

NYA LÖSNINGAR FÖR FJÄRRVÄRME I MILJONPROGRAMSOMRÅDEN

RAPPORT 2017:414



Nya lösningar för fjärrvärme i miljonprogramsområden

MAGNUS ÅBERG
LARS FÄLTING
JONAS CARLSSON
LARS JOHANSSON
ANDERS FORSELL
JOAKIM WIDÉN
ANNICA NILSSON
JOAKIM MUNKHAMMAR
DAVID LINGFORS

ISBN 978-91-7673-414-8 | © ENERGIFORSK augusti 2017

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

Förord

Miljonprogramsområdena i Sverige står inför omfattande renoveringar. Värmebehovet i dessa områden utgör ungefär 20 procent av produktionen i ett fjärrvärmeföretag. Här har man undersökt hur renoveringar av miljonprogramsområden påverkar fjärrvärmeföretagen och hur framtidens fjärrvärmesystem kan se ut för de här områdena.

Projektet har tittat på vad det som kallas fjärde generationens fjärrvärme, 4GDH kommer att betyda, med lägre fjärrvärmtemperaturer och lägre värmeförluster i fjärrvärmenäten. Med lägre temperaturer i fjärrvärmesystemet kan fjärrvärmecentraler för tappvarmvattenproduktion vara intressant där inkopplingsprinciperna är av betydelse. Från ett energisystemperspektiv är det viktigt att undvika suboptimering genom att se helheten. Vad är nyttan med lägre fjärrvärmtemperaturer, var har den störst effekt och hur kan fastighetsbolag och fjärrvärmeföretag samverka.

Projektet har genomförts av Magnus Åberg, Joakim Widén, Lars Fälting, Anders Forsell, Annica Nilsson, David Lingfors och Joakim Munkhammar på Uppsala Universitet och av Dag Henning på Optensys Energianalys AB, Lars Johansson på EC-Power AB samt Jonas Karlsson på ekoPerspektiv i Vadstena AB.

Projektets referensgrupp bestod av ordförande Rickard Frithiof, Vattenfall Sverige AB; Christer Boberg, AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad; Tomas Nordqvist, Uppsalahem AB; Marie-Louise Persson, Riksbyggen; Maria Brogren, Sveriges Byggindustrier; Kristofer Jakobson, AB Fortum Värme samägt med Stockholm stad; Mats Fredriksson, EON Värme Sverige AB; Emil Berggren, Tekniska verken i Linköping AB; Kerstin Mundt, Norrenergi AB

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av fjärrvärmeföretagen genom Energiföretagen Sverige och av Energimyndigheten. Forskningen inom Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för energibranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Leif Bodinsson
ordförande i Energiföretagen Sveriges omvärldsråd

Sammanfattning

Projektets syfte var att ta fram en strategi för energiomställning till fjärde generationens fjärrvärmeteknik på områdesnivå i fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus byggda under miljonprogramsåren i Sverige. Dessa hus utgör en del av bebyggelsen vars ålder innebär att omfattande underhåll och renovering är nära förestående och därför är det rimligt att tänka sig energieffektiviseringar som en del i dessa renoveringar. Det skulle kunna vara en tänkbar start på en mer omfattande omställning till ett resurseffektivt och till största delen förnybart energisystem. Miljonprogramsbeståndet har ofta antagits utgöra en stor potential för energibesparingar och i och med att större delen av beståndet värms med fjärrvärme kan det antas att genomförandet och omfattning av effektiviseringar har betydelse för svenska energibolags värmeunderlag. Dessutom är miljonprogramsbebyggelsen relativt enhetlig vilket kan utgöra en möjlighet att utforma standardiserade lösningar för en omställning.

Begreppet fjärde generationens fjärrvärme (4GDH) har på senare år tagit stor plats i den akademiska forskningen kring fjärrvärme och framförallt i Skandinavien. Vi har i det här projektet utgått från att målen och utmaningarna med nya lösningarna för energisystemen i miljonprogramsområdet ska ha en del av de karakteristiska egenskaperna som ryms inom begreppet 4GDH, d v s låga systemtemperaturer, energieffektiva byggnader, integration med eldistributionssystem och elproduktion i syfte att underlätta utbyggnad av förnybar el som här utgörs av byggnadsintegrerad solcell. I projektet har definitionen av 4GDH-system som publicerats av Lund m fl (2014) varit utgångspunkt.

Inledningsvis i rapporten presenteras detaljerade energibalanssimuleringar för ett större typiskt miljonprogramsområde byggt 1972 i Uppsala. För området simuleras hur energieffektivisering av byggnader kan bidra till att sänka distributionstemperaturerna i det befintliga sekundära värmedistributionssystemet. Potentialen för att minska distributionsförlusterna i området genom att sänka temperaturer och/eller ersätta varmvattencirkulationsslinga med lägenhetsvärmexlare för tappvarmvatten beräknas. Framtida 4GDH-energiebalanser för området simuleras med solcell, elbilar, effektiva byggnader och värmelagring.

Efter beräkningar på områdesnivå utökas analysen till att omfatta hela Sverige. Detta med avseende på storleken på miljonprogrammets andel av lokala värmeunderlag i svenska fjärrvärmesystem samt energibesparingspotential.

Avslutningsvis höjs analysens systemnivå och möjligheter och hinder för samverkan mellan energibolag och fastighetsägare kring energieffektiviseringar i fjärrvärmeuppvärmda byggnader analyseras. Analysen baseras på ett antal centrala utredningar om energieffektivisering i byggnader och dessa diskuteras i relation till varandra. Fokus är intressekonflikter mellan aktörerna, risken för suboptimering och vad utredningarna har för förslag för att hantera, eller att lösa dessa problem.

Nedan följer en kort sammanfattning av slutsatserna i projektet.

Bostadsrättsföreningen Gräslöken och dess 77 fastigheter och sammanlagt 832 lägenheter byggdes under tidigt 1970-tal och utgörs av låga loftgångshus. Gräslöken har många av de karakteristiska dragen som återfinns i vanliga miljonprogramsområden. Brf Gräslöken används som en fallstudie i kapitel 5 för att simulera en tänkbar 4GDH-energibalans i ett miljonprogramsområde. De effektiviseringsåtgärder som utgjort grunden i beräkningarna är *byggnadsskalåtgärder* (tilläggsisolering samt byte av fönster och dörrar) och *från-tilluftsvärmeväxling*. Potentialen för energieffektiviseringar i byggnader och åtgärder för att sänka värmedistributionsförluster beräknas utgående från de befintliga förutsättningarna i brf Gräslöken. Därefter utökas beräkningarna med en möjlig framtida elanvändning som inkluderar en elbilspool och takintegrerad solexproduktion där överskottselen konverteras till värme och lagras centralt i området.

För Gräslöken beräknas att en halvering av värmebehovet i byggnader till följd av fasadisolering med nya fönster och dörrar samt installation av från-tilluftsvärmeväxling möjliggjorde en sänkning av framledningstemperaturen från 76 °C till 54 °C när det är som kallast ute. Returtemperaturen beräknas, som en följd av möjlig sänkning av framledningstemperaturen, att kunna sänkas från 58 °C till 44 °C när det är som kallast ute. Det sekundära distributionssystemet har separata slingor för uppvärmning och varmvatten därför påverkar energieffektiviseringarna inte temperaturen på varmvattenslingan som ligger mellan 55 och 60 °C. Temperatursänkningarna till följd av det lägre värmebehovet ger upphov till en beräknad minskning av distributionsförlusterna med 13 % i fallet med fasadåtgärder samt från-tilluftsvärmeväxling. Större möjligheter för reducering av distributionsförluster ligger i att ersätta den centrala varmvattenberedningen med lägenhetscentraler. Här beräknas minskade distributionsförlusterna med upp till 49 % efter en sådan åtgärd.

Elbehovet i Gräslöken skulle öka från 2.0 till 4.7 GWh per år med elbilspool och från-tilluftsslaggregat. Om områdets takytor utnyttjas fullt ut för solexproduktion skulle 3.9 GWh solex kunna produceras per år. På grund av dygnsmässigt och säsongsmässig mismatch mellan solexproduktion och elbehov skulle dock området endast bli självförsörjande på el till 40 % och vissa tider blir överskottsproduktionen av solex stor. Om överskottselen konverteras till värme och lagras i ett vattenmagasin av storleken 10 600 m³ med en lagringskapacitet om 550 GWh ersätts fjärrvärmens helt och hållet från och med mitten av april till och med oktober. Behovet av tillförd fjärrvärme till området skulle då minska från omkring 11 GWh till 4 GWh. Fjärrvärme behöver tillföras området under årets kallare delar. Om istället värmelager skulle användas för att hela brf Gräslökens värmebehov skulle försörjas med värme från ledig avfallsförbränningskapacitet under sommarmånaderna behövs en lagervolym om 127 000 m³.

Den beräknade primärenergibesparingen av att energieffektivisera brf Gräslöken beror till stor del av den lokala värmeproduktionen. Stor andel spillvärme från avfallsförbränning minskar primärenerginyttan av energieffektiviseringar avsevärt men även elproduktion i kraftvärmeverk samt hur använd och producerad el värderas har stor betydelse för resultaten. I system utan kraftvärme och

avfallsförbränning ger uteslutande primärenergibesparingar som är större än den minskade använda fjärrvärmeenergin.

Resultaten från fallstudien brf Gräslöken visar delvis att det går att på områdesnivå minska distributionsförluster i befintligt kulvertsystem. Detta främst genom att minska antalet ledningsrör. Sänkning av systemtemperaturer i befintlig kulvert har dock begränsad påverkan på förlusterna. Resultaten för värmelagring visar också att beroende på befintlig värmeförsörjning i fjärrvärmesystemet så bidrar lagring av värme olika mycket till ökad resurseffektivitet. I ett bränslebaserat system kan överskottsel konverteras till värme sommartid och lagras. Men ett system där spillvärme från avfallsförbränning eller industri utgör basproduktion och där överkapacitet av dessa resurser finns periodvis skulle ha större nytta av att lagra spillvärme för att ersätta bränslebaserad värme under övriga delar av året.

Därefter undersöks potentialen för energibesparing i miljonprogrammet och hur en omfattande energieffektivisering av dessa byggnader skulle påverka svensk fjärrvärmesektor. Miljonprogrammets andel av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem beräknas. Svenska flerbostadshus som byggdes under miljonprogramsåren 1965–1974 utgör i genomsnitt 15 % av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem. Av 253 system för vilken andelen har beräknats har endast 53 system mer än 20 % av sitt värmeunderlag i miljonprogram. Värmeunderlaget som utgörs av miljonprogramshus har relativt jämn storlek oavsett storlek på fjärrvärmesystem, vilket förklaras av att miljonprogrammet byggdes ut jämnt fördelat i hela Sveriges tätorter.

I projektet visas att det är möjligt att med hjälp av generella modeller baserade på de vanligaste hustyperna från miljonprogramsåren och statistik från energideklarationsregistret simulera den aggregerade energibalansen i det aktuella beståndet i en stad, i det här exemplet Uppsala. Dessa simuleringar och beräkningar för energieffektiviseringsåtgärder lämpliga för respektive typhus visar att det finns en betydande energibesparingspotential i miljonprogramsbeståndet. Installation av från-tilluftsvärmeväxling kombinerat med effektiviseringar av byggnadsskal ger potentiellt en halvering av värmebehovet i Uppsalas miljonprogramsbestånd.

Reduceringen av värmebehovet med åtgärder på byggnadsskal och återvinning av ventilationsvärme genom värmeväxling påverkar i absoluta tal huvudsakligen den kallare tiden på året då hetvattenpannor med dyra bränslen i relativt hög utsträckning används för att täcka lasttopparna. Fjärrvärmesystem som levereras under sommarmånaderna utgörs i Uppsala till stor del av värme från avfallsförbränning och att reducera värmebehovet under den perioden kan betraktas som primärenergimässigt tveksamt. Installation av frånluftsvärmepumpar ökar ojämnheten i värmelasten vilket inte är önskvärt för energibolagen då underlaget för baslastproduktion minskar. Dessa slutsatser stämmer väl överens med tidigare liknande studier.

Det kan konstateras att även om en halvering sker av värmebehovet i miljonprogramsbeståndet i ett fjärrvärmesystem innebär detta generellt en reduktion av det totala värmeunderlaget på som mest 10 %. Enligt tidigare forskning leder en minskning av värmeunderlaget i den storleksordningen

generellt till minskade globala utsläpp av koldioxid, med hänsyn tagen till att olika typer av värmeproduktionsanläggningar, värmeresurser och bränslen används i olika system. En halvering av värmebehovet i miljonprogramsbeståndet där främst behovet av rumsuppvärmning minskas ökar generellt resurseffektiviteten i fjärrvärmesystemen och minskar globala utsläpp av koldioxid.

Projektet hade även ett delmål som gick ut på att ta fram strategier för samverkan mellan fastighetsägare och energibolag för en omställning till 4GDH-system. Det är rimligt att utgå ifrån att en omställning till 4GDH förutsätter engagemang från flera olika aktörer. I Lund m fl (2014) förs en diskussion om vilka organisatoriska förändringar som krävs för en omställning från dagens 3GDH till 4GDH. Enligt författarna innebär detta omfattande investeringar på såväl användarsida som tillförselsida och att omfördelning av resurser och planering av energisystemutveckling kommer att bli nödvändigt. I ett annat projekt från 2017 utreds den svenska värmemarknaden och dess aktörers intressen. Det framkommer att det föreligger starka målkonflikter mellan aktörer inom värmesektorn och även inom koncerner när det gäller arbete och målsättningar för att nå ökad hållbarhet och resurseffektivitet.

Det konstateras i det här projektet att bristen på helhetsperspektiv och risken för suboptimering när det gäller energieffektiviseringar i fjärrvärmesystem har utretts ett flertal gånger de senaste decennierna. Under 2000-talet betonas vikten av frivillig samverkan och samarbete som lösning på det problemet. Tidigare analyser av begreppet samverkan och dess betydelse som verktyg för att nå samsyn och ett gemensamt systemperspektiv visar att det kan vara problematiskt. Samverkan definieras ofta olika av olika aktörer och kräver därför tydlig definition från fall till fall. Det finns en risk att samverkan används för att legitimera arbetet med ett komplicerat problem utan att någon större förändring eller lösning på rådande problem egentligen uppnås. Samverkan kan dock fungera för att hantera mindre intressekonflikter mellan energibolag och fastighetsägare genom att bygga kundrelationer och öka värmeanvändares förståelse och tillit till fjärrvärmesystemen och dess operatörer. Samverkan som enskilt verktyg för att styra en omställning från 3GDH till 4GDH är däremot mindre realistiskt.

En strategi för omställning från dagens 3GDH-system till 4GDH-system bör anpassas till värmeproduktionsförutsättningar i olika fjärrvärmesystem. Nivån på energibesparingar i miljonprogramsområden har ingen avgörande betydelse för fjärrvärmeproduktionen. I system med tillvaratagande av överskottsvärme från avfallsförbränning och industri är det rimligt att energieffektivisering av miljonprogramsområden görs för ett fortsatt högt restvärmeutnyttjande. Detta kan delvis göras genom att undvika direkt konvertering av förnybar el och framförallt solet till värme som konkurrerar med spillvärmeutnyttjandet. Det kan också göras genom säsongslagring av restvärme från sommar till vinter för att ersätta topplastproduktion. Det senare förutsätter att överkapacitet finns i avfallsmängder och förbränningskapacitet eller motsvarande om det gäller industriell spillvärme.

Fjärrvärmesystem som använder någon form av lagringsbart bränsle för värmeproduktion året runt kan bidra till att balansera kraftsystemet för att öka potentialen för förnybar elproduktion. Genom att konvertera överskottsel till värme för direkt användning eller lagring kan mängden el som tillförs elnätet

minskas under perioder med lågt elbehov och hög elproduktion. Detta kan ha såväl elnätstabiliserande effekter som vara ekonomiskt motiverat för solexproducerande fastighetsägare.

Vid omställning till 4GDH-system i miljonprogramsområden bör fokus inledningsvis vara att utgå ifrån redan befintliga sekundära distributionssystem och effektivisera dessa. Som exemplet i den här rapporten visar är inte enbart systemtemperaturerna avgörande utan inkopplingsprinciper med central varmvattenberedning skulle med fördel kunna ersättas med undercentraler i lägenheter för detta ändamål.

Samverkan som verktyg för att undvika suboptimerande energieffektiviseringsåtgärder i värmesektorn kan ha viss betydelse men räcker sannolikt inte för en omställning till 4GDH-system.

Summary

The aim of this project is to suggest a strategy for implementing fourth generation of district heating (4GDH) technology in Swedish district-heated residential areas built from 1965 until 1974, i.e. during the Million-homes programme. The age of these buildings means that they are in need of substantial refurbishment and this offers an opportunity to increase building energy efficiency. This could also be a start for a comprehensive transformation of the Swedish district heating sector into a resource efficient and mainly renewable energy system. The buildings from the million-homes programme are considered to hold a large potential for energy savings, and since most of them are district-heated this might concern district heating companies.

Within this project the central goals and challenges of the 4GDH-concept have been used as a framework for the energy efficiency measures and system solutions investigated. The 4GDH-components considered are lowered distribution temperatures, energy efficient buildings, and integration of renewable power generation and thermal energy systems. The 4GDH-definition used in this project has previously been presented in Lund et al (2014).

Initially, detailed energy balance simulations and calculations are made for a typical million-homes programme residential area built in 1972. Energy efficiency in buildings is studied along with the possibility to reduce heat distribution temperatures along with the reduced heat demand. Furthermore, a possible 4GDH-energy balance for the area is simulated with PV electricity production, an electric-vehicle car pool, energy efficient buildings, and large-scale heat storage to store heat converted from surplus electricity from the PV-systems. Furthermore, the possibility to store heat from waste incineration during summer to cover the annual heat demand of the area is investigated. In the final part of the analysis on the residential area level the primary energy savings of energy efficiency measures and 4GDH energy balances are calculated.

Thereafter the level of analysis is increased to include the city and the nation. Calculations are made for the share of district heating demands that consist of million-homes programme residences, and the heat saving potential for energy efficiency measures in all million-homes programme buildings in a Swedish city is calculated by simulating the energy balance of the million-homes programme building stock using four models for typical buildings.

In the final part of the report the analysis focuses on possibilities and barriers for cooperation among district heating companies and building owners for extensive energy efficiency transformation. This analysis is based on previously made investigations on energy efficiency in district-heated buildings. Conflicts of interest between the actors, the risk for energy system sub-optimisation, and suggested solutions to these problems in the investigations are central in the analysis.

Here follows a short summary of the main results and conclusions from the project.

Brf Gräslöken is a housing association that was built in 1972 and holds 77 residential buildings that contain 832 apartments. The area is a typical million-homes programme residential area with two-story buildings with exterior corridors. Brf Gräslöken is used as a case study in chapter 5 to investigate heat savings potential and possible 4GDH balances as described above.

The heat demand in brf Gräslöken can be halved by adding extra insulation, exchanging windows and doors, and by installing exhaust-air heat exchangers. In turn the maximum primary distribution temperatures for space heating can be reduced from 76 °C to 54 °C and the corresponding return temperatures can be reduced from 58 °C till 44 °C. The heat distribution system in the Gräslöken area has separate pipe networks for space heating and domestic hot water. The reduced temperatures for radiators mean that heat distribution losses can be reduced by about 13 % when the heat demand in buildings is reduced. The limited potential for reducing heat losses through reducing distribution temperatures is due to the large share of the losses that originates from the distribution network for domestic hot water. The domestic hot water distribution temperature is between 50 and 60 °C all year round and cannot be reduced significantly due to the potential growth of legionella bacteria. If domestic hot water would be prepared in each apartment instead of centrally within the area this would reduce the amount of hot water circulating in the area, which according to the calculations made here would reduce the distribution losses by 49 %.

With an electric vehicle car pool and exhaust air heat exchangers in the area the electricity demand would increase from 2.0 GWh to 4.7 GWh per year. And if the full potential of building rooftops were used for PV power production about 3.9 GWh of electricity could be produced annually within the area. Because of the mismatch between the electricity demand and PV-production the area would only be self-sufficient in terms of electricity to about 40% and there will occasionally be a significant surplus of PV-produced electricity. If this surplus of electricity would be converted to heat in an electric boiler and stored in a large thermal water storage this could potentially supply the demand for space heating and domestic hot water within the area from April to October. The annual demand for district heating would thereby be reduced from about 11 GWh to 4 GWh. District heating is still needed during the colder parts of the year. The storage volume needed would be 10 600 m³.

A heat storage could also be implemented to utilise available capacity in the waste incineration plants in the local district heating system to supply the total annual district heating demand in the area after improving the building energy efficiency. This would require a storage volume of 127 000 m³.

The primary energy savings due to energy efficiency measures in brf Gräslöken depend on the local heat production utilities. A large share of heat from waste incineration reduces the primary savings significantly, but electricity produced in CHP plants and how the assessment of used and produced electricity is made is also important. For systems with no CHP production and no heat from waste incineration, the primary energy savings are generally higher than the reduced final energy use.

The results from the brf Gräslöken case study show that it is possible to reduce distribution heat losses in an existing secondary heat distribution system in residential areas similar to Gräslöken. Distribution temperatures can be reduced with improved building energy efficiency but this has little impact on distribution losses in brf Gräslöken.

The largest potential to reduce distribution losses is through installation of apartment-based heat exchangers for domestic hot water preparation instead of the current central hot water preparation. Large-scale heat storages can be used to store surplus electricity from roof-integrated PV-systems or to increase the summer load in order to decrease the load in autumn, winter and spring. The primary energy savings of these system solutions however vary significantly depending on the heat production plants within the local district heating system. In a mainly fuel-based system all system solutions and energy efficiency improvements reduce the final energy use and the primary energy use to a similar extent. Energy efficiency measures that reduce the heat demand during summer would reduce the primary energy use to a smaller extent in systems with a large share waste incineration. Also, primary energy assessment of electricity use and production has a significant impact on primary energy savings.

For the city and national levels of analysis the potential energy savings in the million-homes programme buildings are calculated and the extent to which this would affect Swedish district heating systems is investigated. Million-homes programme multi-family residential buildings constitute 15 % of the district heating demand in Swedish district heating systems on average. Only in 53 of the 253 district heating systems included in the calculations does more than 20% of the heat demand come from million-homes programme buildings. So, the district heating load constituted by million-homes programme buildings is relatively equally distributed among the Swedish district heating systems.

The aggregated energy balance in the million-homes programme buildings in the city of Uppsala was simulated using four different building models. These four building models were defined to represent the main categories of building types built during the million-homes programme. The simulation results were scaled to represent the stock of buildings and validated using energy declarations data. Energy efficiency measures similar to those investigated for brf Gräslöken would, according to the simulations, decrease the demand for district heating potentially be half in the investigated stock. If exhaust-air heat pumps are installed and combined with improved building envelopes the demand for district heating could be reduced by 80%. This would however, also increase the demand for electricity significantly.

Energy saving measures in the million-homes programme can reduce the heat demand by half, and buildings built during the million-homes programme constitute on average 15% of the heat demand in Swedish district heating systems. This means that the heat demand reduction in Swedish district heating systems due to increased energy efficiency in the million-homes programme is generally less than 10%. A heat demand reduction of about 10% from improved building envelopes and installation of exhaust-air heat exchangers generally leads,

according to previous research, to reduced global emissions of CO₂ for most Swedish district heating systems.

This project also investigates cooperation as a strategy among house owners and district heating companies for transforming existing district heating systems into 4GDH-systems. A transformation to 4GDH probably requires investments and engagement from several different actors. Several investigations since the 1980's have concluded that there is a lack of a holistic perspective when increasing energy efficiency in district-heated buildings and that this might lead to sub-optimisations. In the 2000's voluntary cooperation have been repeatedly addressed as a solution to these problems. The concept of voluntary cooperation as a solution to problems with conflicting aims and goals has been studied previously and is complicated since the ideas and definitions of cooperation commonly vary between the actors. There is also a risk that the term cooperation is used to legitimise the work with a complicated problem without reaching a solution or significant change. There are however examples where cooperation in terms of dialog has been successful to solve occasional small conflicts of interest between heat suppliers and heat users. This has led to stronger relationships between suppliers and customers and an increased understanding and trust towards district heating. But to think cooperation alone will manage a transformation from today's 3GDH-systems to 4GDH is not realistic.

A strategy for transforming the current district heating systems into 4GDH-systems should be adapted to the varying heat production among district heating systems. The level of potential energy savings in million-homes programme residential areas is no threat to district heating companies. Energy efficiency measures in systems with waste incineration or industrial waste heat could preferably be chosen to maintain or increase waste heat utilisation. Efficiency measures that reduce waste heat utilisation have limited potential for saving primary energy. In district heating systems with mainly fuel-based heat production surplus electricity from renewable and non-dispatchable power production can be converted to heat and stored in large-scale heat storages. This could contribute significantly to the heat supply while saving fuel and efficiently reducing primary energy use.

On the residential area level existing heat distribution systems can be made more efficient. The case study in this report shows that the main potential for reducing heat losses in the studied residential area consists of installing apartment-based preparation of domestic hot water.

There is a risk that voluntary cooperation is insufficient to reach a holistic and common definition of resource efficient development among actors on the Swedish heat market. Therefore it should not be considered a solution to problems with sub-optimising energy efficiency measures in district heating systems or as a tool for managing a transformation to 4GDH.

Innehåll

1	Inledning	14
1.1	Syfte och frågeställningar	15
1.2	Disposition	15
2	Varför energieffektivisera?	17
2.1	Fjärde generationens fjärrvärme (4GDH)	18
2.2	Energieffektivisering av flerbostadshus	19
3	Miljonprogrammet	21
3.1	Miljonprogramshusen	23
3.2	Miljonprogramsområden	24
4	Fjärrvärme	26
4.1	Fjärrvärmeproduktion, distribution och användning	29
5	Ett miljonprogramsområde med 4GDH-lösningar	33
5.1	Brf Gräslöken	33
5.2	Brf Gräslökens värmebehov och energieffektiviseringspotential	34
5.3	Värmedistributionsförluster	38
5.4	Elanvändning	46
5.5	Solelpotential brf Gräslöken	49
5.6	Lagring av värme från överskottsel och avfallsvärme	52
5.6.1	Lagring av överskottsel från solceller	55
5.6.2	Lagring av värme från avfallsförbränning	58
5.7	Primärenergibesparing av effektiviseringsåtgärder	60
5.7.1	Simulering av fjärrvärmeproduktion	63
5.7.2	Resultat primärenergibesparing	65
5.8	Sammanfattning av Resultat brf Gräslöken	67
6	Miljonprogrammet - andel av värmeunderlag och simulering av bestånd på stadsnivå	69
6.1	Miljonprogramsbeståndets andel av svenskt fjärrvärmebehov	69
6.2	Kartläggning av och energieffektiviseringspotential i Uppsalas miljonprogramsbestånd	71
7	Samhälleliga förutsättningar för omställning till 4GDH	78
7.1	SuboptimeringsProblemetets natur och konsekvenser	80
7.2	Hantering av suboptimeringsproblemet	83
7.3	Sammanfattande analys	85
7.4	Samverkan som lösning på suboptimeringsproblemet?	88
8	Slutsatser	91
9	Referenser	95

1 Inledning

För att begränsa effekterna av den globala uppvärmningen behöver utsläppen av växthusgaser minska. Inom EU är effektivisering av energianvändning och minskad fossilbränslebaserad värme- och elproduktion centrala målsättningar. De åtgärder som krävs för att nå dessa mål kan i regel inte utföras utan att de i någon mån påverkar varandra. Det innebär att på det sätt som användningen av energi effektiviseras och förändras kommer att ha betydelse för hur värme och el produceras, distribueras och lagras. På samma sätt kommer den utbyggnad av förnybar och begränsat styrbar elproduktion från vind och sol som pågår i stora delar av världen också att påverka hur fjärrvärme och kraftvärme-el kommer att användas och produceras. Ytterligare en faktor som har betydelse är organiseringen av aktörerna inom energisektorn som påverkar incitamenten för förändring. Det är således nödvändigt att tillämpa holistiska perspektiv när energisystem ska utvecklas och transformeras för att bli effektiva och fossilfria.

Effektivisering av befintliga byggnader utgör en stor energibesparingspotential. Enligt EU-direktivet om byggnaders energiprestanda ska alla nya och renoverade byggnader vara av nära-noll-energi standard från och med 2021. De bostäder som byggdes i Sverige under det så kallade "Miljonprogrammet" 1965–1974 utgör en betydande del av det svenska bostadsbeståndet och står nu inför omfattande upprustningar. Detta torde således vara en del av bebyggelsen i Sverige som har goda förutsättningar att utgöra ett steg för en integrerad omställning av de svenska energisystemen. Det finns en politisk vilja att genomföra energieffektiviseringar. Den viljan kan stå i konflikt med enskilda incitament för fastighetsägare att genomföra energieffektiviseringsåtgärder. På samma sätt finns en friktion mellan tekniskt optimala lösningar på byggnadsnivå och bästa möjliga lösningar för energisystemet som helhet.

I begreppet fjärde generationens fjärrvärmesystem (4GDH) handlar fjärrvärmens roll i det framtida energisystemet i princip om två saker. Det första är sänkta distributionstemperaturer för att minska förluster och för att öka potentialen för tillvaratagande av till exempel spillvärme. Detta kräver energieffektiva byggnader som kan värmas med låga temperaturer. Men 4GDH-system kan också bli en balanserande komponent i kraftsystemet för att öka potentialen för förnybar elproduktion genom produktion och konsumtion av el för att hantera perioder med överskott och underskott på el.

Det finns flera sätt att vidta energieffektiviseringsåtgärder i byggnader. Värmeläckage genom klimatskal och ventilation kan begränsas och varmvattenanvändning samt elanvändning kan effektiviseras. Beroende på hur detta görs och i vilken omfattning det sker kommer det att ha betydelse för möjligheterna att optimera omställningen av energisystem på en övergripande nivå. För en sådan systemmässig helhetsutveckling krävs en samsyn och en koordination av energieffektivisering och tillförselomställning för att undvika tekniska inlåsningseffekter och suboptimerade delsystem.

Det är inte självklart att fjärrvärmesystem och energieffektivisering i byggnader kan eller vinner på att utvecklas i "samspel". Det är inte heller nödvändigtvis så att

omfattande energieffektiviseringar kommer att genomföras i stora delar av det svenska bostadsbeståndet. i alla fall inte för den egna sakens skull. Teoretiskt sett så är det tekniskt möjligt men i praktiken så finns det en rad faktorer, inte minst ekonomiska, som verkar ha betydelse för såväl i vilken omfattning energibesparande åtgärder kan genomföras i byggnadsbeståndet och i vilken omfattning detta kan göras i samarbete med fjärrvärmeleverantören.

I det här projektet utreds vilken generell betydelse det svenska miljonprogrambeståndet har för svenska fjärrvärmesystem i form av värmeunderlag och energieffektiviseringspotential. Potentialen för sänkning av distributionstemperaturer och integration av förnybar elproduktion i ett typiskt miljonprogramsområde med sekundärt distributionsnät studeras i detalj. Dessutom analyseras förutsättningar för samarbete mellan fastighetsägare och fjärrvärmeleverantörer. På så sätt analyseras de hinder och möjligheter som föreligger vid en integration av perspektiv och incitament för energieffektivisering hos värme- och elanvändare i byggnader samt energileverantörer.

1.1 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Det övergripande syftet med projektet är att undersöka betydelsen av miljonprogrambeståndet för den svenska fjärrvärmesektorn, samt att undersöka hur befintlig fjärrvärmedistribution kan utvecklas i riktning mot 4GDH i samband med energieffektivisering av flerbostadshusfastigheter i miljonprogramsområden. De huvudsakliga frågorna vi svarar på i den här rapporten är:

1. Vad är potentialen att minska värmebehovet och förlusterna i fjärrvärmedistributionen i ett typiskt miljonprogramsområde genom att sänka distributionstemperaturer befintlig infrastruktur och genom att effektivisera varmvattendistribution?
2. Hur ser möjliga framtida 4GDH-energibalanser ut i ett miljonprogramsområde med energieffektiviserade flerbostadshus och värmelager för lagring av värme från lokalt producerad sol eller spillvärme från avfallsförbränning?
3. Hur stor del av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem utgörs av flerbostadshus uppförda under miljonprogramsåren?
4. Hur ser energieffektiviseringspotentialen på stads- och områdesnivå ut för fjärrvärmeuppvärmda miljonprogramshus för olika energisparande åtgärder?
5. Finns samhällsstrukturrella förutsättningar för en omställning till 4GDH?

1.2 DISPOSITION

I det inledande kapitel 2 beskrivs den politiska viljan till energieffektivisering och de enskilda fastighetsägarnas incitament till energieffektivisering. Därmed problematiseras frågan om vem som vill energieffektivisera för att peka på spänningen mellan övergripande riktlinjer och lönsamhet i det lilla. I kapitel 3 definieras och beskrivs miljonprogrammet och dess omfattning i det svenska byggnadsbeståndet. I detta presenteras de vanligaste hustyperna som utgör en utgångspunkt för de följande analyserna. Avsnittet avslutas med en beskrivning av möjliga tekniska energieffektiviseringar.

Därefter ges i kapitel 4 en översikt av fjärrvärmens utbyggnad och olika produktionsteknologier som påverkar den principiella betydelsen av temperaturer för produktionssystemen som i sin tur påverkas av distributionen av fjärrvärme. Fjärrvärmeanvändarnas behov beskrivs utifrån de system som finns i olika byggnader. Energieffektiviseringar av byggnader kommer att leda till ett mindre värmeunderlag och ett sätt för att hantera detta inom fjärrvärmesystemen skulle kunna vara en övergång till 4GDH system med lägre förluster.

Bostadsrättsföreningen Gräslöken och dess 77 fastigheter och sammanlagt 832 lägenheter byggdes under tidigt 1970-tal och utgörs av låga loftgångshus. Gräslöken har många av de karakteristiska dragen som återfinns i vanliga miljonprogramsområden. Brf Gräslöken används som en fallstudie i kapitel 5 för att simulera tänkbara 4GDH-energiebalanser i ett miljonprogramsområde. Potentialen för energieffektiviseringar av byggnader och möjligheten att sänka värmedistributionsförluster utgående från dagens distributionsteknik beräknas. Dessutom simuleras värmelagring av överskott från takintegrerad solexproduktion och avfallsvärme. Avslutningsvis beräknas primärenergibesparingen av de olika åtgärder som undersökts för området.

I kapitel 6 beskrivs och analyseras miljonprogrammets andel av det svenska fjärrvärmeunderlaget. Med utgångspunkt i och kartläggning av miljonprogramsbeståndet i Uppsala beräknas energieffektiviseringspotentialen utifrån fyra identifierade hustyper. Olika energieffektiviseringsåtgärder modelleras för att beräkna förändring av värmeunderlaget. Slutligen genomförs en potentialstudie för takintegrerad solexproduktion i det svenska miljonprogramsbeståndet.

I kapitel 7 förs principiella resonemang kring samverkan mellan fastighetsägare och fjärrvärmebolag med utgångspunkt i organisering. Där svårigheterna kring denna samverkan diskuteras som bland annat lyfts i värmemarknadsutredningen.

Värmemarknadsutredningen och den stora statliga energieffektiviseringsutredningen 2008.

Kapitel 8 och 9 innehåller diskussion av arbetet och dess resultat samt en redogörelse för projektets slutsatser.

2 Varför energieffektivisera?

Den globala uppvärmningen och klimatfrågan har uppmärksamats i en rad rapporter från 1988 och framåt utgivna av FN's internationella panel för klimatförändring (IPCC). Detta har på EU-nivå lett till en rad bindande direktiv och mål för medlemsstaterna. Det kanske mest omfattande målpaketet lanserades 2008 och innebär att medlemsländerna till år 2020 skulle minska sin primärenergianvändning med 20 % jämfört med prognosticerade nivåer för 2020, minska utsläppen av CO₂ med 20 % jämfört med 1990 års nivå samt öka andelen energi från förnybara energikällor till 20 %. Dessa mål samlades under titeln "20-20-20"-paketet.

I EU's energieffektiviseringsdirektiv från 2012 finns riktlinjer som säger att varje medlemsland är skyldigt att utforma långsiktiga strategier för att minska energianvändningen i befintliga byggnader. 2010 lanserade EU även en ny version av 2002 års direktiv för byggnaders energiprestanda. I den nya versionen anges att från och med 31:a december 2020 ska alla nya byggnader i Europa vara av "nära noll-energi"-standard. I direktivet finns en skrivelse om att reglerna för nära noll-energi standard även ska innefatta befintliga byggnader som genomgår omfattande renoveringar. Vad nära noll innebär är upp till varje medlemsland att definiera. Boverket i Sverige presenterade i juni 2015 (på regeringens uppdrag) ett förslag på hur nära noll-energikonceptet ska implementeras i svensk bygglagstiftning. Förslaget innebär relativt kraftiga sänkningar i kravnivåerna för specifik energianvändning för framförallt flerbostadshus och lokaler. Inget förslag finns med i Boverkets rapport på hur konceptet ska implementeras när det gäller renovering av befintliga byggnader, det vill säga hur en omfattande renovering ska definieras (Boverket 2015).

Under 2017 ska ett nytt nationellt mål för energieffektivisering till 2030 tas fram och beslutas i Sveriges riksdag. Detta i enlighet med en ramöverenskommelse gällande energi mellan regeringspartierna, Moderaterna, Centerpartiet och Kristdemokraterna (ER 2016:27). I skrivande stund är det oklart exakt hur detta mål kommer att formuleras.

Mål för energieffektivisering och energibesparing motiveras alltså politiskt och av miljömässiga skäl. På den svenska regeringens hemsida står att läsa under rubriken "mål för energieffektivisering" att

"Att effektivisera användningen av energi är ett viktigt medel för att minska belastningen på klimat, miljö och hälsa."
(Sveriges regering 2016)

med tillägget

"Energieffektivisering kan även bidra till ökad konkurrenskraft för svenskt näringsliv och en tryggare energiförsörjning."
(Sveriges regering 2016)

Det är alltså i dagsläget huvudsakligen viktigt att minska energianvändningen för att till exempel minska utsläpp av växthusgaser och begränsa växthusgaseffekten och den globala temperaturökningen. Ökad konkurrenskraft för svenska företag eller rent energisäkerhetsmässiga för det svenska energisystemet omnämns som möjliga positiva följd effekter av energieffektivisering. Byggnadssektorn pekas ofta ut som en sektor med stor besparingspotential. Relativt stora besparingar kan genomföras utan att det påverka människors aktiviteter och energianvändningen i byggnader är inte mobil på samma sätt som inom transportsektorn vilket kan antas underlätta energieffektivisering.

Förutom övergripande politiska målsättningar för minskad energianvändning föreligger i viss utsträckning även ekonomiska incitament för fastighetsägare att minska sitt behov av energi. Det handlar om att minska driftskostnaden där en energisparande åtgärd får direkt effekt eftersom mindre energi behöver köpas in till fastigheten från en extern energileverantör. Det kan även vara så att en minskad energianvändning följer med som en indirekt effekt av åtgärder som primärt har andra syften. Exempel på det är åtgärder för fastighetsunderhåll och åtgärder för att höja komforten för de boende.

Energibesparingar i byggnader kan enkelt uttryckt genomföras av tre olika anledningar: politiska målsättningar, ekonomiska skäl och/eller som en bieffekt av åtgärder som egentligen har andra syften. Det är även rimligt att tänka sig att ett fjärde skäl till energieffektivisering skulle vara för fastighetsägaren att stärka det egna bolagets varumärke genom att profilera sig som mer hållbart eller energieffektivt i jämförelse med andra fastighetsbolag. Detta fjärde skäl till energieffektivisering skulle å andra sidan kunna ses som ett ytterligare ekonomiskt skäl med hänsyn tagen till ytterligare en värdeökning vid sidan av bara minskade driftskostnader.

2.1 FJÄRDE GENERATIONENS FJÄRRVÄRME (4GDH)

Begreppet fjärde generationens fjärrvärme eller 4GDH har använts inom fjärrvärmebranschen och i en del forskningsrapporter de senaste åren. 4GDH är en idé om vilken teknisk utveckling som kan behövas för att fjärrvärme ska möta förväntade utmaningar i framtidens energisystem. I Lund m fl (2014) presenteras konceptet och dess beståndsdelar. Lite förenklat kan två olika målsättningar med utvecklingen sägas vara del av 4GDH-definitionen. Den första är att minimera förlusterna i det termiska systemet genom energieffektivare byggnader, effektivare värmeavgivningssystem och lägre distributionsförluster. Det andra är att bidra till att öka potentialen för utbyggnad av intermitterant förnybar energi som till exempel sol och vind.

Centralt i ett 4GDH-system är låga framlednings- och returtemperaturer i distributionsnäten. Syftet med det är att minska distributionsförluster och öka möjligheterna för att kunna ta vara på spillvärme och solvärme vid låga temperaturer. Temperaturnivåer ner mot 50/20 °C anses vara realistiska. Genom uppgradering av distributionsnäten och därmed minskade värmeförluster förväntas lägre systemtemperaturer även bidra till att öka effektiviteten i kraftvärme, rök-gaskondensering och värmepumpar.

50-60°C krävs för att undvika tillväxt av legionellabakterier vid varmvattenberedning. Om inte varmvatten värms på annat sätt eller tillförs tillskottsvärme brukar detta anses vara en undre gräns för framledningstemperaturen i Sverige då det är reglerat i boverkets byggregler. Det finns dock en tysk standard där inga krav ställs på lägsta tappvarmvattentemperaturer under förutsättning att den maximala vattenvolym som kan bli stillastående i systemet och därmed riskerar att kallna inte får vara större än tre liter (Buderus Heiztechnik 2004).

Genom konvertering av överskottsel till värme i värmepumpar och elpannor, eller genom använda kraftvärme som reglerkraft, förväntas 4GDH-systemen bidra till en ökad utbyggnad av förnybar och intermitterent elproduktion. Enkelt uttryckt genom att fungera som en buffert mellan ostyrbar produktion och behov och för att minska belastning på eldistributionsnäten. På elanvändningssidan kan värmelager vara en möjlighet att ta vara på överskottsel när behovet av el är litet och den förnybara elproduktionen är stor. Därför anses utbyggnad av termisk lagringskapacitet ytterligare kunna bidra till ett energisystem med större andel förnybar energi.

Det finns ett antal exempel där 4GDH-teknik har implementerats främst när det gäller distributionstekniken. Det rör sig i regel om nybyggda bostadsområden. I Danmark har ett exempel av low temperature district heating (LTDH) byggts med temperaturnivåer på 50/25°C nätet är dimensionerat med höga tryckfall för att hålla ned ledningsdimensioner och värmeförluster (Lauenburg 2014??). Det har även gjorts försök med 35°C framledning kombinerat med värmepumpar för varmvatten genomförs i Danmark.

En ytterligare fördel med låga temperaturer är att det tillåter användandet av enklare material som till exempel pexrör som kan användas vid lägre temperaturer och tryck (90°C/ 6 bar) vilket förenklar byggandet av distributionssystemet.

2.2 ENERGIEFFEKTIVISERING AV FLERBOSTADSHUS

Det finns en stor teknisk potential för energieffektivisering i byggnader genom olika åtgärder som minskar värmeförluster genom byggnadens klimatskal. Det handlar om tilläggsisolering och tätning av väggar och tak eller byte av fönster och dörrar till nyare och energieffektivare alternativ. En annan viktig energibesparande åtgärd är att på olika sätt minska värmeförlusterna genom byggnaders ventilationssystem. Detta kan göras antingen genom att installera från-tilluftsvärmeväxling i ventilationen som utnyttjar den rumsvarma utgående luften till att förvärma den kallare inkommande luften, eller genom att installera en frånluftsvärmepump som lyfter värme ur den utgående luften för att värma varmvatten som kan användas till såväl rumsuppvärmning som tappvarmvattenberedning.

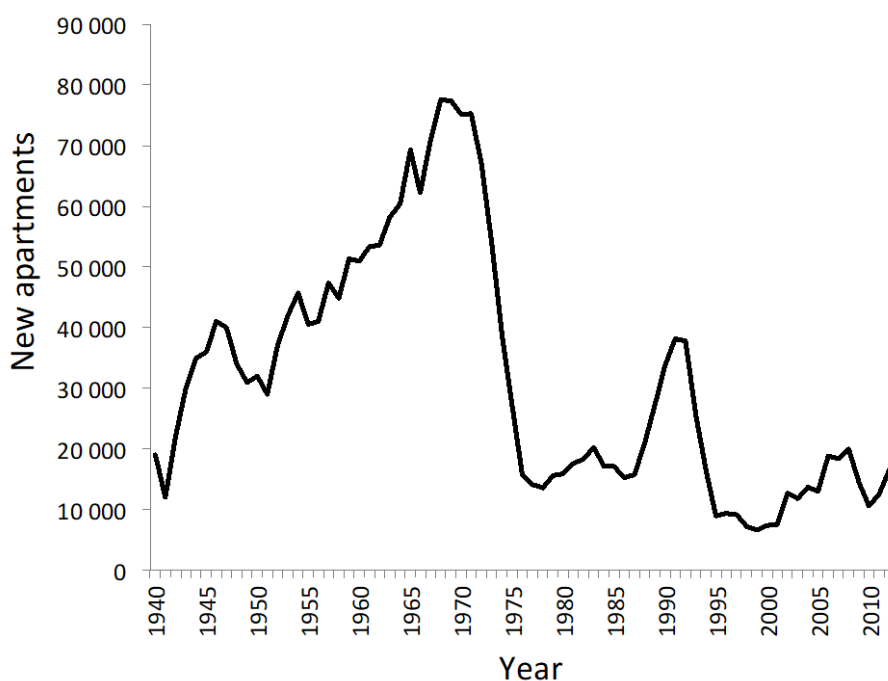
Energianvändningen i byggnader kan även minskas genom användarrelaterade förändringar som installation av snålspolande duschmunstycken och kranar eller att främja användande av energieffektiva hushållsapparater. Det kan också handla om att öka incitament för att duscha mindre, sänka inomhustemperatur eller att inte ventilera i onödan eller på ett energikrävande sätt.

I Janson (2010) beskrivs en omfattande energieffektiviserande renovering av ett flerbostadshus från miljonprogrammet i Brogården, Alingsås. Området var i stort behov av underhåll och renoveringen genomfördes under åren 2005 till 2010 inklusive planering och utvärdering. De åtgärder som genomfördes var i huvudsak tilläggsisolering av vind och fasad, installation av nya energieffektiva fönster och dörrar, dessutom bilades bottenplattan ur och isolerades inifrån. Köldbryggor i form av balkonggolv som tidigare var en del av stommen kapades och nya balkonger monterades utanpå fasaden. Frånluftsventilationen ersattes med från-tilluftsvärmeväxling och snålspolande armaturer installerades på alla tappställen för varmvatten. Energianvändningen i Brogården minskade med 75 % för rumsuppvärmning och med 61 % och för tappvarmvatten som följd av renoveringen. I Brogården gjordes ingen anpassning av distributionssystemet för fjärrvärme på området.

3 Miljonprogrammet

Perioden från 1950 till 1975 i Sverige omnämns i litteraturen ofta som "rekordåren" och var en tid präglad av hög tillväxt och stora investeringar på många områden. En betydande del av den befintliga bebyggelse vi har i Sverige idag byggdes under den här perioden. Urbaniseringen ledde till ett snabbt växande behov av bostäder i de större städerna samtidigt som nivån på den svenska bostadsstandarden låg långt under många andra europeiska länder. 1947 prognosticerade den bostadssociala utredningen att behovet av nya bostäder skulle bli stort framöver (Särnbratt 2006). Efterkrigstidens ökade välstånd ledde även till större krav på höjd bostadsstandard och mer bostadsutrymme. 1965 bodde 77 % av befolkningen i tätorter (Hall och Vidén 2005). Statlig reglering av hyresnivåer för stora lägenheter i befintliga byggnader gjorde att incitamenten att flytta var små. Resultatet var bostadsköer på upp till tio år. Många människor och hela familjer saknade ett eget hem.

För att slutligen göra upp med bostadsbristen och problemen med den bristfälliga bostadsstandarden beslutade Socialdemokraterna som satt i regering att anta en ambition om att bygga 100 000 nya bostäder per år mellan åren 1965 och 1974. Detta innebar en ökning av antalet bostäder motsvarande en tredjedel av det befintliga dåvarande bostadsbeståndet. Det är dock viktigt att komma ihåg att nybyggnadstakten innan miljonprogramsåren redan var hög (se Figur 1), om så inte hade varit fallet hade en ambition om att bygga 100 000 nya bostäder per år varit betydligt svårare att uppnå.



Figur 1. Antalet nya lägenheter i svenska flerbostadshus per år 1940-2012. Baserat på statistik från SCB 2012.

Ambitionen om 100 000 nya bostäder årligen fullföljdes och det byggdes 1 005 578 bostäder i Sverige under perioden 1965 till 1974 (Formas 2012; Boverket 2016a). Av dessa var omkring 650 000 (66 %) lägenheter i flerbostadshus (Hall och Vidén 2005). Dessa lägenheter finns jämnt fördelade över tätorter i hela landet med viss koncentration i storstadsområdena. I Stockholm, Göteborg och Malmö återfinns sammantaget en tredjedel av miljonprogrammets flerbostadshuslägenheter. Resterande två tredjedelar återfinns utspridda i landets tätorter (Naturskyddsföreningen 2013).

Drygt hälften av miljonprogramslägenheterna byggdes av kommunägda bostadsföretag. Den andra hälften delades mellan bostadsrättsföreningar och privata bostadsbolag, där de förra stod för drygt en fjärdedel av lägenheterna och de senare resterande knappa fjärdedel (Formas 2012). Idag förvaltas flerbostadshuslägenheterna från rekordåren till 46 % av allmännyttiga bostadsbolag, 28 % ägs av bostadsrättsföreningar och 26 % av privata fastighetsbolag (Naturskyddsföreningen 2013).

Utmärkande för miljonprogramsåren var generösa statliga lån till stora byggprojekt och storskaligt samt industrialiserat byggande. Lokala myndigheters möjligheter till att exploatera ny mark förbättrades. Miljonprogrammets flerbostadshus byggdes till stor del ut i områden som utgjorde tätorters periferi. Stor produktivitet, mekanisering, standardisering och prefabrikation präglade byggandet (Hall och Vidén 2005).

Redan innan programmet avslutats hade den tidigare bristen på bostäder ersatts av ett överskott. Miljonprogrammet markerade slutet på en längre period med stadigt ökat byggande av lägenhetshus. Med en ålder på mellan 40 och 50 år har den här kategorin av bostäder uppnått sin teoretiska tekniska livslängd och är således i behov av upprustning och modernisering. Det uppskattas att 650 000 av dessa bostäder ännu inte genomgått någon modernisering (Naturskyddsföreningen 2013). Omfattningen av en energistandardhöjning i rekordårens bostäder kommer således att ha betydelse för fjärrvärmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem.

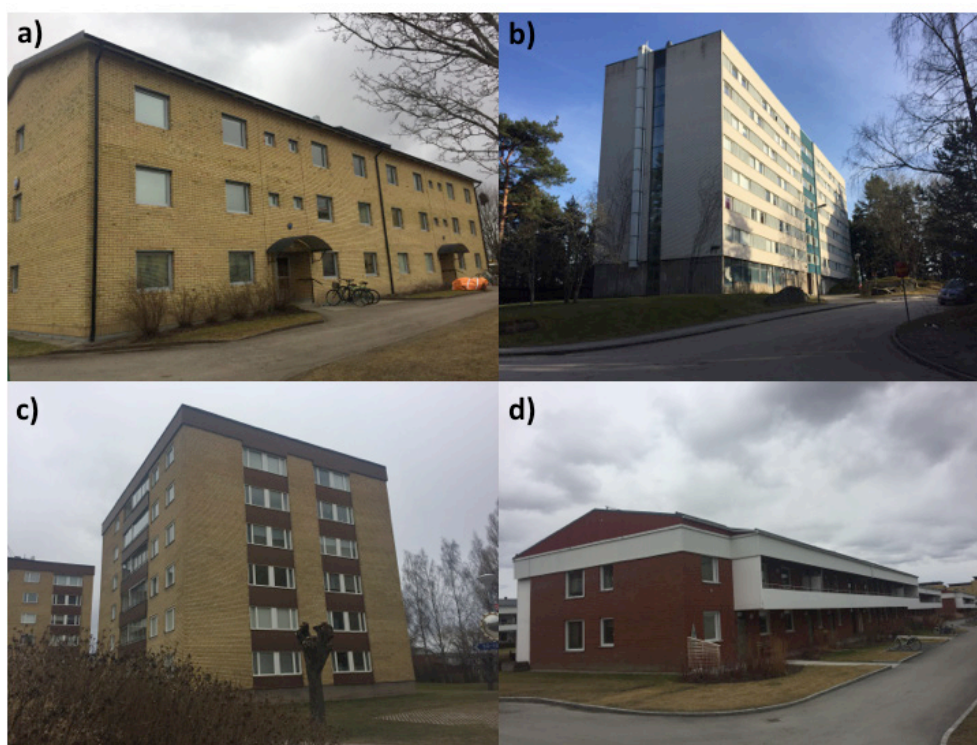
Det fanns 175 miljoner kvadratmeter byggnadsyta i svenska flerbostadshus år 2012. Det motsvarar 28 % av hela byggnadsbeståndet. Omkring 70 % av det svenska beståndet av flerbostadshus byggdes innan 1970. I genomsnitt används 144 kWh/m² år för varmvattenberedning och rumsuppvärmning i dessa byggnader och som redan nämnts så står fjärrvärmens för över 90 % av energitillförseln. Byggnader uppförda innan 1980 har en genomsnittlig energianvändning mellan 137 och 148 kWh/m² år medan energianvändningen för byggnader byggda efter 1980 ligger på strax över 120 kWh/m² år. Flerbostadshusen från miljonprogramsåren tillhör alltså delen av bostadsbeståndet med högre energianvändning (Energimyndigheten 2015).

Miljonprogrammet utgör alltså en stor andel av det svenska bostadsbeståndet som uppfördes under kort tid. Miljonprogramsområden är ofta stora med enhetlig bebyggelse vilket kan underlätta energieffektivisering i större skala. Dessutom gör beståndets ålder att det i dagsläget står inför omfattande upprustningar samt att beståndet tillhör en kategori byggnader med relativt hög energianvändning.

Således borde stort genomslag för energieffektiviseringar vara möjligt i miljonprogrambeståndet och dessa kan ha systempåverkande effekter för fjärrvärme.

3.1 MILJONPROGRAMSHUSEN

En vanlig missuppfattning är att miljonprogramshusen i huvudsak består av storskaliga, höga skivhus i betong. Istället utgörs omkring 65 % av flerbostadshusbebyggelsen från miljonprogramsåren av låga byggnader med en till fyra våningar (Särnbratt 2006, Formas 2012). Vidén redogör för de i huvudsak fyra typer av flerbostadshus som byggdes under miljonprogramsåren: *lamellhus*, *skivhus*, *punkthus* och *loftgångshus* (Formas 2012). Bildexempel för dessa hustyper visas i Figur 2 a-d.



Figur 2. Bildexempel på de vanligaste hustyperna från miljonprogramsåren. Lamellhus på Bixtgatan, Uppsala (a). Skivhus i studentbostadsområdet Flogsta i Uppsala (b). Punkthus längs Fyrislundsgatan, Uppsala (c). Loftgångshus på Gräslöksgatan i Uppsala (d). (Foto: Magnus Åberg)

Lamellhusen (figur 2 a) är den vanligaste hustypen och 65 % av miljonprogramslägenheterna finns i lamellhus. *Skivhus* (figur 2 b) är i princip lamellhus med skillnaden att de har fler än fyra våningar och står för 20 % av miljonprogramslägenheterna. Lamellhusen och skivhusen är i regel friliggande huslängor med minst två trappuppgångar och det är framförallt höjden som skiljer dem åt. Vanligtvis är fler än ett lamellhus byggt i samma område och husen ligger antingen parallellt eller vinkelrätt i förhållande till varandra (Björk m fl. 2002).

Knappt 10 % av miljonprogrammets lägenheter återfinns i *punkthus* som är generellt höga hus med fler än sex våningar. Punkthus finns dock utförda med allt mellan tre och sexton våningar. Gemensamt för punkthusen är att de i regel har en central trappuppgång som betjänar husets alla lägenheter (Formas 2012).

Loftgångshusen är de ovanligaste av typhusen från miljonprogramsåren. 5 % av miljonprogramslägenheterna finns i loftgångshus. Husen brukar ha mellan två och åtta våningar. Det karaktäristiska med husen är att lägenheterna nås utifrån via loftgångar längs husens långsida eller direkt från markplan. Loftgångarna nås via gemensamma trapphus antingen i huset eller på husets utsida.

3.2 MILJONPROGRAMSOMRÅDEN

Satsningen på stora byggprojekt och exploaterandet av tidigare obebyggd mark under miljonprogramsåren ledde till att många av flerbostadshusen byggdes i områden med flera likadana byggnader. Hälften av flerbostadshusen som byggdes ingick i projekt om minst tio huskroppar och inte mindre än 75 % av miljonprogrammets bostäder i flerbostadshus ingick i projekt med fler än 4 huskroppar.

Utformningen av bostadsområden under miljonprogramsåren influerades av det ökade antalet personbilar under rekordåren. Av säkerhetsskäl separerades biltrafiken från fotgängare och cyklister och detta var enligt Vidén (Formas 2012) en viktig ingrediens i planering av miljonprogramsområden. De nya bostadsområdena utformades i regel med bilfria innergårdar omgärdade av stora parkeringsytor och garagelängor. Detta ersatte det mer traditionella sättet att bygga hus längs med trafikerade gator och vägar (Formas 2012). Ett exempel på ett typiskt miljonprogramsområde är bostadsrättsföreningen HSB 53 Gräslöken i Uppsala som också används som fallstudie för simuleringar av olika energieffektiviseringsåtgärder i kapitel 6. Brf Gräslöken är också ett exempel på hur miljonprogramsbostäderna avskilts från de huvudsakliga trafiklederna. En flygbild över delar av brf Gräslöken visas i Figur 3. Till vänster i bilden syns även några av miljonprogrammets punkthus längs Fyrislundsgatan i Uppsala.



Figur 3. Flygbild över delar av bostadsrättsföreningen HSB Gräslöken i Uppsala och punkthusen på Fyrislundsgatan. (Foto: Lars Fälting)

4 Fjärrvärme

Fjärrvärme beskrivs vanligtvis som ett centraliserat system för uppvärmning av byggnader. En eller ett antal centrala värmeproduktionsenheter och ett distributionsnät bestående av isolerade rör i marken som försörjer ett stort antal byggnader med värme och varmvatten. Fördelarna med fjärrvärme som ofta lyfts fram är

- hög effektivitet i storskalig central värmeproduktion
- rökgasrening som gynnar närmiljön
- möjligheten att kombinera kraftproduktion, industriell produktion och avfallsförbränning med värmeproduktion
- möjligheten att elda så kallade svåra bränslen (skogsavfall, returträ, avfall, etc.)
- bekvämt för fastighetsägare att slippa egen anläggning

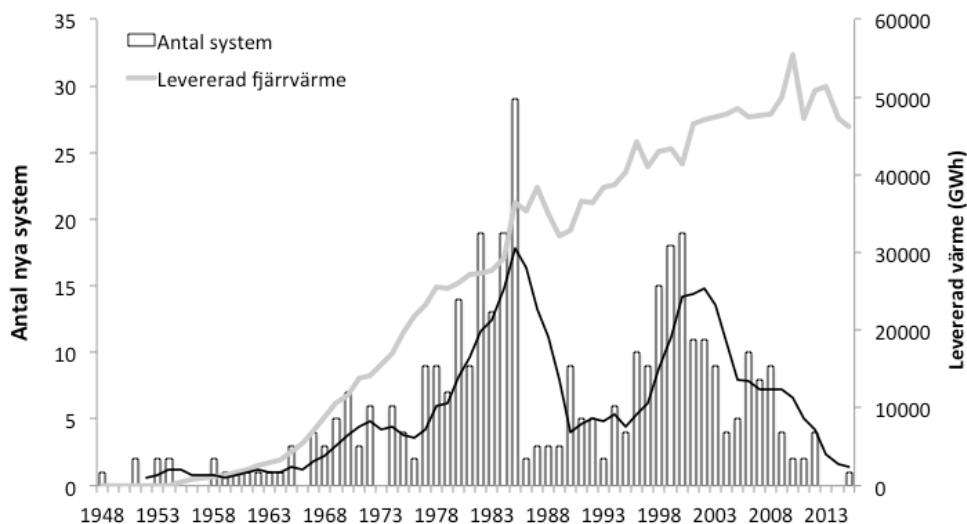
Fjärrvärmerna har även begränsningar i och med de relativt höga distributionsförluster som det innebär vid transport av varmt vatten. Det gör att fjärrvärmerna inte lämpar sig i glesbebyggda områden. Det blir helt enkelt för mycket förluster per enhet såld värme. Dessutom är fjärrvärmens användningsområden begränsade jämfört med till exempel el eller gas.

Det första fjärrvärmesystemet i Sverige som fortfarande finns kvar idag började byggas ut 1948 i Karlstad. Anledningen var att vattenkraften nära nog hade nått sin fulla utbyggnadspotential och lokal kommunal kraftvärme ansågs vara viktigt för att möta fortsatt ökat elbehov och för att minska det kommunala beroendet av statlig kraftproduktion (Kaiserfeldt 1999). Efter att det första systemet byggts ut följde flera större svenska städer Karlstads exempel. Under 1950- och 1960-talen var fjärrvärmerna främst betraktat som ett effektivt sätt att producera termisk elkraft eftersom kylsystemet bidrog till att värme upp bostäder.

Innan 1965 var fjärrvärme utbyggt i 15 svenska städer. Under miljonprogramsåren 1965–1974 etablerades ytterligare 34 nya fjärrvärmesystem.

Fjärrvärmeleveranserna ökade totalt i Sverige med sammanlagt 13.6 TWh under miljonprogramsåren, från 3.4 TWh 1964 till 16.9 TWh 1974. Det största antalet fjärrvärmesystem byggdes dock ut under perioden efter miljonprogramsåren 1975 till 1985. Under den här perioden byggdes inte fjärrvärmerna ut med kraftvärmeproduktion i någon större utsträckning. Detta förklaras ofta av att fjärrvärmerna byggdes ut primärt för att bryta Sveriges beroende av eldningsolja samtidigt som kärnkraftsutbyggnaden hade lett till ett elöverskott i Sverige och elpriserna var låga (Werner 1989). Utfasning av olja förklarar dock endast delvis det stora antalet nya fjärrvärmesystem som byggdes ut mellan 1975 och 1985. Med tanke på elöverskottet och de låga elpriserna i Sverige under den här perioden kan det tyckas som att en elektrifiering av uppvärmningen i flerbostadshus istället för utbyggnad av fjärrvärme, på samma sätt som skedde i småhus under perioden, hade varit ekonomiskt mer rationellt. Ett annat argument som kan förklara den stora utbyggnaden under 1980-talet återfinns i de statliga utredningarna som föregick densamma. Det handlade om en långsiktig investering i fjärrvärmeinfrastruktur som skulle vara en förutsättning för att kraftvärme-el

skulle kunna ersätta kärnkraften som förväntades fasas ut. Vilket hade beslutats efter kärnkraftsomröstningen 1980 (SOU 1980:9. Prop 1980/1981:90).



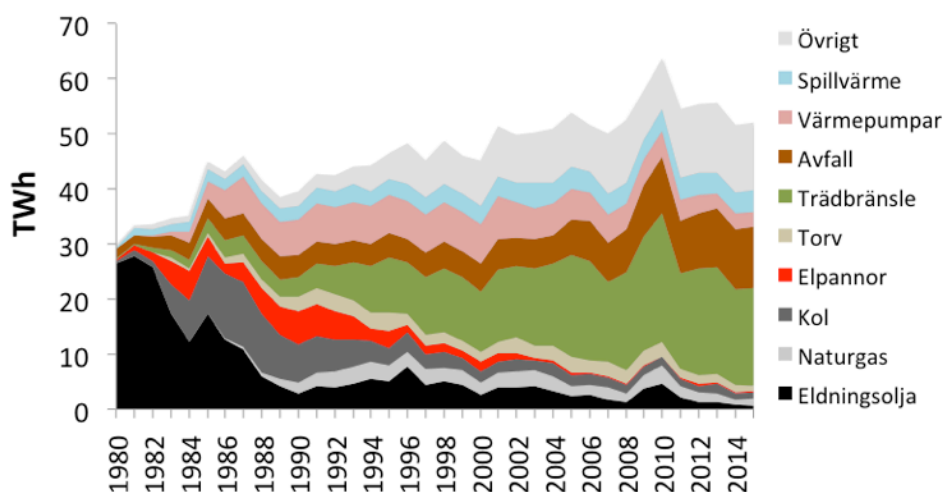
Figur 4. Antal etableringar av nya fjärrvärmesystem i Sverige per år från 1948 till 2015 (Åberg 2014) och total levererad fjärrvärme i svenska fjärrvärmesystem 1955 till 2015 (Svensk Fjärrvärme 2016b).

Staplarna i figur 4 visar etableringar per år för 380 av Sveriges omkring 500 fjärrvärmesystem. Den svarta linjen visar ett 5-års glidande medelvärde för antalet nya fjärrvärmesystem för att kompensera för viss osäkerhet i data. Den grå linjen visar total årlig leverans av fjärrvärme i Sverige 1955 till 2012. Bilden visar hur antalet nya system per år är litet mellan 1950 och 1970. Trots detta ökade mängden levererad värme under perioden kraftigt på grund av att det är i de stora städerna som fjärrvärme byggs ut först. Därefter sker den stora utbyggnaden av fjärrvärme från 1975 fram till 1985. I slutet på 1980-talet sjönk oljepriset och skulle förbli lågt ända fram till tidigt 2000-tal. Figur 5 visar hur oljeanvändningen i den svenska fjärrvärmesektorn hade minskat från 89 % 1980 till 7 % 1990 (Svensk Fjärrvärme 2016b).

Det byggdes inte lika många nya fjärrvärmesystem i slutet på 1980-talet som det hade gjorts under det föregående decenniet. De befintliga systemen byggdes således ut ytterligare under denna period eftersom leveranserna av fjärrvärme fortsatte att öka trots det låga antalet nya system. I slutet på 1990-talet ökar antalet nya fjärrvärmesystem igen och är relativt högt fram till ungefär 2010. Det är rimligt att dra slutsatsen att det handlar om relativt små system som etableras mellan 1990 och 2010 eftersom mängden levererad värme inte ökar i samma takt som under tidigare utbyggnadsperioder samt att de flesta någorlunda stora tätorter redan har byggt ut fjärrvärme i slutet av 1990.

Förklaringen till varför nya nyetableringar av fjärrvärmesystem sker efter 1990 torde vara att elförsörjningsfrågan återigen blir viktig i och med stängningen av kärnreaktor 1 i Barsebäcks 1999. Dessutom hade klimatfrågan vuxit fram under 1990-talet och med den strävan efter att fasa ut den sista oljan och ersätta fossil

energi med bland annat bioenergi. Skillnaden mot tidigare var att den potentiella kraftvärme-elen inte var målet med utbyggnaden av nya fjärrvärmesystem utan att det minskade elbehovet eller i alla fall inte ökade elbehovet när el- och oljevärme skulle ersättas. Detta kan således förklara att antalet nya fjärrvärmesystem blir fler igen i slutet av 1990-talet och beskrivs tydligt i en proposition till riksdagen 1997 (Prop 1996/1997: 84). Att många av de senast etablerade systemen är små stöds av att det trots ett högt antal nya system endast sker en begränsad ökning av de totala värmeleveranserna. Mellan 1990 och 2015 ökade andelen trädbränslen i den tillförda energin i svenska fjärrvärmesystem från 3,5 % till 34 % (figur 5). Därtill har andelen avfall, spillvärme, returträflis samt värme från rökgaskondensering ökat och stod 2015 för sammanlagt ungefär 46 % (Svensk Fjärrvärme 2016). Av stor betydelse har LIP (lokala investeringsprogram) och KLIMP (klimatinvesteringsprogrammen) varit för de ytterligare fjärrvärmeetableringarna från sent 1990-tal och framåt.



Figur 5. Tillförd energi till den svenska fjärrvärmesektorn 1980 fram till 2015 (Svensk fjärrvärme 2016b)

Den svenska fjärrvärmesektorn har alltså byggts ut under de senaste 70 åren i en omvärld som under tiden har förändrats. Fjärrvärmesektorn har i viss utsträckning förändrats med sin omgivning och fungerat som ett verktyg för att svara på större samhällsutmaningar, som utfasningen av olja under 1980-talet.

Utbyggnadshistorien tillsammans med lokala förutsättningar har också lett till att det är stor skillnad på fjärrvärme och fjärrvärme i Sverige när det gäller produktionsanläggningar och insatta bränslen eller resurser. I Åberg (2014) delas den svenska fjärrvärmesektorn in i fyra olika typiska fjärrvärmesystem baserade på huvudsaklig baslastproduktion. Indelningen har gjorts baserad på statistik för bränsleanvändning och el-/värmeproduktion från 2011. Ett stort antal mindre fjärrvärmesystem som står för sammanlagt knappt 30 % av de årliga värmeleveranserna har producerar i huvudsak värme i hetvattenanläggningar som eldas med någon form av biomassa. Dessa system har vanligtvis ingen avfallsförbränning och ingen kraftvärmeproduktion. 44 % av värmeleveranserna

sker i system med närmare hälften av värmeproduktion i bioeldad kraftvärme och 20 % i system med huvudsakligen avfallskraftvärme. En mindre del (10 %) av värmeleveranserna sker i system med i huvudsak fossileldad kraftvärme och värme från avfallsförbränning utan kraftvärme.

Detta innebär att systemeffekterna avseende primär energi eller utsläpp av växthusgaser för energibesparande åtgärder i fjärrvärmeuppvärmda byggnader varierar i stor utsträckning mellan olika fjärrvärmesystem. Vad som kan betraktas som en bra åtgärd i system med i stort sett enbart bränslebaserad värmeproduktion kan i ett system med stor andel kraftvärme i avfallsförbränningsanläggningar eller spillvärme från industrier anses vara systemmässigt kontraproduktivt. Det är därför rimligt att tänka sig att en omställning till 4GDH-teknik skulle kunna se olika ut i olika system.

4.1 FJÄRRVÄRMEPRODUKTION, DISTRIBUTION OCH ANVÄNDNING

Här beskrivs översiktligt hur tekniker för produktion, distribution och användning av fjärrvärme beror av distributionstemperaturnivåer eftersom detta är centralt i 4GDH-definitionen. Fjärrvärmeproduktionsanläggningar producerar antingen enbart värme med hjälp av någon form av bränsle- eller el det vill säga med en panna eller en värmepump som värmer vatten till önskad temperatur. Alternativt produceras värmen ur någon form av process som även har ett annat syfte, till exempel avfallsförbränning, termisk kraftproduktion eller industriell spillvärme. På platser med hög vulkanisk aktivitet som till exempel Island finns även möjligheten att få värme vid hög temperatur direkt ur marken. Vid användning av bränslen med en hög fukthalt (avfall eller vissa biobränslen) kan även extra värme utvinnas ur vattenånga i rökgaserna.

Ur ett produktionsperspektiv är låga returtemperaturer (T_{retur}) generellt önskvärda. I kraftvärme där kondensering sker i flera steg har en låg T_{retur} betydelse och bidrar till ökat elutbyte. Vid rökgaskondensering innebär en låg T_{retur} att mer energi kan utvinnas ur rökgaserna och sedan överföras till fjärrvärmenätet. Om flera värmepumpar kopplas i serie eller om en enskild värmepump arbetar i "botten" av ett varaktighetsdiagram är även T_{retur} av stor betydelse. Returtemperaturen avgörs av kundanläggningarnas förmåga att kyla fjärrvärmevattnet, kundbehovet av framledningstemperaturen samt distributionsnätets överföringskapacitet.

I kraftvärmeverk ökar en låg T_{fram} andelen producerad el i förhållande till producerad värme. I enskilda värmepumpar som producerar slutlig fjärrvärmetemperatur ger lägre T_{fram} en ökad värmefaktor på grund av att en lägre kondenseringstemperatur erhålls.

I en bränsle- eller elbaserad hetvattenpanna har T_{retur} och T_{fram} ingen nämnvärd påverkan på pannans verkningsgrad och därmed inte heller på bränslekostnaderna.

Elpannan kan producera hög temperatur och returtemperaturen in till elpannan kan anpassas. Stora avbrytbara elpannor 10-30 MW var vanliga i produktionsanläggningar på 1980 och 1990-talen. Många elpannor har legat i

”malpåse” men skulle kunna komma till användning vid låga elpriser. Elpannor kräver minimal tillsyn till skillnad mot fastbränslepannor.

När det gäller tillvaratagande av spillvärme från exempelvis industri är både T_{fram} och T_{retur} viktiga. Om spillvärmekällans temperatur har en viss temperatur så måste givetvis T_{retur} vara lägre för att någon värmeutvinning skall kunna ske. Om spillvärmekällans temperatur är tillräckligt hög så kan spillvärmens direkt tillgodogöras till framledningen.

Distributionstemperaturerna varierar i stor utsträckning mellan olika fjärrvärmesystem. Det beror delvis på systemets värmeproduktion som beskrivits ovan. Men det beror även på distributionsnätet, fjärrvärmeanvändarnas värmecentraler och byggnadernas interna värmeavgivningssystem. Små rördimensioner kan till exempel kompenseras med högre temperaturer för att önskad effekt ska kunna levereras. Stora förluster i distributionsnätet kan också bidra till ett behov av höga framledningstemperaturer för att tillräcklig temperatur ska nå perifera användare i nätet (Frederiksen och Werner 2013). Det förekommer också att vissa specifika användare har särskilda temperaturkrav för sin användning som till exempel absorptionskylmaskiner och industriella processer som utgör lägsta nivå för framledningstemperaturen.

Returtemperaturnivån i fjärrvärmesystemet beror på avkylningen hos respektive användare. Enkelt uttryckt kan det sägas att returtemperaturen blir den den blir. Det är alltså betydligt svårare att kontrollera returtemperaturnivån än framledningstemperaturnivån. Returtemperaturen höjs generellt av kortslutningar mellan framledning och returledning samt felaktigheter i undercentraler och byggnaders interna värmesystem. I genomsnitt har svenska fjärrvärmesystem en årlig framledningsmedeltemperatur på 86 °C och en returtemperatur på 47 °C. Men det finns system med framledningstemperaturer upp och över 110 °C och system med returledningstemperaturer mellan 60-70 °C (Frederiksen och Werner 2013).

Typ av undercentral eller användarcentral och inkopplingsprincip för fjärrvärmeanvändare varierar i stor utsträckning såväl mellan länder, mellan system och inom system. En vanlig variant i Sverige är att ha separata värmeväxlare och värmesystem för tappvarmvatten och radiatorer. I fallstudien i kapitel 5 finns en variant av sådan inkoppling i en så kallad områdescentral. Det innebär att fjärrvärmens temperatur och tryck sänks i värmeväxlare centralt i ett bostadsområde och att värmen sedan distribueras ut lokalt i ett så kallat sekundärt fjärrvärmenät till de anslutna byggnaderna. Detta gör att förutsättningarna för att effektivisera distributionen genom att sänka temperaturer lokalt är goda. Det är heller inte ovanligt att den typen av inkoppling gjordes i just miljonprogramsområden där det tidigare funnits en områdescentral med en oljepanna som försörjde området med värme.

Nivån för vad som är acceptabla distributionsförluster i ett fjärrvärmenät beror bland annat på produktionskostnader och värmeintäkter och varierar därmed från system till system. Den genomsnittliga linjetätheten (såld värme per meter rör) i ett svenskt fjärrvärmesystem är mellan 2.8 och 4.2 MWh per meter. Ett område med gles bebyggelse har en linjetäthet mellan 0.6 och 1.4 MWh per meter medan

linjetätheten för tätbebyggda områden kan vara mellan 14 och 19 MWh per meter. Årliga distributionsförluster för fjärrvärme kan variera mellan 5 % och 35 % beroende på linjetäthet, rörisolering, rördimensioner och systemets distributionstemperatur. I svenska fjärrvärmesystem är de årliga distributionsförlusterna vanligtvis mellan 8-15% (Frederiksen och Werner 2013).

Många värmeverk har ackumulatortankar för att dygnsutjämna värmelasten. I en öppen ackumulator är den maximala lagringstemperaturen 95-98 °C. Under låglastperioder då till exempel en värmepump eller en kraftvärmeanläggning täcker hela produktionsbehovet laddas ackumulatorn vanligtvis med samma temperatur som T_{fram} exempelvis 70-80 °C. Ackumulatorns lagringskapacitet bestäms av den fysiska volymen och skillnaden mellan temperaturerna i topp och botten. En låg botten temperatur är således gynnsam.

Det finns olika tekniker för säsongslagring av värme, det vill säga lagring av värme upp till ett halvår i bergrum, groplager, borrhålssystem eller naturliga akvifärer. Under 1980-talet bedrevs omfattande forskning i syfte att lagra solvärme från sommar till vinter på olika ställen i Sverige. Bergrum, groplager och akvifärer bygger på att lagring sker med vatten som lagringsämne. I borrhålslager värms istället marken eller berggrunden upp. Ett groplager för lagring av värme konverterat från överskottsol från solceller är inkluderat i energibalansberäkningar för fallstudien i kapitel 5. Till skillnad från ett bergrumslager så tätas groplager i regel och isoleras. Gropen täcks med ett isolerat lock för att begränsa värmeförluster. Det finns begränsningar för hur höga lagringstemperaturer som kan användas kopplat till tätningsmaterialet i lagren. Under 1980-talet var 70 °C betraktat som maxtemperatur för tätade groplager men därefter har ny material testats som skulle kunna tillåta så höga temperaturer som 90 °C (Zinko och Gebremedhin 2008).

Som nämnts ovan beror temperaturnivåerna i distributionsnät även på värmeavgivningssystem hos värmeanvändarna och på vilken typ av energitjänst den distribuerade värmen utför. Vissa äldre byggnader kan ha värmeavgivningssystem som kräver 80/60 °C (framledningstemperatur/returtemperatur). Det är dock oklart i vilken omfattning dessa system finns kvar idag. System med temperaturnivåerna 70/50 °C är vanliga i befintligt byggnadsbestånd. Radiatorsystem i nyare byggnader har i regel temperaturnivåer runt 60/40 °C eller 55/30 °C. Temperaturer i system som är dimensionerade för låga flöden är runt 55/25 °C men kräver dock i regel en större radiatoryta för att avge tillräckligt med värme.

I nyare byggnader förekommer även ventilationsbaserade värmedistributionsystem, det innebär att fjärrvärme används för att värma ventilationsluften. Dessa system har temperaturnivåer runt 60/30 °C eller 55/30 °C. Vattenburen golvvärme är ytterligare ett möjligt alternativ till traditionella radiatorer. Normalt kräver det en framledningstemperatur på 28 °C även om det i vissa fall är så lågt som 25 °C (lågenergihus) och ibland uppåt 30 °C till exempel för komfortvärme i badrum. Returtemperaturen från golvvärmsystem är i regel 3 °C lägre än rådande rumstemperatur. Golvvärme har dock kritiserats för dess tröghet vad gäller reglering samt för värmeläckage genom grunder eller undervåningar.

När det gäller tappvarmvatten så finns det i enlighet med Boverkets byggregler krav på att temperaturen på vattnet i cirkulerande ledningar inte får understiga 50 °C (BBR 6:622). Detta gäller i Sverige idag och syftar till att undvika tillväxt av legionellabakterier.

Returtemperaturen från tappvarmvattenväxling är normalt omkring 25 °C. Returtemperaturen i system med varmvattencirkulation (VVC) och/eller förrådsberedare kan vara betydligt högre (upp mot ca 55°C) vid låg förbrukning av tappvarmvatten. I dessa fall är den uttagna effekten och fjärrvärmeflödet lågt. Lokal beredning av tappvarmvatten (till exempel i varje lägenhet) minskar behovet av VVC och därmed skulle onödiga förluster från VVC-systemet kunna undvikas.

Möjligheterna att använda fjärrvärme istället för el som uppvärmning i framförallt torktumlare, tvättmaskiner och diskmaskiner. Även absorptionsdrivna kylskåp har studerats men den tekniken är ännu långt från marknaden. Disk-, tvätt- och olika typer av torkmaskiner (torktumlare och torkskåp) kräver en framledningstemperatur omkring 50-60°C och när det gäller disk och tvätt eftersträvas en liten vattenförbrukning. Dessa låga vattenflöden gör att värme inte enbart kan tillsättas direkt i kallvattnet utan måste värmas indirekt i maskinen för att nå största möjliga energiutbyte från värmesystemet. Om inte indirekt uppvärmning används kan maximalt ca 60 % av värmen som åtgår tas ut från värmesystemet.

Absorptionskylmaskiner finns idag i många fjärrvärmesystem. I synnerhet i system med avfallsförbränning. Eftersom absorptionskylmaskinerna främst används under sommarperioden är det T_{fram} under denna period som är av intresse. Kommersiella absorptionskylmaskiner är gjorda för framledningstemperaturer mellan 100-120 °C men kan också drivas på lägre temperaturer men med en reducerad effekt. I Linköping dimensionerar man sina absorptionskylmaskiner för T_{fram} 88 °C och T_{retur} 72 °C. Vid en given kyleffekt (och andra givna randvillkor) får man vid T_{fram} 88 °C välja en större och dyrare maskinstorlek jämfört med om man hade haft tillgång till en högre temperatur på värmekällan. I Linköping har T_{fram} under sommaren höjts till ca 90 °C

5 Ett miljonprogramsområde med 4GDH-lösningar

I det här kapitlet presenteras resultaten från simuleringar av energieffektiviseringar och värmelagring i ett miljonprogramsområde i Uppsala. Befintliga byggnader och befintlig infrastruktur har fått utgöra grunden för en analys av en potentiell framtida energibalans där ett antal av de centrala komponenterna i 4GDH-konceptet finns representerade. Potentialer för energieffektivisering av byggnader, minskade värmedistributionsförluster, solexproduktion samt värmelagring matchas mot ett förändrat och effektiviserat behov av el i området. Poängen är att utvärdera en möjlig tillämpning av 4GDH-konceptet på ett befintligt miljonprogramsområde. Simuleringarna är indelade i fem kategorier

1. Värmebehov och energieffektiviseringspotential i byggnader (sektion 5.2)
2. Värmedistribution och potential för minskade distributionsförluster (sektion 5.3)
3. Elanvändning för hushållsel och elbilspool (sektion 5.4)
4. Potential för solexproduktion (sektion 5.5)
5. Lokal termisk lagring av överskottsel och avfallsvärme (sektion 5.6)

Kapitlet inleds med en beskrivning av fallstudieobjektet bostadsrättsföreningen Gräslöken i Uppsala (sektion 5.1) och avslutas med en sammanfattning av resultaten (sektion 5.7).

5.1 BRF GRÄSLÖKEN

Bostadsrättsföreningen HSB 53 brf Gräslöken är en förening med 77 fastigheter och sammanlagt 832 lägenheter i olika storlekar. Området byggdes mellan 1970 och 1972 och är därmed en del av den svenska miljonprogramsbebyggelsen. Bostadshuset (se figur 6) är av loftgångstyp i två våningar med 10 eller 12 lägenheter per fastighet. 1992 byttes fastigheternas platta tak ut mot sadeltak och 2005 tilläggsisolerades vindarna med lösull vilket ledde till en besparing på 9 % av värmeanvändningen (Svenska Termoträ AB 2006).



Figur 6. Loftgångshus i brf Gräslöken. Bild från studiebesök under 2016 till vänster och originalritning av fasaden till höger.

Bostäderna i brf Gräslöken värms upp med fjärrvärme via ett sekundärt fjärrvärmesystem som ägs och förvaltas av bostadsrättsföreningen. Totalt fem undercentraler för fjärrvärme försörjer området med värme för uppvärmning och varmvatten, tre huvudcentraler är anslutna till Vattenfall värme i Uppsalas fjärrvärmesystem och två är sekundära undercentraler. Nätet har separata framledningsledningar för radiatorvärme och varmvatten. Dessutom finns en VVC-slinga för varmvattencirkulation för att minska framledningstiden för varmvatten till tappställe. Under 2016 har kulvertsystemet bytts ut i föreningen efter att stora och kostsamma läckor uppstått under 2010 och 2011.

Brf Gräslöken används som ett exemplifierande fallstudie i det här projektet. Föreningens många och enhetligt utformade bostadsfastigheter samt det egna sekundära distributionsnätet gör det lämpligt för en analys av hur värmeanvändning och fjärrvärmedistribution kan energieffektiviseras gemensamt. Gräslöken är på många sätt typiskt för ett svenskt miljonprogramsområde med tanke på det stora antalet lägenheter, den enhetliga bebyggelsen och planeringen av området som är tydligt avskilt från större trafikleder och med inramade grönytor (se figur 3).

Det faktum att värmedistributionsystemet nyligen ersatts underlättade arbetet med att få tillgång till detaljerad data över distributionsnätets dimensioner och mängder från Ramböll och Bravida. Byggnadsritningar från Lantmäteriet varit tillgängliga och driftdata för fjärrvärmedistributionen inom Gräslöken har tillhandahållits av fastighetsförvaltaren Boservice. Avkylningsdata på fjärrvärmesidan för de tre undercentraler som är anslutna till Uppsalas fjärrvärmenät har tillhandahållits av Vattenfall.

Området Gräslöken har som sagt fått utgöra grunden för beräkningar och simuleringar. I nästa sektion beskrivs hur de befintliga byggnaderna modelleras och potentialen för tilläggsisolering och installation av från-tilluftsvärmeväxling beräknas. Därefter presenteras resultat från distributionsförlustberäkningar före och efter effektivisering. Avslutningsvis presenteras beräkningar för en möjlig framtida 4GDH-energibalans i brf Gräslöken där lokal elproduktion, elanvändning och värmelagring ingår.

5.2 BRF GRÄSLÖKENS VÄRMEBEHOV OCH ENERGIEFFEKTIVISERINGSPOTENTIAL

För att simulera energibalansen i brf Gräslökens byggnader används den kommersiella programvaran VIP Energy (StruSoft 2016). VIP-Energy är ett dynamiskt energibalanssimuleringsprogram för byggnader som har validerats i enlighet med ASHRAE 140-2007 och EN 15265-2007. VIP-Energy beräknar energibalansen i en byggnad utifrån timvisa meteorologiska data för solinstrålning och temperatur, materiella egenskaper i byggnadsskalets komponenter, och olika driftfall. I VIP-Energy kan olika system för värmeåtervinning i exempelvis ventilationsluft simuleras.

Bostadshuset i brf Gräslöken utgörs i huvudsak av två olika varianter av liknande loftgångshus. en längre variant som har A_{temp} 1019 m² och en kortare som har A_{temp} 900 m² vilket uppskattades från byggnadsritningar. I VIP Energy simulerades de

större husen i området som har 12 lägenheter. Se tabeller 1 och 2 för modellspecifikationer. För att skala upp beräkningarna till hela området så antas hälften av byggnaderna vara orienterade med loftgång mot nordöst och hälften med loftgång mot sydväst. Den specifika energianvändningen per kvadratmeter A_{temp} antas vara lika för de större och de mindre husen. Variation i orientering av de mindre byggnaderna bör påverka resultaten marginellt och kan därmed bortses ifrån. Byggnaderna har frånluftventilationssystem utan återvinning och den ventilerade luftvolymen är 2553 m³. Luftomsättningen antas vara 0.35 l/s, m². Antalet stora (42 st) och små (35 st) byggnader användes tillsammans med A_{temp} och den specifika energianvändningen för att beräkna det totala värme- och fastighetselbehovet.

Övriga driftdata för simuleringarna baseras på Svebys standardiserade brukarindata (Sveby 2012). Inomhustemperaturen antas vara lägst 22 grader °C (passiv kyla över 27 grader °C). Intern tillskottsvärme från personer är 2.13 W/m². Tappvarmvattenanvändning är i beräkningarna konstant 2.85 W/m². Verksamhetsenergin i värmebehovssimuleringarna är 2.4 W/m².

Tabell 1. Material, mängder och dimensioner för fasadelement angivna i simuleringsmodell för energibalansberäkningar.

Fasad-element	konstruktion	Dimensioner (m)	antal	total area (m ²)	Orientering
<i>vägg - långsida</i>	fasadtegel (0.08 m) mineralull 40 (0.120 m) gipsskiva (0.013 m)	längd: 45.9 höjd: 5.02	-	-	-
<i>vägg - kortsida</i>	fasadtegel (0.08 m) mineralull 40 (0.100 m) betong normal RH (0.160 m)	längd: 11.1 höjd: 5.02	-	-	-
<i>fönster – typ 1</i>	-	1.11 x 1.58	24	42	sydväst/ nordost*
<i>fönster – typ 2</i>	-	1.4 x 1.26	8	14	sydväst/ nordost*
<i>fönster – typ 3</i>	-	1.11 x 1.58	10	17.6	nordost/ sydväst*
<i>fönster – typ 4</i>	-	1.4 x 1.26	10	17.5	nordost/ sydväst*
<i>fönster – typ 5</i>	-	1.11 x 1.58	2	3.5	sydost/ nordväst*
<i>fönster – typ 6</i>	-	1.4 x 1.26	2	3.5	sydost/ nordväst*
<i>Golv</i>	Betong normal RH (0.3 m)	11.1 x 45.9	-	-	-
<i>Tak</i>	Trä gran (0.020 m) lössprutad ull (0.400 m) betong normal RH (0.200 m)	11.1 x 45.9	-	-	-

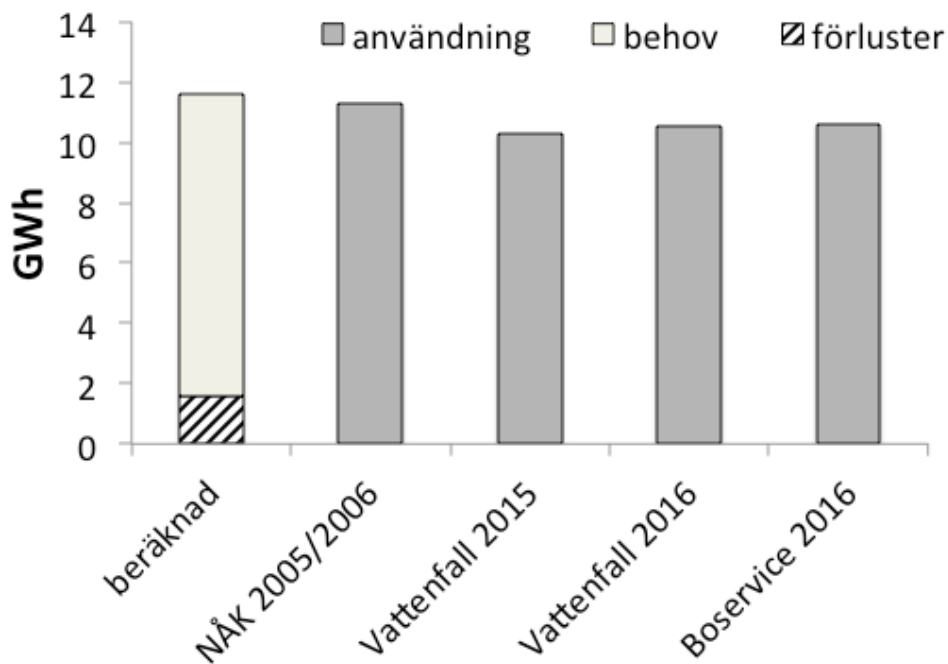
* Beroende av hur huset är orienterat (loftgång mot nordost/loftgång mot sydväst)

Tabell 2. Faktorer som beskriver fasadelementens termiska egenskaper

	isolertjocklek (mm)	otäthetsfaktor (l/s.m ²)	U-värde (W/m ² K)	g-värde (%)	andel glas (%)
fasad-lång	120	1.0	0.321	-	-
fasad-kort	100	1.0	0.369	-	-
fönster	-	0.8	2.7	76	-
dörr	-	-	2.2	-	-
balkongdörr	-	0.8	2.5	76	50
tak	400	-	0.125	-	-
golv			0.513*		

* Viktat U-värde (hänsyn har tagits till större förluster vid kanten och mindre i mitten)

Figur 7 visar simulerade och uppmätta årsvisa fjärrvärmeanvändningsdata för brf Gräslöken. För att göra jämförelsen riktig inkluderas även beräknade distributionsförluster i områdets värmedistributionsnät. Eftersom avräkningen av fjärrvärme sker i de tre av områdets undercentraler som är anslutna till Uppsala stads fjärrvärmesystem så inkluderar fjärrvärmeanvändningsdata även områdets distributionsförluster. Beräkningen av distributionsförluster beskrivs utförligt i sektion 5.3. Simuleringen av värmebehovet och distributionsförlusterna stämmer väl överens med normalårskorrigerade fjärrvärmeanvändningsdata från 2005/2006. När det gäller de specifika åren 2015 och 2016 finns dels mätningar från Vattenfall och från bostadsförvaltaren Boservice. Generellt ligger dessa användningsdata lägre än de simulerade värdena vilket kan förklaras av att såväl 2015 som 2016 var relativt varma år. På det stora hela stämmer dock nivåerna mellan den simulerade och den uppmätta användningen väl.



Figur 7. Årliga värmebehov för brf Gräslöken. Beräknade värden samt uppmätta värden från Vattenfall och Boservice.

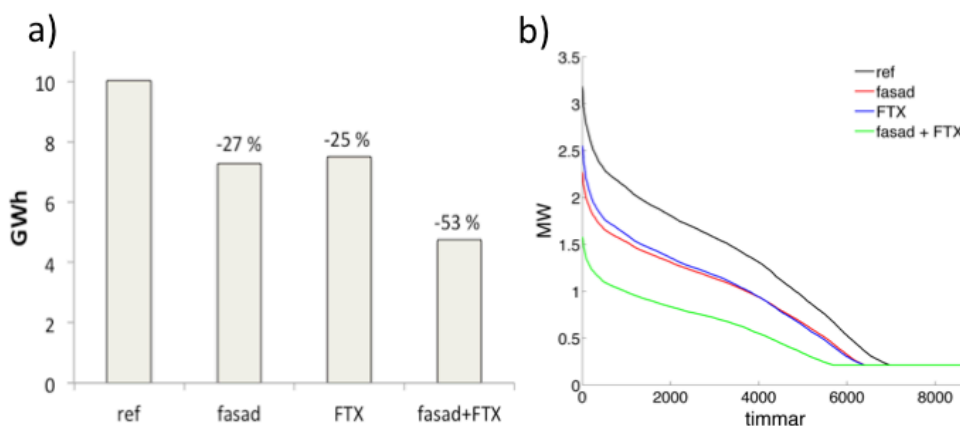
Energieffektiviseringspotentialen för tilläggsisolering och från-tilluftsvärmeväxling undersöks med hjälp av modellerna för bostadshusen i brf Gräslöken. Inledningsvis simuleras hur energibalansen i brf Gräslöken skulle påverkas av att värmeförlusterna genom byggnadernas klimatskal minskas till följd av ökad mängd isolering i väggar och tak samt byte till energieffektiva fönster och dörrar. Detta åtgärds paket kallas här för "fasad". Därefter görs motsvarande analys för en minskning av byggnadernas ventilationsförluster genom installation av från-tilluftsvärmeväxlare (FTX) i ventilationssystemen. Detta åtgärds paket kallas här för "FTX". Det tredje och sista åtgärds paketet är en kombination av de två första och kallas "fasad+FTX". I tabell 3 presenteras skillnaderna mellan de olika åtgärds paketen.

Tabell 3. Specifikationer för byggnadsmodeller med och utan energieffektiviserande åtgärder

<i>beräkningsfall</i>	Referens	fasad	FTX	fasad+FTX
Isolering fasad [mm] (långsida/kortsida)	120/200	260/260	120/100	260/260
U-värde fönster [W/m ² K]	2.7	1.1	2.7	1.1
U-värde dörr [W/m ² K]	2.2	1.0	2.2	1.0
U-värde balkongdörr [W/m ² K]	2.5	0.9	2.5	0.9
Isolering tak [mm]	400	400	400	400
Ventilation	frånluft	frånluft	FTX	FTX
			(η: 65-75%)	(η: 65-75%)*

* Effektiviteten varierar med utomhustemperaturen 65/75 % gäller för utomhustemperatur -20/0 °C

Den beräknade potentialen för minskat värmebehov i brf Gräslökens bostadshus till följd av energieffektiviseringar visas i figur 8 a och b. Värmebehovet kan minskas med som mest 53 % enligt beräkningarna och det förutsätter att fasaden isoleras ytterligare och att från-tilluftsvärmeväxling installeras. Separat ger de två åtgärderna jämförbara värmebehovsminskningar. Fasadisolering ger dock något större reduktion av behovet totalt och enligt varaktighetsdiagrammet i figur 8 b är skillnaden mellan åtgärderna framförallt på den kallare delen av året. Det innebär att effekttoppen minskar i något större utsträckning med extra fasadisolering (-29 %) jämfört med installation av FTX (-20 %). Med båda åtgärderna är den potentiella reduktionen av det maximala effektbehovet runt 1.5 MW vilket motsvarar en minskning med 50 %.



Figur 8. Beräknad energieffektiviseringspotential i brf Gräslökens bostadshus efter tilläggsisolering av fasad och efter installation av FTX-aggregat. Årsvärden (a) och timbaserade varaktighetsdiagram (b).

I tabell 4 visas hur den beräknade specifika energianvändningen ändras vid energieffektiviseringar. Tabellen visar både den totala (värme, varmvatten och fastighetsel) energianvändningen per kvadratmeter och energianvändningen uppdelat på värme och fastighetsel. Det visar betydelsen av den ökade fastighetselanvändningen vid installation av FTX. Skillnaden mellan beräkningsfallen *fasad* och *FTX* blir större om hänsyn tas till den något högre fastighetselanvändning som FTX-aggregaten ger upphov till.

Tabell 4. Specifik värmeanvändning och behov av fastighetsel med och utan effektiviseringsåtgärder

	ref	fasad	FTX	fasad+FTX
specifik fjärrvärmeanvändning [kWh/m ² , år]	133.2	96.8	99.5	63.1
behov av fastighetsel [kWh/m ² , år]	1.1	1.1	6.1	6.1
specifik energianvändning [kWh/m ² , år]	134.1	97.9	105.6	69.2

5.3 VÄRMEDISTRIBUTIONSFÖRLUSTER

Att simulera och beräkna potentialen för att minska distributionsförlusterna i föreningens distributionssystem för värme och varmvatten är den andra delen i analysen av en möjlig energibalans i en 4GDH-version av brf Gräslöken. För att beräkna förlusterna i det sekundära distributionsnät som ägs av brf Gräslöken användes data för systemtemperaturer, rörlängder, dimensioner och rörtyper, samt marktemperaturdata uppmätta vid 40 cm markdjup under åren 2010–2015 av forskare vid institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet.

Distributionsnätet som brf Gräslöken förvaltar består delvis av enkla rör med ett mediabärande rör i det isolerande ytterhöljet och delvis av så kallade "twinrör" som har två mediabärande rör i ytterhöljet. Twinrör ger lägre förluster än enkelrör men lämpar sig bättre för mindre dimensioner av ledningsrör. I brf Gräslökens distributionsnät används twinrör för mediabärande rör som har en diameter från 22 till 63 mm. För större dimensioner (75 till 110 mm i diameter) och även för vissa av de mindre dimensionerna används enkla rör. För framledning av tappvarmvatten används enbart enkla rör eftersom ingen returledning behövs för detta. Dimensioner, rörtyper och kulvertlängder för hela Gräslökens

distributionsnät finns sammanställt i tabell 5. Information om rörtyper och rördimensioner var angivna i projekteringsritningar för Gräslökens kulvertsystem som tillhandahållits från Bravida. Längder på kulverten mättes upp manuellt från ritningarna.

Tabell 5. Rördimensioner, rörlängder och rörtyper i brf Gräslökens sekundära värmedistributionsnät.

	Dimensioner - yttre/inre (mm)	Längd (m)	enkelrör eller twinrör	Notering
Uppvärmning	110/162	627	enkel	
	100/250	245	enkel	Stålrör
	90/162	807	enkel	
	80/180	216	enkel	Gammalt rör som inte ersatts
	75/142	1213	enkel	
	63/182	625	Twin	
	50/162	1062	Twin	
	40/126	590	Twin	
	32/111	508	Twin	
Varmvatten	63/126	2684	enkel	
	50/111	1682	enkel	
	40/91	294	enkel	
	32/76	171	enkel	
VVC	32/76	3592	enkel	
	32/111	720	Twin	
	28/90	294	Twin	
	22/76	158	Twin	
Servisledningar	32/76	3420	enkel	
	32/111	1710	Twin	

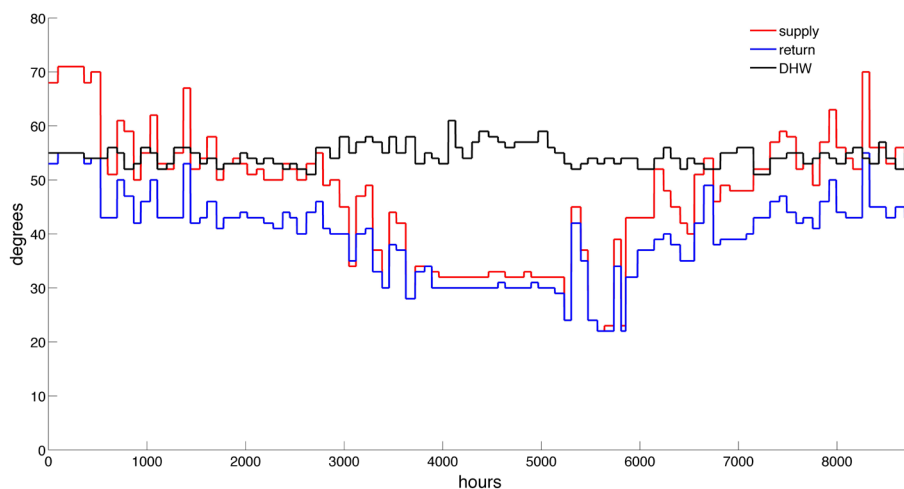
För att beräkna distributionsförluster i nätet användes två olika ekvationer. Momentana distributionsförluster (P_{hl}) för isolerade enkla rör i par (framledning och returledning) under mark beräknas enligt

$$P_{hl} = \frac{L\pi d(\Delta T_{fram} + \Delta T_{retur})}{R_i + R_m + R_s} [W] \quad (1)$$

där L är kulvertlängden och d är ytterdiametern på ledningsrören. ΔT_{fram} är temperaturdifferensen mellan framledningstemperatur och marktemperatur. ΔT_{retur} är motsvarande differens mellan returtemperatur och marktemperatur. R_i , R_m och R_s är värmemotstånden för rörisolering (R_i), marken (R_m), respektive det sammanfallande temperaturfältet mellan rören (R_s). För en mer detaljerad beskrivning av ekvationerna samt för beräkning av värmemotstånden hänvisas läsaren till (Frederiksen och Werner 2013, kapitel 5, sidorna 78-79). För twinrör beräknas distributionsförlusterna istället enligt kapitel 8, sidorna 191-194 i Wallentén (1991). De totala steady state-förlusterna för twinrör kan beräknas enligt

$$P_{hl} = 4L\pi\lambda_i \cdot \left(\frac{T_{fram} + T_{retur}}{2} - T_a \right) \cdot h_s \left(\frac{r_i}{r_o} \cdot \frac{D}{r_o} \cdot \frac{H}{r_o} \cdot \frac{\lambda_i}{\lambda_g} \right) [W] \quad (2)$$

som är en differentialekvation och som löses med en första ordningens approximation. L är kulvertlängden. T_{fram} och T_{retur} är framledningstemperatur respektive returledningstemperatur och T_a är utomhustemperatur. λ_i är värmekonduktiviteten i rörisoleringen och h_s är en dimensionslös värmeförlustfaktor. För en detaljerad beskrivning av beräkningarna hänvisas till (Wallentén 1991).



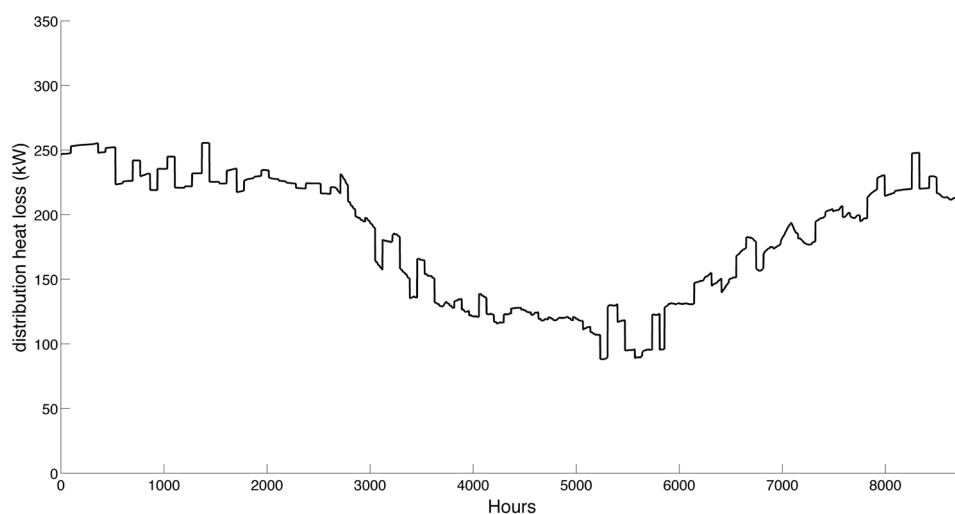
Figur 9. Distributionstemperaturer år 2016 i brf Gräslökens sekundära nät. Timserie baserad på avläsningsdata vid undercentral SH3.

Figur 9 visar distributionstemperaturer i brf Gräslökens sekundära distributionsnät uppmätta vid undercentral SH3 under 2016. Röd linje är framledningstemperatur till radiatorer och blå linje är returledningstemperatur från radiatorer. Den svarta linjen är framledningstemperatur för varmvatten. Temperaturdata kommer från bostadsförvaltaren Boservice driftlogg och har registrerats manuellt med mellan två och fem dagars mellanrum under 2016. Avläsningar har i regel gjorts vardagar mellan klockan 06 och 07. Timserien har skapats genom att varje registrerat värde har upprepats timvis fram till timmen för nästa registrerade värde. Detta ger upphov till de plottade linjernas ”platautseende”.

Det är tydligt i figur 9 hur framledningstemperaturen och returledningstemperaturen på radiator slingan minskar med värmeunderlaget från omkring 70/55 °C när det är som kallast ute ner till runt 32/30 °C under sommaren när inget värmebehov föreligger. Framledningstemperaturen för varmvatten ligger nägorlunda konstant mellan 55 °C och 60 °C hela året.

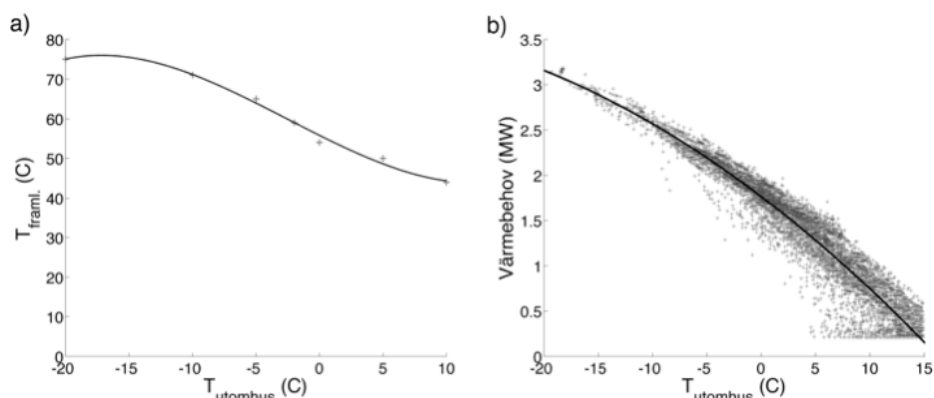
Figur 10 visar de beräknade timvisa distributionsförlusterna för brf Gräslökens distributionsnät. Distributionsförlusterna varierar över året mellan ca 100 och 250 kW och har ett mönster som liknar det för distributionstemperaturerna på radiator slingan. Förlusterna är som störst när det är som kallats ute och

framledningstemperaturen är som högst. På samma sätt är förlusterna som lägst under sommaren när värmebehovet är litet. De drygt 100 kW förluster som utgör totalnivån under sommaren kan antas utgöras huvudsakligen av förluster från varmvattenframledningen och varmvattencirkulation (VVC). De totala förlusterna för 2016 är 1.6 GWh som motsvarar ca 14 % av den totala värmelasten i Gräslöken. I figur 7 i föregående avsnitt visades hur de beräknade värmeförlusterna tillsammans med det beräknade värmebehovet stämde väl överens med data för områdets totala användning av fjärrvärme.



Figur 10. Beräknade timvisa distributionsförluster i brf Gräslöken under 2016.

Det är rimligt att tänka sig att en energieffektivare byggnad med ett mindre värmebehov kräver lägre framledningstemperaturer för rumsuppvärmning. För att beräkna möjlig sänkning av distributionstemperaturer och vad dessa betyder för distributionsförlusterna används två olika parameterförhållanden. Det ena är förhållandet mellan framledningstemperatur och utomhustemperatur och det andra är mellan utomhustemperatur och värmebehov. Dessa två förhållanden visas i figur 11 a respektive b.



Figur 11. Framledningstemperatur i Gräslökens sekundära nät i förhållande till utomhustemperatur (a) och timvis värmebehov i förhållande till utomhustemperatur över 15 °C (b).

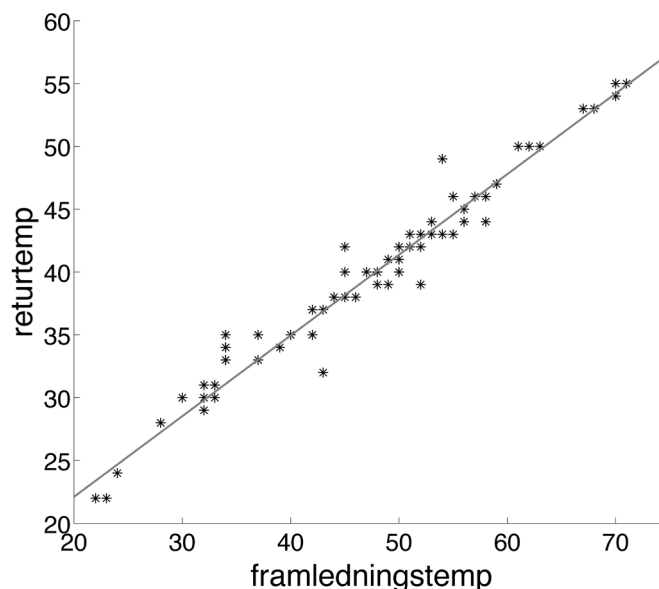
Kryssen i figur 11 a är framledningstemperaturkurvan i brf Gräslöken som används för att reglera värmeeffekt beroende på utomhustemperatur. En tredjegrads ekvation som anpassats till framledningskurvan ger approximativt förhållandet mellan framledningstemperatur och utomhustemperatur och beskrivs av

$$T_{framl.} = 0.0026x^3 + 0.019x^2 - 1.6x + 56 \quad (3)$$

Figur 11 b visar det simulerade värmebehovet per timme för referensfallet i Gräslöken (exklusive distributionsförluster) i förhållande till utomhustemperaturen. En andra ordningens icke-linjär anpassning av detta förhållande ger en approximation av hur värmebehovet i byggnaderna beror av utomhustemperaturen. Detta förhållande beskrivs av

$$Q_i = -0.0011x^2 - 0.091x + 1.8 \quad (4)$$

Med hjälp av de två ovan beskrivna förhållandena kan, i två steg, nya framledningstemperaturnivåer beräknas som korrelerar med de lägre värmebehov som beräknats för byggnaderna i Gräslöken när dessa utrustas med FTX och/eller bättre isolerade fasader. Flödet i systemet antas vara detsamma som i referensfallet. Det görs genom att timvärdena för det lägre värmebehovet översätts med hjälp av ekvation 4 till en "fiktiv" temperaturserie som i sin tur kan användas för att approximera en ny framledningstemperaturserie med hjälp av ekvation 3.



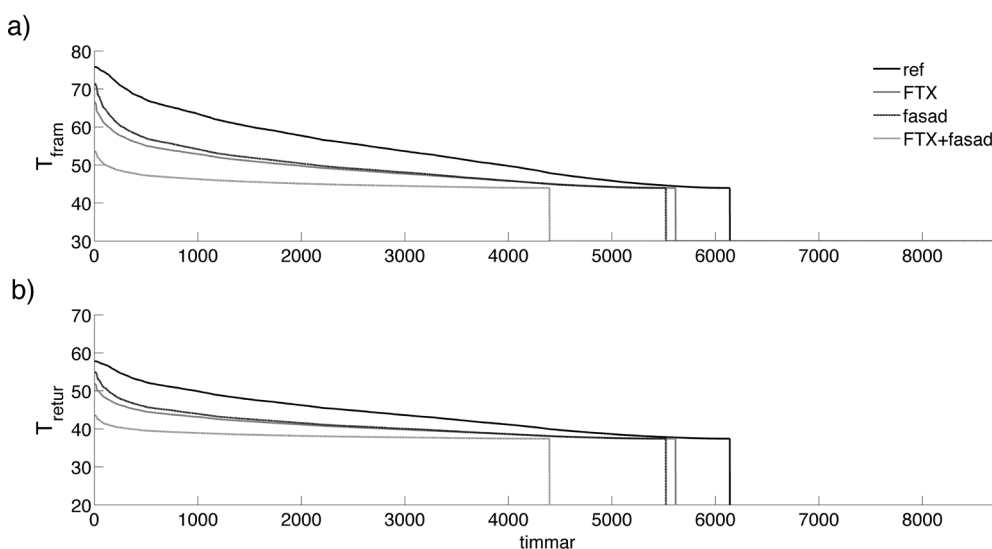
Figur 12. Linjär anpassning till driftdata från förvaltaren av brf Gräslökens fastigheter som beskriver förhållande mellan framledningstemperatur och returledningstemperatur i en av de tre områdescentralerna.

På samma sätt kan förhållandet mellan framledningstemperatur och returledningstemperatur användas för att beräkna returtemperaturen för energieffektivare byggnader. Figur 12 visar hur data för framlednings och

returtemperaturer korrelerar med varandra och den linjära anpassning som används för att estimerar förhållandet beskrivs av

$$T_{retur} = 0.64 \cdot T_{fram} + 9.3 \quad (5)$$

Figur 13 visar hur beräknad framledningstemperatur (a) och returledningstemperatur (b) skulle förändras om byggnaderna i brf Gräslöken energieffektiviseras. Potentialen för sänkning av distributionstemperaturer efter energieffektivisering är betydande. Den maximala framledningstemperaturen skiljer sig från ca 76 °C i referensfallet till 54 °C efter fasadrenovering och installation av FTX. Den beräknade returtemperaturen beräknas sänkas från maximala 58 °C i referensfallet till ca 44 °C i fallet med renoverad fasad och installation av FTX. Figur 13 visar också tydligt hur uppvärmningssäsongen skulle kortas avsevärt vid effektivisering av byggnader från över 6000 timmar i referensfallet till omkring 4400 timmar i fallet med fasadeffektivisering och installation av FTX.



Figur 13. Varaktighetsdiagram för beräknade framledningstemperatur (a) och returledningstemperaturer (b) på radiatorslingan efter energieffektivisering av byggnader.

De beräknade distributionstemperaturerna för de olika effektiviseringsfallen används vidare för att beräkna distributionsförluster i fallen med effektiviserade byggnader. Varmvattentemperaturen och marktemperaturen antogs vara desamma som i beräkningen av referensfallet. I tabell 6 presenteras distributionsförlusterna för de olika fallen.

Tabell 6. Distributionsförluster i brf Gräslökens nät för olika energieffektivitet i byggnaderna

Beräkningsfall	Förluster (GWh)	Förändring (%)	Relativa förluster för området (%)
<i>ref</i>	1.51	-	13.1
<i>fasad</i>	1.42	- 6.1	16.3
<i>FTX</i>	1.42	- 6.0	15.9
<i>fasad+FTX</i>	1.32	- 13	21.7

Resultaten visar att även om förlusterna i distributionsnätet är något lägre vid de lägre distributionstemperaturerna så är det marginellt jämfört med hur mycket mindre värmebehovet i byggnaderna är. De relativa förlusterna för området är betydligt lägre i referensfallet 13 % jämfört med 22 % i *fasad+FTX*-fallet. Detta förklaras delvis av att temperaturen i varmvattenframledningen och i VVC-slingan inte ändrats och att dessa står för en relativt stor del av förlusterna.

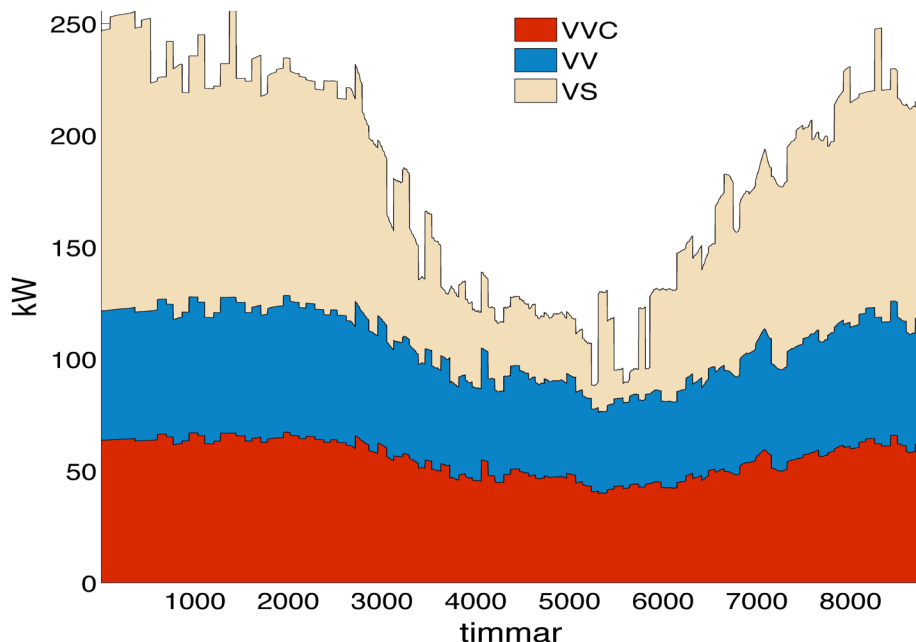
Resultaten för de beräknade distributionsförlusterna visas också i figur 15 tillsammans med den totala årliga värmelasten för brf Gräslöken med och utan effektivisering av byggnaderna. Det är även här tydligt att de lägre förlusternas i effektiviseringsfallen är marginella jämfört med skillnaderna för värmebehoven.

Distributionsförlusterna i brf Gräslökens sekundärnät skulle även kunna reduceras genom att flytta varmvattenberedningen från områdescentralerna ut till lägenheterna. Det skulle minska antalet rörledningar eftersom såväl ledningar för varmvatten som varmvattencirkulation (VVC) inte längre behövs. Temperaturen i värmeledningsrören får dock inte understiga 55-60 °C på grund av risken för legionellatillväxt vilket innebär att distributionstemperaturen på värmeslingan kommer att bli högre än i dagsläget under en stor del av året.

För att ta reda på hur stor del av förlusterna som kan härledas till VVC-slingan beräknades denna separat med hjälp av beräkningsprogrammet NetSim. NetSim är ett interaktivt verktyg för beräkningar av ledningsnät för fjärrvärme, fjärrkyla och ånga. NetSim används till dimensionering av ledningsnät, optimering av pumpar, optimering av framledningstemperaturer samt för att beräkna värmeförluster. NetSim tillhandahålls och utvecklas av Vitec (Vitec 2017).

VVC-beräkningarna begränsas till en del av Brf Gräslökens distributionssystem och omfattar en av huvudområdescentralerna och en av de sekundära områdescentralerna. Dessa försörjer tillsammans ca 370 lägenheter med värme och varmvatten och står för 45 % av området totala värmebehov. Gräslökens homogenitet vad gäller byggnader och värmedistribution gör att resultaten för VVC-beräkningarna kan anses gälla för hela föreningens byggnadsbestånd.

Förbrukningsdata från Vattenfall för huvudområdescentralen visar att delområdet totala energiförbrukning för varmvatten är 1150 MWh/år. Varav varmvattenanvändningen på 14 300 m³/år motsvarar ett energibehov på ca 750 MWh/år. Resterande energianvändning antas bestå av förluster i varmvattenframledning och varmvattencirkulation och beräknas till ca 400 MWh/år. Det vill säga 35 % av den totala energianvändningen för varmvatten.



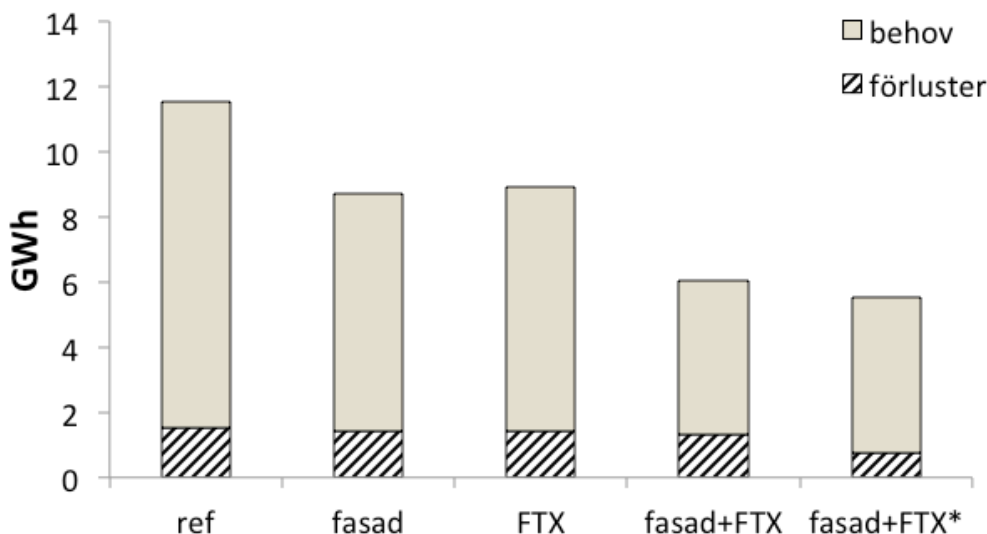
Figur 14. Beräknade timvisa förluster per månad i VVC-slinga, varmvattenframledning och radiatorslinga för distributionssystemet i brf Gräslöken

Figur 14 visar beräknade förluster i VVC, varmvattenframledning och radiatorsystem för distributionssystemet i Gräslöken. Beräkningarna har validerats mot simulerade förluster i NetSim. De lägre förlusterna för VVC och varmvatten under sommar och tidig höst beror framförallt på skillnader i marktemperaturen. Under den kallare delen av året är förlusterna i VVC-slingan 50-55 kW och detta skulle motsvara ca 110-120 kW för hela området. En jämförelse med förlustberäkningarna som visades i figur 10 ger att VVC-förlusterna förklarar så mycket som 44-48 % av områdets totala distributionsförluster.

Vidare beräknas förluständringen efter att VVC-slinga och enskild varmvattendistribution ersätts med en temperaturhöjning på värmedistributionen och lägenhetscentraler för varmvattenberedning. I tabell 7 visas motsvarande resultat som i tabell 6 men med lägenhetscentraler för varmvattenberedning. Resultaten visar att en ersättning av central varmvattenberedning och VVC skulle minska förlusterna med mellan 47 % och 49 %. I figur 15 visas fallet med fasadisolering och installation av FTX samt installation av om lägenhetscentraler (fasad + FTX*). Den relativa förlustandelen i distributionen blir här marginellt större (14 %) än i referensfallet (13.1 %).

Tabell 7. Distributionsförluster i brf Gräslöken utan ledningar för varmvatten och VVC

Beräkningsfall	Förluster (GWh)	Förändring (%)	Relativa förluster för området (%)
ref	1.51	-	13.1
ref + lägenhets-VVX	0.80	- 47	7.4
Fasad + lägenhets-VVX	0.78	- 49	9.7
FTX + lägenhets-VVX	0.78	- 48	9.5
fasad+FTX + lägenhets-VVX	0.77	- 49	14.0



Figur 15. Beräknat årligt värmebehov samt distributionsförluster i brf Gräslöken med och utan energieffektiviseringsåtgärder.

5.4 ELANVÄNDNING

Nästa del i utredningen av brf Gräslöken som 4GDH-system är en simulering och beräkning av elanvändningen i området. Elanvändningen består av tre delar. De första två delarna är den konventionella fastighetselen och hushållselen. Därefter simuleras elanvändningen för en bilpool med elbilar som är anpassad för området.

Fastighetsel

Fastighetselanvändningen är en del av simuleringsresultaten från byggnadssimuleringarna i VIP-Energy som presenterades i tabell X i avsnitt 5.2. Fastighetselanvändningen var konstant 1.1 kWh/m², år för referensfallet och fasadisoleringsfallet, vilket motsvarar 82.8 MWh per år för hela området. För de fall där FTX-system beräknades var fastighetselanvändningen konstant 6.1 kWh/m², år vilket motsvarar en elanvändning för hela året på 455.6 MWh.

Hushållsel

Hushållselanvändningen i brf Gräslöken simulerades med hjälp av Widénmodellen som är en stokastisk markovkedjemodell. Modellen som finns utförligt beskriven i Widén m fl (2009) och Widén och Wäckelgård (2010) genererar syntetiska aktivitetsmönster för enskilda hushållsmedlemmar och associerar dessa med elanvändning för olika typer av elektrisk utrustning. Elanvändningsprofilerna har en tidsupplösning på en minut och kan genereras för ett valfritt antal hushåll, lägenheter och/eller småhus.

Modellen kalibrerades med hjälp av aktivitetsdata för ett stort antal svenska hushåll och validerades med elanvändningsdata på hushållsnivå (Widén och Wäckelgård 2010). Aktiviteterna är till exempel "sova", "laga mat" och "titta på TV". Eldrivna hushållsapparater som kopplas till aktiviteterna är till exempel diskmaskin, tvättmaskin, torktumlare, spis, dator och TV. För simuleringarna av

brf Gräslökens elanvändning antogs att alla hushåll var lägenheter med två hushållsmedlemmar och med samma standarduppsättning av hushållsapparater som anges i Widén och Wäckelgård (2010). Eftersom simuleringar på minutbasis över ett helt år är tidskrävande simulerades hundra hushåll och den aggregerade lastkurvan multiplicerades sedan med en faktor för att uppskatta den totala förbrukningen i området.

Totalt används enligt simuleringen 2023 MWh hushållsel i de 832 lägenheterna i brf Gräslöken. Det motsvarar en genomsnittlig hushållselanvändning på 2431 kWh per år och lägenhet. Variationen i elbehov över ett antal dygn visas i figur 39.

Elbilspool

Bilpooler utgör en möjlighet att minska behovet av personbilar och även antalet körda mil per person (Transportstyrelsen 2016). Även om laddning av elbilar har analyserats och simulerats tidigare, se exempelvis Green m fl (2011), så har kombinationen elbilar och bilpool inte studerats alls i samma omfattning. För att skapa en probabilistisk elbilspoolmodell för ett bostadsområde har statistik för användning av bilar i bilpooler (Transportstyrelsen 2016) kombinerats med laddningsdata för elbilar och framförallt den längre laddningstiden jämfört med bränsle drivna bilar.

Modellen är baserad på ett tänkt bokningssystem där hushållen i bostadsområdet kan boka en elbil under en viss tid mellan 08.00 och 20.00 alla veckans dagar. Det är också obligatoriskt att bilarna ställs på laddning senast klockan 20.00 varje kväll för att försäkra sig om att bilarna är fulladdade morgonen efter.

Bilpoolmodellen är optimerad så att elbilarna används enligt samma modell där stokastisk variabilitet används för att illustrera variabilitet i bilanvändarnas preferenser och hur denna förändras över tid. Modellens huvudsakliga antagande är att antalet bilar minimeras under förutsättning att användarnas resbehov tillgodoses. Alla elbilar antas bli använda varje dag och att de hushåll som bokar fördelas över dessa dagar (med godtyckliga interna preferenser mellan hushållen för vilken dag de vill boka). Ett hushåll kan endast boka en bil åt gången.

Vidare antas att det är en konstant sannolikhet för att boka elbilarna och användas av hushållen varje tidssteg (minutbasis) från 08.00 till 20.00. När ett beslut om en bilbokning görs, väljs slumpmässigt en färdlängd från en fördelning av färdlängder från en svensk sammanställning av resor (SIKA 2017). Efter bilfärden antas bilen återvända till bilpoolen och det antas också att inga bilar laddas någon annanstans än i bilpoolen. När elbilarna återvänder ställs de omedelbart på laddning och laddar tills de är fulladdade alternativt bokas på nytt.

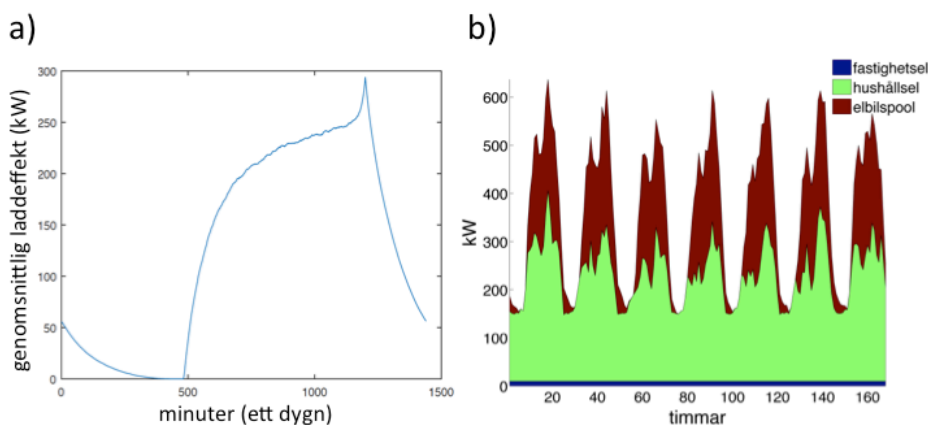
Om en bokning görs och för en viss färdlängd där det inte finns tillräckligt med tid fram till klockan 20.00 för att kunna genomföra resan eller om batteriet inte är tillräckligt laddat för att klara hela resan så ställs bokningen in. Bilpoolmodellens struktur och antalet elbilar per hushåll baseras på ett antagande att behovet av körsträcka för hushållen under N antal dagar kan koncentreras till en dags resande givet att N ökar körsträckan för en dag. Tabell 8 innehåller detaljerade parametervärden för elbilpoolmodellen som hämtats från Transportstyrelsen (2016) och Grahn m fl (2013).

Tabell 8. Parametervärden i elbilspoolsmodellen.

Parameter	Parametervärde
Initial laddningsnivå	40 kWh
Laddeffekt	3.7 kW
Elbehov	0.2 kWh/km
Genomsnittlig hastighet	46 km/h
Genomsnittlig körsträcka per dygn	37 km
Antal elbilar	138
Sannolikhet att boka bil varje timme	0.012
Antal tidssteg för simulering	525 600 minuter (ett helt år)
Maximal körsträcka	100km

Sannolikheten för att en elbil bokas och används i varje tidssteg bestäms av den totala körsträckan för varje hushåll under $N=365$ dagar. Det antas även att körsträckan per dag och hushållsmedlem är 50 % kortare än utan bilpool baserat på uppskattningen att en bilpool minskar körsträckan med 30-60 % i Sverige enligt Transportstyrelsen (2016).

Om $N=3$ dagar antas och kombineras med 50 % kortare körsträcka så blir antalet bilar som behövs jämfört med ett privat ägande av bil en faktor 6 lägre. Detta är lägre än Transportstyrelsens skattning där användning av bilpool ger mellan 7 och 15 gånger färre bilar än om det skulle vara konventionella privatägda bilar (Transportstyrelsen 2016). Det kan förklaras av att elbilar är mindre flexibla än konventionella personbilar på grund av laddtiderna och det i sin tur minskar potentialen för att reducera antalet bilar som behövs.



Figur 16. Simulerat effektbehov för elbilspool per minut under ett dygn (a) och totalt elbehov uppdelat på elbilspool, hushållsel och fastighetsel i Gräslöken under en sommarvecka (b).

Figur 16 a visar den simulerade effekten för elbilsladdning gällande bilpoolens alla 138 elbilar per minut. Maxeffektbehovet är 294 kW och det genomsnittliga behovet per dygn är 128 kW. Den totala elanvändningen i bilpoolen är 1120 MWh per år och per fordon är motsvarande mängd 8.1 MWh. Den genomsnittliga körsträckan är 18.44 km per dag och hushåll. Eftersom alla elbilar antas stå inne för laddning samtidigt efter klockan 20.00 så finns ett behov av 138 parkeringsplatser för elbilspoolen.

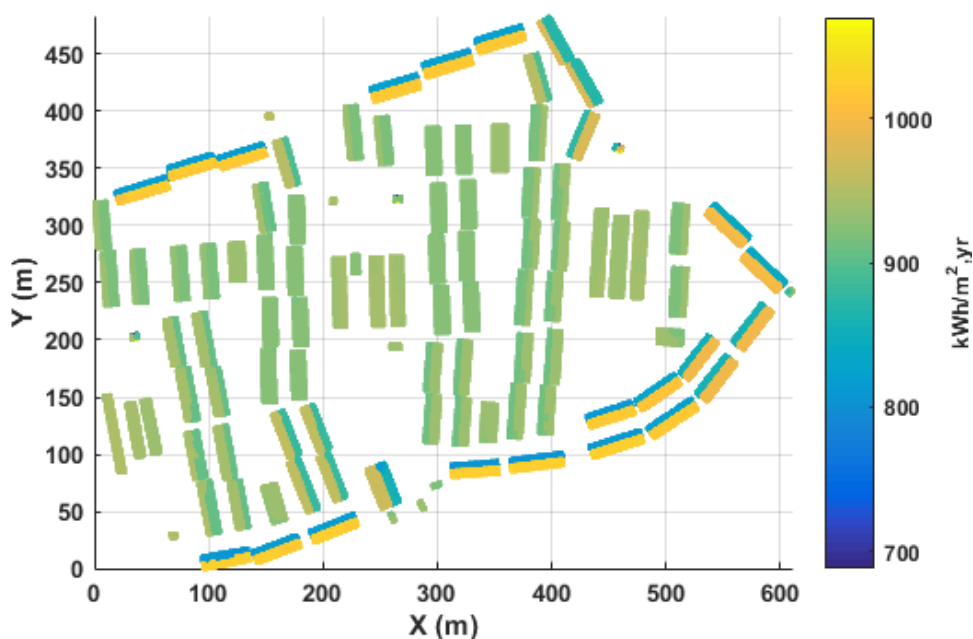
Figur 16 b visar det totala simulerade elbehovet för brf Gräslöken under en sommarvecka. Behovet är uppdelat i elbilspool, hushållsel och fastighetsel. Nivån på fastighetselanvändning är från något av fallen utan FTX. Det är tydligt att elbilsladdningens topp sammanfaller i stor utsträckning med toppen för hushållselanvändningen. Det förklaras av att elbilarna laddas när bilarna inte används och det är under samma del av dygnet som stora delar av hushållselen används, d v s under sen eftermiddag och kväll. Den totala elanvändningen för området med bilpool, hushållsel och fastighetsel blir 3.23 GWh utan FTX och 4.72 GWh med FTX.

5.5 SOLELPOTENTIAL BRF GRÄSLÖKEN

Potentialen för solelproduktion från takmonterade solcellsmoduler i brf Gräslöken är en central del i 4GDH-versionen av föreningen. En byggnadsmodell över bostadsområdet skapades med hjälp av fastighetskartan (Lantmäteriet 2016) och LiDAR-data (Light Detection and Ranging) (Lantmäteriet 2015) med en metodik liknande den som finns beskriven i (Gooding m fl 2015). Det utreddes om hänsyn behöver tas till eventuell skuggning av taktytor enligt (Martinez-Rubio m fl 2016). Eftersom bostadsområdet ligger i flack terräng med få träd och variationen i byggnadshöjd är liten så bedömdes dock påverkan från skuggning vara försumbar.

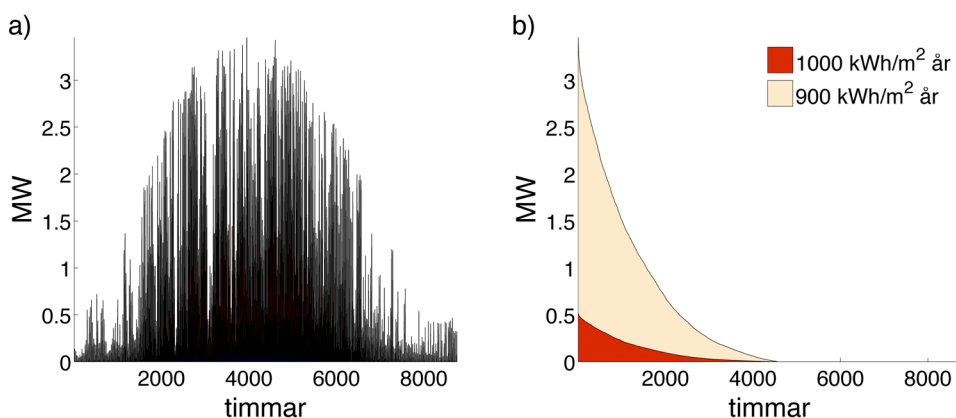
Gräslökens taktytor klassificerades som antingen bra (solinstrålning på 900-1000 kWh/m²,år) eller mycket bra (solinstrålning >1000 kWh/m²,år). De taktytor som har en solinstrålning under 900 kWh/m², år togs inte med i beräkningarna. Figur 17 visar solinstrålningsnivån för olika taktytor i brf Gräslökens byggnadsbestånd. De gula och mest södervända taktytorerna är de som betraktas som mycket bra medan de gröna mera öst-västligt orienterade ytorna betraktas som bra. De blåa ytorna är i huvudsak orienterade mot norr och är som sagt exkluderade.

Solcellsmodulerna (164x99 cm) antas bli monterade med ett internt avstånd på 2.5 cm och 10 cm från takkanterna. På så sätt bestämdes det maximala antalet moduler som kunde beläggas på varje tak. 10 % av modulerna räknades sedan bort, med antagandet att skorstenar och andra hinder på taken som omöjliggör full beläggning. Modulerna antogs ha en verkningsgrad på 17 % och övriga systemförluster i omvandlingen från DC till AC antogs vara 5 %, detta enligt (Norton et al 2011).



Figur 17. Solinstrålning per kvadratmeter takyta i brf Gräslöken.

Solelproduktion beräknas separat för de ytor som klassificerats som mycket bra och bra. Figur 18 a visar den totala elproduktionen per timme för ett helt år när alla ytor med mer solinstrålning än 900 kWh/m², år beläggs med solcellsmoduler. Figur 18 b visar varaktigheten i solelproduktionen uppdelad på ytor med över 1000 kWh/m², år och för ytor med mer än 900 kWh/m², år.



Figur 18. Potential för produktion av solel (ytor > 900 kWh/m², år) per timme under ett år i brf Gräslöken (a). Varaktighetsdiagram för solelproduktion per timme (b).

I tabell 9 presenteras resultat för total årsvis solelproduktion, maximal och genomsnittlig produktionseffekt samt utnyttjandegrad för solcellsmodulerna. Utnyttjandegraden beräknas på samma sätt som kapacitetsfaktorn för fjärrvärmebehov (se avsnitt 4.2) och är ett mått på hur stor den genomsnittliga

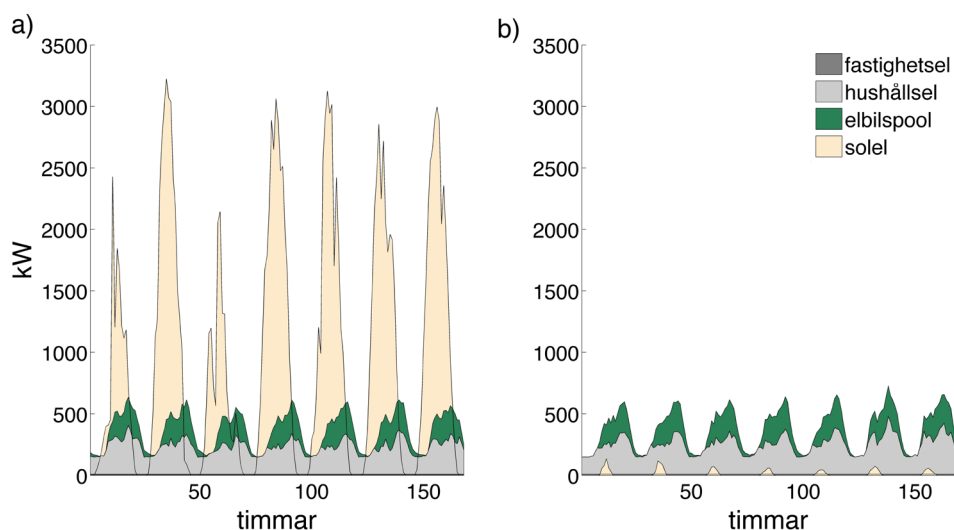
solelproduktionen är i förhållande till den maximala produktionen under timmen med de bästa förutsättningarna. Den totala elproduktionen näs alla takytor inkluderade är i samma storleksordning som det totala elbehovet inklusive elbilspool.

Tabell 9. Resultat solelproduktionsberäkningar för brf Gräslöken

	> 1000 kWh/m ² , år	> 900 kWh/m ² , år
total produktion ett år [GWh]	0.57	3.90
maxeffekt [MW]	0.52	3.46
medeleffekt [MW]	0.07	0.45
utnyttjandegrad (maxeffekt/medeleffekt)	0.13	0.13
Självkonsumtion - referensfall (%)	95	33
Självförsörjande - referensfall (%)	17	40

Brf Gräslökens självkonsumtion (tabell 9) av solesl, det vill säga andelen av total soleslproduktion som kan användas i bostadsområdet, och självförsörjande som är andelen av det totala elbehovet (inklusive elbilspool) på området som kan försörjas med solesl. Om mängden överskottsel ska minimeras, dvs att el som inte direkt går till att försörja det egna elbehovet i området, så bör enbart de takytor som klassats som mycket bra beläggas med solceller. Det senare ger en självkonsumtionsgrad på 95 %, men en självförsörjandegrad på endast 17 %. Om däremot så stor andel av det egna elbehovet ska försörjas av solesl utan att hänsyn tas till hur stort överskott som produceras så beläggs alla takytor (bra och mycket bra) med solcellsmoduler. Området når då en självförsörjandegrad på el som är 40 % istället för 17 %, men det trots att den totala årsproduktionen av solesl är 83 eller 120 % av den totala elanvändningen per år (beroende på om byggnaderna är försedda med FTX-system eller inte).

Det finns alltså betydande skillnader i när solesl produceras och när den behövs. Denna skillnad är delvis säsongsbaserad eftersom soleslproduktionen är betydligt större sommartid än vintertid. Men skillnaden finns även på dygnsnivå då solesl producerar dagtid medan elbehovet i ett bostadsområde är som störst på sen eftermiddag och kväll. Dessa skillnader är tydliga i figur 19 som visar soleslproduktion och elanvändning för första veckan i juli (a) och för första veckan i januari (b).

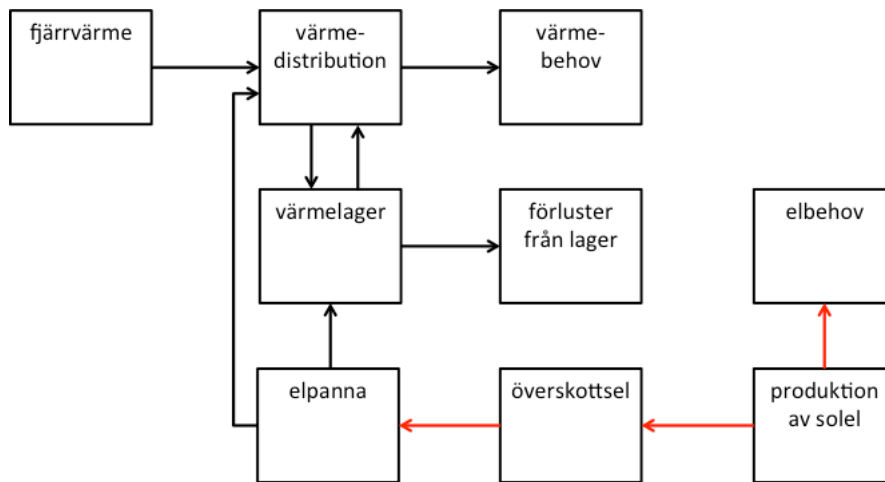


Figur 19. Elanvändning för fastighetsel och hushållsel första veckan i juli (a) och första veckan i januari (b).

5.6 LAGRING AV VÄRME FRÅN ÖVERSKOTTSEL OCH AVFALLSVÄRME

För att ytterligare kunna utnyttja potentialen för solexproduktion är den sista komponenten i brf Gräslöken som 4GDH-system ett gropvärmelager avsett för lagring av värme som producerats med överskottet av solex. En sådan lösning kan delvis bidra till att minska belastningen på elnätet genom att mindre variabel kraftproduktion matas ut. Det kan även innebära ökade ekonomiska besparingar i och med att en ersatt kWh fjärrvärme i dagsläget är värd mer än en på nätet utmatad kWh el. Om det dessutom är så att stora mängder solex finns i kraftsystemet kan ersättningen för att mata ut el på nätet under vissa tider vara noll eller till och med negativ.

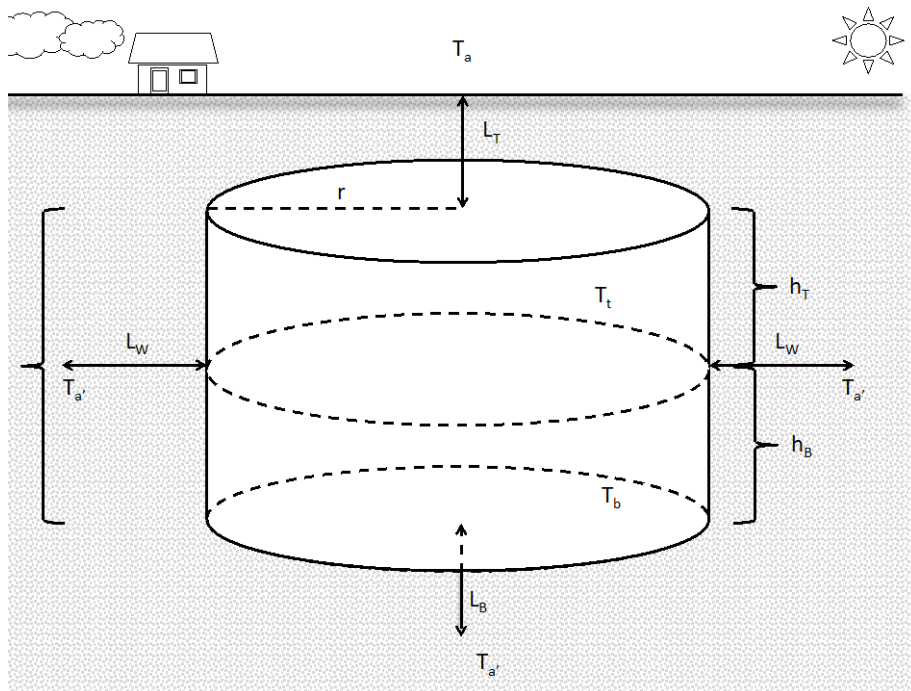
För att simulera fjärrvärmeförsörjning och värmelagring i brf Gräslöken används en optimeringsmodell som är baserad på linjärprogrammering och som är en modifierad version av en modell för simulering och optimering av fjärrvärmeproduktion och lagring. Den ursprungliga modellen beskrivs utförligt i (Åberg och Widén 2013). Figur 20 visar en schematisk bild av den modifierade modellens struktur och dess komponenter.



Figur 20. Schematisk presentation av brf Gräslöken som 4GDH-system

En viktig del i modifieringen av modellen är att den har kompletterats med en komponent för att simulera lagring av värme. Lagringen av solexel simuleras genom att överskottsel konverteras till värme i en elpanna med en viss verkningsgrad och matas därefter ut på distributionsnätet om det helt eller delvis föreligger ett behov av värme. Den solexelproducerade värmen som inte kan användas momentant lagras i värmelagret. Mängden värmeenergi i lagret uppdateras och används som randvillkor i nästa tidssteg. I varje tidssteg avges även en viss mängd värmeförluster från lagret (se beräkningar nedan).

Lagret fungerar som en stor ackumulatortank med två temperaturskikt (se skiss i figur 21). Ett övre varmare skikt och ett undre svalare skikt. När skiktgränsen mellan de två olika temperaturerna är i botten av lagret är lagret fullt och när skiktgränsen är nära "taket" på bergrummet är lagret tomt.



Figur 21. Skiss av underjordiskt säsongvärmelager.

Lagerförlusterna från bergrummet beräknas för varje tidssteg i och beror av mängd lagrad värme ($Q_{S,i}$), utomhustemperaturen (T_a) samt höjden på det övre och varmare temperatursegmentet (h_T). För varje tidssteg beräknas h_T enligt

$$h_{T,i} = \frac{Q_{S,i}}{C_p \cdot \rho_W \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (T_t - T_b)} \quad (5)$$

där C_p är den specifika värmekapaciteten hos vatten, ρ_W är vattnets densitet, r är bergrummets radie, T_t är övre segmentets temperatur och T_b är det undre segmentets temperatur. Därefter kan höjden på det undre segmentet beräknas som

$$h_{B,i} = H - h_{T,i} \quad (6)$$

där H är den totala höjden på bergrummet. De totala värmeförlusterna från lagret ($P_{HL,i}$) i tidssteg i beräknas enligt

$$P_{HL,i} = \pi \cdot \left(\lambda_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot h_{T,i} \cdot (T_t - T_{a,i})}{\ln\left(1 + \frac{L_W}{r}\right)} + \frac{2 \cdot h_{B,i} \cdot (T_b - T_{a,i})}{\ln\left(1 + \frac{L_W}{r}\right)} \right) + \frac{\lambda_2 \cdot r^2}{L_T} \cdot (T_t - T_{a,i}) + \frac{\lambda_3 \cdot r^2}{L_B} \cdot (T_b - T_{a,i}) \right) \quad (7)$$

där λ_i är värmeledningstalet för lagrets väggar, lock respektive botten.

För brf Gräslöken simuleras ett värmelager vars storlek och konstruktion inspirerats av ett värmelager som byggdes i Lambohov i Linköping runt 1980. Lagret är ett cylindriskt groplager med väggar och botten av lecablock. Locket är isolerat med polyuretan. I tabell 10 redovisas grundläggande data för värmelagret. Värmeledningstal och marktemperatur runt lagret är hämtat från (Norbäck m fl 1984).

Tabell 10. Indata värmelagerssimulering

	Parameter	Värde
<i>Dimensionering</i>	radie r (m)	15
	höjd (m)	15
	tjocklek vägg (m)	1.1
	” ” botten (m)	1.2
	” ” lock (m)	0.4
	volym (m ³)	10 600
	lagringskapacitet (MWh)	550
	kapacitet laddning/urladdning (MW)	3
<i>Värmeledningstal</i>	vägg λ_1 (W/m, K)	0.086
	botten λ_2 (W/m, K)	0.26
	lock λ_3 (W/m, K)	0.12
<i>Temperatur</i>	övre (°C)	75
	undre (°C)	30
	utanför vägg/botten (°C)	13

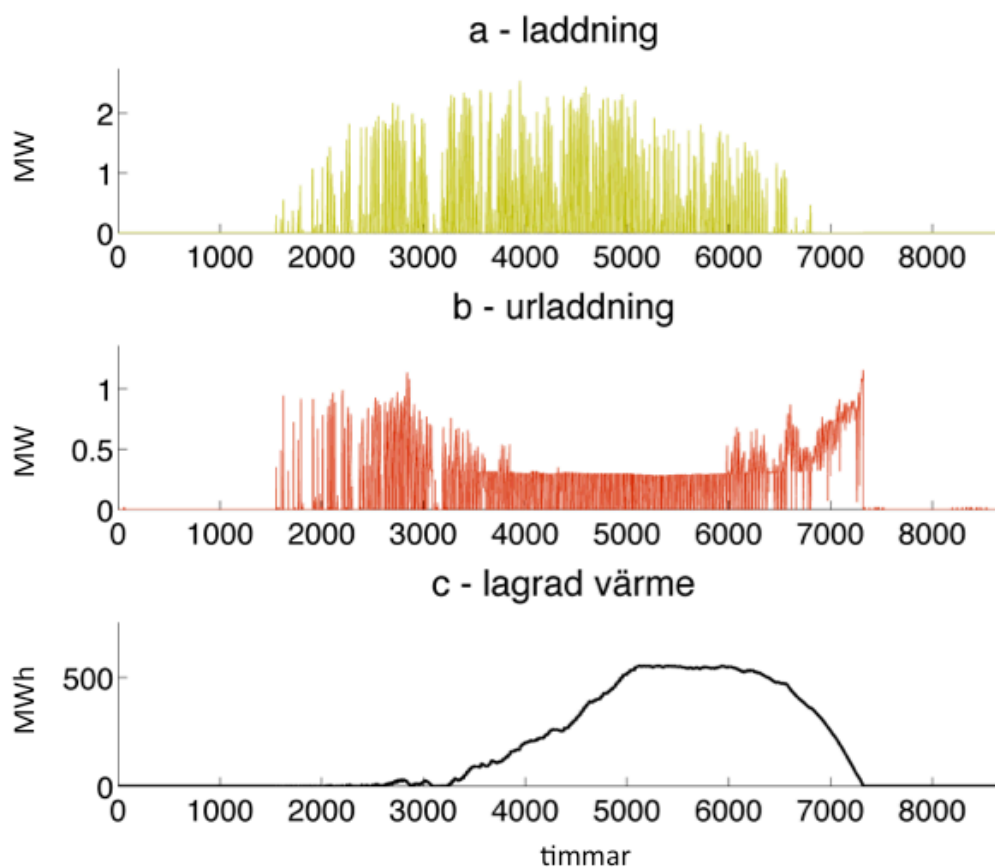
5.6.1 Lagring av överskottsel från solceller

I tabell 11 redovisas årsvärden för värmeförsörjningen i brf Gräslöken när överskott från solelproduktion lagras i form av värme. Den överskottsel som används för värmeproduktion är lika är något lägre i de fall som FTX system ingår i simuleringen på grund av det något ökade elbehovet. Det årsvisa fjärrvärmebehovet minskar från 10.6 GWh till som lägst 3.94 GWh när byggnaderna effektiviseras och överskottsel används för värmeproduktion samt lagras. Mängden värme från överskottsel som lagras beror framförallt av hur mycket som kan användas momentant vilket förklarar att mer värme lagras när det totala värmebehovet är lägre. Lagerförlusterna ligger relativt jämnt mellan 0.18 och 0.20 GWh för hela året oberoende av storleken på värmebehovet. Totalt har lagret en verkningsgrad på 0.88 när det används på det här sättet.

Tabell 11. Resultat för framtida energibalans i brf Gräslöken med effektivisering av byggnader, takintegrerad solel, elbilspool och termiskt lagring.

Fall	värme från överskottsel (GWh)	Fjärrvärme (GWh)	solel värme till lager (GWh)	värme från lager (GWh)	förluster från lager (GWh)	η_{lager}
2016	-	10.61 (ej NÅK)	-	-	-	-
<i>ref</i>	2.48	9.19	1.38	1.30	0.18	0.88
<i>fasad</i>	2.48	6.42	1.36	1.46	0.19	0.88
<i>FTX</i>	2.38	6.68	1.46	1.36	0.19	0.88
<i>fasad + FTX</i>	2.38	3.94	1.48	1.36	0.20	0.87

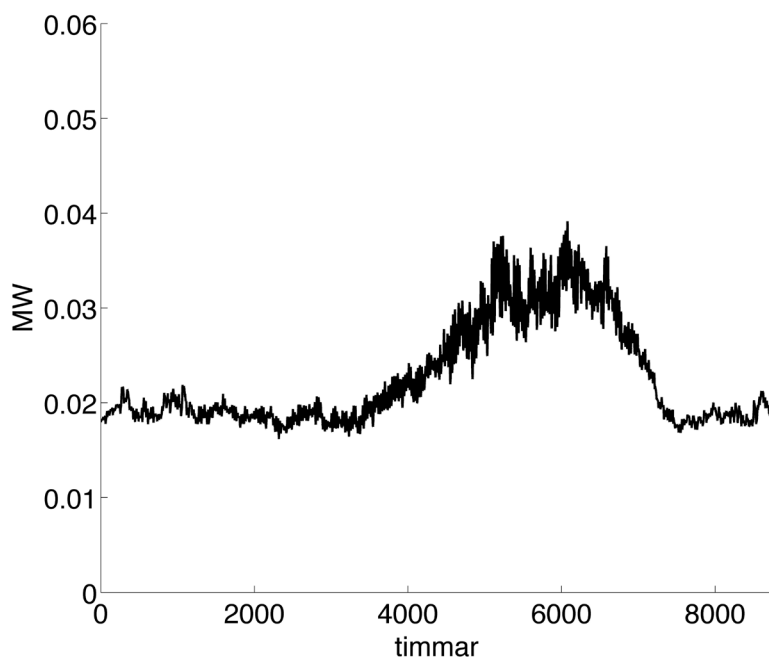
Figur 22 visar inladdning, urladdning och värmemängd i lagret momentant under ett år. Även om det är svårt att se så sker inte inladdning (a) och urladdning (b) samtidigt utan variationerna mellan natt och dag gör att det laddas dagtid och laddas ur under natten. Diagram c visar i vilken utsträckning lagerkapaciteten utnyttjas och det är tydligt att lagret inte används under stora delar av året i den här simuleringen.



Figur 22. Användning av värmelager i Gräslöken för lagring av solvärme i fallet med fasadisolering och FTX. Laddning (a), urladdning (b) och energimängd i lager (c).

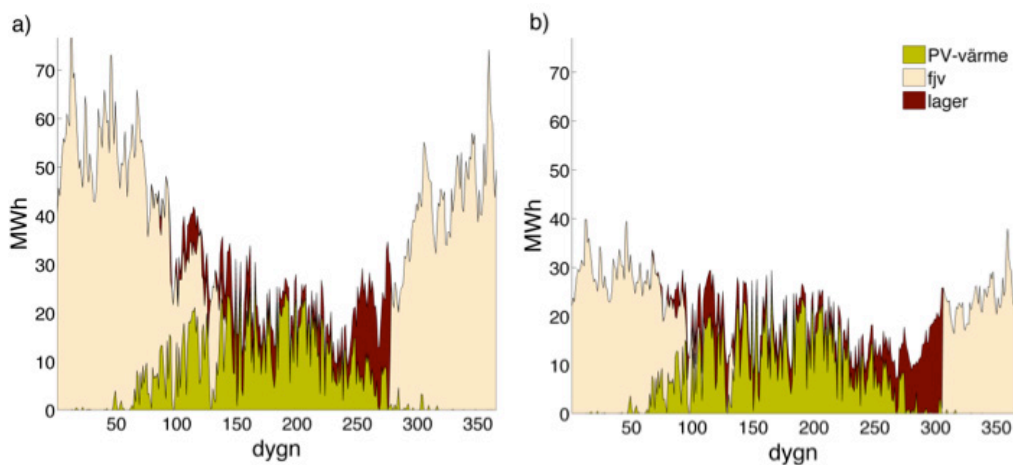
Figur 23 visar de momentana värmeförlusterna för hela året. När lagret är tomt ligger förlusterna 20 kW och detta innebär att motsvarande mängd värme måste tillföras lagret som underhållsvärme för att undvika att lagertemperaturen sjunker under 30 °C. När lagret laddas upp så ökar temperaturen i lagret och därmed även förlusterna vilket syns i figuren ungefär mellan 4000 och 7500 timmar.

Värmeförlustnivåerna stämmer väl överens med de beräkningar som presenteras i Norbäck m fl (1984) där Lambhovlagrets värmeförluster momentant förväntades ligga mellan 0.012 och 0.037 MW beroende på värmeinnehåll i lagret.



Figur 23. Simulerade momentana värmelagerförluster i brf Gräslöken i fallet med fasadisolering och FTX.

I figur 24 visas energibalansen för Gräslöken i form av dygnsmedelvärden för fjärrvärmeeffektivisering värme från överskottsel och värmelager. I diagram a visas energibalansen för fallet då ingen energieffektivisering görs av byggnaderna och soletpotentialen används fullt ut tillsammans med värmelagret. Diagram b visar motsvarande energibalans med fasadisolering och FTX installation i byggnadsbeståndet. Med omfattande effektivisering av byggnaderna och konvertering av överskottsel från soletproduktion till värme skulle ett område som brf Gräslöken bli självförsörjande på värme och varmvatten från början av april till och med oktober.



Figur 24. Dygnsvärden för fjärrvärmeförsörjning, värme från överskottsel och lagring under ett år i brf Gräslöken, referensfallet (a) och effektivisering av fasad + installation av FTX (b).

Eftersom det är värmebehovet under årets varmare månader som täcks av överskottselvärmerna i beräkningarna är det rimligt att fundera på primärenerginyttan av en sådan här systemlösning i ett fjärrvärmesystem som har stora delar av värmelasten täckt av värme från avfallsförbränning eller industriell spillvärme under den delen av året. Däremot i de system som har bränslebaserad värmeproduktion året runt, vanligtvis mindre system, skulle nyttan av en sådan lösning vara större. Detta innebär att det finns anledning att fundera över vilka lösningar som gör mest nytta i olika typer av fjärrvärmesystem. I nästa sektion beräknas hur ett värmelager skulle dimensioneras för att försörja hela brf Gräslökens värmebehov med värme från avfallsförbränning.

5.6.2 Lagring av värme från avfallsförbränning

Säsongslager skulle även kunna användas för att utnyttjandet eventuellt ledig kapacitet i avfallsförbränningsanläggningar sommartid. I tabell 12 presenteras hur ett groplager kan dimensioneras för att täcka brf Gräslökens värmebehov med spillvärme från avfallsförbränning. Lagrets konstruktion är densamma som i föregående beräkning. Skillnaderna ligger i storleken på lagret, kapaciteter för inladdning och urladdning samt lagringstemperaturer. Beräkningarna är gjorda för fallet med fasadisolering och installation av FTX-system.

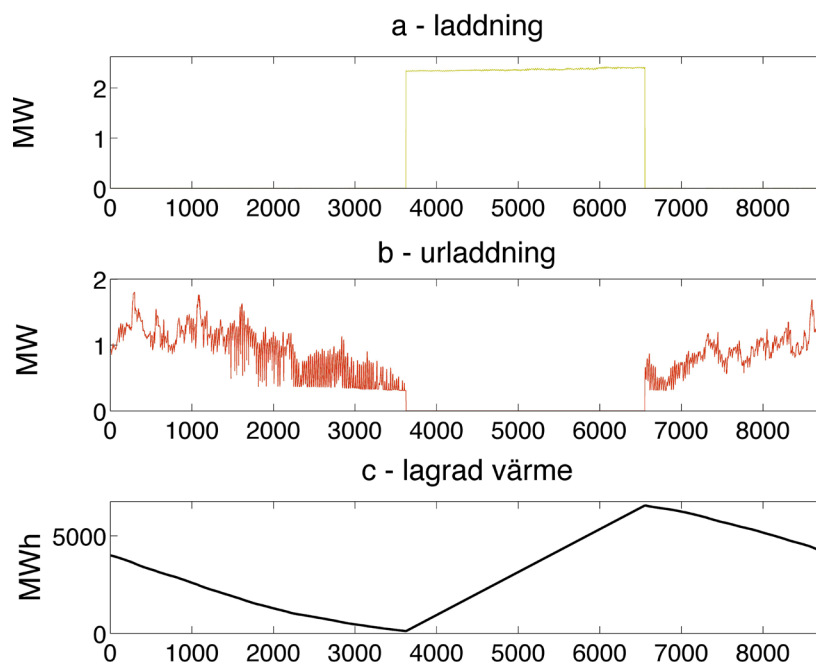
Tabell 12. Egenskaper hos lager som anpassats för att täcka brf Gräslökens värmebehov med värme från avfallsförbränning

Parameter	värde
lagervolym	127 000 m ³
lagerkapacitet	6.6 GWh
Effekt inladdning	2.2 MW
Effekt urladdning	2.2 MW
Lagringstemperaturer	85/40 °C
förluster i lagring per år	1.58 GWh (24 %)

För att täcka hela värmebehovet med avfallsspillvärme som lagras in under perioden juni till och med september behövs enligt beräkningarna en lagringskapacitet på 6.6 GWh för att täcka värmebehov och lagerförluster. I det här exemplet antogs något högre lagringstemperaturer för att begränsa storleken på lagret. Lagervolymer som krävs beräknades till 127 000 m³ vilket är ungefär 12 gånger större än för beräkningarna i kapitel 5.6.1. Beräkningarna här är utförda som om lagret bestod av en sammanhängande lagervolym. Om lagret skulle delas upp i flera mindre lager skulle lagerförlusterna bli större på grund av den sammanlagt större omslutande arean på lagret.

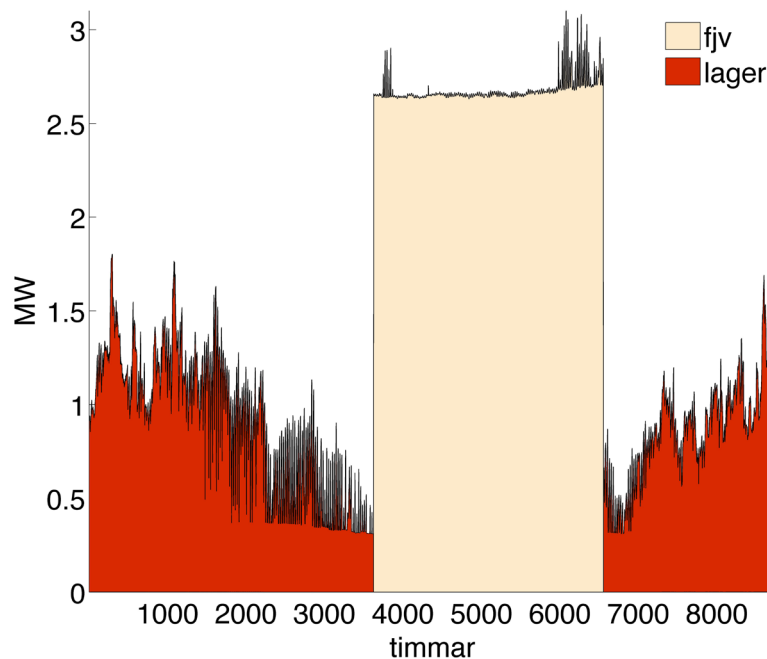
I figur 25 visas timvis laddning (a), urladdning (b) och energiinnehåll (c) för lagret. Det är ett annorlunda lagerutnyttjande jämfört med motsvarande resultat för lagring av värme från elöverskott som visades i figur 19 i föregående delkapitel. En tydlig skillnad är att lagret används hela året istället för bara under sommaren och hösten som var fallet när solesvärmen lagrades. Det beror på att lagret dimensionerats för att täcka hela värmebehovet istället för att som i solesfallet dimensioneras efter tillgången på överskottsel. Det är också en skillnad i hur lagret används över tid. I solesfallet används lagret både kortsiktigt och långsiktigt. Värme lagras in på dagtid framförallt under sommaren och ur till viss del nattetid

under samma del av året och därefter kontinuerligt över dygnet så långt den lagrade värmen räcker. I det här fallet med lagring av avfallsvärme är laddning och urladdning av lagret uppdelat på säsong vilket är naturligt eftersom att avfallsförbränning producerar kontinuerligt. Eventuella revisionsperioder i avfallsförbränningsanläggningar kan dock ha betydelse för tillgången på avfallsvärme. I det här exemplet förutsattes att det som i Uppsalas fjärrvärmesystem finns flera olika pannor för avfallsförbränning och att dessa inte genomgår revision samtidigt.



Figur 25. Timvis laddning (a) och urladdning (b) av avfallsvärme till och från lager samt lagrets energiinnehåll vid varje timme (c) för ett helt år i brf Gräslöken.

Figur 26 visar hur fjärrvärmeförsel och värme från lager skulle fördela sig timvis över året för brf Gräslöken om området skulle vara helt försörjt av avfallsvärme. Fjärrvärmeförseln skulle vara koncentrerad till den delen av året då ledig kapacitet antas finnas i avfallsförbränningsanläggningarna i Uppsalas fjärrvärmesystem. Övrig tid försörjs området helt och hållet från värmelagret.



Figur 26. Timvis värmeförsörjning brf Gräslöken med avfallsvärme lagrad i termiskt groplager.

5.7 PRIMÄRENERGIBESPARING AV EFFEKTIVISERINGSÅTGÄRDER

I den här rapportens avslutande del diskuteras betydelsen av ett systemperspektiv vid genomförande av energieffektiviserande åtgärder. Mängden använd energi som sparas vid en åtgärd motsvaras inte nödvändigtvis av samma mängd insparad primär energi. Energislag, konvertering av energi och under vilken del av året energianvändningen påverkas, har betydelse. Till exempel kan en åtgärd som minskar behovet av fjärrvärme och samtidigt ökar behovet av el ge en mindre besparing av primär energi jämfört med besparingen av använd energi. I det här kapitlet beräknas primärenergibesparing för de energieffektiviseringsåtgärder som undersökts för brf Gräslöken. Eftersom bränslen och produktionsanläggningar skiljer sig åt mellan olika fjärrvärmesystem beräknas här primärenergibesparing för åtgärderna i tre olika fjärrvärmesystem. Primärenergibesparing beräknas enligt

$$PE_{tot} = f_1 \cdot Q_1 + \dots + f_n \cdot Q_n + f_{el} \cdot (Q_{elanv} - Q_{elprod}) \quad (8)$$

där PE_{tot} är den totala insparade mängden primär energi och utgörs av summan av primärenergibesparingen till följd av förändrad årlig energianvändning för respektive energislag som påverkas av åtgärden. De förändrade mängderna av respektive energislag ($Q_1 \dots Q_n$) i fjärrvärmeproduktion multipliceras med respektive energislags primärenergifaktor ($f_1 \dots f_n$). De primärenergifaktorer som använts i beräkningarna är hämtade från (Miljöfaktaboken 2011) och visas i tabell 13.

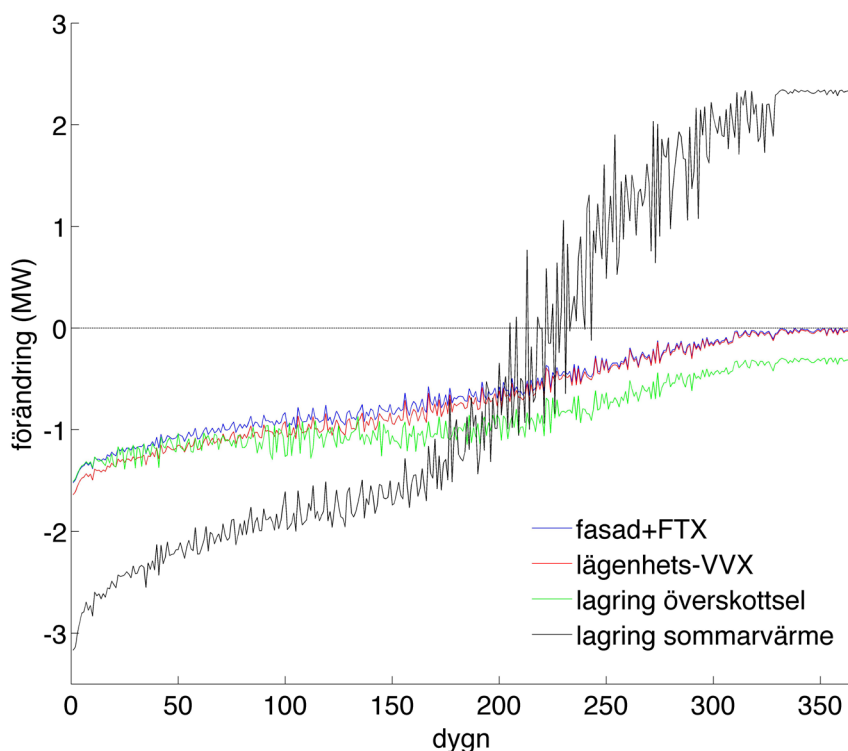
Tabell 13. Primärenergifaktorer

Energislag	PE-faktor (kWh/kWh)
Avfall (svenskt genomsnitt)	0.04
Olja (EO1)	1.11
Skogsflis	1.06
Sågverksrester	1.01
GROT	1.03
El kolkondens	2.26
El Naturgas	1.97
El nordisk mix	1.74
El förnybar (vindkraft)	0.05

Primärenergiberäkningar för använd och producerad el $f_{el} \cdot (Q_{elanv} - Q_{elprod})$ kräver antaganden om elens ursprung. Det nordiska elsystemet är kopplat till det Europeiska elnätet via ett antal likströmsöverföringar. Detta gör att ursprunget för den el vi använder i Sverige vid en viss tidpunkt är svårt att avgöra. Ett antal olika perspektiv för att värdera den el vi producerar och använder finns tillgängliga. Här beräknas primärenergibesparingen för fyra olika primärenergivärderingar av el. *El kolkondens* motsvarar ett marginalesperspektiv utifrån dagens Europeiska och nordiska elproduktion och kolkondenskraft antas utgöra marginalproduktion, dvs dyraste produktion, under stora delar av året. *El naturgas* är ett perspektiv där naturgaseldade kraftverk antas ha ersatt koldkondens som marginalproduktion i stor utsträckning. För *El nordisk mix* värderas använd och producerad el utifrån ett genomsnitt av den elproduktion som finns i det nordiska kraftsystemet. Avslutningsvis beräknas även primärenergibesparingen för ett fall där el värderas som förnybar och representeras i det här fallet av primärenergifaktorn för vindkraft.

De undersökta energieffektiviseringsåtgärderna leder till olika stor mängd sparad energi. För att göra primärenergiberäkningarna jämförbara används kvoten mellan sparad primärenergi (PE_{tot}) och sparad slutanvänd värme ($\Delta Q_{värme}$) som relativt mått, det vill säga $PE_{tot}/\Delta Q_{värme}$. En kvot som är större än 1 innebär att primärenergibesparingen av en åtgärd är större än mängden minskad slutanvänd energi. Om däremot kvoten är mindre än 1 sparas mindre mängd primärenergi än använd energi.

Primärenergibesparingen beräknas för fyra olika "paket" innehållande två eller flera energieffektiviseringsåtgärder. Det första paketet (*fasad+FTX*) består av tilläggsisolering av fasad, byte av fönster och dörrar, samt installation av från- och tilluftsvärmeväxling. De övriga tre paketen innehåller åtgärderna från det första paketet men med olika tillägg. Paket nummer två (*lägenhets-VVX*) innehåller förutom klimatskalsförbättringar och FTX även installation av lägenhetsvärmeväxlare. Det tredje paketet (*lagring solel*) innehåller förutom baspaketet lagring av överskottsel från solceller som värme. Det fjärde och sista åtgärdspaketet (*lagring av sommarvärme*) har tillägget att värme lagras in under sommarmånaderna för att försörja värmebehovet under resten av året.



Figur 27. Förändring av värmebehov i MW för de olika åtgärds paketen.

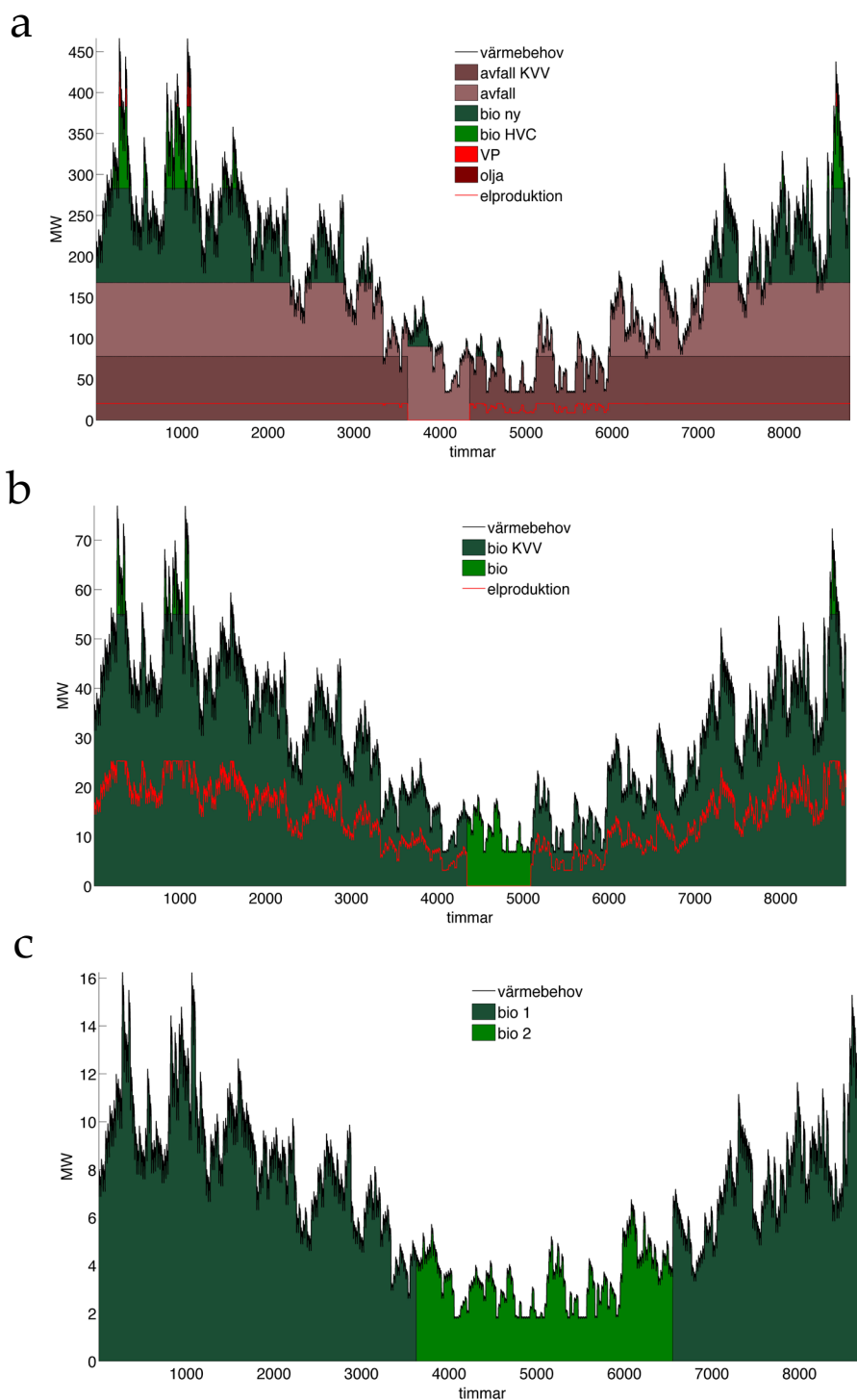
Effektiviseringsåtgärds paketen påverkar värmebehovet i brf Gräslöken på olika sätt. I figur 27 visas skillnaden mellan värmebehovet före och efter energieffektivisering för de olika åtgärds paketen. Dygnen i figur 27 är sorterade i storleksordning med dygnet med högst värmebehov längst till vänster och dygnet med lägst värmebehov längst till höger. Det innebär i princip att vinterdygnen återfinns i den vänstra delen av diagrammet och sommardygnen i den högra delen. Vår och höst återfinns i mitten av diagrammet. Tilläggsisolering av fasad samt installation av FTX-system (blå linje) reducerar värmebehovet jämt över året relativt värmebehovets storlek. Det innebär att den absoluta skillnaden blir störst när det är som kallast ute och värmebehovet är som störst. Om detta kombineras med installation av lägenhetsvärmepump (röd linje) som minskar distributionsförlusterna på området blir förändringen något större men profilen oförändrad. Att kombinera fasadeffektivisering och FTX med lagring av överskottsel från solceller (grön linje) ger en omfattande sänkning av fjärrvärmebehovet sommartid som konstaterats tidigare i rapporten blir noll från april till och med oktober. Lagring av sommarvärme för att täcka värmebehovet under årets kallare delar (svart linje) ger den mest radikala förändringen av värmebehovet med en ökning av värmebehovet under sommarmånaderna och inget fjärrvärmebehov vintertid.

5.7.1 Simulering av fjärrvärmeproduktion

Primärenergibesparing av energieffektiviseringsåtgärder i fjärrvärmeuppvärmda byggnader beror i stor utsträckning på värmeproduktionen (bränslen och typ av anläggningar) i det fjärrvärmesystem som försörjer byggnaden med värme. Här används tre modeller för att simulera värmeproduktion, elproduktion samt el- och bränsleanvändning före och efter energieffektiviseringsåtgärder i tre typiska fjärrvärmesystem. Fjärrvärmeproduktionsmodellerna har byggts i FMS-modellen som är ett Matlab-baserat verktyg som använder linjärprogrammering för att simulera och/eller optimera fjärrvärmeproduktion. FMS-modellen finns beskrivet i detalj i (Åberg och Widén 2013). Modellerna är förenklade beskrivningar av fjärrvärmesystemen i Uppsala (efter att det nuvarande torveldade kraftvärmeverket ersatts med en biopanna), Enköping och Knivsta. Det är viktigt att poängtera att modellerna inte gör anspråk på att ge en exakt representation av värme- och elproduktionen i dessa system utan att dessa system valts ut för att representera viktiga principiella skillnader i produktion som finns i den svenska fjärrvärmesektorn. I tabell 14 visas systemspecifika parametrar som används för att beskriva respektive system.

Tabell 14. Värmeproduktionsspecifikationer för simuleringsmodeller

System	Produktion	Kapacitet (MW)	verkningsgrad	α – värde
Uppsala "Framtid"	Avfall	90	1.1	
	Avfall KVV	78	1.1	0.26
	Bio	115	1.1	
	Bio konverterad befintlig HVC	100	0.91	
	Värmepumpar	25	2.5	
Spetsprod (olja EO1)	300	0.91		
Enköping	Bio KVV	55	1	0.44
	Bio	22	1	
	Spets (olja EO1)	58	0.86	
	Spets (el)	36	1	
Knivsta	Bio 1 träflis	15	0.85	
	Bio 2 grönflis	8	0.82	
	Spets (olja EO1)		0.78	



Figur 28. Timvis fjärrvärme- och elproduktion i tre typiska fjärrvärmesystem "Uppsala framtid" (a), "Enköping" (b) och "Knivsta" (c).

Figur 28 (a-c) visar simulerad timvis fjärrvärmeproduktion för de tre typiska systemen uppdelat i olika produktionsslag. Den svarta linjen högst upp i diagrammen är det totala värmeproduktionsbehovet och den heldragna röda linjen

är total elproduktion i kraftvärmeanläggningar. För Uppsalasystemet (a) är det centrala den stora andelen av värmebehovet som försörjs av spillvärme från avfallsförbränningen, delvis i form av kraftvärme och delvis av enbart värmeproduktion. Enligt Åberg (2014) levererades runt 19 % av svensk fjärrvärme i större system med stor andel avfallsförbränning 2011. Värmepumpar och oljepannor används enbart för spetsproduktion i simuleringarna. I verkligheten används dessa i något större utsträckning som back-up för oförutsedda produktionsbortfall i annan produktion. I Enköpingsystemet (b) är den biobränsleeldade kraftvärmen central som i princip täcker hela värmebehovet med undantag för en månad på sommaren då anläggningen antas tas ur drift för underhåll. Under 2011 stod mellanstora kraftvärmesystem med huvudsakligen biobränsle för 44 % av värmeleveranserna i Sverige (Åberg 2014). Knivstasystemet (c) representerar många av de mindre system som finns i Sverige som har enbart värmeproduktion som är biobränslebaserad. 2011 levererades ca 28 % av svensk fjärrvärme i den här typen av små system med mycket biobränsle och utan kraftvärmeproduktion (Åberg 2014). I Knivsta finns två olika biopannor som båda eldas med flis. Den större pannan tas ur drift och ersätts av en mindre panna under sommaren då värmelasten är så låg att effektiviteten på den större pannan blir låg.

5.7.2 Resultat primärenergibesparing

Primärenergibesparingen av de simulerade åtgärderna visas i figur 29 (a-c). För den framtida Uppsala-modellen (c) är det tydligt att alla åtgärder förutom lagring av sommarvärme ger en lägre besparing av primär energi per minskad enhet använd fjärrvärme. Det ökade elbehovet som installation av FTX-system innebär gör att primärenergibesparingen är mindre än 30 % av den sparade inköpta energin för alla åtgärder om inte den använda elektriciteten kan betraktas som förnybar. Den generellt låga primärenerginyttan av att minska fjärrvärmeanvändningen i det framtida Uppsalasystemet (under 80 % om elen är förnybar) beror främst på den stora andelen spillvärme från avfallsförbränning. Detta förklarar också den stora primärenerginyttan av att lagra sommarvärme för att ersätta annan värme sommartid. Detta ger en reduktion av primärenergianvändning som är mellan 2.3 och 3.1 gånger större än reduktionen av fjärrvärmeanvändningen. Detta eftersom värme med relativt sett hög primärenergiintensitet (värmepump, olja och biobränsle) ersätts av avfall som har låg primärenergiintensitet.

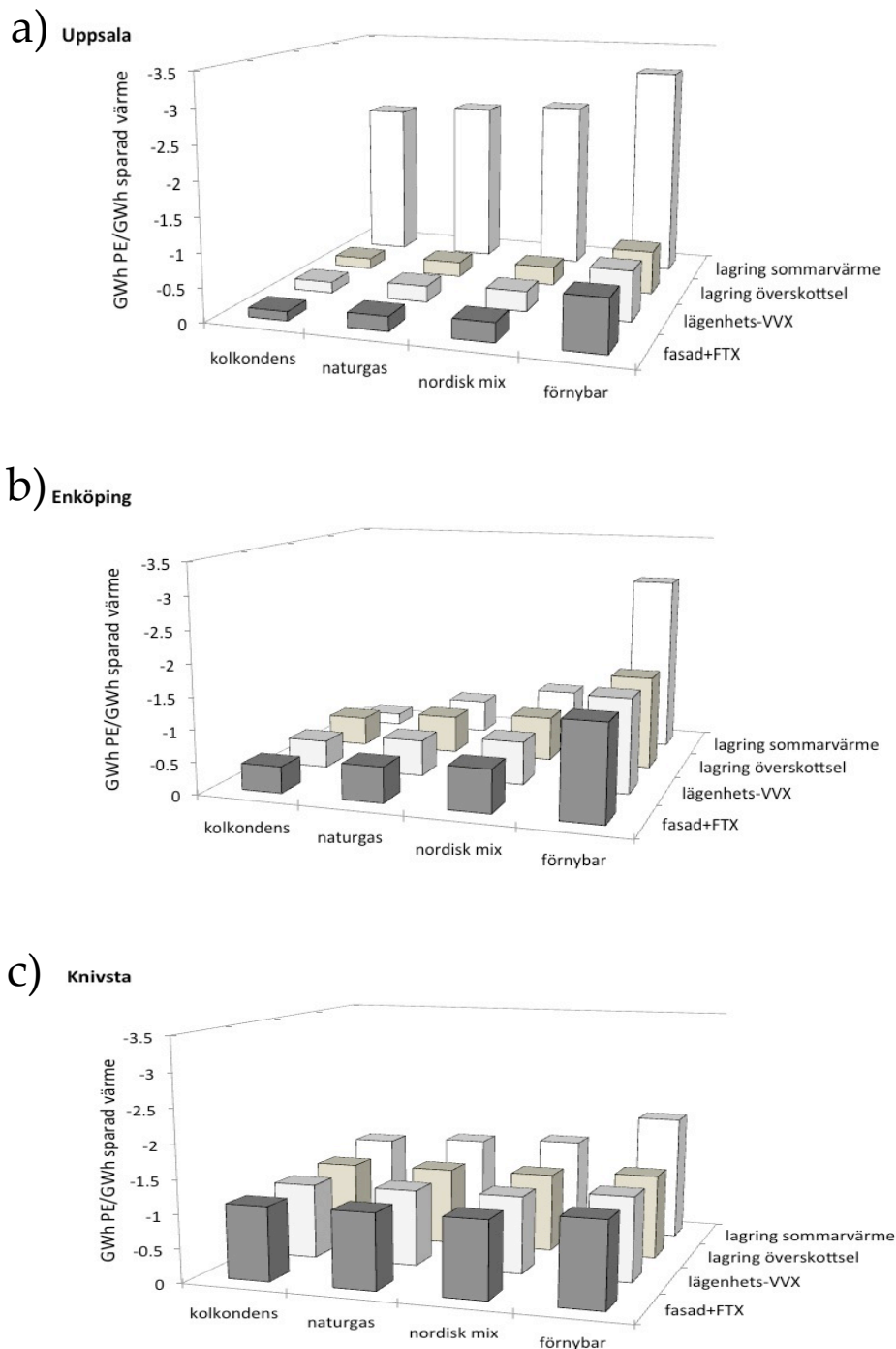
Primärenergieffekter motsvarande de för Uppsalasystemet visas i diagram (b) för Enköpingsystemet. Värderingen av el har stor betydelse för primärenerginyttan av effektiviseringsåtgärder. Alla åtgärder ger mindre primärenergibesparing än fjärrvärmebehovsminskning om inte el betraktas som förnybar. Det tolkas som att minskad elproduktion i biokraftvärme leder till ökad mängd elproduktion i mindre effektiva och primärenergiintensiva produktionsanläggningar. Om el betraktas som förnybar och kraftvärme-el inte kan antas ersätta "sämre" produktion blir primärenerginyttan av energieffektiviseringarna tydligt större. Biobränslebaserad kraftvärme utgör en stor del av produktionen och täcker i princip hela produktionsbehovet även när det är som kallast. Det innebär att oavsett när på året som värmebehovet minskas så påverkas elproduktionen i kraftvärmen och värderingen av el påverkar därför

primärenergieffekten i stor utsträckning. Juli månad är dock undantaget då kraftvärmeverket under den månaden antas genomgå underhåll och ersätts av en biobränsleeldad hetvattenpanna. För lagring av sommarvärme i fallet när el värderas som förnybar så blir primärenerginyttan signifikant större än i de övriga fallen. Detta förklaras av att den primärenergimässiga nyttan av att minska mängden använt bränsle. Denna blir större om sommarvärme lagras in under revisionsmånaden då enbart värme produceras och sedan ersätter den mer bränslekrävande kraftvärmeproduktionen under resten av året vars elproduktion endast ger marginell primärenergieffekt.

I diagram (c) visas primärenergieffekten för energieffektiviseringsåtgärderna i ett fjärrvärmesystem vars produktion liknar systemet i Knivsta. Detta är det enklaste systemet av de tre med enbart biobränslebaserad hetvattenproduktion och det är även tydligt att primärenergibesparingen för åtgärderna generellt är större än minskad använd energi. Särskilt tydligt är det att primärenerginyttan blir större om använd el har en lägre primärenergifaktor som i det här systemet enbart påverkar det ökade elbehovet till följd av installation av FTX-system.

För alla system gäller att inlagring av sommarvärme leder till en betydligt mindre mängd sparad värme för åtgärdspaket *lagring av sommarvärme*. Det beror på att lagringen kräver extra värmeleveranser för att kompensera för förlusterna från lagret under året. Det innebär att andelen minskade värmeleveranser på årsbasis minskar med 19 % när sommarvärme lagras in för att täcka värmebehovet resten av året istället för med 48 % om lagring inte inkluderas. Därför är det nödvändigt att det finns goda skäl för lagring av värme under sommarmånaderna, som exempelvis tillgång på spillvärme från industri eller avfallsförbränning.

Sammanfattningsvis är det tydligt att primärenergibesparingen av att energieffektivisera fjärrvärmeuppvärmda byggnader till stor del beror av den lokala värmeproduktionen. Stor andel spillvärme från avfallsförbränning minskar nyttan av energieffektiviseringar avsevärt men elproduktion i kraftvärmeverk samt hur använd och producerad el värderas har stor betydelse för resultaten. I system utan kraftvärme och avfallsförbränning ger uteslutande primärenergibesparingar som är större än den minskade använda fjärrvärmeenergin.



Figur 29. Primärenergibesparing per enhet minskat värmebehov per åtgärd och för olika PE-värdering av el. Resultaten visas systemvis för Uppsala framtid (a), Enköping (b) och Knivsta (c).

5.8 SAMMANFATTNING AV RESULTAT BRF GRÄSLÖKEN

Resultaten från fallstudien brf Gräslöken visar delvis att det i liknande områden finns potential att på områdesnivå minska distributionsförluster i befintligt kulvertsystem. Detta främst genom att minska antalet ledningsrör. Sänkning av systemtemperaturer i befintlig kulvert har dock begränsad påverkan på

förlusterna. Resultaten för värmelagring visar också att beroende på befintlig värmeförsörjning i fjärrvärmesystemet så bidrar lagring av värme olika mycket till ökad resurseffektivitet. I ett bränslebaserat system utan avfallsförbränning eller annan spillvärme kan överskottsel konverteras till värme sommartid och lagras. Men ett system där spillvärme från avfallsförbränning eller industri utgör basleverans och där överkapacitet av dessa resurser finns, skulle förmodligen större resurseffektivitet uppnås genom att lagra spillvärme för att ersätta bränslebaserad värme under övriga delar av året.

- En halvering av värmebehovet i byggnader till följd av fasadisolering med nya fönster och dörrar samt installation av från-tilluftsvärmeväxling är möjlig.
- Sänkningar av distributionstemperaturer till följd av det lägre värmebehovet ger upphov till en beräknad minskning av distributionsförlusterna med 13 %.
- Om lägenhetscentraler för varmvattenberedning installeras och ersätter ledningar för varmvatten och VVC beräknas distributionsförlusterna kunna reduceras med upp till 49 %.
- Laddning av elbilar i en elbilpool ökar variationerna i elanvändningen och bidrar knappt till att öka självkonsumtion och självförsörjning av solexproduktion.
- Om överskottseln från solexproduktion konverteras till värme och lagras i ett vattenmagasin av storleken 10 600 m³ med en lagringskapacitet om 550 MWh ersätts fjärrvärmehotet helt och hållet från och med mitten av april till och med oktober.
- Om istället värmelager skulle användas för att hela värmebehovet skulle försörjas med avfallsförbränningsvärme behövs en lagervolym om 127 000 m³.
- Primärenergibesparingen av att energieffektivisera fjärrvärmeuppvärmda byggnader till stor del beror av den lokala värmeproduktionen.

6 Miljonprogrammet - andel av värmeunderlag och simulering av bestånd på stadsnivå

I följande kapitel avhandlas det miljonprogramsbeståndets betydelse för fjärrvärmeunderlaget i Sverige. Inledningsvis görs en bedömning av hur stor andel av fjärrvärmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem som utgörs av miljonprogramshus och hur den andelen varierar mellan olika system och vilken betydelse systemets storlek har för andelen av värmeunderlaget som består av miljonprogramsbebyggelse. Därefter redovisas en mer detaljerad kartläggning av miljonprogramsbeståndet i Uppsala som används för att simulera energibalansen i beståndet samt beräkna energieffektiviseringspotentialen. Kapitlet avslutas med en potentialberäkning för takintegrerad solex i det svenska miljonprogramsbeståndet samt en analys av hur stora mängder solex i det svenska kraftsystemet kan komma att påverka spotmarknadspriset på el.

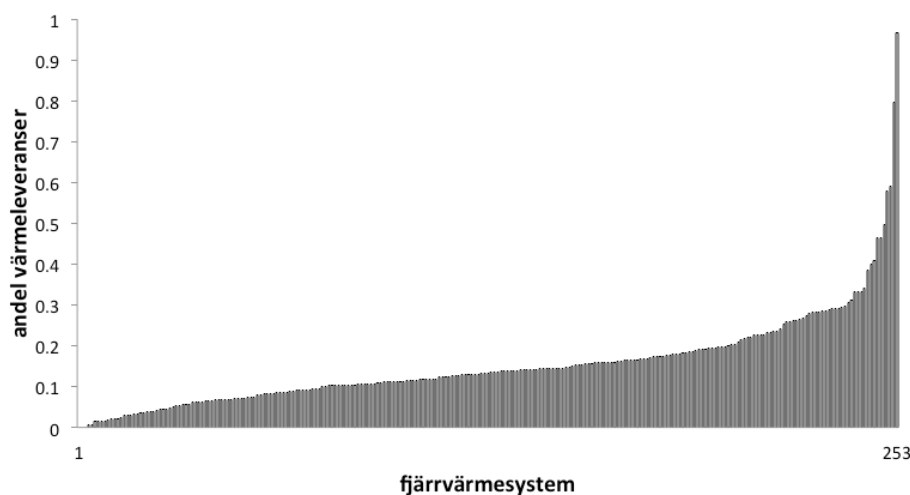
6.1 MILJONPROGRAMSBESTÅNDETS ANDEL AV SVENSKT FJÄRRVÄRMEBEHOV

För att bedöma miljonprogramsbeståndets andel av värmelasten i svenska fjärrvärmesystem extraherades antalet småhus, hyresrätter och bostadsrätter för varje kommun extraherades manuellt ur Boverkets karttjänst för miljonprogramsbostäder i Sverige (Boverket 2016b). Denna karttjänst är baserad på data från Boverkets energideklarationsregister. Energideklarationsregistret har tillkommit efter det att lagen om energideklarationer infördes i Sverige 2006. Lagen syftar till att främja en effektiv energianvändning och en god inomhusmiljö i byggnader. Energideklarationen innehåller bland annat uppgifter om byggnaders energianvändning, energitillförsel, byggnadstyp, byggnadsår och geografisk placering (Boverket 2010). I november 2016 hade över 635 000 byggnader i Sverige en godkänd energideklaration (Boverket 2016c).

Antalet hyresrätter och bostadsrätter i Boverkets statistik antas huvudsakligen vara lägenheter i flerbostadshus. Vissa kommuners bostäder sorterades bort på grund av att de till exempel inte har något fjärrvärmesystem eller att den uppskattade andelen av värmelasten i kommunhuvudortens fjärrvärmesystem översteg 100 % vilket antas bero på osäkerheter i statistik för årliga fjärrvärmeleveranser eller att det aktuella fjärrvärmesystemet har begränsad lokal täckningsgrad. Totalt är drygt 570 000 bostäder representerade i statistiken (det motsvarar ca 88 % av miljonprogrammets flerbostadshuslägenheter).

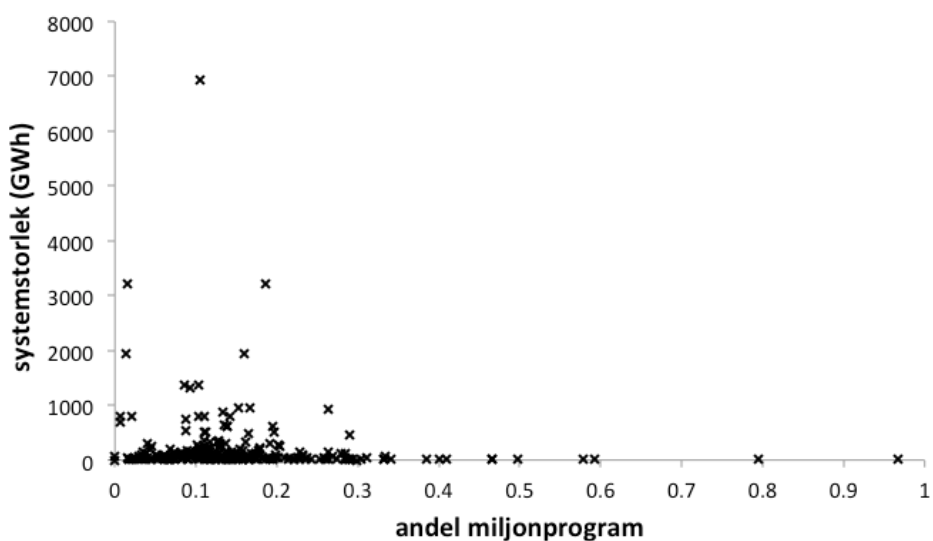
Fjärrvärmeanvändningen per lägenhet och år i flerbostadshusfastigheter byggda mellan 1961 och 1980 var enligt statistik från Energimyndigheten 11.1 MWh år 2013 (Energimyndigheten 2014). Statistik för totala fjärrvärmeleveranser per fjärrvärmesystem under 2014 finns tillgängligt i energimarknadsinspektionens nättjänst "Fjärrvärmekollen" (Energimarknadsinspektionen 2016).

Genom att anta att en kommuns miljonprogramslägenheter i huvudsak försörjs med fjärrvärme levererat i kommunens största fjärrvärmesystem skattades andelen fjärrvärmeanvändning av de totala fjärrvärmeleveranserna per fjärrvärmesystem. I de fall som ett och samma fjärrvärmesystem levererar värme i flera kommuner aggregerades antalet lägenheter för de berörda kommunerna. Figur 30 visar de uppskattade andelarna av fjärrvärmeanvändning i miljonprogrammet av de totala fjärrvärmeleveranserna per kommun eller kommungrupp sorterade i storleksordning.



Figur 30. Andelen av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem som utgörs av flerbostadshus i miljonprogramsbeståndet

Figur 30 visar att de för allra flesta svenska fjärrvärmesystem utgör miljonprogramsbeståndet mindre än 30 % av värmeunderlaget. Ett fåtal system har högre andelar av värmeunderlaget i miljonprogramsfastigheter. Den genomsnittliga andelen är 15,4 %. Figur 31 visar hur storleken på systemet förhåller sig till andelen av värmeunderlaget som utgörs av miljonprogramshus.

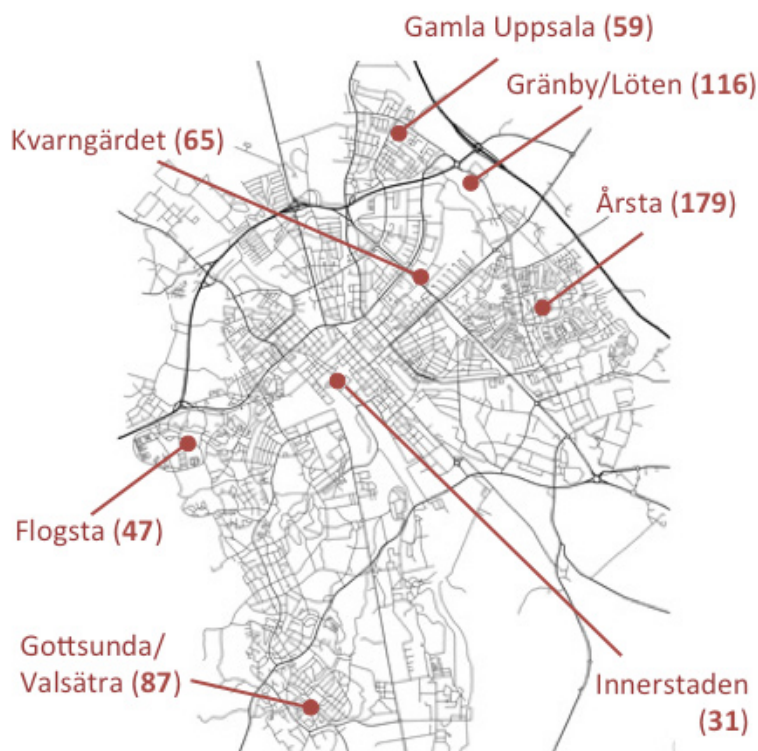


Figur 31. Samband mellan systemstorlek och andel värmeunderlag i miljonprogramsbebyggelse.

Enligt figur 31 föreligger inte något tydligt samband mellan systemstorlek och andelen av fjärrvärmelasten som är miljonprogramslägenheter. Detta är rimligt och förklaras av att miljonprogrammet byggdes ut i hela landet och inte bestod av enbart storstadsprojekt. Det är dock tydligt att för alla större fjärrvärmesystem (> 1000 GWh/år) så är andelen värmeunderlag i miljonprogrammet under 20 % och system där miljonprogramshusen utgör mer än 20 % av värmeunderlag är i regel mindre system (< 1000 GWh/år).

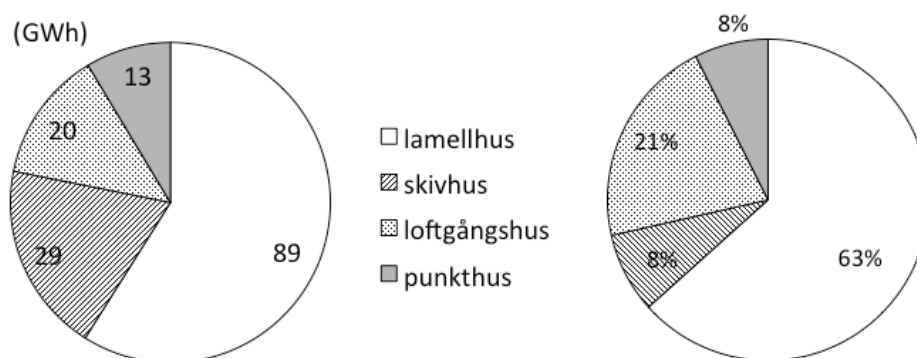
6.2 KARTLÄGGNING AV OCH ENERGIEFFEKTIVISERINGSPOTENTIAL I UPPSALAS MILJONPROGRAMSBESTÅND

För att beräkna energieffektiviseringspotentialen i miljonprogramsbeståndet i ett fjärrvärmesystem genomfördes en kartläggning av det fjärrvärmeuppvärmda beståndet av flerbostadshus i Uppsala som byggdes under miljonprogramsåren. I kartläggningen inkluderades de energideklarationer för flerbostadsfastigheter i Uppsala kommun med fjärrvärme som uppvärmning där angivet byggår var mellan 1965–1974. För att underlätta validering av energibalanssimuleringar så sorterades alla fastigheter med installerat FTX-system bort. Ytterligare några fastigheter sorterades bort efter att okulär besiktning av beståndet visat att de var uppenbart feldeklarerade. Allt som allt 606 flerbostadshus anslutna till Uppsalas fjärrvärmesystem användes i slutändan för att representera miljonprogramsbeståndet i Uppsala.



Figur 32. Fördelning på stadsdelsnivå av fastigheter från miljonprogramsåren i Uppsala

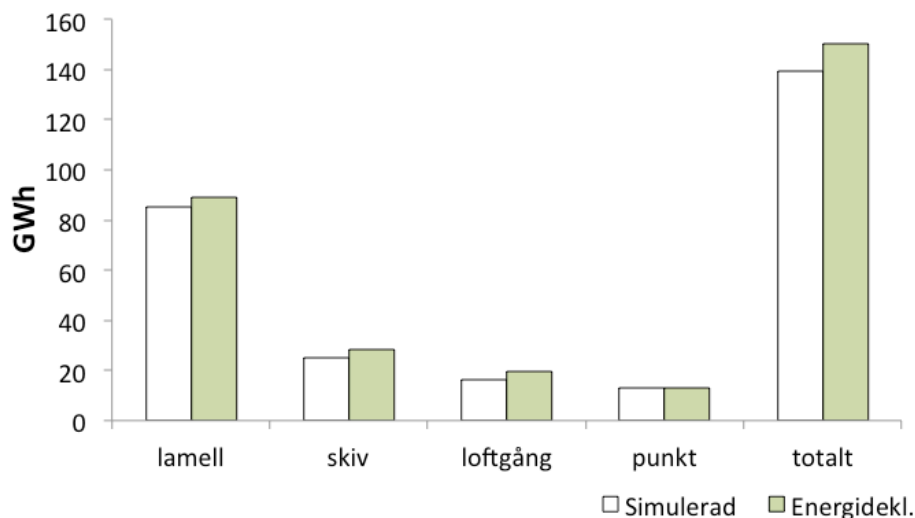
Figur 32 visar hur de undersökta fastigheterna fördelar sig geografiskt i Uppsala stad. 22 av de undersökta fastigheterna är inte representerade i kartan då dessa är placerade individuellt och är utspridda i övriga delar av staden. Det är tydligt att miljonprogramshusen framförallt är lokaliserade i den nordöstra delen av Uppsala och att den här bebyggelsen generellt är förlagd till stadens utkanter.



Figur 33. Fördelning av hustyper i Uppsalas miljonprogram med avseende på fjärrvärmeanvändning (till höger) och antal byggnader (till vänster)

Figur 33 visar hur miljonprogramsbeståndet i Uppsala fördelar sig med avseende på typ av hus. Det vänstra diagrammet visar fjärrvärmeanvändningen utifrån vad som angivits i energideklarationerna. Det högra diagrammet visar motsvarande fördelning för andelen av antalet fastigheter. Som väntat är lamellhusen vanligast. Det är dock tydligare när det gäller andelen av antalet fastigheter än när det gäller värmeanvändningen. Det förklaras av att lamellhusen i regel är mindre än till exempel skivhus och punkthus som därmed använder mer värme per hus. Loftgångshusen är generellt också mindre hus och har därmed större representation när det gäller andelen av antalet snarare än värmeanvändningen.

För att beräkna behovet av fjärrvärme i byggnader användes på samma sätt som för brf Gräslöken VIP-Energy (StruSoft 2016).



Figur 34. Årsvärden för simulerade och uppmätta värmebehov i Uppsalas miljonprogram för olika byggnadskategorier.

Fyra olika modeller VIP-Energy användes för att representera de fyra huvudkategorierna av byggnader från miljonprogramsåren; lamellhus, skivhus, loftgångshus och punkthus. Modellerna baserades på information från energideklarationer, okulär besiktning av byggnader samt på tekniska beskrivningar ibland annat (Björk och Kallstenius 2002). Eftersom mindre skillnader finns mellan husen även inom kategorierna har modellerna utformats för att representera ett genomsnitt av byggnaderna i respektive kategori. Det innebär att genomsnittliga värden för storlekar på fönster och balkonger, antal våningar och trapphus, samt byggnadernas dimensioner har tagits fram för varje enskild byggnadskategori. Tabell 15 innehåller en sammanställning av dimensioner, areor och antal våningar samt trapphus för respektive modell. För mer detaljerad beskrivning av modellerna se (Erson 2016).

Tabell 15. Dimensioner samt antal våningar och trapphus i typmodeller av miljonprogramshusen i Uppsala

Typhus	lamell	skiv	loftgång	punkt
<i>långsida (m)</i>	49	49	41	25
<i>kortsida (m)</i>	11	14	12	16
<i>trapphus</i>	3	2	1	1
<i>våningar</i>	3	7	2	6
<i>A_{temp} modell (m²)</i>	1617	4802	984	2400
<i>genomsnittlig A_{temp} energidekl. (m²)</i>	1742	4235	1122	2218

I figur 34 presenteras en validering av typhusmodellerna där simulerade värmebehov skalats upp med antalet byggnader i respektive typhus-kategori och jämförs med summan av motsvarande fjärrvärmeanvändning som angivits i byggnadernas energideklarationer. Överlag presterar modellerna bra och att de simulerade värmebehoven är något lägre än värmebehoven från energideklarationen är rimligt på grund av till exempel husens ålder som medför att byggnadsskalens energiprestanda degraderats. Energiltillförsellösningar som i brf Gräslöken med ett sekundärt distributionsnät för värme där avräkningen av

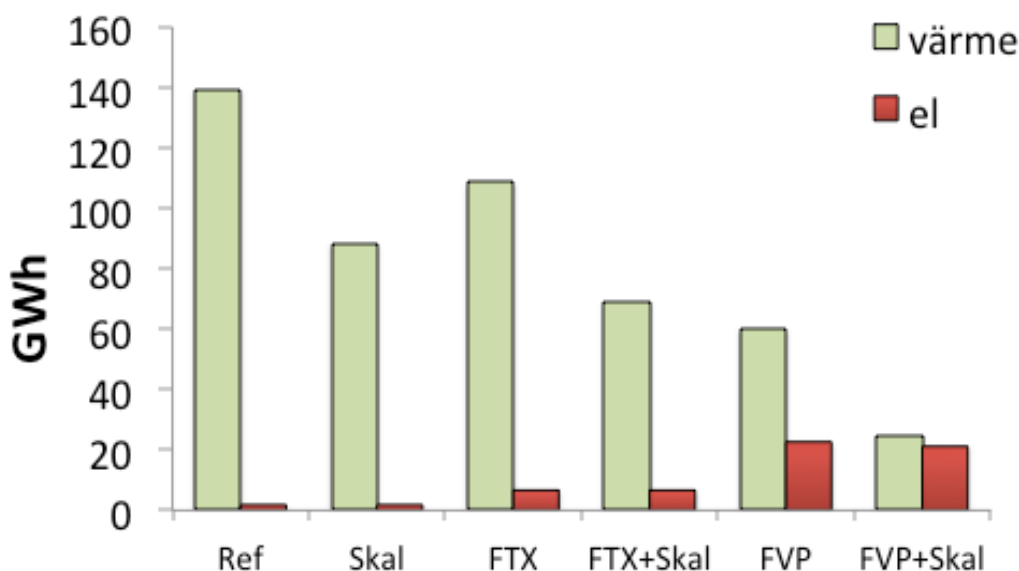
värme sker centralt kan också delvis förklara de högre värmebehoven i energideklarationerna. Det beror på att distributionsförlusterna i området inkluderas i värmeanvändningen i dessa fall. För punkthusen stämmer de simulerade värdena väl överens med vad som angivits i energideklarationerna.

Energieffektiviseringsåtgärder

De energieffektiviseringsåtgärder som undersöks med hjälp av typmodellerna för miljonprogramhusen i Uppsala är klimatskalsförbättringar, installation av FTX-system, installation av frånluftsvärmepump och två kombinationer av dessa.

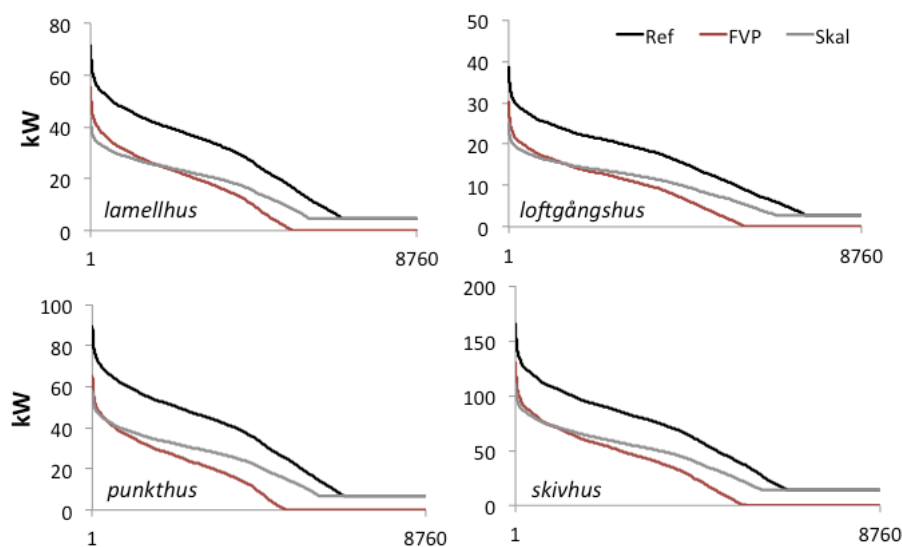
Klimatskalsförbättringar i den här studien avser tilläggsisolering av väggar och tak, byte till energieffektiva fönster och dörrar, detta har också antagits medföra en ökad täthet i byggnadsskalen. FTX-systemen som återvinner värme ur utgående ventilationsluft antas ha en verkningsgrad mellan 75 - 80 % baserat på information från Energihus (Energihus 2016). Den frånluftsvärmepump som använts i beräkningarna har en värmeeffekt på 3,73 kW och antalet värmepumpar per byggnad är dimensionerat för att täcka 50 % av byggnadens energibehov.

Figur 35 visar årlig potentiell årsvis värme- och fastighetselbehovsförändring för de olika energieffektiviseringsåtgärderna i det undersökta miljonprogrambeståndet i Uppsala. Störst besparingar i värmebehov uppnås enligt simuleringarna om frånluftsvärmepump installeras för att återvinna värme i ventilationssystemet. Denna åtgärd är förenad med en markant ökning av byggnadens fastighetselanvändning. En halvering av värmeanvändningen utan någon större ökning av elanvändningen kan åstadkommas genom byggnadsskalförbättringar i kombination med installation av FTX-system. Överlag är energisparpotentialen i miljonprogrambeståndet betydande.



Figur 35. Årsvärden för beräknad värmebesparingspotential i hela Uppsalas miljonprogrambestånd för olika energieffektiviseringsåtgärder.

I figur 36 presenteras varaktighetsdiagram för timvis referensvärmebehov i respektive typhus samt det beräknade värmebehovet efter installation av frånluftvärmepump eller efter byggnadsskalförbättringar. För alla hustyper kortas värmebehovssäsongen om såväl byggnadsskalförbättringar genomförs som om frånluftsvärmepump skulle installeras. Installation av frånluftvärmepump som ger värme både till rumsuppvärmning och till tappvarmvatten eliminerar helt byggnadernas behov av fjärrvärme under den varmare delen av året då rumsuppvärmningsbehovet är lågt eller noll. Under den tid av året då det föreligger ett rumsuppvärmningsbehov reducerar frånluftvärmepumpen värmebehovet med en konstant energimängd varje timme. För klimatskalförbättringarna däremot blir besparingen i absoluta tal större ju större det totala värmebehovet är.



Figur 36. Varaktighetsdiagram för värmebehovet i de olika typhusen i referensfallet (Ref), samt efter installation av frånluftvärmepump (FVP) och efter byggnadsskalfåtgärder (Skal).

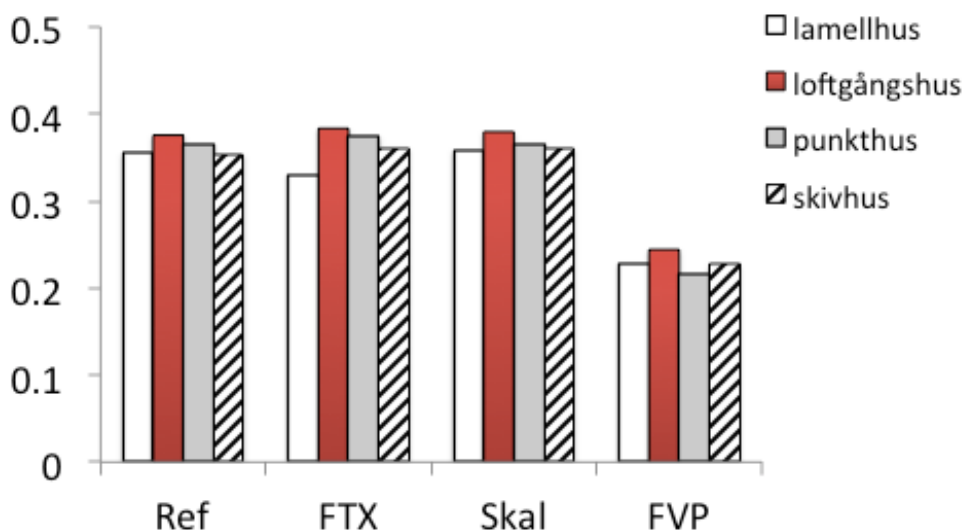
Även om de absoluta förändringarna av värmebehov för klimatskalförbättringar är större när behovet är som högst innebär detta inte nödvändigtvis att värmelasten över året blir "jämnare". Ett systems kapacitetsfaktor är kvoten mellan ett systems genomsnittliga värmelast och dess maximala last (Frederiksen och Werner, 2013). Kapacitetsfaktorn definieras alltså som

$$C_f = \frac{Q_{medel}}{Q_{max}}$$

För ett fjärrvärmesystem med en konstant värmelast över året skulle kapacitetsfaktorn vara 1.0, d v s att det genomsnittliga lasteffektbehovet är lika med topplasteffektbehovet. Kapacitetsfaktorn är alltså ett mått på värmelastens fördelning över året. Fjärrvärmesystem i Sverige har kapacitetsfaktorer mellan 0.32 och 0.36. Generellt har de system längre norrut högre kapacitetsfaktor än systemen längre söderut (Frederiksen och Werner, 2013).

Figur 37 visar kapacitetsfaktorer för de olika hustyperna vid före och efter olika energieffektiviseringsåtgärder. Kapacitetsfaktorn förändras endast marginellt av åtgärder som förbättrar byggnadsskal och installation av FTX-system. Förklaringen är att även om den absoluta förändringen av värmebehovet är större när behovet är större så förändras värmelasten relativt sett jämnt över året och därför minskar toppeffektbehovet i ungefär samma utsträckning som medeleffektbehovet, vilket gör att jämnheten inte påverkas i någon större utsträckning.

Installation av frånluftsvärmepump ger dock en annan bild. Eftersom fjärrvärmebesparingen som en frånluftsvärmepump ger är mer eller mindre konstant över året i absoluta tal så ändras förhållandet mellan det maximala effektbehovet och medeleffektbehovet. Det är även tydligt i figur 37 att kapacitetsfaktorn kan förväntas minska efter installation av frånluftsvärmepump, d v s bidrar till ökad ojämn lastfördelning över året. Det är dock inte så att det är spetsbehovet som ökar utan snarare så att det är spetsbehovet som blir kvar. Detta syns även tydligt i varaktighetsdiagrammen i figur 36 där fjärrvärmelasten efter installation av frånluftsvärmepumpar representeras av de röda linjerna.

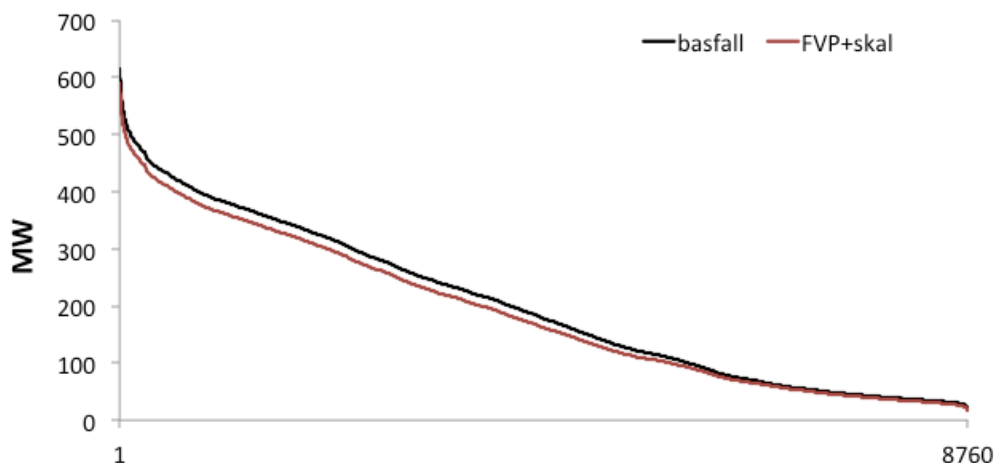


Figur 37. Kapacitetsfaktorer för olika hustyper i Uppsalas miljonprogram och efter olika beräknade effektiviseringsåtgärder

I figur 38 visas total fjärrvärmeproduktion i Uppsalas fjärrvärmesystem år 2010 och samma produktionsdata reducerat med simulerad värmebesparing efter installation av frånluftsvärmepump och utförda klimatskalsförbättringar. Totalt vid en jämförelse med data från år 2010 för Uppsalas fjärrvärmesystem skulle en minskad värmeanvändning om 114 GWh i miljonprogramsbeståndet innebära en minskad total värmelast med 7 %. Beräkningarna visar att påverkan på kapacitetsfaktorn för hela systemet till följd av omfattande installation av frånluftsvärmepumpar dock är marginell.

Resultaten stämmer dock väl överens med en studie för Linköpings fjärrvärmesystem där miljonprogramsbebyggelsen antogs renoveras till

passivhusstandard i enlighet med åtgärderna som genomfördes i Brogården, Alingsås. Detta beräknades leda till en minskning av den totala värmelasten i Linköping med 6.3 % (Åberg och Henning 2011).



Figur 38. Varaktighetsdiagram för Uppsalas totala produktionsbehov av fjärrvärme före och efter effektivisering av miljonprogrambeståndet.

Detta innebär att en omfattande energieffektivisering i miljonprogramsområden generellt sett inte har avgörande betydelse för svenska fjärrvärmesystems värmeunderlag. Dock kan det mer eller mindre effektivt när det gäller global klimatpåverkan beroende på det lokala fjärrvärmesystemets värmeproduktion. Detta styrker uppfattningen och visar på det nödvändiga med att generella strategier för 4GDH-omställning behöver anpassas till lokala förhållanden.

7 Samhälleliga förutsättningar för omställning till 4GDH

Det kan förefalla uppenbart att det är en god sak att energieffektivisera byggnader och på så sätt minska behovet av energi. Det kan även tas för givet att det är bra att öka andelen förnybar elproduktion. Arbetet med en hållbar utveckling blir sällan ifrågasatt. Ändå är det inte alls enkelt att veta hur dessa saker ska göras, varför de ska göras och av vem. Risken finns att åtgärder som syftar till att minska energianvändning, öka det förnybara och främja hållbarheten påverkar varandra på ett oönskat sätt.

I det här kapitlet analyseras utvecklingen av fjärrvärmesektorn i Sverige med fokus på varför det är angeläget att effektivisera fjärrvärmesystem och hur effektivisering ska utföras utifrån fyra centrala utredningar. Därefter problematiseras begreppet samverkan och dess potential för att samordna en omställning till 4GDH. Systemperspektivet i det här kapitlets analys är således väsentligen mer övergripande än i motsvarande analyser i föregående kapitel. Att lyfta blicken från det enskilda bostadsområdet, den enskilda sektorn och från nuvarande situation är viktigt för förståelsen av principerna bakom möjligheter och begränsningar för samordnad omfattande energieffektivisering.

I kapitel 4 beskrevs den svenska fjärrvärmens historia från starten i Karlstad 1948 fram till idag med fokus framförallt på tekniken och de samhällsutmaningar som var aktuella under den period då fjärrvärmerna byggdes ut i Sverige. I det här kapitlet kommer detta återigen att beröras. Historien fungerar som en del av att förstå fjärrvärmens roll i det svenska energisystemet och hur denna roll har förändrats, samt för reflektion över hur fjärrvärmens roll i ett framtida energisystem. Analysen i det här kapitlet har således betydelse för utformning av styrmedel för utveckling och energieffektivisering av fjärrvärmesystem.

Det blir tydligt senare i det här kapitlet att det finns en föreställning om att energieffektiviseringsåtgärder i fjärrvärmeuppvärmda byggnader som genomförs utan hänsynstagande till fjärrvärmeproduktion och distribution riskerar att leda till resurseffektivitetsmässig och/eller samhällsekonomisk suboptimering. Till exempel kan, som beskrevs i föregående kapitel, installation av frånluftsvärmepumpar i fjärrvärmesystem där värmebehovet under sommaren täcks av spillvärme från avfallsförbränning eller industri leda till ökad användning av primära resurser även om mängden inköpt energi till fastigheten minskat. Primärenerginyttan av åtgärden kan då betraktas som begränsad eftersom att spillvärmerna förblir onyttjad. Det är emellertid viktigt att poängtera att omfattningen av ovan beskrivna risk varierar mellan olika typer av fjärrvärmesystem beroende på typ av värmeproduktion. Exemplet fungerar här som illustration av det principiella problemet, det vill säga att den ene aktörens åtgärd riskerar att bli ett problem för den andre och vice versa. Problemet är alltså viktigt då det föreligger en risk för att energieffektiviseringar blir gjorda på ett sätt som inte ökar den totala effektiviteten i energisystemet. Hädanefter i det här kapitlet omnämns detta som "suboptimeringsproblemet".

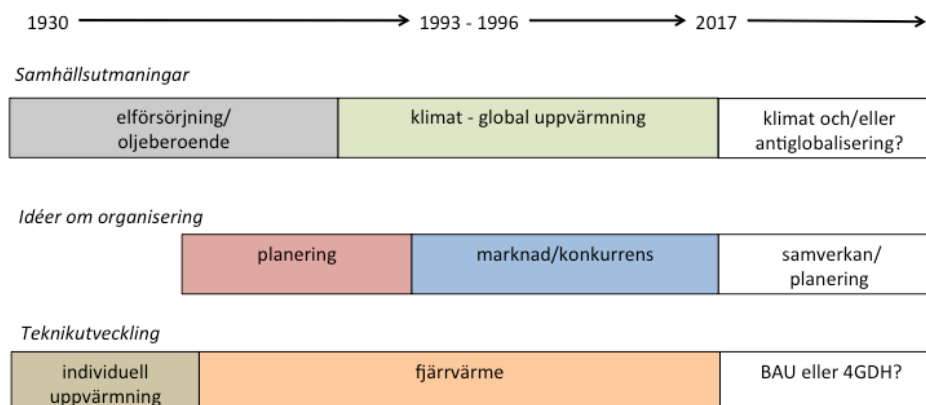
Här söks en förståelse för varför konflikter mellan energisparåtgärder i byggnader och effektiviteten i fjärrvärmesystem uppstår och hur de hanteras. Det är rimligt att tänka sig att vid en omställning från 3GDH-system till 4GDH-system skulle sådana konflikter kunna uppstå. Fyra olika utredningar från olika år där energieffektivisering i fjärrvärmesystem utreds eller diskuteras används här som utgångspunkt. Lund m fl (2014) reflekterar över vad som krävs organisatoriskt och finansieringsmässigt för att dagens 3GDH-system ska kunna transformeras till 4GDH-system och detta används här som utgångspunkt. Perspektiv adderas från två statliga utredningar (SOU 1980:43 och SOU 2008:110) om energieffektivisering, samt resultat och resonemang från projektet Värmemarknad Sverige som utrett det aktuella läget och relationerna mellan aktörerna i den svenska värmesektorn.

Dessa fyra utredningars problembeskrivningar, diskussioner och förslag på hur energisystem ska effektiviseras blottlägger i någon mening det komplexa i att ändra på ett diversifierat, infrastrukturellt energisystem med olika aktörer som har olika intressen. Det visar sig också att förutsättningarna för och skälen till energieffektivisering ändras över tid.

Den omställning av dagens fjärrvärmesystem till 4GDH-system som föreslås i Lund m fl (2014) kan betraktas som en omfattande energieffektivisering. I den omställningen behöver inte bara byggnader effektiviseras utan även distributionssystem för värme och el måste anpassas för det 100 % förnyelsebara och integrerade framtida energisystem som är målsättningen enligt definitionen.

Utvecklingen inom den svenska värmesektorn beskrivs schematiskt i figur 39 utifrån tre parametrar; *teknikutveckling*, *idé om organisering* och *samhällsutmaningar*. Teknikutveckling avser det huvudsakliga uppvärmningssystem som använts i flerbostadshus. Med organisering avses i princip den rådande idén om hur samhällsutvecklingen ska styras. Samhällsutmaningar utgör lokala och globala omständigheter som värmesektorn måste förhålla och anpassa sig till.

Tidsaxeln högst upp i figur 39 sträcker sig från första halvan av 1900-talet och in i framtiden. Hypotesen är att de utmaningar samhället måste förhålla sig till, men i begränsad utsträckning kan påverka, har betydelse för vilka idéer som styr organiseringen av uppvärmningssektorn. Idéerna för organiseringen har sedan i sin tur betydelse för vilka tekniker för uppvärmning som blir framgångsrika. De vita fälten längst till höger på respektive "rad" i figuren utgör den framtida utvecklingen och dess inneboende osäkerhet. Det vill säga den vars struktur är föremål för spekulation i den här analysen.



Figur 39. Principiell skiss för utveckling av teknikutveckling och organisering kopplat till samhällsutmaningar för svensk uppvärmning av flerbostadshus under perioden 1930 och framåt. (BAU står för *Business as usual*).

Utredningarna som ligger till grund för analysen kommer att diskuteras utifrån figur 39. Initialt är fokus på beskrivningar av suboptimeringsproblemet och hur dessa skiljer sig åt mellan utredningarna. Alla utredningarna är överens om att det föreligger potentiella risker för suboptimering när fjärrvärmeuppvärmda byggnader ska energieffektiviseras. Dock skiljer de sig åt i termer av: *problemets natur och konsekvenser* samt *hantering av suboptimeringsproblemet*.

7.1 SUBOPTIMERINGSPROBLEMETS NATUR OCH KONSEKVENSER

Lund m fl (2014) befinner sig i brytpunkten mellan fjärrvärmesektorn som vi känner den idag och framtiden, det vill säga längst till höger i de vita fälten i figur 39. Övergången till 4GDH är enligt författarna en del av en större omställning till ett helt och hållet förnybart energisystem utan fossil- eller kärnenergi. Eftersom det institutionella ramverket och reglering av fjärrvärme ser olika ut i olika länder kommer även 4GDH-systemen förmodligen att se olika ut. Vissa förhållanden är dock gemensamma, däribland det primära och generella samhällsmålet att ställa om till ett framtida helt förnybart energisystem. Lund m fl menar vidare att dagens energiföretag har till sin huvudsakliga uppgift att producera och/eller sälja energi och att de är starkt knutna till den befintliga centraliserade tekniken, såväl ekonomiskt genom stora långsiktiga investeringar, som politiskt. Detta är ett problem eftersom att förnybara energisystem istället har fördelar av att vara distribuerade i och med att sammanlagringseffekter kan erhållas när ostyrbar förnybar energitillförsel fördelas ut i ett större geografiskt område.

Vidare pekar Lund m fl på ett ytterligare problem, nämligen att energianvändarna är många till antalet och att dessa i regel saknar investeringskapital för förnybar energi och energieffektiviseringar. Dessutom är de generellt dåligt organiserade i energifrågor.

Utredningen gjord inom projektet Värmemarknad Sverige (2017) befinner sig på samma position som Lund m fl i figur 39, det vill säga i brytpunkten mellan i dag och framtiden. Enligt Värmemarknad Sverige är det grundläggande problemet i den svenska värmesektorn bristen på samsyn och systemperspektiv när det gäller

utveckling mot ökad hållbarhet och resurseffektivitet. I halvtidsrapporten för etapp II i Värmemarknad Sverige beskrivs det som att en intressekonflikt avseende hållbarhet och resurseffektivitet mellan olika aktörer präglar den svenska värmesektorn. Fastighetsägare och energibolag har ofta ambitiösa målsättningar framförallt i arbetet för ökad hållbarhet men som riskerar att motverka varandra.

Värmemarknad Sverige kommer även fram till att hållbarhetsmål tenderar att vara frikopplade från andra mål inom samma organisation, till exempel lönsamhetsmålen. Det saknas även en tydlig målprioritering och det råder en okritisk hållning till frågor om hållbarhet i många organisationer. Ett annat problem är att definitionen av hållbar utveckling tenderar att vara olika inom olika organisationer. Fastighetsägare har oftare mål som syftar till att minska mängden köpt energi medan energibolag i större utsträckning fokuserar på primärenergi. Detta kan ge upphov till svårlösta konflikter mellan aktörerna. Till och med inom svenska kommunkoncerner som äger både energibolag och fastighetsbolag menar Värmemarknad Sverige att det är vanligt att det saknas ett helhetsperspektiv från den gemensamma ägaren i målformuleringarna till de egna bolagen. Det föreligger en form av stuprörsproblematik även inom egna organisationer.

För att närma sig en förståelse för energieffektiviseringsproblemet lyfter Värmemarknad Sverige i sin halvtidsrapport upp begreppet "Wicked Problems" som kan användas för att beskriva problemet med målkonflikter när det gäller hållbarhet mellan aktörer på värmemarknaden. Begreppet presenterades ursprungligen av Rittel & Webber (1973) och beskriver problem som är svåra eller omöjliga att lösa men som behöver hanteras. Wicked Problems-begreppet hjälper till med att definiera problemet och skapa förståelse för dess struktur. Rittel och Webber listar ett antal faktorer som definierar ett wicked problem. Framförallt är själva definitionen av ett wicked problem ett problem i sig. Varje aktör definierar problemet utifrån sina egna intressen och erfarenheter. Ett wicked problem är eller anses ofta vara ett symptom på ett annat problem. Ofta riktas åtgärder mot problemets symptom snarare än mot dess kärna vilket kan leda till att huvudproblemet förvärras. Målkonflikter på värmemarknaden och energieffektiviseringsdilemmat är ett wicked problem på det sättet att aktörerna definierar problemet utifrån sina egna intressen och förutsättningar för att åtgärda det.

Utredningen tar i sin halvtidsrapport upp en diskussion om marknadsaktörernas roller och att det sedan 1980-talet funnits ett förhärskande marknadsparadigm i samhället som gör att ekonomiskt grundade argument används av såväl företag som makthavare på värmemarknaden. Därför är det ekonomiska analyser som driver utvecklingen av marknadsroller och influerar val av tekniska lösningar, strategiska satsningar och regleringsåtgärder.

Problemen med den bristande samsynen och behovet av densamma som uppmärksammas i Värmemarknad Sveriges utredning respektive Lund m fl är dock inte nyligen uppkomna, liknande problem har diskuterats i tidigare utredningar.

År 2008 publicerades den statliga utredningsrapporten *Vägen till ett energieffektivare Sverige* (SOU 2008:110) vars syfte var att föreslå ett nationellt vägledande mål för

energieffektivisering och en nationell handlingsplan för en effektivare energianvändning, vilket var ett krav i EU's direktiv för effektiv slutanvändning av energi (2006/32/EG) från 2006. I figur 39 ligger den här utredningen till vänster om de två tidigare utredningarna men i en tid då samhällsutmaningar, organisationsidéer och teknik var i stort sett liknande det som råder i dagsläget. Utredarna slår inledningsvis fast att energieffektiviseringar måste ses ur ett systemperspektiv. Det vill säga något som kan tolkas som synonymt med det helhetsperspektiv eller den samsyn som beskrivs i Lund m fl och Värmemarknad Sveriges utredning. Dessutom är utredarna i SOU:n från 2008 tydliga med att det är primär energi som ska beaktas och värderas, inte köpt energi. Eftersom att det saknas ett helhetsperspektiv i utformningen av styrmedel fanns det 2008 precis som idag en risk att primärenergimässigt ineffektiva lösningar premieras på bekostnad av effektiva sådana, det vill säga en risk för suboptimering.

Ett annat problem som beskrivs i utredningen från 2008 är att åtgärder som bedöms som lönsamma för den som fattar beslut om dess genomförande ändå i liten utsträckning genomförs, detta problem kallas *energieffektiviseringsgapet*. Anledningen till detta gap anses vara en kombination av flera olika marknadsbarriärer och/eller marknadsmisslyckanden. Det är tydligt i utredningen att det som beskrivs som en effektiv energieffektivisering kräver ett helhetsperspektiv eller en samsyn och att i den mån energieffektiviseringen inte blir av eller blir av på fel sätt är att betrakta som bristfälligheter på marknaden. Detta får dock kritik i minst ett särskilt yttrande där man hävdar att utredningens bedömning av vad som är lönsamma åtgärder och inte har brister och att det snarare är där problemet ligger.

För att bredda analysen ytterligare lyfts här ett annat perspektiv fram. Intressekonflikter vid energieffektivisering av fjärrvärmeuppvärmda byggnader har diskuterats även innan den huvudsakliga utmaningen utgjordes av klimatproblemet och innan det enligt Värmemarknad Sverige "förhärskande marknadsparadigmet" etablerade sig i Sverige. 1980 publicerades *Energihushållningsdelegationen* (SOU 1980:43) vars uppgift var att följa upp och initiera andra utredningar av ett nationellt energisparprogram som inleddes 1977. Utredningen placerar sig strax till vänster om gränssnittet mellan samhällsutmaningarna oljeberoende/energisäkerhet och klimat i figur 39. Detta var under en tid då fjärrvärmens inte hade den starka dominans på värmemarknaden i flerbostadshus som den har idag. 49 % av flerbostadshusen värmdes med fjärrvärme och det huvudsakliga bränslet var olja i såväl fjärrvärmeproduktion som i individuella värmesystem. Fjärrvärmesektorn var under utveckling och fjärrvärmesystemen var i princip uteslutande ägda av kommunerna. Det stora oljeberoendet och beslutet om avveckling av kärnkraften hade lett till bränslekonvertering bort från olja till fasta bränslen, energisparåtgärder och satsningar på förnybar energi var prioriterat inom energipolitiken. Det var centralt att öka försörjningstryggheten, begränsa hälso- och miljöeffekter samt öka säkerheten. Centralt var att energipolitiken skulle utformas på ett sådant sätt att de samhällsekonomiska kostnaderna minimerades.

Som beskrevs i kapitel 4 fanns under 1980-talet en statligt initierad och långsiktig investeringsplan för utbyggnad av fjärrvärme. Folkomröstningen om kärnkraftens

framtid hade lett till ett beslut om en utfasning på lång sikt. Fjärrvärmeutbyggnad betraktades som en långsiktig investering för att säkra framtida elförsörjning. Genom att infrastrukturen för distribution av fjärrvärme byggts ut skulle kärnkraften till stor del kunna ersättas med effektiv kraftvärme när avvecklingen skulle genomföras. Det kan alltså tolkas som att det var två tydliga utmaningar för samhället som fjärrvärmen var en del i att hantera. Dels det samtida oljeberoendet och dels den framtida elförsörjningen. Två tydliga samhällsekonomiska och energisäkerhetsmässiga utmaningar.

När det gäller intressekonflikten mellan byggnaders energieffektivitet och fjärrvärmesystemens energieffektivitet är det inte ett centralt problem 1980. Det konstateras i utredningen att det inte föreligger någon stor risk för konflikt mellan merparten av energisparåtgärderna som genomförs i byggnader och produktion av kraftvärme eller utnyttjande av spillvärme. Det nämns att farhågor har uttryckts att för långt gångna energibesparingar i fjärrvärmeuppvärmda byggnader riskerar lönsamheten i fjärrvärmen och att detta skulle kunna leda till en högre totalkostnad än om avvägningen mellan energisparåtgärder på tillförsel- respektive användarsiden var samhällsekonomiskt optimal. Det antas dock att kostnadsminskningen till följd av att mindre bränsle behövs i allmänhet är större än ökningen av fast kostnad per producerad enhet värme.

7.2 HANTERING AV SUBOPTIMERINGSPROBLEMET

Enligt Lund m fl skulle en större omställning till ett energisystem baserat helt och hållet på förnybara energikällor kräva samsyn. För att åstadkomma en 4GDH-sektor som integrerar de termiska energisystemen med kraftsystemen krävs samsyn gällande hur omställningen ska göras, det vill säga ett helhetsperspektiv som aktörerna är överens om. Enligt Lund m fl krävs en planeringsprocedur där energitillförselsidan är synkroniserad med energibesparingar på så sätt att den ökande andelen förnybar och intermitterant energi integreras på ett ekonomiskt sätt i det stora energisystemet. För detta krävs att förespråkare för energibesparing och förnybar energi ges analytisk makt och en röst i dialogen med befintliga företag. Koordination mellan planering för lägre distributionstemperaturer och planering för energieffektiviseringar i byggnader är nödvändig. (Lund m fl 2014)

Vidare hävdar Lund m fl att en omställning till 4GDH kräver en ekonomisk omfördelning. Det beror på att investeringar behöver göras av aktörer och organisationer vars primära mål och uppgift inte är att vara energiproducenter eller användare av energi. 4GDH-tekniken måste implementeras av många oberoende och kapitalsvaga organisationer som ofta har ett litet politiskt inflytande. En övergång till 4GDH och helt förnybara energisystem innebär enligt Lund m fl en radikal teknisk omställning som kräver väsentliga förändringar av existerande organisationer, institutioner och dessas kunskapskapital. Detta kommer såklart att vara en utmaning för de befintliga aktörerna och det skulle påverka den generella uppfattningen om valfrihet i samhället. (Lund m fl 2014)

Författarna anger tre principiella utmaningar som en omställning skulle innebära. Den första är att beslut behöver fattas om var fjärrvärme ska finnas och var det inte ska finnas. Det andra är att avvägningar kommer att krävas för hur stor del av

värmebehovet som ska tillföras via fjärrvärme och hur mycket som ska effektiviseras bort. Den tredje utmaningen gäller hur implementation av intermittent energi ska gå till och anpassas till energisystemets övriga delar.

Ovan nämnda utmaningar måste enligt Lund m fl bland annat hanteras med hjälp av integrerade och strategiska infrastrukturella planeringsprocedurer för såväl nya som befintliga bostadsområden. Detaljerad data för lokala förutsättningar och värmebehov samt kunskap om det framtida systemet av vilket fjärrvärmesystemet är en del behövs för att identifiera optimala planer för nivån av energibesparing, fjärrvärmeproduktion och vilket försörjningssystem som ska användas (fjärrvärme eller annat individuellt system). Dessutom anser Lund m fl att det är viktigt att de som förvaltar olika komponenter i 4GDH-systemen har samma tillgång till finansiering och betalar samma ränta på lånen. Här innebär det att långsiktiga lån bör göras tillgängliga för alla aktörer i ett smart energisystem, detta för att underlätta en långsiktig omställning i dessa system. (Lund m fl 2014)

Det är avgörande att alla aktörer har samma tillgång till konsultation. Energianvändare är generellt organiserade i mindre utsträckning än energibolagen. Denna obalans bör kompenseras för genom en försäkran om att energibesparingar sker när byggnader står inför underhåll och reovering. (Lund m fl 2014)

I slutrapporten från Värmemarknad Sverige-projektets etapp II slås det fast att ökad samverkan är den enda vägen mot fortsatt hållbar utveckling. Ökad samverkan valdes till huvudsaklig lösning efter att värmemarknadsaktörerna som var knutna till projektet fick tycka till om vilket av tre möjliga sätt att hantera den fortsatta hållbara utvecklingen på som de ansåg var mest gångbart. De andra två alternativen var "ökad reglering" och "ökad konkurrens". För ökad samverkan krävs minskade målkonflikter i hållbarhetsutvecklingen på värmemarknaden och ett ökat politiskt inflytande över utvecklingen i kommunerna. Kommunerna behöver utforma strategier för den lokala värmemarknadens utveckling. Politiken behöver även enligt författarna utgå i större utsträckning från en systemsyn för att ökad samverkan ska bli möjlig. Man vill sen en nationell "Energiöverenskommelse" med fokus på värme istället för el som det är i dag. (Värmemarknad Sverige 2016)

I den statliga utredningen från 2008 är systemperspektivet förutsättningen för att undvika suboptimerande energieffektiviseringsåtgärder, det vill säga åtgärder som i slutändan ökar användningen av primära energiresurser. Utredningen föreslår att den vid den tiden befintliga Värmemarknadskommittén bör ha uppgiften att medverka till energieffektivisering i fjärrvärmesektorn. Utredningen menar i likhet med Lund m fl att en avvägning måste göras mellan effektiviseringsåtgärder på energitillförsel- respektive energianvändarsidan. Ökad kunskap är viktigt hos såväl energibolag som hos kunder om hur olika åtgärder påverkar varandra och eftersom fjärrvärmeproduktion och distribution skiljer sig åt mellan olika system anser utredningen att lokal samverkan utgående från lokala förhållanden ska ge effektivare fjärrvärme. Denna lokala samverkan ska vara "en resurs" i kommunal energiplanering och vara baserad på primärenergifaktorer som ligger till grund för gemensamma beslut om vilka energieffektiviseringsåtgärder som ska genomföras för att öka systemets totala resurseffektivitet. Det krävs enligt utredningen även

samverkan på nationell nivå för samordning och utformande av gemensamma principer. Denna samordning ska åläggas Värmemarknadskommittén där centrala kundorganisationer och branschföreningen för fjärrvärmesektorn ska ingå. (SOU 2008:110)

Utredningen från 1980 framhåller att det finns starka beroendeförhållanden mellan energitillförsel och energisparande. Ett av de centrala energipolitiska problemen menar man blir att åstadkomma energiplanering på lokal nivå som leder till ett så effektivt utnyttjande som möjligt av energi och investeringar. Det förutsätter att kommunerna lyckas åstadkomma samordning av energiförsörjning med till exempel bebyggelseplanering och transportsystem. (SOU 1980:43)

I utredningen från 1980 hänvisas också läsaren till en pilotstudie för Huddinge kommun som genom modellering belyser samspelet mellan besparingsåtgärder och energitillförsel. Resultaten visar att för dyra investeringar i energieffektivisering av byggnader leder till en högre totalkostnad för samhället jämfört med om resurserna hade gått till att effektivisera på tillförselsidan. Utredningen betonar att även om stora skillnader finns mellan kommuner så visar Huddingestudien samt ett antal andra studier att det finns samhällsekonomiska vinster i att samordna och planera energisparåtgärder på användarsidan med effektivisering på tillförselsidan. Utredningen konstaterar också att energisparåtgärder bör inriktas på topplastperioder för att inte riskera att minska utnyttjande av spillvärme och kraftvärme. (SOU 1980:43)

7.3 SAMMANFATTANDE ANALYS

De tre utredningar som gjorts sedan år 2000 anger alla direkt eller indirekt klimatproblemet som huvudsaklig samhällsutmaning. Klimatproblemet kopplas till begrepp som hållbarhet, resurseffektivitet, primär energianvändning och förnyelsebar energi. Alla syftar de till att minska användningen av resurser som ger upphov till utsläpp av växthusgaser. I såväl Lund m fl som den statliga utredningen från 2008 och Värmemarknad Sverige projektet är det tydligt att resurseffektiv och/eller hållbar utveckling är målet och alla är överens om att detta kräver en samsyn på utveckling och med ett systemperspektiv som utgångspunkt. Värmemarknad Sverige konstaterar dock att en sådan samsyn i många avseenden är frånvarande i dagsläget och att även om hållbarhetsarbete är prioriterat av aktörerna i sektorn är det samtidigt tydligt att hållbarhet och resurseffektivitet kan tolkas och definieras olika vilket leder till målkonflikter.

Den statliga utredningen från 1980 är gjord i spåren efter oljekriserna på 1970-talet. Här är samhällsekonomin i fokus. Målsättningen med energieffektiviseringen är att minska oljeberoendet och därmed de samhällsekonomiska kostnaderna för energianvändningen. Den huvudsakliga samhällsutmaningen under den här tiden vad gäller energisystemen handlade främst om energisäkerhet och riskerna med oförutsägbara oljepriser.

I utredningen från 1980 är marknaden och marknadsaktörerna inte centrala i diskussionen. Det handlar om att göra samhällsekonomiskt optimala avvägningar av vilka energibesparande åtgärder som är mest lämpliga. År 1980 är i princip alla fjärrvärmesystem kommunalt ägda och många fastighetsbolag likaså. Lokal

energiplanering föreslås som verktyg för att lösa suboptimeringsproblemen. Detta är i likhet med Lund m fl som är tydliga med att en omställning till 4GDH kräver planering och omfördelning av resurser, bland annat genom styrning via lånesystem.

Som också beskrivs i Värmemarknad Sveriges halvtidsrapport så har idén om marknadslösningar som drivande faktor för utveckling blivit generellt accepterad inom flera olika samhällssektorer framförallt sedan 1990-talet. Detta är också tydligt i den statliga utredningen från 2008 där uteblivna energieffektiviseringar och suboptimeringar av energisystemet förklaras av marknadsbarriärer och marknadsmisslyckanden. Båda dessa utredningar har ett tydligt marknadsorienterat perspektiv och landar i att utvecklingen inom värmesektorn bör styras genom ökad samverkan. Vi kommer att återkomma till begreppet samverkan och vad det innebär.

Fjärrvärmens som tekniskt energitillförselsystem är föremål för diskussion i alla utredningarna om än på olika sätt och i olika omfattning. I utredningen från 1980 är fjärrvärmens under utbyggnad och betraktas som ett samhällsekonomiskt lönsamt system. Det är också ett effektivt system för att minska oljeanvändningen i värmesektorn.

Värmemarknad Sverige tar upp risken med att en utkonkurrerad fjärrvärmesektor riskerar leda till outnyttjad spillvärme från avfallsförbränning och industri samt mindre elproduktion i kraftvärme. Spillvärmeutnyttjande är även centralt. Men det är inte uttalat hur effektiviseringar på tillförsel och produktionssidan ska genomföras och utvärderas. Det är alltså viktigt att värna fjärrvärmens som teknisk infrastruktur på grund av dess inbyggda resurseffektivitet. Däremot pratar Värmemarknad Sverige inte om någon specifik utveckling av fjärrvärmens för att anpassa tekniken till rådande utmaningar.

Den statliga utredningen från 2008 fokuserar främst på att öka tillvaratagandet av industriell spillvärme för att på så sätt öka fjärrvärmens resurseffektivitet.

Rapporten från Lund m fl är unik i det här sammanhanget då det föreslås att beslut ska fattas lokalt om fjärrvärmens vara och inte vara. Det är alltså inte självklart enligt författarna att fjärrvärme ska finnas i samma utsträckning som idag. Det är också stort fokus på vad ett framtida 4GDH-system bör kunna leva upp till. Sänkta systemtemperaturer genom ny distributionsteknik ska minska förluster och öka potentiellt tillvaratagande av lågtempererad spillvärme och solvärme. Värmelager och avancerad styrning av värmesystem behövs för ökad integration med kraftsystemet i syfte att öka potentialen för förnybar el.

I tabell 16 presenteras en syntes av de olika utredningarna som är baserad på utvecklingsfaktorerna som beskrivs i figur 39. Syntesen är baserad på en tolkning av hur problem beskrivs och vilka förslag på lösningar utredningarna presenterar.

Tabell 16. Sammanfattning av analysen av utredningarna

Utredning	Teknik	Idé	Mål	Samhälls- utmaning
<i>Lund m fl. 2014</i>	4GDH	planering	100% förnybara energisystem	Klimat
<i>Värmemarknad Sverige 2017</i>	3GDH	marknad/ samverkan	Ökad hållbarhet	Klimat
<i>Vägen till ett energieffektivare Sverige (SOU:2008)</i>	3GDH	marknad/ samverkan	Resurseffektivitet	Klimat
<i>Energihushållnings-delegationen (SOU:1980)</i>	3GDH	planering	Ekonomi	Energisäkerhet

De tre vita fält längst till höger figur 39 representerar vad som förväntas av framtiden när det gäller teknikutveckling, idéer om organisation och samhällsutmaningar. Det analyserade utredningsmaterialet används här för en diskussion om hur de olika faktorerna interagerar och vad det har för betydelse för utvecklingen i fjärrvärmesektorn. Det är, utifrån de analyserade utredningarna, tydligt att rådande samhällsutmaning har betydelse för hur suboptimeringsproblemet definieras. År 1980 var samhällsekonomin och oljeanvändningen i fokus medan det efter 2000-talet har handlat primärt om klimatproblemet genom användning av primär energi.

Fjärrvärmens som tekniskt system anses generellt i utredningarna ha fördelar gentemot små distribuerade system oavsett rådande samhällsutmaning. Med undantaget att Lund m fl är öppna för att 4GDH kan innebära att dagens fjärrvärme ersätts i viss utsträckning. Klimathotet som samhällsutmaning kan mötas med olika målsättning för utvecklingen. Minskad primär energianvändning och ökad mängd förnybar el är exempel på det.

Det är svårt att förutse fjärrvärmens framtida roll. Om klimatproblemet fortsätter att vara den huvudsakliga utmaningen så är 4GDH-tekniken med reducerat energibehov och ökad interaktion mellan elsystem och värmesystem en tänkbar teknisk målsättning. Det skulle även i det läget kunna finnas ett nationellt/statligt intresse för en sådan omställning. Det skulle kunna innebära statliga investeringar i energieffektiviseringsåtgärder på såväl produktion, distribution och användarsidan i någon form av infrastruktursatsning för att integrera stora mängder intermittent elproduktion i det svenska energisystemet. Till exempel i form av termiska lager som simulerades i kapitel 4. Det skulle inte vara helt olikt de satsningar på fjärrvärmeutbyggnad som gjordes på 1980-talet i syfte att förbereda sig för utfasning av kärnkraft och att minska oljeberoendet. Skillnaden är att idén om samhällsstyrning som på 1980-talet handlade om planering och centralt fattade beslut har ersatts med en marknadsorienterad idé för styrning av samhällsutveckling. Det innebär att värmesektorn idag består av aktörer som i huvudsak agerar i eget intresse. Detta försvårar rimligtvis en statligt initierad och planerad satsning på en omställning till 4GDH.

Om däremot säkerhetsläget i världen skulle förändras mot ökad antiglobalisering och större osäkerhet, är det inte otänkbart att försörjningstrygghet och energisäkerhet blir högre prioriterade målsättningar. Det skulle i så fall kunna

tänkas leda till en teknikutveckling mot exempelvis ökad användning av inhemska bränslen och ökad användning av teknik som produceras i närområdet.

Organisatoriskt verkar marknadsidén i kombination med det klimatproblemets globala (läs svårfångade) natur göra att systemperspektiv och samsyn mellan olika aktörer är svårt att åstadkomma i värmesektorn. Det konstaterats i såväl Värmemarknad Sveriges utredning som i den statliga utredningen från 2008. Möjligtvis hade det varit enklare att åstadkomma samsyn kring utvecklingen med en marknadsorganisation om utmaningen varit samhällsekonomisk och energisäkerhetsmässig som år 1980. I alla fall kan det tänkas vara enklare att utvärdera målsättningar och enskilda åtgärder samt utforma styrmedel om utmaningen i sig är mindre komplex.

Värmemarknad Sverige och utredningen från 2008 kom fram till att gemensamma målsättningar och systemperspektiv är nödvändigt på värmemarknaden. Detta skall åstadkommas genom att fjärrvärmebolagen och dessas värmekunder samverkar på såväl nationell som lokal nivå. Det är dock svårt att utifrån utredningarna få en tydlig bild av vad denna samverkan konkret innebär och vilken kraft det skulle kunna ha för att komma tillrätta med suboptimeringsproblemet. Nästa sektion ägnas åt en analys av begreppet samverkan och hur det kan relateras till suboptimeringsproblemet i värmesektorn.

7.4 SAMVERKAN SOM LÖSNING PÅ SUBOPTIMERINGSPROBLEMET?

Samverkan är ett otydligt begrepp men syftar vanligtvis på någon form av frivilligt samarbete mellan två aktörer. Ofta presenteras det som en samarbetsmodell som skapar en "win-win"- situation för de inblandade parterna. När det gäller energieffektiviseringar i fjärrvärmesystem innebär det till exempel att åtgärder genomförs på ett sådant sätt att det gynnar båda parternas egenintressen. Här följer en redogörelse för två exempel på problematisering av begreppet samverkan. Det ena utgörs av ett kapitel ur en rapport utgiven av Myndigheten för samhällsskydd och beredskap år 2011 med titeln "Samverkan för säkerhets skull". Kapitlet har titeln "Samverkansbegreppet" och har skrivits av Christian Uhr som är forskare vid Lunds universitet på avdelningen för riskhantering och samhällssäkerhet. Uhr beskriver samverkan som

"...ett nyckelord i såväl modernt myndighetsspråk som det politiska samtalet och praktikens dialog. Samverkan blir automatiskt det dominerande problemlösningsalternativet när det uppstår gnissel i samhällsmaskineriet." (Uhr 2011)

och att

"det har visat sig praktiskt svårt att få en stor mängd aktörer från olika segment av samhället att enas kring en exakt innebörd av ett begrepp som samverkan. Olika aktörer utgår från olika perspektiv och behovstolkningar." (Uhr 2011)

Samverkan är enligt Uhr ett begrepp som har använts frekvent under lång tid. Uhr hänvisar till Hörnemalm (2008) som konstaterar att samverkan har återkommit som central tematik i många statliga utredningar och rapporter sedan slutet av

1980-talet men att begreppets konceptuella betydelse sällan är klagjord. Samverkan kan alltså ha olika innebörd för olika aktörer och ett vanligt problem är att ingen tydlig definition görs av vad som menas med samverkan. Detta styrks av att samverkan definieras olika i utredningar från olika organisationer och att dessa definitioner i vissa fall kan utgöra direkta motsatser till varandra.

Uhr menar vidare att det är centralt i samverkansbegreppet att det finns en tanke om ett mål och att utan ett sådant mål finns ingen poäng med samverkan. Det kan vara så att det gemensamma målet med samverkan är

"...att var och en ska kunna genomföra sin egen uppgift så bra som möjligt utan att själva drabbas av negativa konsekvenser av andras handlande." (Uhr 2011)

Problemet med ett gemensamt mål formulerat på det sättet är att helhetsbilden riskerar att gå förlorad. Vilket är precis tvärt emot vad målsättningen är när det gäller energieffektivisering av fjärrvärmeuppvärmda byggnader enligt de fyra utredningar som inkluderats i den här analysen. Det kan också tänkas att målen med samverkan är helt andra än det tänkta resultatet av att samverka. Uhr hänvisar igen till bland annat Hörnemalm (2008) som konstaterar att incitament för samverkan kan vara en förväntat legitimitetsskapande effekt och inte själva resultatet av samverkan i sig.

Det förefaller vara så att den komplexitet och svårighet med att definiera så kallade wicked problems som Värmemarknad Sverige använde för att beskriva målkonflikter i värmesektorn även föreligger när det gäller definitionen av samverkan. Det innebär att komplexiteten som finns i själva definitionen av problemet återfinns även i den föreslagna lösningen eller hanteringen av problemet. Detta gör att potentialen för samverkan som lösning på suboptimeringsproblemet inte är självklart stor.

Uhr tar också upp vad han kallar för samverkansmättnad som innebär att nyttan med samverkan avtar i takt med att kostnaden för samverkan för de enskilda aktörerna ökar. Det betyder att om samverkan innebär för stora kostnader eller uppkopplingar för de enskilda aktörerna riskerar nyttan av och intresset för samverkan att minska.

Uhr menar dock att det är oomtvistligt att det finns positiva effekter av samverkan. Det finns även exempel på när samverkan i form av dialog mellan fastighetsägare och energibolag har fungerat för att undvika till exempel oönskade bortkopplingar av fastigheter från fjärrvärmesystem.

I Fjärrvärmetidningen nummer 1 2015 rapporteras det om en bostadsförening norr om Sundsvall som övervägt att koppla bort sig från det lokala fjärrvärmesystemet. Föreningen hade utrett möjligheten att ersätta fjärrvärmen med bergvärmepumpar. Efter dialog med fjärrvärmeleverantören Sundsvall Energi har föreningen dock ändrat sig och aktörerna kommit överens om en ny prismodell. (Fjärrvärmetidningen 2015:1)

Ett annat exempel tas upp i det efterföljande numret av fjärrvärmetidningen nr 2 2015. En fastighetsägare i Enköping ersatte 2009 fjärrvärme med bergvärmepumpar. 2014 beslutades det dock om att återgå till fjärrvärmen. Delvis

ska det ha berott på vardagligt strul med bergvärmepumpssystemet som ledde till höga driftskostnader. Till saken hör att fastigheterna under perioden 2009–2014 har hunnit byta ägare samt att det lokala fjärrvärmebolaget har tillsatt en ny VD. (Fjärrvärmetidningen 2015:2)

Det finns således tecken på att samverkan kan ha en viss betydelse för att hantera intressekonflikter inom värmesektorn. Däremot är det svårare att se en omställning till 4GDH-teknik med enbart samverkan som styrning på grund av de stora investeringar som rimligtvis skulle behövas från såväl energibolag som fastighetsägare. En radikal omställning av befintliga svenska fjärrvärmesystem till 4GDH är inte heller nödvändigtvis önskad av värmemarknadens aktörer. Här följer ett antal slutsatser från analysen i detta kapitel.

- Det konstateras i det här kapitlet att bristen på helhetsperspektiv när det gäller energieffektiviseringar i fjärrvärmesystem har utretts och konstaterats flera gånger. Det tyder på att suboptimeringsproblemet egentligen saknar en lösning och måste hanteras kontinuerligt över tid.
- Det finns indikationer på att rådande samhällsutmaning och idé om organisation har betydelse för utvecklingen av fjärrvärmens tekniskt system.
- Samverkan för att nå samsyn och systemperspektiv är en vanligt föreslagen lösning på suboptimeringsproblemet i värmesektorn.
- Samverkan är dock ett problematiskt begrepp som kräver tydlig definition från fall till fall. Risker är att samverkan används för att legitimera arbetet med ett komplicerat problem utan att någon större förändring eller lösning på rådande problem egentligen uppnås.
- Samverkan kan fungera för att hantera mindre intressekonflikter mellan energibolag och fastighetsägare genom att bygga kundrelationer och öka värmeanvändares förståelse och tillit till fjärrvärmens och dess operatörer.
- Samverkan som enskilt verktyg för att styra en omställning från 3GDH till 4GDH är däremot mindre realistiskt. Detta på grund av samverkansmättnad till följd av de omfattande investeringar som 4GDH kräver.

8 Slutsatser

Projektets syfte var att undersöka hur fjärrvärmeuppvärmda flerbostadshus från miljonprogramsåren i Sverige kan bidra till omställning av bostadsområden till fjärde generationens fjärrvärme (4GDH). Miljonprogramshusen utgör en del av bebyggelsen med en ålder som innebär att omfattande underhåll och renovering är nära förestående. Därför är det rimligt att tänka sig energieffektiviseringar som en del i dessa renoveringar. Det skulle kunna vara en tänkbar start på en mer omfattande omställning till ett resurseffektivt och till största delen förnybart 4GDH-system. Miljonprogramsbeståndet utgör en stor potential för energibesparingar och eftersom att större delen av beståndet värms med fjärrvärme kan genomförande och typ av effektiviseringar ha betydelse för svenska energibolags värmeunderlag och värmeproduktion. Miljonprogramsområden är relativt enhetliga och erbjuder goda möjligheter för omställning på områdesnivå. Nedan följer en kort sammanfattning av slutsatserna i projektet.

Bostadsrättsföreningen Gräslöken och dess 77 fastigheter och sammanlagt 832 lägenheter byggdes under tidigt 1970-tal och utgörs av låga loftgångshus. Gräslöken har många av de karakteristiska dragen som återfinns i vanliga miljonprogramsområden. Brf Gräslöken används som en fallstudie i kapitel 5 delvis för att beräkna värmebehovsminskning i byggnader och hur distributionsförlusterna för värme kan reduceras genom nya lösningar för varmvattenförsörjning och sänkta distributionstemperaturer. Gräslöken används också för att simulera en tänkbar 4GDH-energibalans i ett miljonprogramsområde med fokus på förnybar elproduktion. De effektiviseringsåtgärder som utgjort grunden i beräkningarna är *byggnadsskalåtgärder* (tilläggsisolering samt byte av fönster och dörrar) och *från-tilluftsvärmeväxling*. Potentialen för energieffektiviseringar i byggnader och åtgärder för att sänka värmedistributionsförluster beräknas utgående från de befintliga förutsättningarna i brf Gräslöken. Därefter utökas beräkningarna med en möjlig framtida elanvändning som inkluderar en elbilspool och takintegrerad solexproduktion där överskottselen konverteras till värme och lagras centralt i området.

För Gräslöken beräknas att en halvering av värmebehovet i byggnader till följd av fasadisolering med nya fönster och dörrar samt installation av från-tilluftsvärmeväxling möjliggjorde en sänkning av framledningstemperaturen från 76 °C till 54 °C när det är som kallast ute. Returtemperaturen beräknas, som en följd av möjlig sänkning av framledningstemperaturen, att kunna sänkas från 58 °C till 44 °C när det är som kallast ute. Det sekundära distributionssystemet har separata slingor för uppvärmning och varmvatten därför påverkar energieffektiviseringarna inte temperaturen på varmvattenslingan som ligger mellan 55 och 60 °C. Temperatursänkningarna till följd av det lägre värmebehovet ger upphov till en beräknad minskning av distributionsförlusterna med 13 % i fallet med fasadåtgärder samt från-tilluftsvärmeväxling. Betydligt större möjligheter för reducering av distributionsförluster ligger i att ersätta den centrala varmvattenberedningen med lägenhetscentraler. Enligt beräkningarna skulle det minska distributionsförlusterna med upp till 49 %.

Elbehovet i Gräslöken skulle öka från 2.0 till 4.7 GWh per år med elbilspool och från-tilluftssaggregat. Om områdets taktytor utnyttjas fullt ut för soletproduktion skulle 3.9 GWh solet kunna produceras per år. På grund av dygnsmässigt och säsongsmässig mismatch mellan soletproduktion och elbehov skulle dock området endast bli självförsörjande på el till 40 % och vissa tider blir överskottsproduktionen av solet stor. Om överskottseln konverteras till värme och lagras i ett vattenmagasin av storleken 10 600 m³ med en lagringskapacitet om 550 MWh ersätts fjärrvärmehelt och hållet från och med mitten av april till och med oktober. Behovet av tillförd fjärrvärme till området skulle då minska från omkring 11 GWh till 4 GWh. Fjärrvärme behöver tillföras området under årets kallare delar. Om istället värmelager skulle användas för att hela brf Gräslökens värmebehov skulle försörjas med värme från ledig avfallsförbränningskapacitet under sommarmånaderna behövs en lagervolym om 127 000 m³.

Resultaten från fallstudien brf Gräslöken visar delvis att det finns signifikant potential att på områdesnivå minska distributionsförluster i befintligt kulvertsystem. Detta främst genom att minska antalet ledningsrör. Sänkning av systemtemperaturer i befintlig kulvert har dock begränsad påverkan på förlusterna. Resultaten för värmelagring visar också att beroende på befintlig värmeförsörjning i fjärrvärmesystemet så bidrar lagring av värme olika mycket till ökad resurseffektivitet. I ett bränslebaserat system kan överskottsel konverteras till värme sommartid och lagras. Men ett system där spillvärme från avfallsförbränning eller industri utgör basleverans och där överkapacitet av dessa resurser finns periodvis skulle ha större nytta av att lagra spillvärme för att ersätta bränslebaserad värme under övriga delar av året.

Därefter undersöks potentialen för energibesparing i miljonprogrammet och hur en omfattande energieffektivisering av dessa byggnader skulle påverka svensk fjärrvärmesektor. Miljonprogrammets andel av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem beräknas. Svenska flerbostadshus som byggdes under miljonprogramsåren 1965–1974 utgör i genomsnitt 15 % av värmeunderlaget i svenska fjärrvärmesystem. Av 253 system för vilken andelen har beräknats har endast 53 system mer än 20 % av sitt värmeunderlag i miljonprogram. Värmeunderlaget som utgörs av miljonprogramshus korrelerar inte med storleken på årliga fjärrvärmeleveranser, vilket förklaras av att miljonprogrammet byggdes ut relativt jämnt fördelat i Sveriges tätorter.

I projektet visas att det är möjligt att med hjälp av generella modeller baserade på de vanligaste hustyperna från miljonprogramsåren och statistik från energideklarationsregistret simulera den aggregerade energibalansen i det aktuella beståndet i en stad, i det här exemplet Uppsala. Dessa simuleringar och beräkningar för energieffektiviseringsåtgärder lämpliga för respektive typhus visar att det finns en betydande energibesparingspotential i miljonprogramsbeståndet. Installation av från-tilluftsvärmeväxling kombinerat med effektiviseringar av byggnadsskal ger potentiellt en halvering av värmebehovet i Uppsalas miljonprogramsbestånd.

Reduceringen av värmebehovet med åtgärder på byggnadsskal och återvinning av ventilationsvärme genom värmeväxling påverkar i absoluta tal huvudsakligen den kallare tiden på året då hetvattenpannor med dyra bränslen i relativt hög

utsträckning används för att täcka lasttopparna. Fjärrvärmens som levereras under sommarmånaderna utgörs i Uppsala till stor del av värme från avfallsförbränning och att reducera värmebehovet under den perioden kan betraktas som primärenergimässigt tveksamt. Installation av frånluftsvärmepumpar ökar ojämnheten värmelasten vilket inte är önskvärt för energibolagen då underlaget för baslastproduktion minskar. Dessa slutsatser stämmer väl överens med tidigare liknande studier.

Det kan konstateras att även om en halvering sker av värmebehovet i miljonprogramsbeståndet i ett fjärrvärmesystem innebär detta generellt en reduktion av det totala värmeunderlaget på som mest 10 %. Enligt tidigare forskning leder en minskning av värmeunderlaget i den storleksordningen generellt till minskade globala utsläpp av koldioxid, med hänsyn tagen till att olika typer av värmeproduktionsanläggningar, värmeresurser och bränslen används i olika system. En halvering av värmebehovet i miljonprogramsbeståndet där främst behovet av rumsuppvärmning minskas ökar generellt resurseffektiviteten i fjärrvärmesystemen och minskar globala utsläpp av koldioxid.

Projektet hade även ett delmål som gick ut på att ta fram strategier för samverkan mellan fastighetsägare och energibolag för en omställning till 4GDH-system. Det är rimligt att utgå ifrån att en omställning till 4GDH förutsätter engagemang från flera olika aktörer. I Lund m fl (2014) förs en diskussion om vilka organisatoriska förändringar som krävs för en omställning från dagens 3GDH till 4GDH. Enligt författarna innebär detta omfattande investeringar på såväl användarsida som tillförselsida och att omfördelning av resurser och planering av energisystemutveckling kommer att bli nödvändigt. I ett annat projekt från 2017 utreds den svenska värmemarknaden och dess aktörers intressen. Det framkommer att det föreligger starka målkonflikter mellan aktörer inom värmesektorn och även inom koncerner när det gäller arbete och målsättningar för att nå ökad hållbarhet och resurseffektivitet.

Det konstateras i det här projektet att bristen på helhetsperspektiv och risken för suboptimering när det gäller energieffektiviseringar i fjärrvärmesystem har utretts ett flertal gånger de senaste decennierna. Under 2000-talet har frivillig samverkan och samarbete föreslagits som lösning på det problemet. Analyser av begreppet samverkan dess betydelse som verktyg för att nå samsyn och ett gemensamt systemperspektiv visar att det kan vara problematiskt. Samverkan definieras ofta olika av olika aktörer och kräver därför tydlig definition från fall till fall. Det finns en risk att samverkan används för att legitimera arbetet med ett komplicerat problem utan att någon större förändring eller lösning på rådande problem egentligen uppnås. Samverkan kan dock fungera för att hantera mindre intressekonflikter mellan energibolag och fastighetsägare genom att bygga kundrelationer och öka värmeanvändares förståelse och tillit till fjärrvärmens och dess operatörer. Samverkan som enskilt verktyg för att styra en omställning från 3GDH till 4GDH är däremot mindre realistiskt.

En strategi för omställning från dagens 3GDH-system till 4GDH-system bör anpassas till värmeproduktionsförutsättningar i olika fjärrvärmesystem. Nivån på energibesparingar i miljonprogramsområden har ingen avgörande betydelse för fjärrvärmeproduktionen.

I system med tillvaratagande av överskottsvärme från avfallsförbränning och industri är det rimligt att energieffektivisering av miljonprogramsområden görs för ett fortsatt högt restvärmeutnyttjande. Detta kan delvis göras genom att undvika direkt konvertering av förnybar el och framförallt solex till värme som konkurrerar med spillvärmeutnyttjandet. Det kan också göras genom säsongslagring av restvärme från sommar till vinter för att ersätta topplastproduktion. Det senare förutsätter att överkapacitet finns i avfallsmängder och förbränningskapacitet eller motsvarande om det gäller industriell spillvärme.

Fjärrvärmesystem som använder någon form av lagringsbart bränsle för värmeproduktion året runt kan bidra till att balansera kraftsystemet för att öka potentialen för förnybar elproduktion. Genom att konvertera överskottsel till värme för direkt användning eller lagring kan mängden el som tillförs elnätet minska under perioder med lågt elbehov och hög elproduktion. Detta kan ha såväl nätstabiliserande effekter som vara ekonomiskt motiverat för småskaliga solexproducenter.

Vid omställning till 4GDH-system i miljonprogramsområden bör fokus inledningsvis vara att utgå ifrån redan befintliga sekundära distributionssystem och effektivisera dessa. Som exemplet i den här rapporten visar är inte enbart systemtemperaturerna avgörande utan inkopplingsprinciper med central varmvattenberedning skulle med fördel kunna ersättas med undercentraler i lägenheter för detta ändamål.

Samverkan som verktyg för att undvika suboptimerande energieffektiviseringsåtgärder i värmesektorn kan ha viss betydelse men räcker sannolikt inte för en omställning till 4GDH-system.

9 Referenser

Martinez-Rubio, F. Sanz-Adan, J. Santamaria-Pena, och A. Martinez, "Evaluating solar irradiance over facades in high building cities, based on LiDAR technology", *Appl. Energy*, vol. 183, s. 133–147, 2016.

B. Norton, P. C. Eames, T. K. Mallick, M. J. Huang, S. J. McCormack, J. D. Mondol, och Y. G. Yohanis, "Enhancing the performance of building integrated photovoltaics", *Sol. Energy*, vol. 85, nr 8, s. 1629–1664, 2011.

BBR (2016), Boverkets byggregler. BFS 2011:6 med ändringar till och med 2016.

Björk. C. Och Kallstenius. P. (2002) Så byggdes husen. ISBN: 91-540-5888-0

Boverket (2010) Regelsamling för energideklaration med kommentarer. Boverket 2010.

Boverket (2015) Förslag till svensk tillämpning av nära-nollenergibyggnader - Definition av energiprestanda och kvantitativ riktlinje. rapport 2015:26.

Boverket (2016a)

<http://www.boverket.se/sv/samhallsplanering/stadsutveckling/miljonprogrammet/> (2016-11-11)

Boverket (2016b) Karttjänst över miljonprogrammet.

<http://gis2.boverket.se/apps/js/miljonprogram/> (2016-12-06)

Boverket (2016c) Trend – Energideklarationer 2007-09-10 – 2016-11-30. Tillgänglig från <http://www.boverket.se/sv/byggande/energideklaration/regelverk-tillsyn--statistik/statistik-om-energideklaration/> (2016-12-06).

Buderus Heiztechnik (2004) Technische Maßnahmen zur Minderung des Legionellenwachstums in Neuanlagen DVGW-Arbeitsblatt W551 DVGW-Arbeitsblatt W 551

Energihus (2016) Energihus – kalkyl. <http://www.energihuskalkyl.se/menus/index/46> (2016-04-06)

Energimarknadsinspektionen (2016) Fjärrvärmekollen. <http://www.ei.se/sv/start-fjarrvarmekollen/> (2016-12-08)

Energimyndigheten (2014). Energistatistik för flerbostadshus 2013. ER 2014:03.

Energimyndigheten (2015). Energistatistik för flerbostadshus 2014. ES2015:04.

Energimyndigheten (2016) Utformning av energieffektiviseringsmål -kunskapunderlag och analys av målkonstruktioner. Rapport ER 2016:27.

Erson. J. (2016) Att spara på värme – Energieffektiviseringar av fjärrvärmeanslutna flerbostadshus från miljonprogrammet i Uppsala. Examensarbete på

civilingenjörsprogrammet System i Teknik och Samhälle. Uppsala universitet. juni 2016.

Fjärrvärmetidningen (2015), Svensk fjärrvärme, 2015:1-2.

Formas (2012) Miljonprogrammet – utveckla eller avveckla? Formas Fokuserar, Stockholm, Sverige

Frederiksen. S. och Werner. S. (2013) District Heating and Cooling. Studentlitteratur. Lund, Sverige.

Grahn, P., Munkhammar, J., Widén, J., Alvehag, K. och Söder, L., PHEV Home-Charging Model Based on Residential Activity Patterns, IEEE Transactions on Smart Grid, 28, pp. 2507-2515 (2013).

Hall. T. och Vidén. S. (2005) The Million Homes Programme: a review of the great Swedish planning project. Planning Perspectives. 20:301-328.

Hörnemalm, J., (2008) Samverkan är ett magiskt ord – Motstridiga ambitioner och ideal i nätverksorganisering. Doktorsavhandling, Institutionen för arbetsvetenskap, avdelningen för industriell produktionsmiljö. Luleå tekniska universitet, Sverige.

Gooding, J., Crook, R. och Tomlin, A. S. "Modelling of roof geometries from low-resolution LiDAR data for city-scale solar energy applications using a neighbouring buildings method", Appl. Energy, vol. 148, s. 93–104, 2015.

Janson. U. (2010) Passive Houses in Sweden. From Design to Evaluation of Four Demonstration Projects. PhD thesis Dept. Of Architecture and Built Environment. Lunds University. Faculty of Engineering. Lund. Sweden.

Kaiserfeldt.T. (1999) Ett lokalt energisystem mellan vattenkraft och kärnkraft: Uppbyggnaden av kraftvärme i Karlstad mellan 1948 och 1956. Arbetsnotat 10. Program Energisystem – tvärvetenskap i samhällets tjänst. mars 1999.

Lantmäteriet, "Produktbeskrivning GSD-Fastighetskartan, vektor [Product description Property Map, vectorized]", Gävle, 2016.

Lantmäteriet, "Produktbeskrivning Laserdata [Product description LiDAR data]", 2015.

Lauenburg, P. (2014) Teknik och forskningsöversikt över fjärde generationens fjärrvärmeteknik. Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola, Sverige.

Lind. H.. (2015) Hyresreglering och renovering – en förbisedd dimension. Ekonomisk debatt nr 5 2015 årgång

Lund, H., Werner, S., Wiltshire, R., Svendsen, S., Thorsen, J. E. Hvelplund, F. och Mathiesen, B. V. 4th Generation District Heating (4GDH) Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. Energy 68 (2014) 1-11.

Miljöfaktaboken (2011), Värmeforsk rapport

Naturskyddsföreningen (2013) Rapport: Miljöprogram för miljonprogrammet - styrmedel för energieffektiv renovering av flerbostadshus. ISBN: 978-91-558-0119-9.

Norbäck, K., Holst, P., Kjaerboe, P. och Svensson, J. (1984) Utvärdering av solvärmecentraler i Lambohov. Byggnadsrådet, R92:1984.

Proposition 1980/1981:90 Om riktlinjer för energipolitiken.

Proposition 1996/1997: 84. En uthållig energiförsörjning

Green, R. C. Wang, L. och Alam, M. The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook, Renewable and Sustainable Energy Reviews 15, pp. 544-553 (2011).

Rittel H. W. J, och Webber M. M. (1973) Dilemmas in a General Theory of Planning, Policy Sciences 4 (1973, 155-169.

SIKA 2017. Swedish Institute for Transport and Communications Analysis (SIKA), RES 2014 – 2006 The National Travel Survey, Report No. 2007:19 (2017).

SOU 1980:9, Övergång till fasta bränslen.

SOU 1980:43, Energihushållningsdelegationen.

SOU 2008:110, Vägen till ett energieffektivare Sverige

StruSoft AB (2016). <http://www.strusoft.com/products/vip-energy> (2016-12-07)

Svensk fjärrvärme (2016) Tillförd energi för produktion av fjärrvärme 1980-2015. <http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/Tillford-energi-utveckling-1980-2012/> (2016-12-13)

Svenska Termoträ AB (2006) Referensprojekt HSB:s BRf 53 Gräslöken – Slutrapport.

Sveriges regering. <http://www.regeringen.se/regeringens-politik/energi/energieffektivisering/mal-for-energieffektivisering/> (besökt 2016-11-23)

Särnbratt, L. (2006) Perspektiv på miljonprogrammet – Arkitektur, kulturhistoria och miljöanpassning som delar av hållbar utveckling. Uppsats för licentiatexamen. Institutionen för arkitektur. Chalmers tekniska högskola. Göteborg. 2006.

Transportstyrelsen, Nya tjänster för delad mobilitet, report 2016:15 (2016).

Uhr, C., (2011) "Samverkansbegreppet" i myndigheten för samhällsskydd och beredskap, *Samverkan för säkerhets skull!*

Vitec (2017). <https://www.vitecsoftware.com/en/product-areas/energy/> (senast besökt 2017-05-05)

Värmemarknad Sverige (2016) Halvtidsrapport för etapp II – Aktörerna i fokus.

Värmemarknad Sverige (2017) Slutrapport etapp II – Vår gemensamma värmemarknad.

Wallentén, P.. (1991) Steady-state heat loss from insulated pipes. Report TVBH-3017. avdelningen för byggnadsfysik. Lunds universitet.Sverige.

Werner, S. (1989) Fjärrvärmens utveckling och utbredning. Värmeverksföreningen, Stockholm, 1989.

Widén, J., Nilsson, A.M., Wäckelgård, E., A combined Markov-chain and bottom-up approach to modelling of domestic lighting demand, *Energy in buildings* 41, pp. 1001-1012 (2009).

Widén, J., Wäckelgård, E., A high-resolution stochastic model of domestic activity patterns and electricity demand, *Applied Energy* 87, pp. 1880-1892 (2010).

Zinko, H. och Gebremehdin, A. (2008) Säsongslager i kraftvärmesystem, Fjärrsynrapport 2008:1.

Åberg, M., och Henning, D. (2011) Optimisation of a Swedish district heating system with reduced heat demand due to energy efficiency measures in residential buildings, *Energy Policy* 39 (2011) 7389-7852.

Åberg, M., Widén, J. (2013) Development, validation and application of a fixed district heating model structure that requires small amounts of input data. *Energy Conversion and Management* 75 74-85.

Åberg, M. (2014) System Effects of Improved Energy Efficiency in Swedish District-Heated Buildings. Doktorsavhandling. Institutionen för teknikvetenskaper, Uppsala universitet.

NYA LÖSNINGAR FÖR FJÄRRVÄRME I MILJONPROGRAMSOMRÅDEN

Här har man undersökt hur renoveringar av miljonprogramsområden påverkar fjärrvärmeföretagen och hur framtidens fjärrvärmesystem kan se ut för de här områdena.

Resultaten visar att det går att sänka distributionstemperaturen på områdesnivå om man energieffektiviserar byggnader vilket också möjliggör en effektiv lagring och utnyttjande av spillvärme. Det är också möjligt att halvera förluster i sekundära distributionssystem om man ersätter den centrala varmvattenberedningen med beredning i varje lägenhet.

Forskningen visar att en halvering av värmebehovet i byggnader inom miljonprogrammets är möjlig. Det leder till en minskning av värmeunderlaget i fjärrvärmesystem med upp till 10 procent. Det finns också en stor risk för suboptimering i samband med att man energieffektiviserar. Här visar forskarna att det är problematiskt att lösa frågor kring suboptimering genom samverkan och att samverkan inte räcker som verktyg vid större energiomställningar.

Ett nytt steg i energiforskningen

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