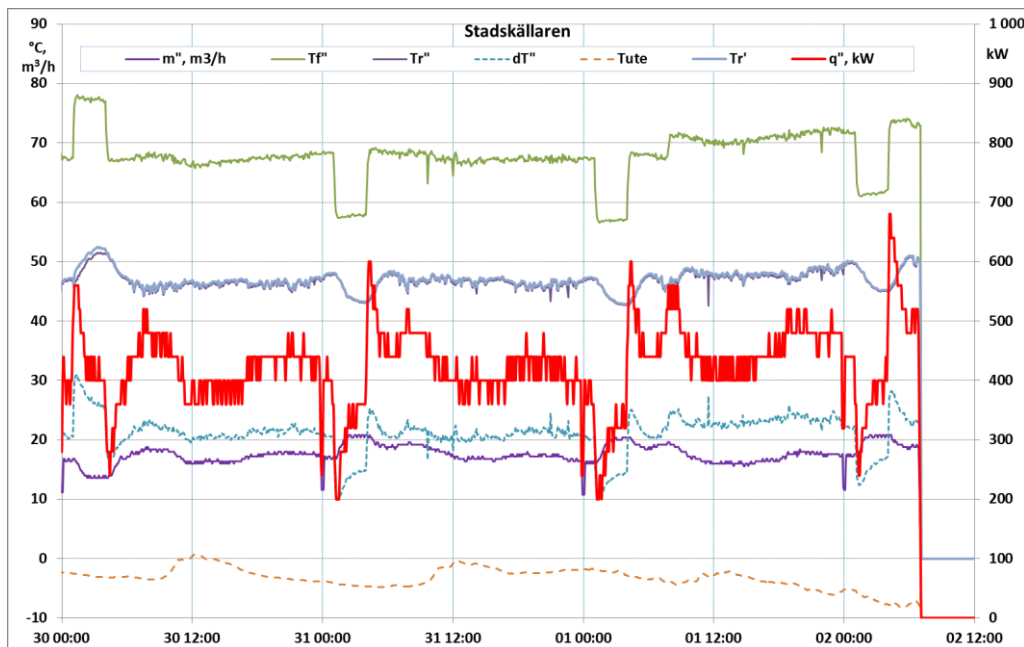
7.3 Genomförande

Under en inledande fas i projektet genomfördes tester av datainsamling i gruppcentralerna. Funktionaliteten i reglercentralerna (typ TAC Xenta) behövde modifieras så att nattsänkning resp. höjning av framledningstemperaturen i sekundärnätet fungerade på avsett sätt. Bl.a. var önskemålet att framledningstemperaturen skulle hållas konstant så länge en höjning/sänkning pågick, oberoende av utetemperaturens variationer, för att underlätta identifiering av när ett stationärt tillstånd inträder. Efter några veckors försök uppdagades att framledningstemperaturen i sekundärnäten uppmätt vid värmemätaren (VMM1 i Figur 72) var några grader lägre än börvärdet givet av temperaturkurvan i reglercentralen. Felet berodde på att reglercentralens egna temperaturgivare för framledningstemperaturen (GT11 i Figur 72), som var av anliggningsstyp, råkade ut för temperaturskiktning, ett fenomen som ofta förekommer i utloppet från plattvärmväxlare. Temperaturen på ledningens ovansida var kännbart högre än på dess undersida och reglercentralen styrde på denna temperatur medan flödets faktiska medeltemperatur var lägre.

Eftersom temperaturregleringen i en gruppcentral normalt är väldigt långsam i förhållande till hur pass snabbt en temperaturförändring fortplantar sig i framledningen, kunde man åtgärda problemet genom att helt enkelt flytta givaren några meter längre bort från värmväxlaren, varefter temperaturskillnaden mellan GT11 och VMM1 försvann²³.

Försöken innebar att framledningstemperaturen ändrades 5-10 K nattetid under 3-4 timmar. Figur 73 och Figur 74 visar de registrerade mätvärden i gruppcentralen för Stadskällaren och Stadsvapnet respektive.

²³ Enligt fjärrvärmebolagens praxis kan en temperaturgivare placerad på alltför långt avstånd från värmväxlaren orsaka övervärmning av växlaren och kortslutning av nätet vid oväntat pumpstopp på sekundärsidan, som inte detekterats av reglercentralen. Problemet med skiktning kan åtgärdas genom att flödesomblandare i värmväxlarens utlopp används eller att man använder en stor dykgivare istället för anliggningsgivare så att temperaturen medelvärdesbildas.



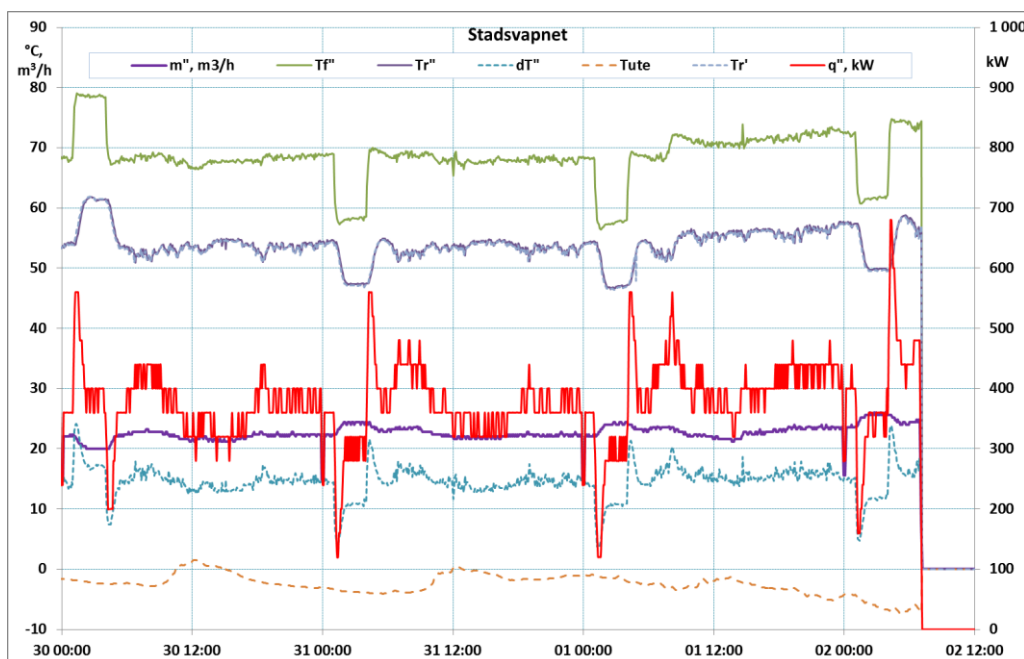
Figur 73 Nattsänkning och natthöjning av framledningstemperaturen (T_f'') i sekundärnätet Stadskällaren.

7.4 Resultat

När man studerar hur returtemperaturen (Tr'') i Figur 73 förändras vid ändrad framlednings temperatur (T_f'') så ser man att den är knappt insvängd då sänkningen/höjningen upphävs. Man skulle behöva något längre försökstid för att kunna utvärdera förändringens inverkan på både returtemperaturen och nätets effektbehov. Tyvärr måste varje försök avbrytas innan morgonens tappvarmvattenförbrukning förändrar effektbehovet. Effektkurvans (q'') trappstegformade utseende beror på signalens upplösning från värmemätaren.

Man kan fråga sig varför returtemperaturen följer framledningens temperatur så markant? Det var sagt tidigare att returtemperaturen i nätet ska i grova drag följa de (indirekt) anslutna radiatorkretsarnas returtemperaturer. Från tidigare projekt med adaptiv styrning vet vi också att en höjning av framledningstemperaturen i nätet ska resultera i en viss sänkning av returtemperaturen från FC och inte tvärtom. Det finns två rimliga förklaringar. Den ena: att det finns en eller flera oreglerade kortslutningar i nätet, den andra: att det finns villacentraler i nätet där styrventilerna läcker kraftigt. Det typiska i det senare fallet är att det är den självverkande reglerventilen i tappvarmvattenberedaren som havererat och står i öppet läge, men villaägaren observerar inte detta eftersom det finns en blandningsventil på tappvarmvattensidan som ”döljer” övervärmning av tappvarmvattnet. En bidragande orsak till att den typen av fel inte upptäcks av kunden är att temperaturnivåer i ett sekundärnät är generellt lägre än i ett fjärrvärmenät. För övrigt är tekniskt kunnande väldigt varierande hos brukare. Kortslutning i FC kan lätt upptäckas om avkylning övervakas, t ex genom fjärrvärmebolagets debiteringssystem.

Figur 74 visar motsvarande förlopp i området Stadsvapnet. Vid jämförelse med Figur 73 är det slående att i returtemperaturen är generellt betydligt högre i Figur 74. Följaktligen är avkylningen (dT'') sämre, 13-15 K jämfört med 21-23 K i Figur 73. Man ser även att när framledningstemperaturen höjs respektive sänks i Figur 74 så följer returtemperaturen efter både kraftigare och utan samma fördröjning som syns i Figur 73. Slutsatsen är att kortslutningarna är mycket större i detta nät. Antingen läcker de flesta styrventiler i nätets villacentraler eller så finns det en stor oavsiktlig kortslutning nära gruppcentraler, eller både och. Fördelen med detta förlopp ur projektets synvinkel är att returtemperaturens insvängning vid förändring inträffar mycket fort. Man ser att effektbehovet (q'') sjunker signifikant vid sänkt framledningstemperatur vilket bara antydde i Figur 73. Sänkningen beror rimligtvis på minskade värmeförluster i nätet.



Figur 74 Nattsänkning och natthöjning av framledningstemperaturen (Tf'') i sekundärnätet Stadsvapnet.

Man kan således konstatera att i ett bristfälligt sekundärnät borde framledningstemperaturen vara så låg som möjligt för att minimera värmeförluster. Hur låg den får vara (utöver vad som krävs för tappvarmvattenberedning) beror på vilka temperaturkurvor finns inprogrammerade i kundernas villacentraler, vilket är en okänd parameter i det här fallet. Detta lyfter fram behovet av kommunikation och samförstånd mellan fjärrvärmebolaget och dess kunder om ett system ska kunna skötas på ett optimalt sätt.

En idé som vuxit fram under projektets gång är att man, i ett välfungerande sekundär nät, kunde tänka sig ett system där den delen av nätets temperaturkurva som gäller under uppvärmningssäsongen anpassas automatiskt så att cirkulationsflödet hålls konstant, så lågt som möjligt. Anpassningen skulle ske nattetid emedan

flödesbehovet är större dagtid då tappvarmvattenförbrukning sker. Motiv till en sådan strategi skulle vara att ju lägre flöde genom värmeväxlare i villacentralerna desto bättre avkylning. Man kan se i både Figur 73 och Figur 74 att cirkulationsflödet sjunker vid höjd framledningstemperatur vilket måste bero på att flödesbehovet i villacentralernas värmeväxlare minskar då temperaturdifferensen ökar. Eventuell sänkning av nätets returtemperatur får dock inget genomslag här på grund av de tidigare nämnda kortslutningarna. Idén skulle behöva undersökas närmare eftersom den förväntade returtemperatursänkningen inte är mer än någon grad medan framledningstemperaturen måste ökas mer vilket ökar nätets värmeförluster och orsakar viss liten höjning av returtemperaturen på primärsidan av gruppcentralens värmeväxlare. Den sammantagna vinsten beror på hur stort värde en returtemperatursänkning har för det specifika fjärrvärmebolaget och hur mycket el man sparar på att köra nätets cirkulationspump på lägre varvtal.

Sammantaget har många försök genomförts för att bekräfta generaliteten i observationer som diskuterats ovan. Figur 75 visar sådana försök för Stadskällaren.



Figur 75 Systematiska nattsänkningar/höjningar i Stadskällarens nät under längre tid.

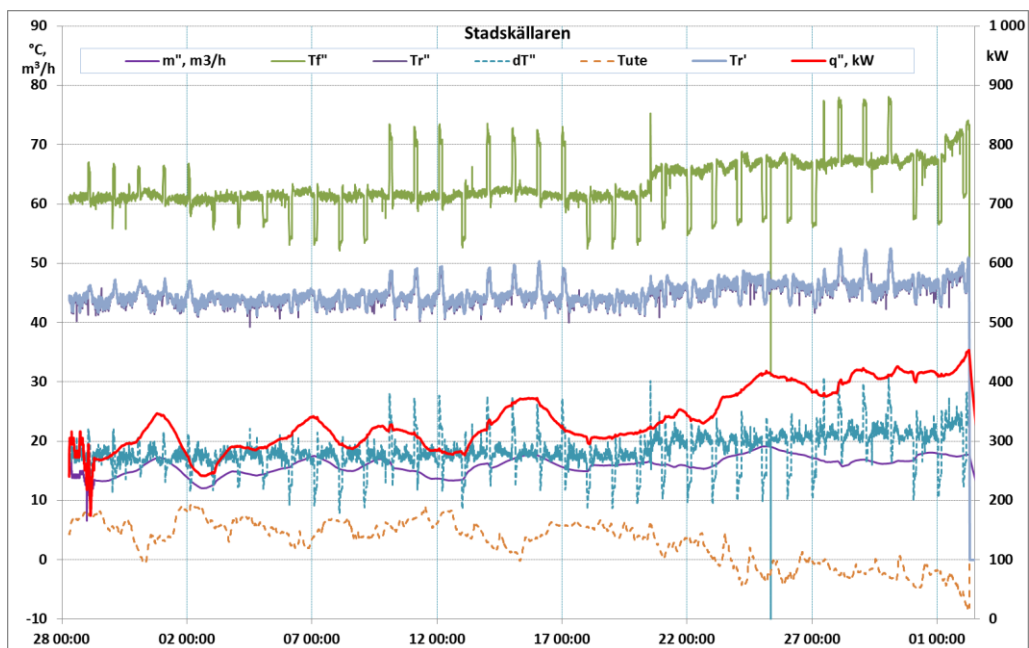
Figur 76 visar samma försök med effektbehovet (q'') och flödesbehovet (m'') medelvärdes bildade som ett flytande medelvärde över ett dygn, vilket gör förloppen mycket tydligare. En idé här var att försöka bestämma hur stora värmeförluster har nätet egentligen.

Det visade sig att en enkel kurvanpassning enligt formeln nedan fungerar rätt så bra, se Figur 77:

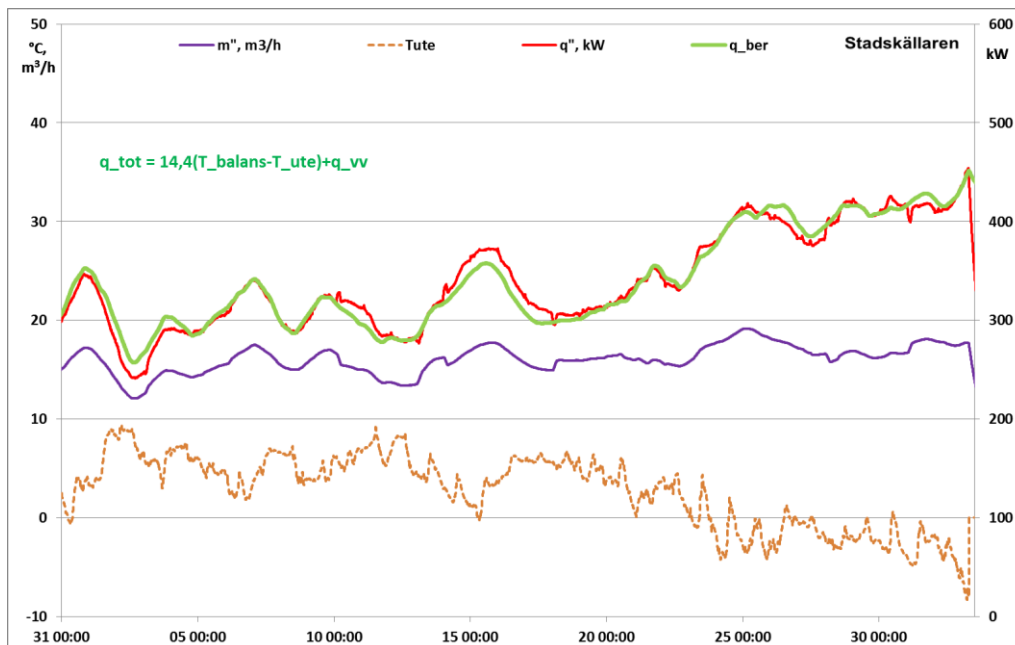
$$q_{ber} = q_{tappvv} + q_{förlust} + k(T_{balans} - T_{ute})$$

där:

- q_{ber} – beräknad effekt, kW
- q_{tappvv} – tappvarmvattenförbrukning, kW
- $q_{förlust}$ – kulvertförluster, kW
- k – konstant
- T_{balans} – utetemperatur vid vilken byggnadens interna värmetillskott balanserar dess värmeförluster till omgivningen
- T_{ute} – utetemperaturen

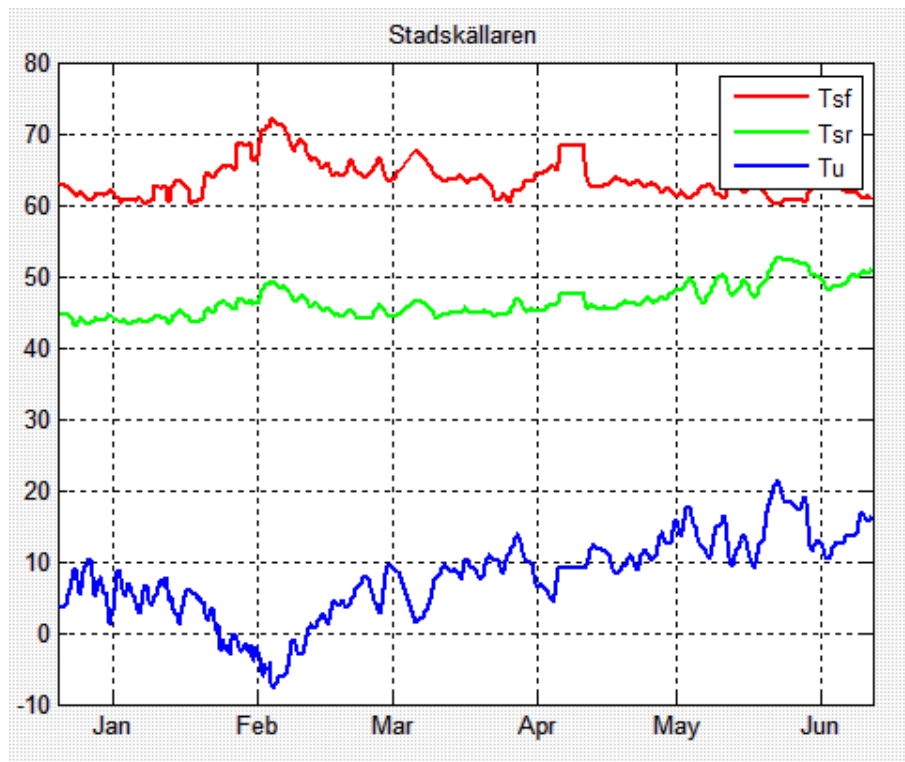


Figur 76 Systematiska nattsänkningar/höjningar i Stadskällarens nät under längre tid, effektbehovet och flödesbehovet medelvärdesbildade (flytande medelvärde över ett dygn).



Figur 77 Kurvanpassning av effektförbrukning (q'' och q_{ber}). Använd balanstemperatur, $T_{balans} = 17\text{ °C}$.

Vid projektets slut fick vi tillgång till mätdata samlade under flera månader, bl.a. vid högre utetemperaturer, se Figur 78. Problem med följsamheten i anpassningen uppstod då, eftersom tappvarmvattenlast och nätets värmeförluster börjar dominera vid lägre värmelaster, se Figur 79.



Figur 78 Temperaturförlopp i framledning och returledning samt utetemperaturen i området Stadskällaren med under december 2011 – juni 2012.

För att korrigera för inverkan av solinstrålning infördes balanstemperatur som varierar under året analogt till SMHI:s beräkning av graddagar. Det visade sig att bästa anpassning erhöles då SMHI:s värden för april-september höjdes något och, utöver det, årets alla värden ökades med hela 4 grader, se Tabell 28. Detta innebär en balanstemperatur på 21 grader vintertid och, som lägst, 15 grader sommartid, och är mycket betänkligt. En rimlig förklaring skulle kunna vara att området består av gamla radhus byggda enligt byggregler före 1970.

Tabell 28 Balanstemperaturer använda vid simulering.

T_{balans}	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
SMHI	17	17	17	12	10	10	10	11	12	13	17	17
Första modifiering	17	17	17	15	13	11	13	15	16	16	17	17
Slutlig	21	21	21	19	17	15	17	19	20	20	21	21

Även om modellen började fungera betydligt bättre överlag var följsamheten sommartid fortfarande otillfredsställande, se avsnittet inom streckad ring, Figur 79.

Därför provades en annan modell, som tog hänsyn till värmeförlusternas beroende av utetemperaturen:

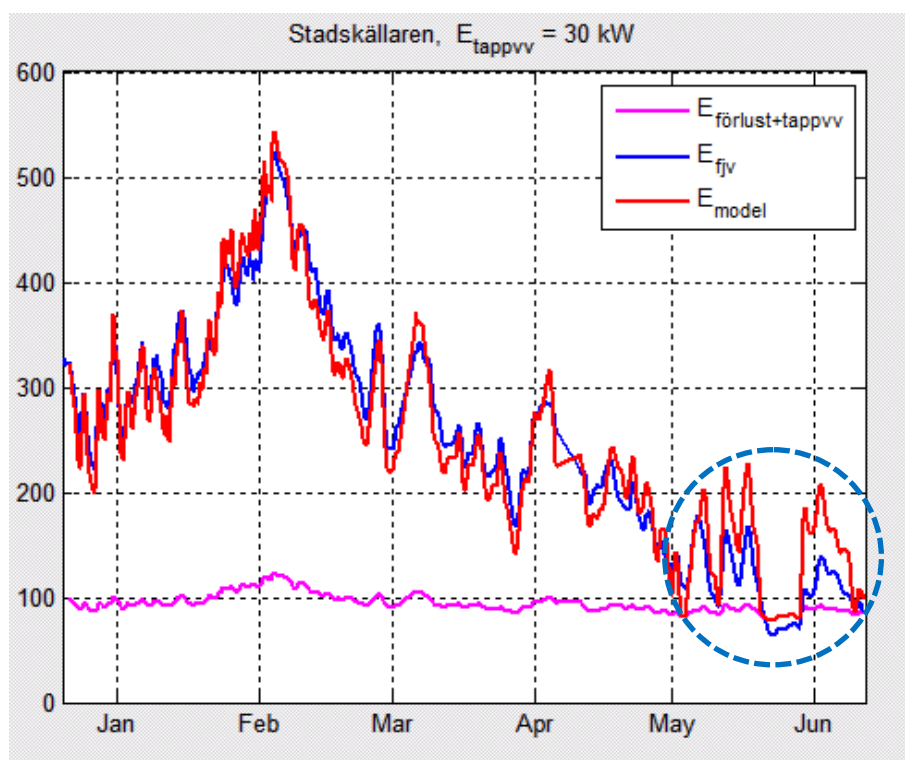
$$q_{ber} = q_{tappvv} + k_1 \frac{T_{fram} + T_{retur}}{2} - T_{ute} + k_2(T_{balans} - T_{ute})$$

k_1, k_2 – konstanter

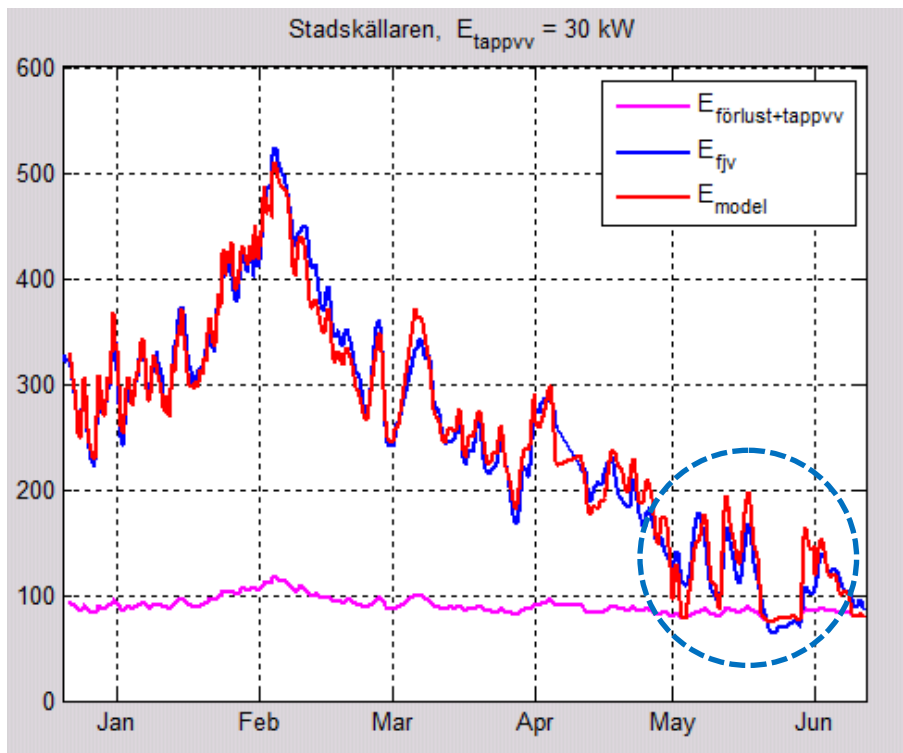
T_{fram} – nätets framledningstemperatur

T_{retur} – nätets returtemperatur

För resultat, se Figur 80.



Figur 79 Effektbehov i området Stadskällaren under december 2011 – juni 2012, mätt och modellerat. Andelen av tappvarmvattenförbrukning och nätets värmeförluster visas separat. Streckad cirkel visar området med låga laster då modellen följer med dåligt.



Figur 80 Effektbehov i området Stadskällaren under december 2011 – juni 2012, mätt och modellerat. Andelen av tappvarmvattenförbrukning och nätets värmeförluster visas separat. Streckad cirkel visar området med låga laster där modellen fungerar betydligt bättre jämfört med figur x.9.

Försök gjordes att separera tappvarmvattenlasten och värmeförlusterna, vilket borde vara möjligt. Svårigheten är att tappvarmvattenlasten varierar mellan olika dygn, speciellt mellan vardagar och helger. Dessutom varierar effektbehovet vid tappvarmvattenberedning med inkommande kallvattentemperatur, som i sin tur, med en viss fördröjning, beror på den genomsnittliga utetemperaturen. En mer avancerad modell, t ex av typ ARX skulle krävas vilket ligger utanför projektets ram.

Statistiskt sett ligger tappvarmvattenförbrukningen för en villa inom 3500-7000 kWh. Omräknat till dygnsmedelvärde innebär t ex 5000 kWh medeleffekt c:a 46 kW^{24} för 80 hus. Detta innebär att nätets värmeförluster och effektbehovet för tappvarmvattenförbrukning är av samma storleksordning om man beaktar att nätets effektbehov utan radiatorlast kan uppskattas till c:a 90 kW i medel (se Figur 80). Detta är mycket om man tänker sig att nätet skulle försörja lågenergihus.

7.5 Lastvariationer och avkylning i villacentraler

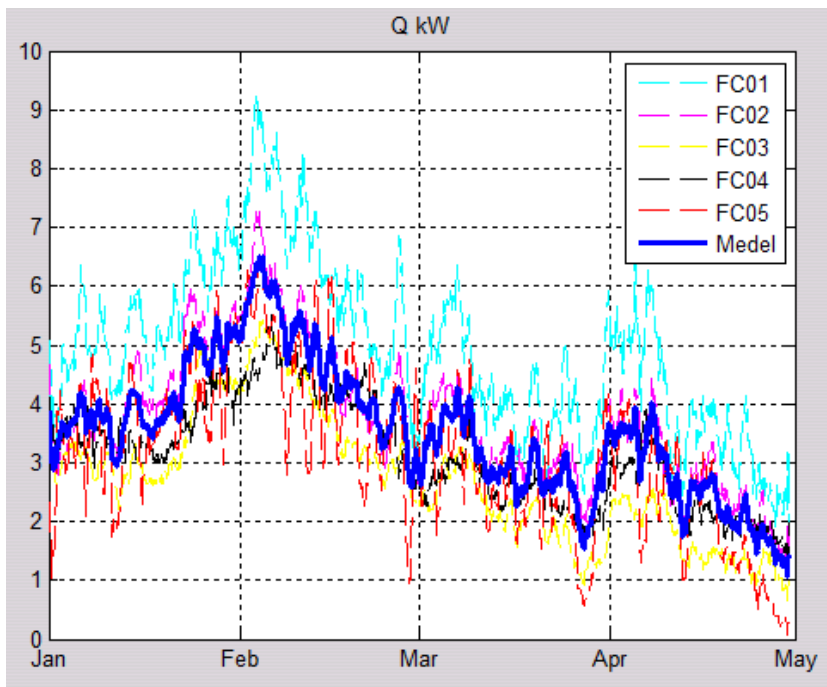
Tack vare tillgång till mätdata från Lunds Energis debiteringsavdelning kunde vi även i viss mån följa driftsituation och status för nätets fem villacentraler. Alla diagram nedan visar timvärden som dock medelvärdesbildats som flytande dygnsmedelvärde

²⁴ $5000/(24 \cdot 365) = 45.7$

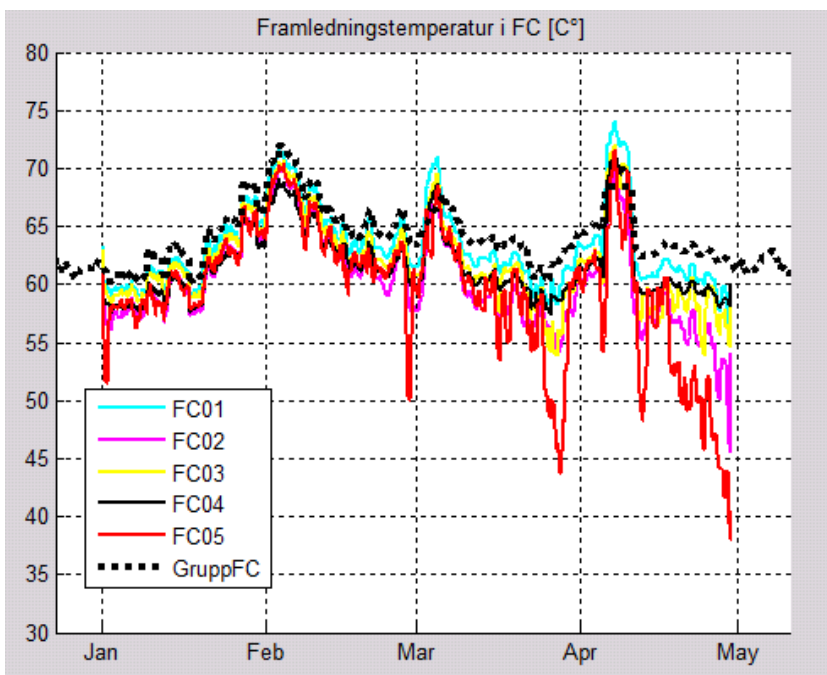
för att öka läsbarheten. Figur 81 visar centralernas effektbehov. Man ser att effektbehovet varierar väldigt mycket mellan respektive hus, vilket antas bero på familjens sammansättning och boendevanor. Skillnaderna varierar inte speciellt mycket med utomhustemperaturen varför man kan anta att de till stor del beror på olika tappvarmvattenförbrukning i respektive hus. Området är ca 40 år gammalt och det finns sannolikt boende i alla möjliga ålderskategorier där. FC nr 5 utmärker sig här med extra låg förbrukning, medan FC nr 1 har högre förbrukning än genomsnitt.

En annan intressant parameter att analysera är framledningstemperaturen vid respektive central. I Figur 82 ser man att skillnaden mellan den levererade och den tillgängliga framledningstemperaturen är upp till 4 grader under uppvärmningssäsongen. Situationen förändras vid högre utetemperaturer då medeltemperaturen sjunker kraftigt i vissa hus, beroende på perioder då flödet i servisledningar till dessa hus är lågt eller avstannar. Detta är normalt och innebär, litet paradoxalt, välfungerande villacentraler med täta styrventiler. Väntetiden på 55-gradigt tappvarmvatten kan bli något längre i dessa hus men detta brukar inte upplevas som en olägenhet. Inte oväntat är temperaturfallen störst i FC nr 5 som har lågt effektbehov och därmed lågt flödesbehov.

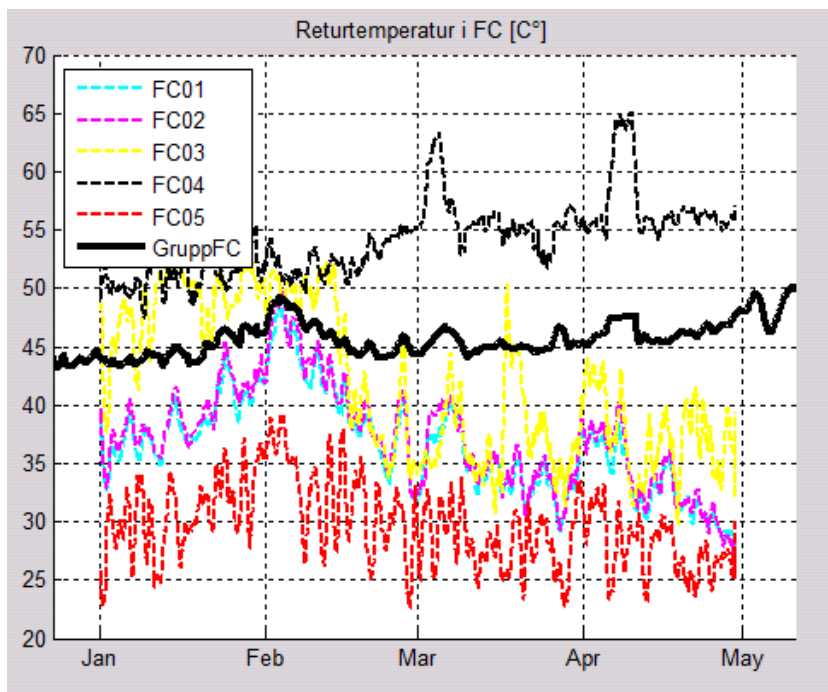
Figur 83 visar motsvarande returtemperaturer från centralerna. Inte oväntat har FC nr 5 en mycket låg returtemperatur. De flesta temperaturerna är klart lägre än medeltemperaturen vid gruppcentralen vilket bekräftar det tidigare iakttagandet att det måste finnas kortslutningar i nätet. Detta blir uppenbart om man tittar på returtemperaturen från FC nr 4 i diagrammet. Den ligger betydligt högre än genomsnittet och den ökar med ökande utetemperatur, från och med februari månad och framåt, i motsats till de övriga temperaturerna, vilket innebär att ju lägre flöde som kan relateras till värmelast desto större påverkan av den förmodade kortslutningen på returtemperaturen. Man kan även se att returtemperaturen från denna central påverkades väldigt mycket av en 10-gradig höjning av framledningstemperaturen som gjordes i början av april, vilket de övriga returtemperaturerna inte gjorde.



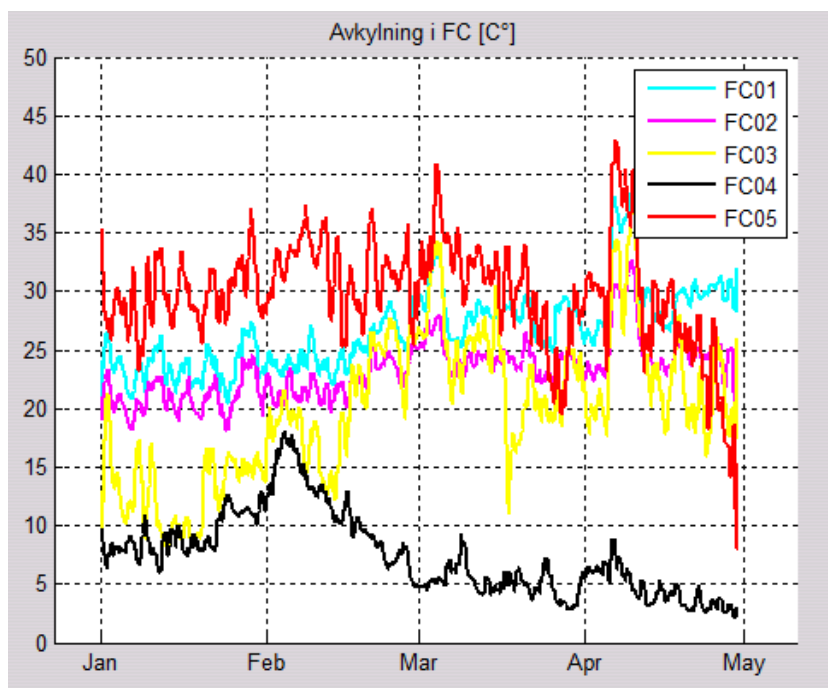
Figur 81 Effektbehov i fem slumpmässigt valda villacentraler i Stadskällarens sekundärnät. Observera stor spridning i effektbehovet.



Figur 82 Framledningstemperaturen vid gruppcentralen och i fem slumpmässigt valda villacentraler i Stadskällarens sekundärnät. Observera förekomster av avsvälning i servisledningen främst i välfungerande central nr 5.



Figur 83 Returtemperaturen vid gruppcentralen och i fem slumpmässigt valda villacentraler i Stadskällarens sekundärnät. Observera hög returtemperatur i central nr 4.



Figur 84 Avkylning i fem slumpmässigt valda villacentraler i Stadskällarens sekundärnät. Observera mycket dålig avkylning i central nr 4.

Slutligen visar Figur 84 avkylning i centralerna. Centralerna nr 4 och 5 utmärker sig även här, varvid avkylningen för central nr 1 är mycket dålig och nästan obefintlig längst till höger i diagrammet. Att avkylningen blir dålig i central nr 5 på slutet av april beror på en låg framledningstemperatur p.g.a. det mycket låga flödet och är normalt i välfungerande centraler sommartid.

De fem villacentralerna i diagrammen ovan valdes slumpmässigt av befintliga 88 centraler. Även om urvalet är litet kan man dock ta det för sannolikt att det finns fler centraler i nätet som drabbats av styrventilhaverier.

7.6 Slutsatser

Injustering av radiatorkretsar och kondition av styrventiler i villacentraler har en kraftig påverkan på avkylning och därmed returtemperaturen i ett sekundärnät. I ett nät med betydande kortslutningar mellan fram- och returledning är det omöjligt att hitta optimalt framledningstemperaturprogram. Framledningstemperaturen ska under alla omständigheter hållas så låg som möjligt för att minimera värmeförluster, som kan vara i samma storleksordning som värmebehovet för beredning av tappvarmvatten i ett äldre nät. Effektbehov i ett sekundärnät som försörjer småhus kan enkelt modelleras som funktion av medelvärdesbildad utomhustemperatur om historiska data finns tillgängliga. Värmeförluster och tappvarmvattenförbrukning kan identifieras som en separat del av förbrukningen, med visst beroende av utetemperaturen och nätets medeltemperatur.

8 SIMULERING ADAPTIV REGLERING I LÅG- TEMPERATURSYSTEM

Ett nyligen avslutat Fjärrsynprojekt har syftat till möjligheter att öka avkylningen i fjärrvärmecentralen genom en ny regleralgoritm i värmesystemet (Wollerstrand et al, 2007 och Wollerstrand och Lauenburg, 2009). Metoden gav intressanta resultat och har kapacitet att underlätta arbete mot sänkta temperaturnivåer i fjärrvärmenät. Därför har dessa möjligheter undersökts vidare inom ramen för detta projekt.

8.1 Tidigare arbete

Idén med den så kallade adaptiva regleringen är att automatiskt styra både framledningstemperatur och flöde i uppvärmningssystemet så att lägsta möjliga returtemperatur till fjärrvärmenätet alltid erhålls. Traditionellt regleras radiatorsystem så att framledningstemperaturen anpassas efter utetemperaturen. Flödet i systemet regleras inte centralt, däremot kan enskilda radiatorer minska eller stänga av flödet om de är utrustade med termostatventiler.

Tekniken att reglera både temperatur och flöde adaptivt går till så att algoritmen kontinuerligt söker den optimala kombinationen av temperatur och flöde och sparar inställningarna varje gång en förbättring uppnås, det vill säga att returtemperaturen sjunker. Algoritmen kräver en del information om systemet vilken samlas in under några månaders drift och genom att den utför ett mindre test som syftar till att bestämma hur radiatorkurvan måste förändras då pumpinställningen förändras.

Resultaten visade att den adaptiva regleringen fungerade tillfredställande. Algoritmen är enkel och har inga större krav på prestanda hos fjärrvärmecentralens DUC förutsatt att det redan finns fungerande mätdatainsamling, och att radiatorpumpens varvtal går att styra. Kontroll av inomhustemperaturen samt en enkät skickad till de boende gav vid handen att inomhuskomforten inte påverkades på ett signifikant sätt av våra försök. Adaptiv reglering är lämplig framförallt i fjärrvärmecentraler med renodlade radiatorkretsar och ger störst nytta då lågtemperaturdimensionering (hög flöde) tillämpas.

Den uppnådda förbättringen i hus med enbart radiatorer blev 2,5 °C förbättrad avkylning i snitt och därmed 4,0 % minskat primärflöde i fjärrvärmecentralens radiatorkrets, eller 2 °C och 3,5 % respektive för hela centralen. Förbättrad avkylning för hela Karlshamns nät kan uppskattas till 0,75 °C vilket, enligt LAVA-kalkyl, motsvarar en årlig besparing på 304 000 kr.

En positiv aspekt med den adaptiva regleringen är förmågan att anpassa regleringen till förändrade omständigheter såsom en förändrad framtemperatur i fjärrvärmenätet, oavsett om det handlar om kortvariga förändringar eller om en långsiktig sänkning av temperaturen. Ett enkelt experiment med en fiktiv sänkning av framtempera-

turen visade detta i slutrapporten. Syftet med detta avsnitt är att närmare undersöka denna potential.

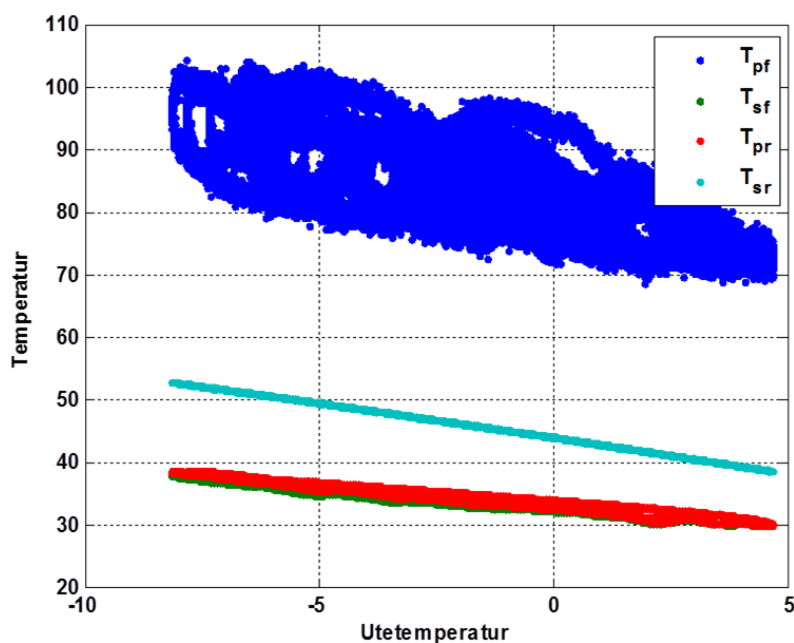
8.2 Simuleringar för att studera inverkan av fjärrvärmenätets framledningstemperatur

Som framgått av denna rapport tyder allting på att nästa generations fjärrvärme innebär sänkta temperaturer i fjärrvärmenäten. Att sänka framtemperaturen i befintliga nät är dock svårt. Utan andra förändringar, så blir konsekvensen ökade flödesbehov då fjärrvärmecentralernas reglering kompenserar genom att öka styrventilernas öppningsgrad. Det mest sannolika är därför att fjärrvärmesystem med kraftigt sänkta temperaturer växer fram som sekundärnät i befintliga nät. Likväl är det intressant att studera vilka möjligheter som finns att sänka temperaturerna även i befintliga nät. Den främsta möjligheten finns antagligen i det som beskrivs som fjärrvärmens stora utmaning – ett minskande uppvärmningsbehov. Om uppvärmningsbehovet i befintliga byggnader minskar efterhand som en följd av renoveringar och energieffektiviseringar så ger det samtidigt utrymme för att tillåta ett ökat flöde upp till den ursprungliga nivån.

För att undersöka vilken potential den adaptiva regleringen har att underlätta en sänkt framledningstemperatur så har den algoritm som utvecklades i bostadsområdet i Karlshamn implementerats i en simuleringsmodell. Det har gjorts i befintliga modeller av hus- och radiatorsystem som byggts upp i olika tidigare projekt i programvaran Simulink som nu har modifierats. Syftet med modellen är att testa att sänka framledningstemperaturen till en befintlig byggnad utan respektive med den adaptiva regleringen och studera hur primärflödet reagerar. Eftersom potentialen att öka avkylningen är större ju större radiatorerna är dimensionerade i förhållande till värmebehovet, så finns det även anledning att undersöka vilken potential den adaptiva regleringen har i lågenergihus.

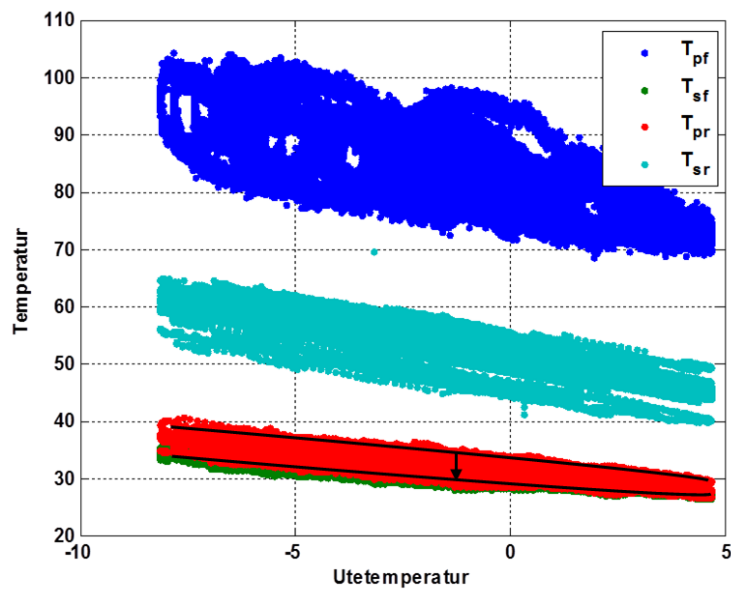
Modellen beskriver ett flerbostadshus med 20 lägenheter och ett dimensionerande effektbehov på 60 kW. Radiatorsystemet är designat för 80/60 grader men antas vara 100 % överdimensionerat och körs antingen som ett 55/45-, 60/40- respektive 80/30-system. Det enda som har betydelse vid jämförelsen utan respektive med adaptiv reglering är egentligen hur stor graden av överdimensionering är. 100 % kan antas som fullt normalt i äldre bebyggelse och var också fallet i husen i Karlshamn. Beträffande fjärrvärmenätets framledningstemperatur så utgår från en kurva där maximala temperaturen uppgår till 110 grader och den lägsta till 70 och brytpunkten ligger vid 5 grader. I vilken utsträckning temperaturen ska sänkas kan självfallet diskuteras. En avvägning har gjorts och nivån 110/70 sänks till 90/65. Å ena sidan är det relevant att göra en relativt betydande sänkning för att tydligt kunna utläsa skillnader, samtidigt är det knappast realistiskt att i befintlig bebyggelse gå ner till nivåer kring 60 grader, som torde bli aktuellt i sekundärnät med ny lågenergibebyggelse. En serie över 90 dygn bestående av timvärden för typisk utomhustemperatur i Stockholm har använts i simuleringen.

Figur 85 visar primär fram- och returtemperatur respektive sekundär fram- och returtemperatur i för ett simuleringsfall där byggnadens radiatorsystem i utgångsläget körs med ett 60/40-temperaturprogram.



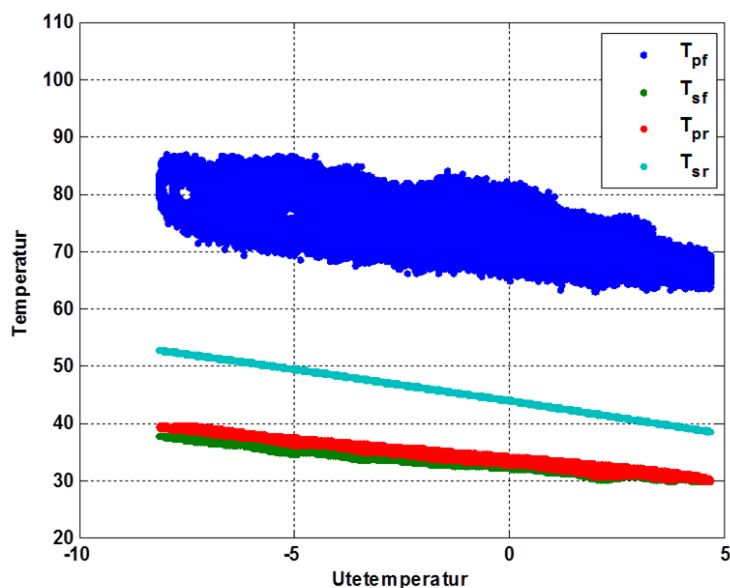
Figur 85. Normal reglering av radiatorsystemet, 60/40-program. Primär fram- och returtemperatur respektive sekundär fram- och returtemperatur.

I Figur 86 visas resultatet då den adaptiva regleringen appliceras. Radiatorframledningstemperaturen och returtemperaturen har en stor spridning i figuren jämfört med i Figur 85. Det beror på att den adaptiva regleringen utgår från normal drift och successivt modifierar framledningstemperaturen och flödet. De svarta hjälplinjerna i Figur 86 visar hur den primära returtemperaturen börjar på den övre nivån för respektive utetemperatur för att slutligen hamna på den nedre nivån. Det är alltså den nedre nivån för returtemperaturen som beskriver den nivå som algoritmen resulterar i. För framtemperaturen gäller det omvända – regleringen finner att en höjning av framtemperaturen (i kombination med en sänkning av flödet) resulterar i lägsta möjliga returtemperatur.



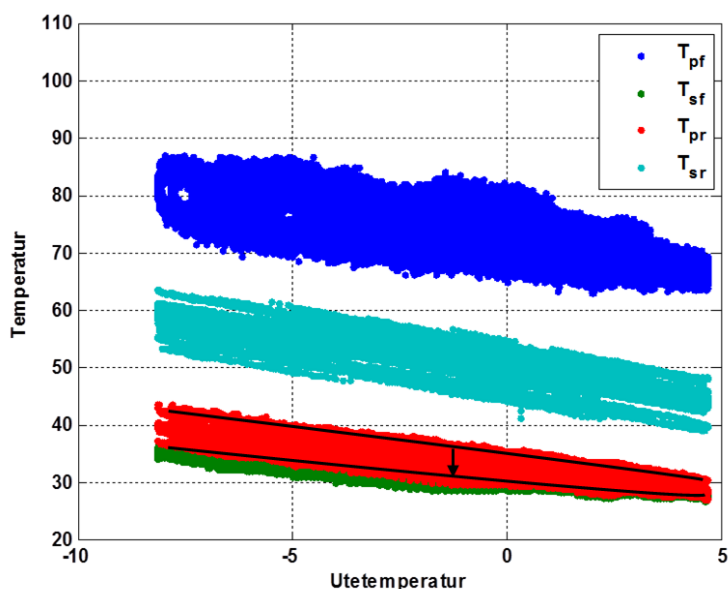
Figur 86. Adaptiv reglering av samma system som visas i Figur 85. Resultat blir att den sekundära framtemperaturen höjs och den primära returtemperaturen sjunker.

Låt oss nu gå tillbaka till normal drift och sänka fjärrvärmenätets framtemperatur. Resultatet visas i Figur 87. Möjligen kan man skönja en höjning i returtemperaturen men det är framför allt avkylningen som påverkas. Skillnaden mellan primär fram- och returtemperatur minskar med följd att erforderligt primärflöde ökar i motsvarande grad.



Figur 87. Normal reglering av radiatorsystemet, nu med sänkt primär framtemperatur.

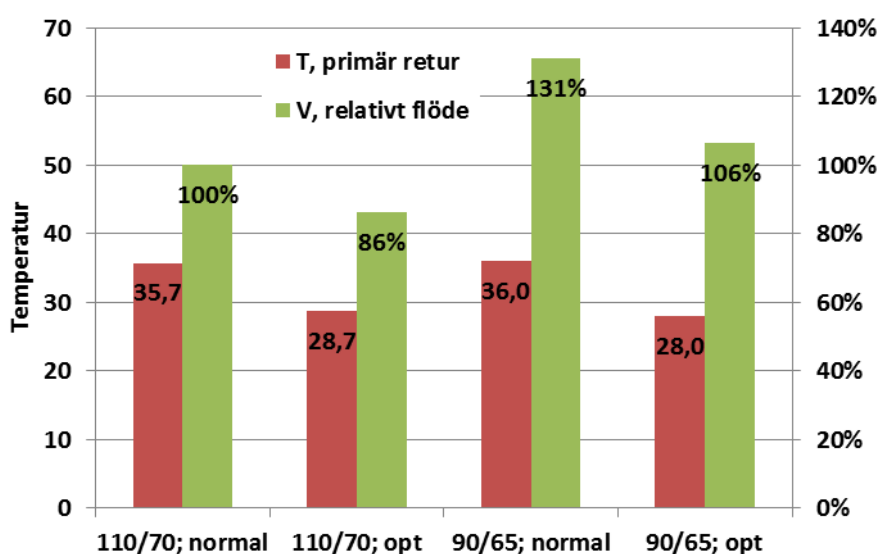
Vad händer då om den adaptiva regleringen återigen appliceras? Resultatet visas i Figur 88. I princip sker samma förlopp som innan den primära framtemperaturen sänktes.



Figur 88 Adaptiv reglering i kombination med den sänkta framtemperaturen.

Frågan är nu om den adaptiva regleringen förmår att åstadkomma en avkylningsförbättring som kompenserar för den avkylningsförsämring som orsakas av att framtemperaturen sänks. Detta illustreras av följande tre diagram. I Figur 89 visas resultat

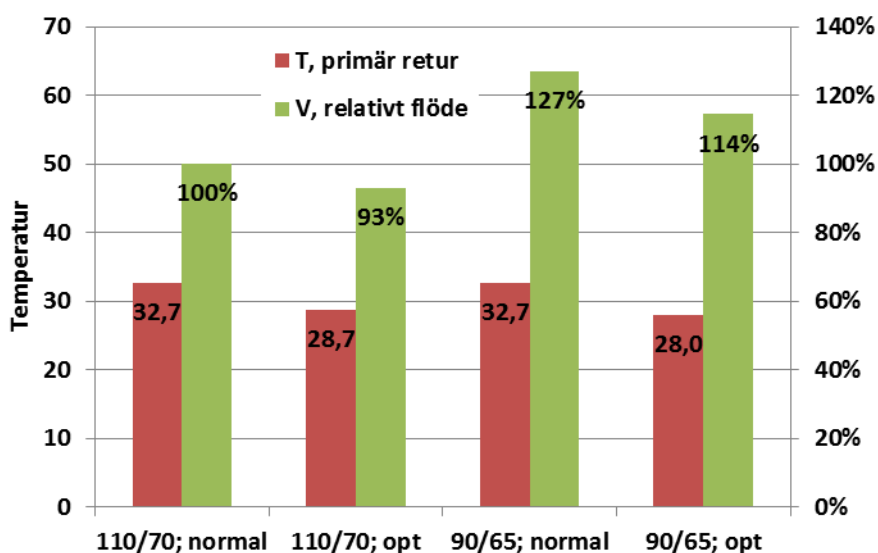
med utgångspunkt i ett 55/45-temperaturprogram. Fyra stapelpar visas: först normal reglering i kombination med normal framtemperatur (110/70), sedan adaptiv reglering i kombination med normal framtemperatur. Därefter visas motsvarande staplar då framtemperaturen sänkts. Röda staplar visar returtemperatur, gröna primärflöde uttryckt som en procentsats av utgångsfallet. Eftersom flödet är omvänt proportionellt mot avkylningen så innebär exempelvis en minskning av avkylningen på 10 % att flödet ökar 10 % och tvärtom.



Figur 89. Returtemperatur och flöde (relativt normalfallet med 55/45-system) för normal respektive adaptiv reglering då framtemperaturen sänks.

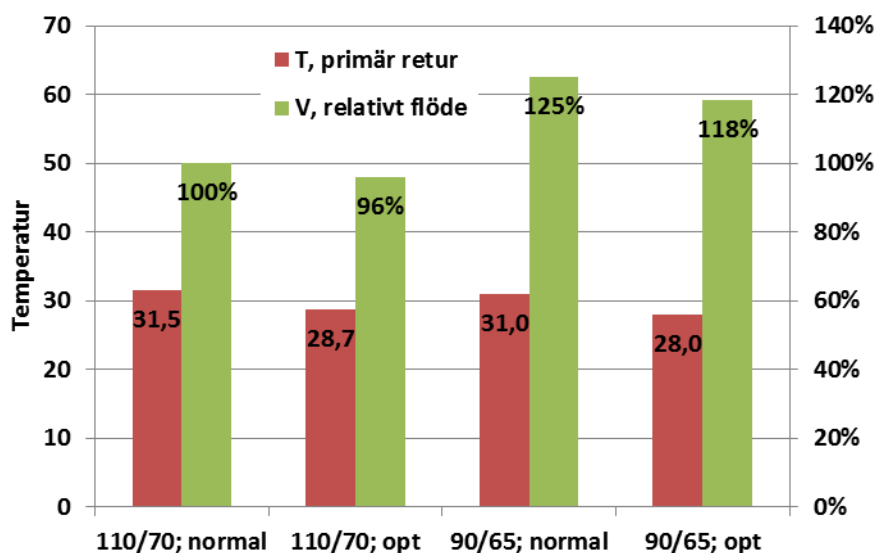
Den adaptiva regleringen sänker flödet med 14 % medan en framtemperatursänkning höjer flödet med 31 %. Den adaptiva regleringen kan dock begränsa ökningen till 6 %.

Figur 90 visar motsvarande figur då man utgår från ett 60/40-system. Nu klarar inte den adaptiva regleringen av att kompensera lika mycket utan flödet ökar med 14 %. Det beror på att 60/40-systemet presterar bättre än 55/45-systemet från början.



Figur 90. Returtemperatur och flöde (relativt normalfallet med 60/40-system) för normal respektive adaptiv reglering då framtemperaturen sänks.

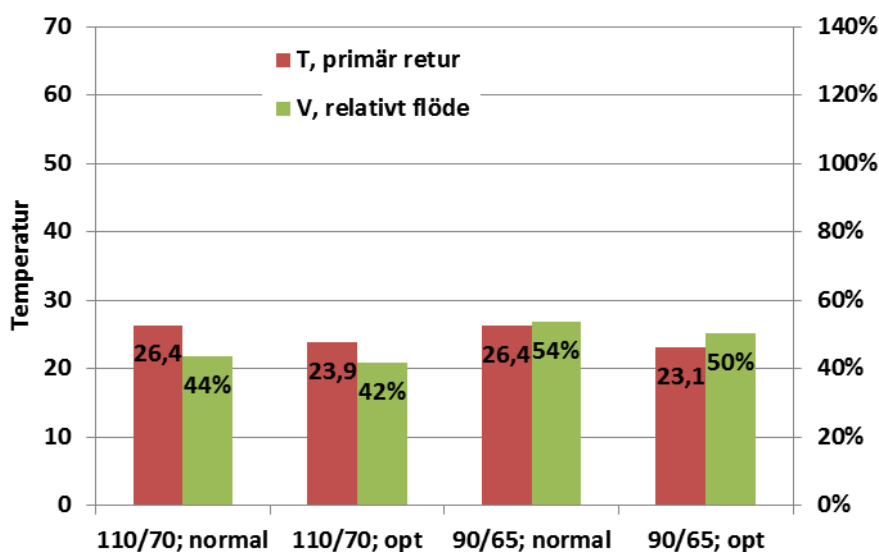
Det sista fallet visar ett så kallat lågflödessystem, 80/30, som generellt anses ge bäst avkylning, se Figur 91. Även här gör den adaptiva regleringen nytta om framtemperaturen sänks, även om flödesökningen uppgår till 18 %.



Figur 91. Returtemperatur och flöde (relativt normalfallet med 80/30-system) för normal respektive adaptiv reglering då framtemperaturen sänks.

Nästa del i simuleringsarbetet var att undersöka möjligheterna att anpassa den adaptiva regleringen till värmesystem i lågenergibyggnader. Ett sätt att göra det var att halvera det maximala effektbehovet hos byggnaden i modellen till 30 kW. Vidare

kan man tänka sig två scenarier: ett där byggnaden är helt ny och värmesystemet får antas vara dimensionerat för maximalt hälften så stor last, och ett där byggnaden renoveras och man behåller värmesystemet. I det sista fallet får man anta att pumpen byts till en mindre och att styrkurvan för radiatorsystemets framledning anpassas. Totalt uppstår en rad möjliga simuleringsfall utifrån dessa förutsättningar. Här visas dock endast resultatet av en simulering av den enkla anledningen att skillnaden mellan dem blir liten. I själva verket är det en enda parameter som är dominerande för resultaten, nämligen det faktum att värmebehovet har halverats. Skillnaden mellan staplarna i Figur 92 följer samma mönster som i de föregående figurerna: flödet minskar genom den adaptiva regleringen, ökar sen kraftigt genom en sänkt framtemperatur och slutligen så förmår den adaptiva regleringen att begränsa ökningen. Den stora skillnaden mot föregående figurer är att såväl returtemperatur som flöde redan befinner sig på en radikalt lägre nivå.



Figur 92. Returtemperatur och flöde för normal respektive adaptiv reglering då framtemperaturen sänks. Byggnaden har nu halverat uppvärmningsbehov och en framtemperatur motsvarande 55/45-fallet har använts vilket resulterar i lägre radiatorflöde, lägre returtemperatur och lägre primärflöde.

8.3 Slutsatser

Simuleringar visar att den adaptiva regleringen har potential att underlätta sänkningar av framledningstemperaturen i fjärrvärmenätet, i befintlig bebyggelse. Även om det är sannolikt att framtida sänkta nättemperaturer främst sker i sekundära nät, så innebär denna teknik att man bättre kan klara av att sänka nättemperaturer till exempel då ett fåtal äldre byggnader ingår i ett sekundärnät med ny, eller renoverad, lågenergi bebyggelse.

8.3.1 Nya förutsättningar

I lågenergibyggnader (nya eller renoverade befintliga) är nyttan mindre. Ett förbättrat klimatskal ger i sig självt stora möjligheter att sänka framledningstemperaturen utan att flödet ökar.

I lågenergihus bestäms inomhustemperaturen i mycket högre grad av interna värme laster. Detta går emot den adaptiva regleringen som baseras på konventionell utetemperaturbaserad reglering. Som framgått av tidigare kapitel så antyder många studier att det i lågenergihus inte är tillräckligt med en framkopplad reglering av värmeförseln baserat på (dämpad) utetemperatur för att uppnå tillfredsställande inomhustemperatur. I lågenergihus behöver sannolikt regleringen baseras på, eller kompletteras med, återkoppling av inomhustemperaturen.

Ett intressant uppslag för fortsatta studier är hur värmesystemen ska regleras i framtiden för att kunna hantera stora lastvariationer och samtidigt kunna ge god komfort.

I princip kommer lågenergibyggnader ha andra, kanske mer oförutsägbara, värme-lastprofiler än konventionella hus på grund av inverkan av andra värmeförluster. Dock handlar det om små energivolymer och en mycket långsamt ökande andel av byggnadsbeståndet och inom överskådlig tid är det svårt att föreställa sig någon större inverkan på ett helt fjärrvärmens värmebelastningsprofil.

9 SAMMANFATTNING OCH DISKUSSION

9.1 Lägre systemtemperaturer – lägre förluster

Framtiden för fjärrvärme ligger i en gradvis övergång till välisolerade lågtemperaturnät, vilket kommer att resultera i lägre värmeförluster och, med tiden, ge bättre förutsättningar för kraftvärmeproduktion. Lägre temperaturer kommer också att öppna upp för en ökad användning av spillvärme. Tendensen som kan skönjas från pågående urbana energieffektiviseringsprojekt i Europa är ett växande intresse för lokala småskaliga fjärrvärmelösningar, oftast med mycket låga distributionstemperaturer för att minska värmeförluster. Vi rekommenderar att fjärrvärmebranschen följer denna utveckling och eventuellt även prövar, om kulvertstandarden för lågtemperatursystem bör revideras för att anpassas till denna utveckling.

9.2 Fjärrvärme i samarbete för hållbar utveckling

Det som ofta ses som ett hot mot fjärrvärmerna är samtidigt dess styrka; ökade drivkrafter mot ett hållbarare samhälle. Parallellt med att utvecklingen går mot ett energieffektivare samhälle så växer en efterfrågan på miljövänliga alternativ för energitillförseln. Här har fjärrvärmerna haft en viktig roll och kommer fortfarande att ha det i framtiden.

När man bedömer miljökonsekvenser för energieffektivisering, frånluftsåtervinning och decentraliserade alternativa värmekällor (exempelvis sol) upptäcks ofta konfliktsituationer inom områden med fjärrvärme. Detta gäller även för ett flertal scenarion i vår studie (se t.ex. stycke 6.1.1, 6.2.1 och 6.2.3.1). Det är inte ovanligt att den ena parten lägger över ansvaret för att lösningen på den andra parten -för att hårdra lite; värmepumpsförespråkaren eller ”energijägaren” anser att lösningen ligger i att fjärrvärmebolaget anpassar sin produktion till nya förutsättningar (utan att specificera hur detta ska gå till), medan fjärrvärmeförespråkaren menar att fastighetsägarens ansvar är att anpassa sitt uppvärmningssystem till fjärrvärmerna (trots att de ekonomiska incitamenten för detta inte alltid finns).

En viktig lärdom från *Annex 51 Energy Efficient Communities: Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers* (Koch A., Kersting J-C, ed., 2011) är att; gemensamt för de studerade samhällsprojekt som varit lyckade²⁵ var att inte alltid eftersträfvade den mest ekonomiska lösningen för ena parten utan den optimala lösningen ur ett samhällsekonomiskt perspektiv.

Med lägre energibehov ökar vikten av att ha ett fungerande och effektivt system i hela kedjan. Rent allmänt kan sägas att byggnadens energieffektivisering resulterar i ett ökat behov av samarbete och samplanering mellan fjärrvärmeproducenten och

²⁵ Mättet för om projekten var ”lyckade” var om de lyckades implementera en långsiktig energibesparing och minskning av växthusgaser ur ett helhetsperspektiv.

fjärrvärmekunden. I framtiden kommer därför högre krav att ställas på att fjärrvärmebolag och fastighetsägare tillsammans hjälps åt att finna hållbara lösningar som samtidigt är ekonomiskt bärkraftiga för båda parter. Det blir alltmer viktigt hur husets värmesystem fungerar ihop med fjärrvärme. Då måste båda parter börja arbeta ihop tidigt och mötas i en gemensam systemlösning.

Hur denna gemensamma systemlösning ser ut måste utformas utifrån de förutsättningar som respektive part har. Drivkrafter för fastighetsägare kan växla; för vissa gäller rent ekonomiska hänsyn, men för många har även energins miljöpåverkan stor betydelse. Även andra aspekter, som exempelvis möjlighet att påverka eller ett lätt-skött och pålitligt system, kan vara viktiga. Beroende på hur den lokala fjärrvärmen är uppbyggd, och eventuellt var i nätet fastigheten ligger, så varierar även fjärrvärmebolagets behov. I samarbetet är det därför av stor vikt att ta hänsyn till den aktuella situationen. Nedan följer några exempel på frågeställningar kan tas upp i samarbetsdiskussionerna:

- Är fjärrvärmedrivna vitvaror något som fungerar i fastigheten?
- Hur håller vi en jämn last, med så låga toppeffekter som möjligt?
- För befintliga fastigheter: Vilken typ av energieffektivisering ger bäst nettosänkning av primärenergianvändningen?
- Om fastighetsägaren vill ha frånluftsåtervinning; hur anpassas detta bäst till fjärrvärmedrift?
- Om man vill integrera egen förnybar energi till byggnaden; varför inte solceller eller småskalig vindkraft istället för solvärme?
- Om fastighetsägaren, trots allt, vill installera frånluftsvärmepump eller solvärme (eller något annat värmesystem som interagerar med fjärrvärmen); Hur kopplas detta ihop med fjärrvärme för att minimera den negativa inverkan?

Detta bäddar även för ökad efterfrågan av energikonsulttjänster som fjärrvärmebranschen kan stå för. Fjärrvärmebranschen skulle kunna erbjuda totallösningar där även energieffektiviseringsåtgärder ingår och på så sätt få kontroll över dessa. Målsättningen borde vara att uppnå optimala lösningar med hänsyn till samhällsekonomin och miljön. På så sätt skulle suboptimeringar kunna undvikas. Ett sådant synsätt skulle även kunna lösa problemet kring tredjepartstillträde: finns det en ur samhällsaspekt gynnsammare energikälla inom ett fjärrvärmeområde, så borde även den självklart utnyttjas.

9.3 Fjärrvärme för alla?

Fjärrvärme är en miljövänlig uppvärmningsform på de allra flesta platser i Sverige, att ha byggnader anslutna till fjärrvärme är ett bra sätt att förvalta våra begränsade resurser. Anslutningarna kräver dock installationer av fjärrvärmekulvert och övriga komponenter och bidrar till nätets värmeförluster under hela deras livstid, vilket dels innebär kostnader för fjärrvärmebolag och kund, dels en miljöpåverkan från material och värmeförluster. För byggnader som ligger långt från befintligt fjärrvärmenät

och/eller har mycket lågt energibehov kan det visa sig att fjärrvärme inte är ett ekonomiskt försvarbart alternativ. Beräkningarna i denna studie visar dock att det fortfarande kan vara möjligt att ansluta även enfamiljshus av lågenergityp, om förutsättningarna är rätt. Några faktorer som verkar för en lönsam anslutning av småhus är:

- Billig värmeproduktion
- Kort rördragning till området och mellan husen
- Kostnadseffektiv installation
- Hög anslutningsgrad
- Extra värmelast i form av värmedrivna vitvaror
- Låga värmeförluster i nätet (gärna sekundäranslutet)

Investeringskostnader för nätet skiljer sig inte särskilt mycket mellan olika orter, däremot produktionskostnaden för fjärrvärmen. Kalkylen kan därför se olika ut på olika ställen i landet.

Fjärrvärme kommer inte att vara det lämpligaste alternativet för alla hus. I första hand bör därför satsningar på byggnadsintegrerade förnybara värmekällor som solvärme och biobränsleeldning utföras i byggnader där fjärrvärme inte lämpar sig. På så vis verkar man för att omvandlingen mot ett hållbart samhälle sker så snabbt som möjligt.

9.4 Plus hus och solvärme

Inmatning av solvärme till fjärrvärmesystem kräver omsorgsfull planering. Vi anser principiellt att det är enklare och effektivare att mata in solvärme från centrala anläggningar. Om man vill mata in solvärme decentralt från t ex flerbostadshus (plus hus) i existerande system, så krävs en anpassning av anläggningens storlek till fjärrvärmesystemets och servicens kapacitet i närområdet. Annars kan man drabbas av ökade värmeförluster och risk att kulverten cyklas sönder. Om kraftvärme finns i systemet, måste man säkerställa att solvärme inte ersätter värme från elproduktionen. I alla fall krävs det individuella systemanalyser för att optimera system utformningen.

Solvärme för eget behov är såväl för flerbostadshus som för villor tekniskt enkelt att åstadkomma men minskar fjärrvärmeanvändningen och underlag för elproduktionen från kraftvärme. Enfamiljshuset med solfångare i denna studie skulle t.ex. inte vara lönsamt att ansluta till de flesta fjärrvärmesystem. Omvänt kan man även säga att för ett lågenergihus anslutet till fjärrvärme är det inte lönsamt att installera solfångare. För fjärrvärmenät med huvudsakligen miljövänlig värmeproduktion saknas dessutom miljöincitament för solvärme. Trots det valde vi att inkludera dessa hustyper för att studera värmelasten och för att försöka se var gränsen går. I fjärrvärmenät som saknar kraftvärmeproduktion skulle man möjligen kunna tänka sig anslutning av villor med solfångare, i ett område där husen helst står tätare placerade än i vår studie. För fjärrvärmenät med kraftvärme kan rätt utformning av taxan (sommartaxa) försvaga de

ekonomiska incitamenten för solvärme. Istället rekommenderas solceller eller vindsnurror för förnybar energiproduktion.

9.5 Rekommendationer till fjärrvärmebranschen

Följande egenskaper är viktiga för att få en effektiv drift av alla fjärrvärmenät, men i synnerhet nät med lågenergibebyggelse:

- Låga systemtemperaturer
- Goda isolerings egenskaper i kulverten
- Korrekt dimensionering av rör

När kunderna i nätet mer och mer energieffektiviserar sina fastigheter, blir det ännu mera angeläget för fjärrvärmebolagen att även trimma sina anläggningar och nät. Detta görs bl.a. genom att:

- a) Se över temperaturnivåerna i nätet. Alla temperaturer som är onödigt höga leder till högre värmeförluster i kulvertnätet. Höga returtemperaturer leder dessutom till högre flöden, vilket kräver mer pumpenergi. Dessutom påverkas produktionen.
- b) Övervaka och åtgärda felfunktioner i nät och i FC:er, såsom exempelvis trasiga termostat- eller styrventiler och givare, förbrukade värmeväxlare eller reglerfel. Fel i FC åtgärdas lämpligen i samråd med kunden.
- c) Övervaka och åtgärda okontrollerade rundgångar. Rundgångar i fjärrvärme-system orsakar redan idag stora problem med förhöjda flöden och returtemperaturer i en del fjärrvärmenät/områden. När energibehoven i de anslutna fastigheterna minskar kommer det att bli än viktigare att åtgärda oönskade rundgångar, övervaka befintliga, nödvändiga rundgångar och se till att dessa har rätt styrning.

9.5.1 Systemtemperaturer

Vid nybyggnation är lågtemperade sekundärnät en metod för att, åtminstone i delar av nätet, få ner systemtemperaturerna. Där finns utrymme för en mer radikal temperatursänkning än vad som går att åstadkomma i befintligt nät. Speciellt i värmeglesa områden rekommenderas verkliga lågtemperaturnät, dvs. med framlednings temperaturer som just tillåter varmvattenproduktion. Dessa nät minskar värmeförluster och kan med fördel sekundär kopplas.

Genom att införa sekundära lågtemperaturnät i systemet så läggs grunden för en gradvis övergång till ett större, välisolerat lågtemperaturnät. Förutom lägre värmeförluster kommer detta, med tiden, att resultera i bättre förutsättningar för kraftvärmeproduktion. Lägre temperaturer kommer också att öppna upp för en ökad användning av spillvärme.

Det finns dock verktyg för att nå lägre temperaturer även i befintliga nät. Adaptiv reglering av temperatur och flöde i befintliga byggnader (kapitel 8) är ett sådant verk-

tyg. Det finns även andra åtgärder hos befintliga kunder som förbättrar avkylning och/eller möjliggör en sänkning av fjärrvärmens framledningstemperatur, t.ex. injustering av värmesystem/reglering, byte av dåligt fungerande värmeväxlare eller att åtgärda rena felfunktioner i FC:n. En successiv minskning av styrventilernas kv-värden i nätet kan vara ett arbete som öppnar för en sänkning av framlednings temperaturen i nätet, i och med att man förhindrar ett överuttag av flöde i åtgärdade FC. Man bör dock ha i åtanke att en sänkt framledningstemperatur i nätet kan innebära ett högre flödesbehov hos en del kunder, eventuellt med högre returtemperatur som följd. Arbetet med att sänka systemets temperaturnivåer sker inte över en natt, utan kräver en strukturerad plan och uppföljning av genomförda åtgärder.

Att det finns flera goda skäl till att arbeta med att sänka fjärrvärmens returledning är ingen nyhet. Erfarenheter från branschen har talat för detta i många år, och det finns även dokumenterat i olika former i rapporten inom såväl Fjärrsyn som tidigare forskningsprogram. Ofta, men inte alltid, finns det även en lönsamhet i att sänka framlednings temperaturen i nätet. Varje nät är individuellt och lönsamheten för denna åtgärd är ofta produktionsberoende, även om det naturligtvis rent generellt alltid är bra med lägre medeltemperatur i nätet för att reducera värmeförluster. Lavakalkylen (Selinder, P. och Walletun, H. 2009) är ett utmärkt verktyg för att bestämma lönsamheten för temperatursänkningar i det egna nätet.

Eftersom välanpassade systemtemperaturer: i fjärrvärmenät är beroende av välbalanserade värmesystem i fastigheternas värmesystem, så är det också viktigt att välja rätt system vid nybyggnation (se 4.3). Ett vattenburet system, med tillräckligt stor värmeavgivande yta för att ge låga returtemperaturer är ett bra val, gärna i kombination med ett FTX-system med hög verkningsgrad och låg SFP.

9.5.2 Installation av kulvert

Vara noggrann vid installation av ny kulvert, speciellt serviser, så att rören inte överdimensioneras. Installationskostnaderna för kulverten minskar även med så korrekt dimensionerade fjärrvärmerör som möjligt (Zinko H. et al., 2008). Därmed hålls även nätets värmeförluster nere och genom att flödeshastigheten i rören då blir högre sommartid, jämfört med om större rördimension valts, så minskar problem med låg framledningstemperatur i nätets ytterområden. Ett sätt att kunna lägga mindre rördimensioner är genom att hålla nere momentana effektoppar, antingen genom tappvarmvatten prioritering²⁶ eller med varmvattenackumulering. Detta är dock inget som vi studerat närmare inom detta projekts ramar och ju lägre värmebehovet för uppvärmning är, desto mindre finns också att vinna på att ha TVV-prioritering, eftersom värme lasten får en allt marginellare del av effektkravet.

Fjärrvärmekulvert med goda isolerings egenskaper är oftast, av förståeliga skäl, dyrare än rör av lägre isolerings grad. Med sekundärnät i PEX behöver dock inte pris-

²⁶ Genom att reglera ned flödet över radiatorkretsen vid stora tappvarmvattentappningar kan byggnadens maxeffekt begränsas (Selinder P, Zinko H, 2005) och, om metoden tillämpas i ett flertal fastigheter, dämpas även topp effekter i fjärrvärmenätet .

skillnaden bli så mycket större, genom att installationen förenklas av att det inte krävs svetsarbeten i stålrör.

9.5.3 Fjärrvärmesaxa

Anslutningsavgifter och fjärrvärmesaxor behöver, i möjligaste mån, reflektera verkliga kostnader. Risken är annars att lågenergihus som ansluts till nätet medför höga installationskostnader för fjärrvärmebolaget, som intäkterna från värmeförsäljningen aldrig kommer att återbetala, eller att den fastighet som endast köper spetsvärme får den till ett underpris. För fjärrvärmebolag med avfallsförbränning och/eller kraftvärme kan t.ex. en lägre sommartaxa vara befogad. Se stycke 6.1.2 för ett exempel på hur detta kan påverka kalkylen för en frånluftsvärmepump.

Användandet av kategorital för beräkning av dimensionerande effektbehov (som ofta ligger till underlag för fasta och/eller rörliga delar i fjärrvärmepriset) är ett vanskligt förfarande. För byggnader med frånluftsvärmepumpar blir det direkt missvisande och missgynnar dessutom de kunder som stänger av frånluftsåtervinningen sommartid. Vi rekommenderar istället att dimensionerande effekt bestäms m.h.a. uppmätt förbrukning. Många fjärrvärmebolag använder redan idag den principen för att fastställa effekttaket för sina kunder, även om metoderna²⁷ varierar.

9.6 Rekommendationer vid renovering/ energieffektivisering av befintliga byggnader anslutna till fjärrvärme

- Alla förbättringar i byggnadens klimatskal (fönsterbyte, ökad isolering, lufttätning och eliminering av köldbryggor, m.m.) sänker visserligen värmeunderlaget för fjärrvärmesystemen, men ger en gynnsammare lastprofil - topplasten (där produktionen oftast har störst miljöpåverkan) sänks, medan baslasten (ofta billig och miljövänlig produktion) inte minskar i lika hög utsträckning. Vid planerade åtgärder bör alltså denna typ av energibesparing prioriteras ur miljösynpunkt.
- Byte till lågenergilampor och till andra lågenergiinstallationer kan komma att öka värmebehovet något (förutsatt att inga förbättringar i klimatskal eller annat görs), vilket är gynnsamt för fjärrvärmesystemen, eftersom baslasten ökar. Speciellt byte av gamla kylar och frysar kan ha en märkbar påverkan. Även om detta innebär en något högre fjärrvärmekostnad, så kompenseras det mer än väl av en lägre elkostnad. För att ytterligare öka baslasten för fjärrvärme kan man överväga att byta ut befintliga eldrivna vitvaror mot värmedrivna sådana (se 5.5 Fjärrvärmevärmade vitvaror). Inte minst i gemensamma tvättstugor är detta en god rekommendation, eftersom utnyttjningstiden där är hög.

²⁷ Det finns flera metoder för effektbestämning av en fastighet m.h.a. mätdata. Huvudprincipen är att använda ett medelvärde av uppmätta maxeffekter (tims- eller dygnsvärden) under en utvald period under kalla årstiden. För den som är intresserad av att jämföra olika metoder för effektbestämning, så finns de tillgängliga på de flesta fjärrvärmebolags hemsidor.

- När en ekonomisk kalkyl görs för planerade åtgärder bör hänsyn tas till fjärrvärmetakans utformning. Många fjärrvärmebolag har exempelvis infört lägre sommartaxa, vilket sänker lönsamheten för en frånluftsvärmepump under den perioden (se stycke 6.1.2)²⁸. Sommartaxan styr även värmepumps användningen från värme och tappvarmvatten till endast radiatorvärme. Frånlufts värmepumpen kan innebära en höjd säkringsavgift för elen och förändringar i retur temperatur och effektuttag kan också få betydelse för kalkylen.
- Den frånluftsåtervinning som ger lägst miljöpåverkan för byggnader med fjärrvärme är, i de flesta fall, en FTX-återvinning. I de fall där installationskostnaden för ett sådant system blir för kostsamt rekommenderas att frånlufts värmepumpen kopplas in mot radiatorsystemet enbart. Fördelen med detta är att pumpen får bättre COP, speciellt när man använder ett lågtemperatursystem. Installationskostnaden för systemet blir dessutom lägre, eftersom man slipper investera i kostnadskrävande utrustning för tappvarmvattenberedning med ackumulatorer m.m. som dessutom tar en stor yta i anspråk som man kan använda till annat. För fjärrvärmenät med ett lägre rörligt fjärrvärmepris på sommaren så blir dessutom uppvärmningskostnaden lägre.
- Vid planerade åtgärder av byggnader inom ett sekundärnätsområde bör även kulvertnätets status tas med i beräkningen. Fältförsöken i kap 7 visade att värmeförlusterna i nätet kan vara betydande och det finns gott om erfarenheter från liknande områden som bekräftar detta. Det finns metoder för att mäta kulvertförluster i slutna nät om man vill ta reda på det. Det kan vara svårt att räkna hem ett kulvertbyte ekonomiskt om man endast tar hänsyn till energibesparingen, men är kulverten i dåligt skick kan det även vara en god idé sett till leveranssäkerhet. Oavsett om man byter ut kulverten eller inte, så bör man ha med dessa värmeförluster i kalkylen.

9.7 Rekommendationer för nya byggnader där anslutning till fjärrvärme önskas

- Vid planering av hela bostadsområden kan en sekundäranslutning av hela området ge bättre förutsättningar för fjärrvärmen. Denna diskussion bör föras på bordet tidigt i planeringsprocessen så att nätet planeras in med övrig infrastruktur. Ett sekundärnät kan drivas av antingen fjärrvärmebolaget eller fastighetsägarna, men oavsett vilket, så är det önskvärt med god värmeisolering och låga systemtemperaturer. Om kulvertinstallationen tas med i en kravspecifikation bör tydliga krav på tillåtna värmeförluster anges.
- För flerbostadshus kan lägenhetsfjärrvärmecentraler (LFC) vara ett intressant alternativ (se 4.2.1 Lägenhetsfjärrvärmecentraler). Genom att varje lägenhetsinnehavare debiteras för sin egen värmeförbrukning kan energiförbrukningen

²⁸ I flera nät ger sommartaxan en lägre energikostnad för fjärrvärme jämfört med elkostnaden för en värmepump, trots återvunnen frånluftsvärme.

minska med upp till 20 % i befintliga bostäder (Åslund M, 2010). I nybyggnation är troligtvis marginalerna för besparing något lägre, men man kan ändå räkna med att folk i allmänhet väljer att vara sparsamma med värme och varmvatten om de själva betalar för energin. Om LFC tas med redan i planeringsstadiet, kan rördragning lösas på ett smidigt sätt.

- En bra lösning för uppvärmningssystem, som fungerar bra i kombination med fjärrvärme, är radiatorer, kombinerat med FTX. Väljer man FTX med roterande värmeväxlare så slipper man bekymret med påfrostning och läckande by-pass, men riskerar å andra sidan problem med återförande av fukt (se 4.1.2.1 Ventilation). Vid hög verkningsgrad kan möjligen eftervärmningsbatteri utelämnas, i synnerhet i södra och mellersta Sverige. Här bör dock erfarenheter från sådana system följas upp, där inte minst upplevd komfort hos de boende utvärderas. Central eller lägenhetsvis FTX är en fråga som bör bedömas från fall till fall, beroende bl.a. på hur ventilationskanaler är dragna och om huset har LFC. Även andra vattenburna system, som exempelvis golvvärme, kan fungera bra, om det installeras på rätt sätt så att låg returtemperatur erhålls. Man bör dock vara uppmärksam på att det i lågenergihus inte finns behov av särskilt hög golvtemperatur och systemet riskerar ge en högre energiförbrukning än beräknat om de boende vill ha ”mysvärme”.
- Värmedrivna vitvaror är särskilt lämpliga för nyproducerade bostäder, eftersom man kan ta med rördragningen redan i planeringsstadiet och det därmed inte behöver innebära så stora merkostnader.
- Fjärrvärme är oftast inte rekommenderat att använda som spetsvärme, särskilt inte för lågenergihus, vare sig ur ekonomiskt eller miljömässigt perspektiv. Kostnaden för att ansluta byggnaden blir hög i förhållande till fjärrvärmeanvändningen och uttaget av värme sker under de perioder då fjärrvärmerna är förhållandevis dyr att producera. För lågenergibyggnader där en stor del av värmebehovet tillgodoses från annan källa (sol, biobränsle eller eldrivna värmepumpar, t.ex.) rekommenderas generellt inte en fjärrvärmeanslutning. Detta utesluter inte att det i speciella fall går att hitta fungerande lösningar, t.ex. för större fastigheter som ligger nära befintligt nät.

9.8 Uppmaningar till kommunala eller statliga beslutsfattare

- Som framgår i rapporten så innebär en minskning i mängden köpt energi inte alltid en förbättring i miljö, om den energi som besparas till viss del ersätts med el. Det är inte ens självklart att den primära energianvändningen minskar. Det är därför önskvärt med incitament som styr mot minskad primärenergianvändning och klimatpåverkan, snarare än enbart köpt energimängd.
- Vid upprättande av energikrav är det önskvärt att hänsyn tas till vidgade systemgränser för att undvika suboptimering. Det vore t.ex. rimligt att värme som produceras i en central solvärmeanläggning ska bedömas likvärdigt som

byggnadsintegrerad solvärme. Det är även berättigat att ifrågasätta om 1 kWh spillvärme, som annars skulle gått förlorad, ska jämsställas med 1 kWh el, som har, i det närmaste, oändliga alternativa användningsområden.

- Energianvändningskrav för vitvaror bör ses över. I boverkets krav gäller att elen till vitvaror inte inräknas i byggnadens energianvändning. I ett flerbostadshus med elvärmda disk- och tvättmaskiner samt torktumlare i lägenheterna inkluderas inte heller denna energianvändning i lokala miljökrav. Vid anslutning av fjärrvärmvärmda vitvaror kommer dock den värmen att inkluderas i byggnadens energianvändning, eftersom den mäts tillsammans med kundens övriga värmeförbrukning. Eftersom detta är en eleffektivisering ska rimligen en schablon kunna dras av från byggnadens energianvändning²⁹. Hela vitvarusatsningen blir äventyrad i annat fall.

9.9 Behov av teknikutveckling

- Det finns några enstaka aktörer på marknaden som erbjuder kulvert med hög isoleringsförmåga, till priser som kan konkurrera med standardrör. Vi förutspår dock en ökad efterfrågan inom denna marknadsnisch och tror att det skulle vara till gagn för fjärrvärmebranschen om fler tillverkare gav sig in i leken och kanske t.o.m. utvecklade nya kulvertsystem.
- Eftervärmningsbatterier för ventilationsluft är i regel inte konstruerade för att åstadkomma låg returtemperatur. Troligtvis beror detta på att det inte efterfrågats tidigare. Om det visar sig bli vanligt förekommande med fjärrvärme anslutna passivhus, med eftervärmningsbatterier som enda uppvärmnings-system, så bör det dock ställas krav på lägre returtemperaturer från aggregaten.

²⁹ Göteborg har t.ex. fått ett undantag för detta i de lokala reglerna (se även Svensk Fjärrvärme, 2011). för att värmedrivna vitvaror inte ska "belasta" byggnadens energianvändning.

10 BEHOV AV FORTSATTA STUDIER

10.1 Dynamisk simulering av områden med hög andel decentraliserad solfjärrvärme

Hur områden med stor andel solvärme som levererar till fjärrvärmenätet påverkar fjärrvärmesystemet dynamiskt är inte utrett. Plushusanslutning skapar en utökad risk för att vandrande fronter med kraftiga temperaturgradienter kan uppstå, med termisk cykling av FC-komponenter, servisledningar och lokala distributionsledningar som följd. Dynamisk simulering med realistiska lastprofiler och utmatningsanalys, t ex med s.k. rainflowmetod (Penderos, 1996) krävs för att kunna utreda detta problem. I studien bör även ingå att studera vad som händer med differenstrycket i området; finns exempelvis risk för stillastående fjärrvärmevatten i rören någonstans i fördelningsledningen?

10.2 Vilka typer av produktion/ produktionsmix är bäst anpassade till kommande lastbehov och kundkrav?

Dagens fjärrvärmeproduktion sker till stor del i anläggningar byggda flera år tillbaka i tiden. Eftersom bibränslepannor och andra miljövänliga produktionsenheter, inte minst kraftvärmeverk är kapitalkrävande installationer, så ligger det naturligtvis i sakens natur att anläggningar också kommer att köras under lång tid. Vid planering av ny produktion är det därför av yttersta vikt att, så långt det är möjligt, säkerställa att den lösning som väljs är hållbar ur ett ekonomiskt, miljömässigt och tekniskt perspektiv.

Här finns en mängd faktorer att ta hänsyn till. En viktig parameter är naturligtvis tillgång till billigt och lättillgängligt bränsle/spillvärme eller annan förnybar energikälla. Här ser de lokala förutsättningarna olika ut i landet och det är därför svårt att göra en generell bedömning.

Val av storlek på produktionsanläggningarna är en annan viktig aspekt. En tumregel inom branschen har varit att baslastproduktionen (ofta en eller ett par stora anläggningar) ska täcka 60% av maxeffektbehovet. Kommer detta att gälla fortfarande, med förändrade lastprofiler, där energiförbrukningen befaras gå ned? Kanske är det bättre med flera, mindre, produktionsenheter? Hur påverkar det i så fall investeringskostnader och verktningsgrader?

Är det så att fjärrvärmen är på väg in i ett paradigmskifte, där det är dags att flytta fokus från fjärrvärmeproduktion till en flexibel och öppen fjärrvärmedistribution? Den senaste TPA-utredningen har inte gett några klara besked om vad branschen har att vänta, men med tanke på energihushållning ur ett systemperspektiv, så bör så mycket tillgänglig spillvärme som möjligt tas tillvara. Fjärrvärmen har en stor tillgång i alla fjärrvärmenät, som kan förmedla energi från de som har ett överskott till de

som, för tillfället, har ett behov. Detta skulle då innebära att det behövs en produktionsanläggning i nätet som kan fungera som lastutjämning. Kanske är det tillräckligt att ha en ackumulatortank i nätet, kanske finns behov av en eller flera snabbstartade pannor.

10.3 Inverkan av on/off reglering av radiatorer i lågenergihus

Under projektets gång har vi konstaterat att on/off-reglering av radiatorer kommer att uppstå vid låga radiatorflöden. Det finns inga undersökningar som klargör vad on/off-regleringens frekvens kan bli, beroende på radiatorns termiska massa (inklusive vatten) samt på val av termostat och termostatventil. Lågenergihus är känsligare för effekt variationer och därför bör inverkan av en sådan reglering på inomhustemperaturens stabilitet och komfortupplevelsen undersökas vidare (se 4.3.2.1 *Radiatorflöde i lågenergihus* och vidare).

10.4 Driftserfarenheter från olika FTX-lösningar

Det är fortfarande oklart hur ett optimalt uppvärmningssystem i ett fjärrvärmeanslutet lågenergihus ska se ut. Mycket talar för radiatorer i kombination med FTX, men ska det finnas en fjärrvärmebaserad lufteftervärmare i ett sådant system? Enbart FTX-värmeväxlare är inte driftsäkra beroende på risk för isbildning vid låga utetemperaturer och denna risk ökar, paradoxalt nog, ju effektivare värmeväxlaren är. FTX med roterande värmeväxlare är å andra sidan betydligt mindre känsliga för isbildning eftersom de återför fukt som finns i den utgående luften till den inkommande luften men fuktåterföringen kan bli ett problem i sig både med hänsyn till luftfuktighet och ifall luktpartiklar skulle transporteras tillbaka in i byggnaden. Det finns även en risk för att komforten blir lidande om temperaturen på tilluften blir för låg p.g.a. luften inte värms upp efter värmeväxlaren. Sammantaget finns det anledning att följa upp löpande utveckling inom FTX och driftserfarenheter från nybyggda hus med lösningar av den typen, från t.ex. Västerås.

10.5 Utökning av sommarsäsongens värmebehov

Slutsatserna som kan dras av de i denna rapport analyserade scenarierna gör tydligt att sommarlasten i fjärrvärmesystem riskerar att bli allt mindre p.g.a. byggnaders energieffektivisering. Detta kan påverka fjärrvärmeproduktionen, fjärrvärme distributionen och elproduktionen i kraftvärmesystem i negativ riktning: fjärrvärmeproduktionen måste ske i mindre pannor, fjärrvärmedistributionen får problem att hålla temperaturen, de relativa värmeförlusterna ökar och elproduktionen i kraft värmesystem minskar p.g.a. av minskat värmeunderlag. Framför allt i existerande system med kraftvärmepannor som täcker stora delar av baslasten kommer dessa problem att kännas ganska tydligt.

Fjärrvärmebranschen i Sverige och i utlandet har redan hittills haft ett öga på denna hotbild och en rad studier har gjorts för att se om det går att öka fjärrvärme

användningen, särskilt sommartid. Många analyser har genomförts angående fjärrvärme/industri-kombinat, som dock mestadels kräver helårs tillgänglighet av billig fjärrvärme. Exempel är trävaru-, pappers- och stålindustrin.

Bland mera sommarsäsongberoende värmelaster är alstring av värmegenererad kyla en mycket fördelaktig användning, men begränsas av konkurrenten elgenererad kyla. Produktion av fordonsbränslen (gas eller flytande) är ett annat intressant område men har, än så länge, också problem med ekonomin. Andra sätt är att ta hand om sommarvärme för lagring till vintern, även detta är en svår ekonomisk nöt att knäcka. Torkning av bl.a. frukt, spannmål och torv har nämnts precis som tillverkning av betong- och andra byggkonstruktionselement. Trädgårdsodlingar och badanläggningar står också på kandidatlistan, och listan kan göras mycket längre.

Vi anser därför att det är läge att genomföra en mera konsekvent genomlysning av de möjligheter som står till buds för fjärrvärmebranschen att speciellt öka användningen av fjärrvärme under sommarsäsongen, där hänsyn tas till övergång till höglastsäsongen. Detta borde ske dels genom att etablera lastdiagram för olika intressanta energikombinat och dels genom att studera det ekonomiska värdet (nuvärdet) för olika processlösningar. I studien bör ingå svenska existerande eller studerade kombinat, men i synnerhet även goda exempel från utlandet.

Målet är lyfta fram goda exempel för en möjlig ökning av fjärrvärmens sommarlast för att bemöta den hotande negativa utvecklingen med offensiva åtgärder.

11 REFERENSER

4DH, Appendix B: Project description - Strategic Research Centre for 4th Generation District Heating Technologies and Systems (4DH), nedladdad från www.4dh.dk

The 12th International Symposium on District Heating and Cooling; Tallinn, Estonia2010

Absolicons hemsida: <http://www.absolicon.se>. Besökt senast 2012-06-20

Allestam, G. Personlig kontakt, SMI, 2012-06-13

Arvastson L, Wollerstrand J. On sizing of domestic hot water heaters of instantaneous type. 6-th International Symposium on Automation of District Heating Systems, 28-30.8.1997, Reykjavik, Island. 17 pp

ASKOs hemsida: <http://www.asko.se/hwc/>. Besökt senast 2012-06-20

Axnell M, Sikander E, Ruud S, Kurkinen E-L, Kovacs P, Räftegård O, et al. Att gå från lågenergihus till aktivhus - hur skapar vi nästa generations energieffektiva byggnader i stadsdelen Kongahälla? SP Rapport 2010:32

Bagge H. Building performance: methods for improved prediction and verification of energy use and indoor climate: Building Physics, LTH, Lund University; 2011

Beiron, J., Frodeson, S., & Wikström, F. Drifterfarenheter från ett superisolerat flerbostadshus. Karlstad Universitet, 2010

Bernestål, A. Ingenjörskyrån Andersson & Hultmark AB. Personlig kommunikation, 2012-03-30

Blomsterberg Å. Behovsstyrd ventilation i nybyggda flerbostadshus – Teknisk funktion och brukarsynpunkter. Resultat från en teknikupphandling. 2009

Boverket. Boverkets byggregler (föreskrifter och allmänna råd), BBR 18 samt BBR 2012 (2011).

Boverket . Indata för energiberäkningar i kontor och småhus, En sammanställning av brukarrelaterad indata för elanvändning, personvärme och tappvarmvatten, 2007. ISBN-nummer: 978-91-85751-65-5

Broberg T. Rekyleffekten - Är energieffektivisering effektiv miljöpolitik eller långdistans i ett ekorrhjul? 2011

Dalenbäck, J.-O. Prospects for Large-Scale Solar Heating Systems in Europe. Proceedings European Solar Thermal Conference 2007. Freiburg, Germany.

Danish Standard DS 418 - Calculation of heat loss from buildings. 2011

EFP 2007, UDVIKLING OG DEMONSTRATION AF LAVENERGIFJERNVARME TIL LAVENERGIBYGGERI. Teknologisk Institut, 2009

- Ekodesigndirektivet, EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2009/125/EG om upprättande av en ram för att fastställa krav på ekodesign för energirelaterade produkter, 21 oktober 2009
- Elgocells hemsida: <http://www.elgocell.se>. Besökt senast 2012-08-22
- Energimyndigheten: "Energiindikatorer 2009", ET 2009:15, ISSN 1403-1892, 2009
- Energimyndigheten, Energiläget 2011, ET 2011:42
- Energiprestandaanalys 10 - avvikelse som kan härledas till brukare, verksamhet eller ökat kylbehov. 2010-101028
- Energistyrelsen, EUDP 2008, CO2-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in Boligforeningen Ringgården and EnergyFlexHouse. Danmark: 2011 63011-0152
- Energistyrelsen, Byggningsreglementet 29.08.2011
- http://www.ebst.dk/bygningsreglementet.dk/br10_02_id123/0/42
- E.ON Värme Sverige AB. Västra Hamnen Bo01-området. Stad för människan och miljön. Informationsbroschyr, 2006
- Eriksson, Magnus, Växjö Energi. Personlig kommunikation, 2012-06-13
- Europaparlamentets och rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2010 om byggnaders energiprestanda, 2010
- EU-direktivet om byggnaders energiprestanda - konsekvenser och behov av förändringar i det svenska regelverket. 2010 N2010/1474/E
- EUDP 2008, Energistyrelsen, CO2-reductions in low energy buildings and communities by implementation of low temperature district heating systems. Demonstration cases in Boligforeningen Ringgården and EnergyFlexHouse. Danmark: 2011 63011-0152
- EUDP - Fuldskala demonstration af fremtidens lavtemperaturfjernvarme i eksisterende bebyggelser - Bilag. COWI, 2010
- Fjernvarmen, Nyt EUDP-projekt løser problemerne med brugsvand ved lavtemperatur fjernvarme på 45° C. Artikel i nummer 3, Mars, 2012
<http://www.dff.dk/~media/FJERVARMEN/Arkiv/2012/Marts/03%202012NytEUDPProjektLoeserProblemerneMedBrugsvandVedLavtemperaturfjernvarmePaa45C.ashx>
- Friskopp K, Jonsson S, Östlund B. Lägenhetsvisa Fjärrvärmecentraler. 2008
- Gerhardy, K. Das DVGW-Arbeitsblatt W 551 und die 3-Liter-Regel, DVGW energie|wasser-praxis nr 2/2012
<http://www.dvgw.de/fileadmin/dvgw/wasser/gesundheit/1202gerhardy.pdf>,
<http://www.dvgw.de/wasser/trinkwasser-und-gesundheit/legionellen/>

- Gode, J et al. Miljövärdering av el ur ett systemperspektiv. IVL Svenska Miljöinstitutet, 2009.
- Guidelines for District Heating Substations. 2008
- Gummérus P, Werner S. Hög Temperaturnivå är Ineffektiv Fjärrvärme, 1994. Tillgänglig på <http://www.nordiq.se/pdf/SWPG3105.pdf> (1 sept. 2012).
- Gummérus P. Analys av konventionella abonnentcentraler i fjärrvärmesystem. Chalmers Institute of Technology, Dept. of Energy Technology, Göteborg, 1989.
- Gustavsson L, Joelsson A. Life cycle primary energy analysis of residential buildings. Energy and Buildings. 2010;42(2):210-20
- Göransson et al. Fjärrvärmens i framtiden –behovet. Fjärrsyn Rapport 2009:21.
- Holmberg S. Norrköpingsprojektet, rapport M81:5. Statens institut för byggnadsforskning, 1980
- Koch A, Kersting J-C (ed) Annex 51: Energy Efficient Communities -Case Studies and Strategic Guidance for Urban Decision Makers, Subtask A: Description of the state-of-the-art of energy efficient projects on the scale of neighbourhoods. Discussion Paper. 2011 European Institute for Energy Research – EIFER Karlsruhe, April 2011
- Kristjansson H., Bøhm B. Optimum Design of Distribution and Service Pipes. EH&P IV/2006, Engelsk version, 2006 (www.euroheat.org)
- Krøjgaard et al. Detection of *Legionella* by quantitative polymerase chain reaction (qPCR) for monitoring and risk assessment, BMC Microbiology 2011, 11:254
- Lee et al. An international trial of quantitative PCR for monitoring Legionella in artificial water systems, J Appl Microbiol. 2011 Jan 29. doi: 10.1111/j.1365-2672
- Lorna A. Greening, David L. Greene, Carmen Difiglio, Energy efficiency and consumption — the rebound effect — a survey, Energy Policy, Volume 28, Issues 6–7, June 2000, Pages 389-401, ISSN 0301-4215, 10.1016/S0301-4215(00)00021-5.
- Lund H, Möller B, Mathiesen BV, Dyrelund A. The role of district heating in future renewable energy systems. Energy. 2010;35(3):1381-90
- Janson U. Passive houses in Sweden - From design to evaluation of four demonstration projects [Doctoral]. Lund: Lund University; 2010
- Janson, U. MKB Fastighet. Personlig kommunikation, 2012-01-12
- Johansson, P.-O., & Wollerstrand, J. Kavitation i styrventiler – laboratorieundersökning, 2009. Fjärrsyn Rapport 2009:45.
- Johansson D, Bagge H, Lindström L. Measurements of occupancy levels in multi-family dwellings—Application to demand controlled ventilation. Energy and Buildings. 2011;43(9):2449-55

- Karlsson F, Thyrberg T () Principlösning ventilation i Flerbostadshus. SWECO Systems AB på uppdrag av Svensk Ventilation, 2009.
- Karlsson H. Thermal Modelling of Water-Based Floor Heating Systems - supply temperature optimisation and self-regulating effects [Doctoral]: Chalmers University of Technology, 2010
- Karlsson H, Hagentoft C-E. Byggnadsintegrerad uppvärmning - Utveckling av simuleringsmodell med tillämpningar samt analys av alternativa, förenklade och självreglerande vattenburna golvvärmesystem i småhus. Institutionen för bygg- och miljöteknik, 2012
- Kravspecifikation för nollenergihus, passivhus och minienergihus - Bostäder. 2012 LTH rapport EBD-R-12/36, IVL rapport nr B 2027, ATON rapport 1201
- Lågan - Lindås. [cited 2012 6 mars]; Available from: <http://lagan.webdoc.nu/lagan/www/index.php/buildings/view/43/extended#extended>
- Martinsson L. Passivhus i ett svenskt klimat - en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt [Master]. Göteborg: Chalmers tekniska högskola; 2008
- Mjörnell K, Fyhr K, Gervind P, Sasic A. Miljoparensa – Miljonprogramsbarnen Innovativa åtgärdsförslag för renovering av byggnadsskal och installationer. 2011 2011:39
- Molin A, Rohdin P, Moshfegh B. Investigation of energy performance of newly built low-energy buildings in Sweden. Energy and Buildings, 2011;43(10):2822-31
- Nyström I, Lindholm T, Fröling M, Dalenbäck J-O, Ahlgren E, Fahlén E. Energieffektiv bebyggelse och fjärrvärme i framtiden, 2009:1
- Näringsdepartementet. Vägen till nära-nollenergibyggnader, 2012.
- Näringsdepartementet. Regeringens proposition 2005/06:145. Nationellt program för energieffektivisering och energismart byggande, den 16 mars 2006.
- Pandis, S., & Brandt, N. Utvärdering av Hammarby Sjöstads miljöprofilering -vilka erfarenheter ska tas med till nya stadsutvecklingsprojekt i Stockholm? KTH, 2009.
- Passivhaus Institut, PHI; [2011-12-01]; Tillgänglig på: www.passiv.de
- Penderos, M. Thermal Cycling of Diversity Buried District Heating Networks: Application of Cumulative Damage Theory to some field cases, 1996
- Persson J, Vogel D. Utnyttjande av byggnaders värmetröghet [Master thesis]: Lund University, 2011
- Persson, T. Combined solar and pellet heating systems for single-family houses : - How to achieve decreased electricity usage, increased system efficiency and

- increased solar gains. Doktorsavhandling Nr. 06/56, Stockholm, Institutionen för energiteknik, KTH , 2006 (ISBN: 91-7178-538-8)
- Pohl H, Klingmann M. Teknikval: nätutformning och distribution. Svensk Fjärrvärme, 2006. Värmegles 2006:24 c. ISSN 1401-9264
- Projektet Passivhus. Marknadsöversikt för passivhus och lågenergihus i Sverige, 2006
- Promemoria Omarbetat direktiv om byggnaders energiprestanda - Del II
Bedömningar och förslag avseende nära-nollenergibyggnader. 2012
- Rockwools hemsida, <http://www.rockwool.se>, besökt senast 2012-04-27
- RVF (numera Avfall Sverige). Förbränning av avfall. Utsläpp av växthusgaser jämfört med annan avfallsbehandling och annan energiproduktion. RVF:s kommentarer samt Profus rapport CO₂-utsläpp från svensk avfallsförbränning. RVF rapport 2003:12, Malmö 2003.
- Samuelsson, J. Personlig kommunikation, MMA AB, våren 2012
- Sandberg E. Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus – nyproduktion, 2011
- Sandberg E. Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus – ombyggnation, 2011
- Sandberg, E. Hus utan värmesystem. Aton Teknikkonsult AB, 2003
- Schneiders J. Dynamisches Verhalten und Wärmeübergabeverluste von Flächenheizungen - Forschungsprojekt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 2005
- Selinder, P. & Walletun, H. Modell för ändrade förutsättningar i fjärrvärmenät; Nya möjligheter att värdera ändrade driftsförutsättningar i fjärrvärmenät med LAVA-kalkyl. Svensk Fjärrvärme, 2009. Fjärrsynrapport 2009:50.
- Selinder, P. et al. Kopplingsprinciper för fjärrvärmecentral och frånluftsvärmepump, 2003. Svensk Fjärrvärme FOU 2003:94.
- Selinder P, Zinko H. Reducering av anslutningseffekten med hjälp av VV-prioritering. Svensk Fjärrvärme, 2005
- Sikander E, Ruud S, Fyhr K, Svensson O. Erfarenhetsåterföring från de första passivhusen - inomhusmiljö, beständighet och brukarvänlighet. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, 2011. SP Rapport 2011:26
- Sikander E, Samuelson I, Gustavsson T, Ruud S, Larsson K, Hiller C, et al. Lågenergihus och passivhus - vanliga frågeställningar. 2009. 2009:28
- Sikander E, Ruud S. Teknik- och systemlösningar för lågenergihus. En översikt. 2011. 2011:68
- Sipilä K, Rämä M, Zinko H, Ottosson U, Williams J, Aguiló-Rullán A, et al. District heating for energy efficient building areas. 2011

- Strategic research centre for 4th generation district heating technologies and systems, <http://www.4dh.dk/>
- Strusofts hemsida <http://www.strusoft.com/index.php/sv/produkter/vip-energy>, besökt senast 2012-06-08
- Ståhl F. Influence of thermal mass on the heating and cooling demands of a building unit [Doctoral thesis]: Chalmers tekniska högskola; 2009
- Sundqvist, J-O, Baky, A., Carlsson Reich, M., Eriksson, O., Granath, J., Hur skall hushållsavfallet tas om hand? Utvärdering av olika behandlingsmetoder, IVL-rapport B1462, 2002
- Sveby, Resultat från energiberäkningstävling för ett flerbostadshus, Rapport 2011-10-03
- Svensk Energi, <http://www.svenskenergi.se/sv/Om-el/Elpriser-Skatter/>, hämtad 2012-08-15
- Svensk Fjärrvärme Fjärrvärmecentraler – Kopplingsprinciper. 2009. Rapport 2009:3
- Svensk Fjärrvärme, FC-gruppen. Hur man med fjärrvärmecentralen minimerar energiåtgången i framtidens nya och ombyggda bostäder. 2011
- Svensk Fjärrvärme. Kulvertkostnadskatalogen, 2007. Art nr 07-01. ISSN 1401-9264
- Svensk Fjärrvärme, <http://svenskfjarrvarme.episerverhotell.net/Medlem/Fokus-omraden-/Fjarrvarldens-omvarld/Energieffektivisering/Energieffektiviserings-exempel/Bostader/vitvaror/>, hämtad 2012-06-12
- Svensk Fjärrvärme, <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarmepriser/>, hämtad 2012-08-15
- Sveriges centrum för nollenergihus. Förnybar energi och Boverkets byggregler, 2012
- Teknikmarknad, Sänkta tappvattentemperaturer och ökat legionellskydd, forskningsprojekt, Stockholm, 2011
- Thorsen JE. Analysis on flat station concept (Preparing DHW decentralized in flats), The 12th International Symposium on District Heating and Cooling, Tallinn, Estonia, 2010
- Thyrberg, T. Karlsson F. Principlösning för installation av FTX aggregat i flerbostadshus i samband med renovering. Rapport SWECO Systems AB, 2009.
- Torssell, R. Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus. Avd.för installationsteknik, Institutionen för bygg- och miljöteknologi, Lunds universitet, 2005. Rapport TVIT--05/5004.
- Uppdrag 13: Nationell strategi för lågenergibyggnader. 2010 ER 2010:39
- Ullberg, S. Sundsvall Energi, Personlig kommunikation, 2012-01-19

- Uppenberg, S. et al. Miljöfaktabok för bränslen. Del 1: Huvudrapport. Resursförbrukning för hela livscykeln. IVL Svenska Miljöinstitut, 2001. rapport B 1334A-2.
- Vitecs hemsida <http://www.vitec.se>, besökt senast 2012-06-08
- VVS-forum, Nr 1, 2011, <http://www.vvsforum.se/>
- Värmetröghet - så mycket mer än energi! - Sammanfattning av en workshop den 9 december 2011, Ideon Lund, 2011
- Växjö Energis hemsida: <http://www.veab.se/Miljoe/Miljoesmart-plushus.aspx>, besökt senast 2012-06-29
- Wahlström Å, Jagemar L, Filipsson P, Heincke C. Marknadsöversikt av uppförda lågenergibygnader, 2011. 2011:01.
- Wernstedt F, Johansson C. Demonstrationsprojekt inom effekt och laststyrning, 2009. 2009:26
- Wollerstrand, J., Ljunggren, P. och Johansson, P.-O., Optimal reglering av radiatorsystem, Fjärrsyn 2007:6
- Wollerstrand, J., Lauenburg, P., Fältförsök med adaptiv reglering av radiatorsystem, Fjärrsyn 2009:19
- Zegers, F.T.S, Molenbroek, E.C. Field test of heat-fed washing machines and tumble dryers. ECOFYS, Utrecht, 2000.
- Zinko, H. Solfjärrvärme för villaområden. Svensk Fjärrvärme, 2003. Värmegles 2003:03.
- Zinko, H. et al. Avancerad fjärrvärmeanvändning i småhus – Demonstrationsprojekt fjärrvärmeanpassade småhus Göteborg. Svensk Fjärrvärme, 2006. Värmegles 2006:29.
- Zinko H, Gebremedhin A. Säsongvärmelager i kraftvärmesystem, 2008. 2008:1
- Zinko, H, Böhm B, Kristjansson H, Ottoson U, Rämä M, Sipilä K. District heating distribution in areas with low heat demand density. IEA District Heating and Cooling Annex VIII, 2008
- Åberg M, Henning D. Optimisation of a Swedish district heating system with reduced heat demand due to energy efficiency measures in residential buildings. Energy Policy. 2011;39(12):7839-52
- Åslund M. Individuell värmemätning en kontroversiell teknik. Energi & Miljö 1/2010

Bilaga 1 – Interna värmetillskott, schema

List of Internal HG		
equipment / event	continuous power [W]	energy [kWh/24h or cycle]
fridge	32	0.77
washing machine	1000	1
tumble dryer	1850	1.85
dish washer	1000	1
Cooking	1100	1.1
TV	200	
Computer	100	
breakfast (1+2kW in 5 minutes)	250	0.25
Ironing	0.75	
IHEU	36	

addition to routine events [kWh/week]			
event	energy [kWh/cycle]	day	time
washing	1	Tuesday	18-22
drying	1.85	Tuesday	22-01
washing	1	Thursday	18-22
drying	1.85	Thursday	22-01
vacuuming	1	Sat	15-16
ironing	0.75	Sun	15-16
total	7.45	[kWh/week]	

	EQUIP + LIGHTS ... difference my SCH vs. constant 3,5W/m2			people...difference my SCH vs. Constant 1.5W/m2		total internal HG	
	EQUIP + LIGHTS: const. 3.5 W/m2	EQUIP + LIGHTS: model	difference	people: const. 1.5 W/m2	people: model	const 1.5 + 3.5 W/m2	model
week [kWh/week]	93.5	71.39	22.1	40.07	40.96	133.6	112.3
const. power [W]	3.5	2.67	0.8	1.5	1.53	5.00	4.21
year [kWh/year]	4862	3712	1149	2084	2130	6945	5842

								HG people [kWh/wd]
heat emitted from people [W/wd]	2560	320	0	320	320	320	1280	5.12
week days (wd)								
	sleep	eating	no one at home	working	cooking/resting	eating	resting	
room	23:00 - 7:00	7:00 - 8:00	8:00 - 15:00	15:00- 17:00	17:00- 18:00	18:00- 19:00	19:00 - 23:00	
room 11.6	1			1	1		1	
room 11.9	1			1	1		1	
tech. room 9.1								
entrance 4.1								
room 9.1								
bathroom 1								
bedroom 15.0	2							
kitchen 9.4					1			
bathroom 2								
comidor								
living room 32.0					1		2	
dining room 20.1		4				4		
time for the activity [h]	8	1	7	2	1	1	4	total 24

heat emitted [W]	week days (wd)						
fridge + IHEU	68						
washing machine							
tumble dryer							
dish washer							250
cooking					1100		
TV					200		200
computer				200	200		200
eating (kettle, toaster)		250					
lights				25	250	150	150

total EQ + LIGHT in the house [W]	545	318	477	586	1818	218	3472	7.4	kWh/wd
constant value 3.5W/m2								13.4	kWh/wd
difference								5.9	kWh/wd
total EQUIP and LIGHT								29.6	kWh/5wd

NÄSTA GENERATIONS FJÄRRVÄRME

Villkoren för fjärrvärme förändras när våra byggnader kräver mindre energi och ibland också ger ett överskott av energi. Här har en grupp forskare granskat vad som händer när värmebehovet minskar och vad konsekvenserna blir för fjärrvärmens teknik och ekonomi men också för miljön. Rapporten ger en vägledning om vilka följderna blir vid några tänkbara förändringar.

Ett framtidsscenario är en energieffektivisering i ett miljonprogramsområde med FTX eller frånluftsvärmepumpar anslutna på olika sätt. Ett annat är ett bostadsområde där värmeuttaget ligger nära nätets kapacitet och där husägaren eventuellt önskar leverera solvärme till nätet. Rapporten jämför också olika tekniker för fjärrvärmeanslutning av nya villor och flerbostadshus där energikraven är lägre än Boverkets byggregler.

Resultaten visar bland annat att det i framtiden kommer att bli viktigare att bedöma hur husets värmesystem fungerar ihop med fjärrvärme. En viktig slutsats är att ett bra samarbete bör etableras mellan kommunen, den lokala fastighetsägaren och fjärrvärmebolaget och att diskussionerna kommer igång redan i ett tidigt skede av ett projekt.