

UTVECKLING AV RESURSEFFEKTIVA FJÄRRVÄRMESYSTEM

RAPPORT 2017:395



Utveckling av resurseffektiva fjärrvärmesystem

LEIF GUSTAVSSON, AMBROSE DODOO OCH NGUYEN LE TRUONG

ISBN 978-91-7673-395-0 | © ENERGIFORSK juni 2017

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

Förord

Trots vetskapen att byggnader framöver kommer att vara mer energieffektiva har det saknats kunskap om den ömsesidiga påverkan mellan energihushållning i byggnader och fjärrvärmesystem. Kostnadseffektiv energihushållning av ett fjärrvärt flerbostadshus kan minska värme- och elbehovet och leda till omfattade ekonomiska vinster för husägaren men det är också viktigt att anpassa och optimera fjärrvärmesystemet. Överdimensionering av fjärrvärmeproduktion och distribution bör undvikas.

Projektet har genomförts av forskargruppen för en hållbar byggd miljö vid Linneéuniversitetet av Ambrose Dodoo, Leif Gustavsson (projektledare) och Nguyen Le Truong, och finansierats av Energimyndigheten och fjärrvärmebranschen genom Energiföretagen Sverige AB.

Medlemmar i referensgruppen har varit Leif Bodinson, Söderenergi AB (ordförande), Arne Andersson, Ronneby Miljö & Teknik AB, (Ordförande), Ken Dahlstrand och Per Rosen, EON Värme, Jan-Olof Dalenbäck, Chalmers Tekniska Högskola, Axel Johansson, Landskronaenergi, Lars-Inge Persson och Magnus Gunnarsson, Öresundskraft, Johan Saltin, Växjö Energi och Norconsult, Jörgen Sjödin, Energimyndigheten, Johan Tjernström, Akademiska Hus och Raziye Khodayari, Energiföretagen Sverige.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som finansieras av Energiföretagen Sverige och 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 Bodinson

Ordförande i Energiföretagen Sveriges omvärldsråd

Här redovisas resultat och slutsatser från ett projekt inom ett forskningsprogram som drivs av Energiforsk. Det är rapportförfattaren/-författarna som ansvarar för innehållet och publiceringen innebär inte att Energiforsk har tagit ställning till innehållet.

Sammanfattning

I detta projekt har vi i detalj analyserat energihushållningsåtgärder för ett flerbostadshus byggt 1972 i Ronneby med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby. I den ekonomiska analysen har investeringskostnader för energihushållningsåtgärder vägts mot de minskade kostnaderna för energiförsörjningen som åtgärderna medför under deras livslängd. Är investeringskostnaden lägre än kostnadsminskningen för energiförsörjningen så bedöms åtgärderna som lönsamma. Energiförsörjningen beaktas för tre olika stora fjärrvärmesystem med olika typer av fjärrvärmeproduktion.

Enskilda energihushållningsåtgärder har analyserats med avseende på marginal och total lönsamhet. Det innebär exempelvis att omfattning på tilläggsisolering för golv, väggar och tak har analyserats liksom val av energiprestanda för nya fönster. Marginalberäkningen visar på lönsamheten av att öka eller minska en enskild åtgärds energiprestanda medan totalberäkningen visar om själva åtgärden är lönsam. Därefter har ekonomiska renoveringspaket utformats baserat på analysen av de enskilda åtgärderna. Den värmehushållning en åtgärd medför beror till viss del av gratisvärmes som tillförs huset. Därför har användningen av hushållsel och fastighetsel baserats på bäst tillgänglig energieffektiv teknik eller idag genomsnittligt använd teknik. Renoveringsbehov av huset har beaktats då det kan påverka investeringskostnader för energihushållningsåtgärder.

Den energihushållning som energihushållningsåtgärder medför har analyserats genom timvisa energibalansberäkningar av huset före och efter åtgärd med hjälp av avancerat energibalansberäkningsprogram. Vid energibalansberäkningar styrs resultatet av gjorda antaganden. Inom forskning och i tekniska rapporter används skiftande antaganden som medför att resultatet varierar markant vid analys av samma byggnad. Därför har antaganden i energibalansberäkningar analyserats i detalj för att minska osäkerheterna i här gjorda beräkningar.

Det ekonomiska värdet av årlig energihushållning har beräknats baserat på dagens energipriser och antagen real energiprisutveckling. Det ekonomiska värdet av årlig energihushållning, vilket motsvarar den minskade kostnaden för energiförsörjningen som energihushållningen medför, har sedan nuvärdeberäknats. Den minskade energiförsörjningskostnaden vägs sedan emot investeringskostnaden för energihushållningen. Tre ekonomiska scenarier har genomgående använts i analyserna. Ett hållbarhetsscenario med låg realränta (1%) och hög energiprisutveckling (3%), ett medelscenario med realränta om 3 % och energiprisutveckling om 2% och ett Business-As-Usual (BAU) scenario med hög realränta (5%) och låg energiprisutveckling (1%).

I analyserna har vi utgått från fjärrvärmesystem i Ronneby (≈ 100 GWh/år till slutkund), Växjö (≈ 600 GWh/år) och Helsingborg (≈ 1000 GWh/år). Fjärrvärmeproduktionen i Ronneby är främst baserad på biohetvattenpannor, i Växjö främst på biokraftvärme medan systemet i Helsingborg har en varierad produktionsmix med bland annat spillvärme, avfalls-, bio- och gaskraftvärme. Ekonomisk lönsamhet för olika energihushållningsåtgärder bedöms med

utgångspunkt från fjärrvärmepriser för dessa tre fjärrvärmesystem och beräknad energihushållning baseras på klimatdata för respektive ort.

Betydande ekonomisk energihushållning kan uppnås för här analyserat hus. Ekonomisk energihushållning för rumsuppvärmning och tappvarmvatten har årligen beräknats till mellan 98 och 143 MWh (36-53%) om huset är lokaliserat i Helsingborg. Motsvarande värden för Växjö är 102-161 MWh (34-53%) och för Ronneby 96-141 MWh (34-51%). Ekonomisk elhushållning är årligen beräknad till mellan 23-30 MWh (34-46%) för de olika scenarierna och beror inte på lokalisering. Störst energihushållning erhålls med hållbarhetsscenariot och minst med BAU-scenariot.

Utgår vi från hållbarhetsscenariot leder energihushållningen till omfattade ekonomiska vinster under analyserad 50-års period. Investeringarna i energihushållningsåtgärder är drygt 300 tusen euro medan nuvärdet av minskad energi- och vattenanvändning som åtgärderna medför är drygt 1.1 miljoner euro. De ekonomiska vinsterna är också stora för de två andra scenarierna. Stor betydelse för det ekonomiska utfallet har realränta och antagen real energiprisutveckling. Betydelse har också prismodeller för köpt fjärrvärme.

Hur husets energihushållningsåtgärder påverkar primärenergianvändningen har analyserats för befintlig fjärrvärmeproduktion. Det genom att timvis jämföra förändrat fjärrvärmebehov genom energihushållning med verklig timvis fjärrvärmeproduktion 2013 för de tre fjärrvärmesystemen. Hur en framtida fjärrvärmeproduktion baserad på förnybar energi, både med dagens teknik och teknik under utveckling, påverkar primärenergihushållningen har också analyserats.

För fjärrvärmesystemet med enbart hetvattenpannor blir primärenergihushållningen betydligt större än för systemen med kraftvärmeproduktion med dagens energiförsörjningssystem. Primärenergihushållningen vid kraftvärmeproduktion beror på hur den samproducerade elen värderas. Ersätter samproducerad el separat elproduktion med förhållandevis låg verkningsgrad blir primärenergihushållningen mindre än om el från separata anläggningar med bättre verkningsgrad ersätts. De energihushållningsåtgärder som ger högst specifik primärenergihushållning (primärenergihushållning dividerat med energihushållning i byggnaden) är de elhushållande åtgärderna och då särskilt åtgärder kopplat till husets tekniska installationer. Det beror på att gratisvärmens från tekniska installationer är lägre än från hushållsel. Förnybara energisystem med kombinerad elproduktion i biokondensanläggningar och vindel/solel medför att skillnaden i primärenergihushållning för de tre fjärrvärmesystemen blir liten. Skillnaden mellan energihushållningen i huset och primärenergihushållningen blir också liten för de flesta av värmehushållningsåtgärderna.

Värmehushållningen i huset är störst på vinterhalvåret. Det eftersom de flesta av energihushållningsåtgärderna ger en minskad värmeanvändning som beror på utomhustemperaturen. Det gör att värmebehovens årliga variation minskar vilket ökar konkurrenskraften för kapitalintensiva uppvärmningssystem om uppvärmningssystemen kan anpassas efter de förändrade värmebehoven.

Fjärrvärmesystems konkurrenskraft med eller utan energihushållning i byggnader, vid helt förnybara energisystem, har analyserats för ett flerbostadshus i Växjö kommun för de tre olika fjärrvärmesystemen. De tre fjärrvärmesystemen har då jämförts med uppvärmningssystem hos slutanvändaren baserade på direkt elvärme, elvärmepumpar med ytjordvärme som värmekälla och pellets pannor, med eller utan solvärme. Skillnaden i uppvärmningskostnad mellan de olika uppvärmningssystemen för huset är liten, utom för direktverkande el som har en betydligt högre uppvärmningskostnad och också en betydligt högre primärenergianvändning. Lägst primärenergianvändning ger det större fjärrvärmesystemet och sedan elvärmepumpar med ytjord som värmekälla. Det medelstora och mindre fjärrvärmesystemet ger betydligt lägre primärenergianvändning än pellets pannor. Solvärme minskar primärenergianvändningen för direktverkande el och pellets pannor och ger också något lägre uppvärmningskostnader. För elvärmepumpar är kombinationen med solvärme inte kostnadseffektivt.

För energieffektiv variant av huset följer primärenergianvändningen mönstret för det befintliga huset men med generellt lägre primärenergianvändning. Uppvärmningskostnaden blir generellt lägre för energieffektiv variant men den lägre uppvärmningskostnaden måste täcka kostnader för energihushållning som inte beaktats i denna del av analysen. Samtidigt förändras de relativa kostnaderna mellan de olika uppvärmningssystemen så att pelletssystemen får klart lägst kostnad följt av elvärmepumpar medan kostnadsskillnaden mellan direktverkande el och fjärrvärme blir liten. Analyserat hus har 16 lägenheter och en uppvärmd yta om 1190 m². Det är ett förhållandevis litet flerbostadshus. Vid fördubblad husstorlek blir fjärrvärmesystemen mer konkurrenskraftiga särskilt jämfört med värmepumpar. Men fortfarande är pellets pannor mer kostnadseffektiva än fjärrvärme med energieffektiv variant av huset.

Kostnadsberäkningar beror av den lokala kontexten och innehåller osäkerheter samtidigt som kostnadsskillnaden är förhållandevis liten mellan uppvärmning med fjärrvärme, elvärmepumpar och pellets pannor. Det gör att andra faktorer kan bli mer styrande än kostnader såsom hälsoaspekter, osäkerheter och externt beroende av energiföretag. Samtidigt kan teknikutveckling förändra den inbördes konkurrenskraften mellan systemen. Trenden är dock att fjärrvärmesystem tappar i konkurrenskraft vid mer energisnåla hus samtidigt som ökad husstorlek ökar fjärrvärmens konkurrenskraft.

Forskningen har dokumenterats i fem vetenskapliga tidskriftsartiklar i internationellt välrenommerade tidskrifter och tre konferensbidrag i internationella konferenser i Tyskland, Portugal och Frankrike.

Summary

In this project, we have conducted detailed analysis of the implications of energy renovation measures for an apartment building built in 1972 in Ronneby using climate data for Helsingborg, Växjö and Ronneby. In an economic analysis, investment costs for the energy renovation measures are compared with energy costs savings of the measures during their lifetimes. The investment costs must be less than energy cost savings for a measure to be cost-effective. The effect of energy supply is taken into account considering three different district heat production systems with varied scales.

The cost-effectiveness of individual measures are analysed with total and marginal economic calculations. For example, the amounts of additional insulation for floors, walls and attic floor as well as the choice of U-values of new windows have been analysed. Marginal calculation shows the profitability of increase or decrease of an individual measure while the total calculation shows whether the measure itself is profitable. Subsequently, cost-effective renovation package is designed based on the analysis of the individual measures. Performance of heat savings measures are influenced, to some extent, by internal heat gains of building. Therefore, household and facility electricity use based on the best available technologies or today's average used technologies are considered in the analyses. Renovation needs of the analysed building have been taken into account since it can affect the investment costs for energy renovation measures.

The final energy use of the building before and after implementing the energy renovation measures are calculated hour-by-hour using advanced energy balance program. Energy balance calculations results depend on used assumption of input data, and are performed using appropriate input data. Assumptions for energy balance calculations in scientific studies and technical reports vary significantly in the Swedish context, resulting in considerably different calculated final energy use for the same building. Therefore, the assumptions for the energy balance calculations in this project have been screened in detail, to reduce uncertainties in the energy balance calculations.

The economic value of annual saved energy is calculated based on current energy prices and assumed real energy price developments. The economic value of annual saved energy which is equivalent to the reduced cost of bought energy due to the energy renovation is calculated in present value. The reduced energy costs are then compared with the investment costs of the energy renovation. Three economic scenarios have been used in the analyses: a sustainability scenario with rather low real discount rate (1%) and rather high annual energy price increase (3%), an intermediate scenario with real discount rate of 3% and energy price increase of 2% and a business-as-usual (BAU) scenario with rather high real discount rate (5%) and rather low annual energy price increase (1%).

We have considered the district heating systems in Ronneby (≈ 100 GWh/year to end user), Växjö (≈ 600 GWh/year) and Helsingborg (≈ 1000 GWh/year) in the analyses. The district heat production in Ronneby is mainly based on biomass-fuelled heat only boilers and in Växjö it is mainly based on biomass-fuelled

combined heat and power plants. The production in Helsingborg is based on diversified units, including waste heat, waste-, biomass- and fossil-gas-based combined heat and power production. Economic viability of various energy renovation measures are analysed based on district heat tariffs for the three district heating systems and the calculated energy cost savings based on climate data for each city.

Significant cost-effective energy savings are achieved for the analysed building. The cost-effective energy savings for space and domestic hot water heating is between 98 and 143 MWh/year (36-53%) for the building located in Helsingborg. The corresponding values are 102 to 161 MWh/year (34-53%) for Växjö and 96 to 141 MWh/year (34-51%) for Ronneby. The cost-effective electricity savings is between 23-30 MWh/year (34-46%) for the various scenarios and do not depend on the location. The biggest cost-effective energy savings is achieved under sustainability scenario while the least is achieved under BAU scenario.

The energy savings in the sustainability scenario results in large economic benefits for the analysed 50-year period. Total investment costs for the energy renovation measures is about 300 thousand euros while the present value of the reduced energy and water consumption is about 1.1 million euros. The economic benefits are also large for the other two scenarios. Of key importance for the economic benefits are the assumed real discount rate and real energy price development. The structure of the district heating tariffs has also some importance.

The effects of the energy renovation measures on primary energy use have been analysed on hourly basis for the three existing district heating systems with real hourly production data for 2013. Also, how a plausible future district heating production based on renewable energy, both with current and emerging technologies, will influence the primary energy savings has been analysed.

The primary energy savings are much larger for district heating system using heat only boilers than for systems with combined heat and power production with the existing energy supply configurations. Primary energy savings of coproduced district heat depends on how the co-produced electricity is valued. Primary energy savings is less when coproduced electricity is assumed to replace electricity produced in standalone plants with relatively low efficiency, compared to when standalone plants with better efficiency is considered.

The energy renovation measures that give the highest specific primary energy savings (primary energy savings divided by the final energy savings of the building) are electricity saving measures, particularly those related to building technical installations. This is because internal heat gain from the technical installations is lower than that for household electric appliances. The difference in primary energy savings for the three different district heating systems is small when using renewable energy systems with electricity produced from combination of biomass-based condensing plants and wind/solar plants. Also, the difference in final and primary energy savings of most of the heat saving measures become small.

Final heat savings of the building is biggest in winter as most of the energy renovation measures provide heat savings depending on the outdoor air

temperature. This decrease the variations in annual heat demand, thereby increasing the competitiveness of capital-intensive heating systems if the heating systems can be adapted to the changing heat demands.

The competitiveness of the three district heating systems has been analysed for an apartment building in Växjö, with and without energy renovation measures, when using only renewable energy sources. The three district heating systems have been compared to end-use heating systems using electric heat pumps with ground as heat source, electric resistance heaters or wood-pellet boilers with and without thermal solar heating. The difference in heating cost, for the building without energy renovation, for the different heating systems is rather small except for electric resistance heaters that have significantly higher heating cost and also significantly higher primary energy use. The large-scale district heating system gives the lowest primary energy use followed by electric heat pumps. The medium- and small-scale district heating systems give significantly lower primary energy use than pellet boilers. Thermal solar heating reduces primary energy use for the electric resistance heaters and the pellet boiler and also somewhat the heating cost. The combination of heat pumps and solar heating is not cost-effective.

For the energy-efficient alternative of the building, the pattern of primary energy use follows that of the building without energy renovation but the primary energy use is in general significantly lower. The heating cost is also significantly lower for the energy-efficient alternative but the lower heating cost must cover the cost for energy renovation measures that has not been considered in this part of our analysis. The energy renovation change the relative cost between the heating systems. Pellet boilers become most cost efficient followed by heat pumps while the cost-difference between resistance heaters and district heating become small. The analysed building has 16 apartments and a heated floor area of 1190 m². That is a rather small apartment building. With a doubled building-scale the district heating systems become more cost-effective and the heating cost is about the same as for heat pumps but still the pellet boilers are the most cost-efficient heating system.

Cost depends on local context, presenting uncertainties, while the cost difference is relatively small between heating with district heating, electric heat pumps and pellet boilers. This suggests that other factors may be more influential than the cost, e.g. health concerns, uncertainties and external dependence on energy utilities. Technological changes may influence the relative competitiveness of the heating options. Nevertheless, district heating systems become less competitive for more energy efficient buildings while increasing building size increases the competitiveness of district heating.

The research has been documented in five scientific articles in internationally renowned journals and in three conference papers in international conferences in Germany, Portugal and France.

Innehåll

1	Introduktion	11
2	Fjärrvärmesystems konkurrenskraft	14
3	Antaganden vid energibalansberäkningar	20
4	Energihushållning och fjärrvärmesystem	25
5	Ekonomisk energirenovering av fjärrvärmda flerbostadshus	33
6	Diskussion och slutsatser	39

1 Introduktion

Fjärrvärmebranschens kanske största utmaning ligger i hur man kan hantera framtidens minskade värmebehov till följd av energihushållning i bebyggelsen och byten till annan uppvärmningsteknik samt klimatförändringar [1]. Utvecklingen beror av branschens förmåga att anpassa sig till omvärlden och synliggöra sin nytta lokalt och nationellt [5, 8]. Inom Fjärrsyn finns flera rapporter som lyfter dessa frågor och föreslår strategier för att hantera minskade fjärrvärmebehov på nationell nivå. Dessa studier är förhållandevis översiktliga och relaterar ofta till nationella genomsnitt varför mer kunskap behövs om situationen för enskilda fjärrvärmesystem [1].

Kunskap om den ömsesidiga påverkan mellan energihushållning i byggnader och fjärrvärmesystem är förhållandevis begränsad. Studier på byggnadsnivå har ofta utgått från påverkan på den slutliga energianvändningen i byggnaden och inte sett till energitillförselsystemets prestanda och åtföljande primärenergiförändring. Olika energitillförselsystem kan medföra att primärenergihushållningen varierar markant för en given energihushållningsåtgärd i en byggnad. Olika energihushållningsåtgärder kan också medföra att den specifika primärenergihushållningen (primärenergihushållning dividerat med energihushållning i byggnaden) varierar för samma energitillförselsystem.

I detta projekt har vi i detalj analyserat energihushållningsåtgärder för ett flerbostadshus byggt 1972 i Ronneby med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby. I den ekonomiska analysen har investeringskostnader för energihushållningsåtgärder vägs mot de minskade kostnaderna för energiförsörjningen som åtgärderna medför under deras livslängd. Är investeringskostnaden lägre än kostnadsminskningen för energiförsörjningen så bedöms åtgärden som lönsam. Energiförsörjningen beaktas för tre olika stora fjärrvärmesystem med olika typer av fjärrvärmeproduktion.

De värmehushållningsåtgärder som har beaktats är tilläggsisolering och förbättrad lufttätning av klimatskal; byte av fönster, dörrar och varmvattenarmatur samt ventilationsvärmeåtervinning. Enskilda energihushållningsåtgärder har analyserats med avseende på marginal och total lönsamhet. Det innebär exempelvis att omfattning på tilläggsisolering för golv, väggar och tak har analyserats liksom val av energiprestanda för nya fönster. Marginalberäkningen visar på lönsamheten av att öka eller minska en enskild åtgärds energiprestanda medan totalberäkningen visar om själva åtgärden är lönsam. Därefter har ekonomiska renoveringspaket utformats baserat på analysen av de enskilda åtgärderna. Den värmehushållning en åtgärd medför beror till viss del av gratisvärmen som tillförs huset. Därför har användningen av hushållsel och fastighetsel baseras på bäst tillgänglig energieffektiv teknik eller idag genomsnittligt använd teknik.

Renoveringsbehov av huset har beaktats då det kan påverka investeringskostnader för energihushållningsåtgärder. Det genom att avräkna kostnaderna för eventuell renovering från själva investeringskostnaden för energihushållningsåtgärder.

Investeringskostnaden har beräknats med hjälp av Wikells, Sektionsfakta ROT 4.18, 2015–2016.

De minskade kostnaderna för energiförsörjningen som energihushållningsåtgärder medför har analyserats i detalj. Först har det minskade energibehovet som åtgärder medför analyserats genom timvis energibalansberäkningar av huset före och efter åtgärd med hjälp av avancerat energibalansberäkningsprogram. Det ekonomiska värdet av energihushållningen har beräknats med utgångspunkt från dagens energipriser och antagen real energiprisutveckling. Det ekonomiska värdet av åtgärderna har sedan nuvärdesberäknats med hjälp av antagen realränta. Antagen real energiprisutveckling och realränta har stor påverkan på det ekonomiska värdet av energihushållningen. Därför har tre scenarier genomgående används i analyserna. Ett hållbarhetsscenario med låg realränta (1%) och hög energiprisutveckling (3%), ett medelscenario med realränta på 3 % och energiprisutveckling på 2% och ett Business-As-Usual (BAU) scenario med hög realränta (5%) och låg energiprisutveckling (1%). Beräknad energihushållning utgör bas för att beräkna den minskade kostnaden för energiförsörjningen som energihushållningsåtgärder medför för olika uppvärmningssystem. Den minskade energiförsörjningskostnaden vägs sedan emot investeringskostnader för energihushållningsåtgärder.

Vid energibalansberäkningar styrs resultatet av gjorda antaganden. Inom forskning och tekniska rapporter används skiftande antaganden som medför att resultatet varierar markant vid analys av samma byggnad. Därför har antaganden i energibalansberäkningar analyserats i detalj.

I analyserna har vi utgått från tre olika stora befintliga fjärrvärmesystem, nämligen i Ronneby, Växjö och Helsingborg. Fjärrvärmeproduktionen i Ronneby (≈ 100 GWh/år till slutkund) baseras främst på biotvattenpannor, i Växjö (≈ 600 GWh/år) på främst biokraftvärme medan systemet i Helsingborg (≈ 1000 GWh/år) har en varierad produktionsmix med bland annat spillvärme, avfalls-, bio- och gaskraftvärme. Ekonomisk lönsamhet för de olika energihushållningsåtgärderna bedöms med utgångspunkt från fjärrvärmepreiser för dessa tre fjärrvärmesystem och beräknad energihushållning baseras på klimatdata för respektive ort.

Hur byggnaders energihushållningsåtgärder påverkar primärenergianvändningen har analyserats i detalj för befintlig fjärrvärmeproduktion och för en framtida fjärrvärmeproduktion baserad på förnybar energi. Det innebär att beräknat timvis minskat fjärrvärmebehov genom energihushållning har jämförts med verklig timvis fjärrvärmeproduktion 2013 för de tre fjärrvärmesystemen. Hur energihushållningsåtgärder påverkar den marginella fjärrvärmeproduktionen och därmed primärenergianvändningen har då beräknats för de tre befintliga fjärrvärmesystemens produktion år 2013 samt för framtida optimerade system baserade på förnybar energi. Den framtida produktionen analyseras både baserat på dagens teknik och teknik under utveckling (förgasning av biobränsle med gasmotor eller kombi-cykel).

Fjärrvärmesystems konkurrenskraft med eller utan energihushållning i byggnader, vid helt förnybara energisystem, har analyserats för ett flerbostadshus i Växjö kommun för de tre olika fjärrvärmesystemen. De tre fjärrvärmesystemen har då

jämförts med uppvärmningssystem hos slutanvändaren baserade på direkt elvärme, elvärmepumpar med ytjordvärme som värmekälla och pellets pannor, med eller utan solvärme.

Forskningen har dokumenterats i fem vetenskapliga tidskriftsartiklar i internationellt välrenommerade tidskrifter och tre konferensbidrag i internationella konferenser i Tyskland, Portugal och Frankrike. Tidskriftsartiklar och konferensbidrag är listade i kronologisk ordning.

Tidskriftsartiklar:

1. Truong, N.L., Doodoo, A. and Gustavsson, L. (2015). Renewable-based heat supply of multi-apartment buildings with varied heat demands. *Energy*, Vol. 93(1): p.1053-1062.
2. Doodoo, A., Tettey U.Y.A. and L. Gustavsson, (2017). On input parameters, methods and assumptions for energy balance and retrofit analyses for residential buildings. *Energy and Buildings*, Vol. 137: p.76-89.
3. Doodoo, A., Tettey, U.Y.A. and Gustavsson, L. (2017). Influence of simulation assumptions and input parameters on energy balance calculations of residential buildings. *Energy* Vol. 120, (1): p. 718–730.
4. Truong, N.L., Doodoo, A. and Gustavsson, L. (2017). Effects of energy efficiency measures in district-heated buildings on energy supply (manuscript).
5. Doodoo, A. Gustavsson, L. and Truong, N.L. (2017). Primary energy benefits of cost-effective energy renovation of a district heated multi-family building under different energy supply systems (manuscript).

Konferensbidrag:

6. Truong N.L. and Gustavsson L. (2016). Effects of energy efficiency measures in district-heated buildings on energy systems. *International Conference on Sustainable Built Environment - SBE 16*. March 7 - 11, 2016. Hamburg, Germany.
7. Doodoo, A., Gustavsson, L. (2016). Economic analyses of energy efficiency renovation measures and packages for a district heated multi-family residential building. *The 11th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems – SDEWES 2016*. September 4 – 9, 2016. Lisbon, Portugal.
8. Doodoo, A., Gustavsson, L. (2017). Effects of different techno-economic regimes on viability of deep energy renovation of an existing Swedish multi-family building. *Eceee 2017 Summer Study of energy efficiency*. 29 May – 3 June, 2017. Hyères, France.

Denna rapport baseras på ovan angivna referenser och med indelning i följande kapitel:

1. Introduktion
2. Fjärrvärmesystems konkurrenskraft (referens 1)
3. Antaganden vid energibalansberäkningar (referens 2 och 3)
4. Energihushållning och fjärrvärmesystem (referens 4)
5. Ekonomisk energirenoivering av fjärrvärmda flerbostadshus (referens 5)
6. Diskussion och slutsatser

2 Fjärrvärmesystems konkurrenskraft

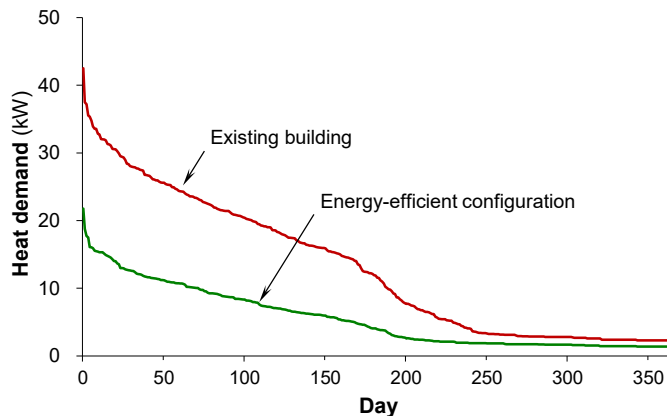
Fjärrvärmesystems konkurrenskraft med eller utan energihushållning i byggnader, vid helt förnybara energisystem, har analyseras för ett flerbostadshus i Växjö kommun för de tre fjärrvärmesystemen (för utförlig beskrivning se referens 1).

Analyserat hus är byggt 1994 och består av 16 lägenheter i fyra våningsplan med en uppvärmd yta om 1190 m². Med hjälp av timvis energibalansberäkning har husets energianvändning beräknats före och efter antagen energihushållning med klimatdata för år 2013 för Växjö tätort. Nyckeltal för befintligt och energieffektivt hus framgår av tabell 1. Timvis simulerat värmebehov för uppvärmning av befintligt hus och energieffektiv variant framgår av figur 1.

Tabell 1. Nyckeltal för befintligt och energieffektivt hus

Hus	U-värde (W/m ² K)					Lufttäthet (l/s m ²)	Varmvatten-armatur	Ventilation
	Grund	Väggar	Fönster	Dörrar	Tak			
Befintligt	0.23	0.2	1.9	1.19	0.13	0.8	Standard	Frånluft
Energieffektivt	0.23	0.1	0.9	0.9	0.09	0.2	Effektiv	FTX ^a , 75% ^b

^a FTX = från- och tilluft med värmeåtervinning, ^b verkningsgrad.

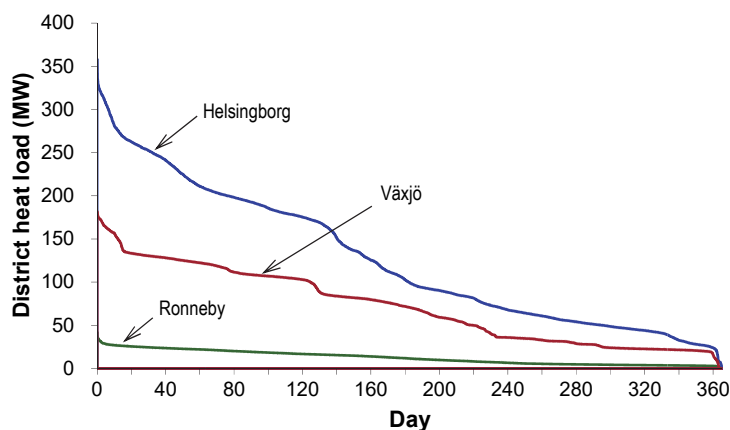


Figur 1. 2013 års värmebehov, arrangerat efter effektbehov, för rumsuppvärmning och tappvarmvatten av befintligt hus och energieffektiv variant.

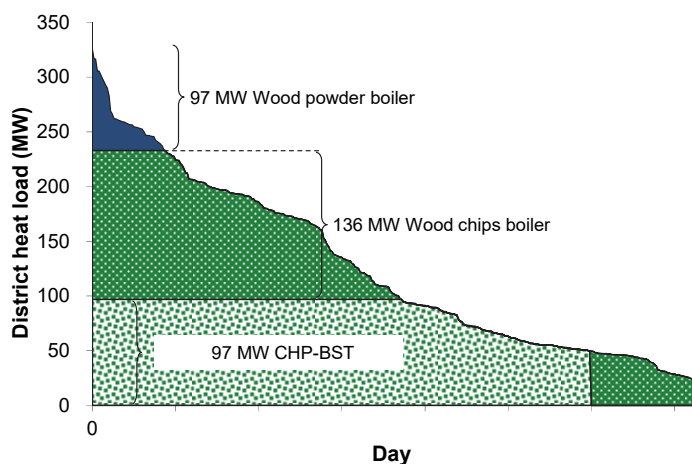
Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning har beräknats för rumsuppvärmning och tappvarmvatten för befintligt hus och energieffektiv variant för de olika uppvärmningssystemen baserat på enbart förnybar energi. Fjärrvärmesystemen i Helsingborg (större), Växjö (medelstort) och Ronneby (mindre) ingår i analysen. Förutom uppvärmning med fjärrvärme har direkt elvärme, elvärmepumpar med ytjord som värmekälla och pelletspannor, med eller utan solvärme, analyserats.

Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion år 2013 för de tre fjärrvärmesystemen redovisas i figur 2 medan optimerade förnybara fjärrvärmeproduktionssystem

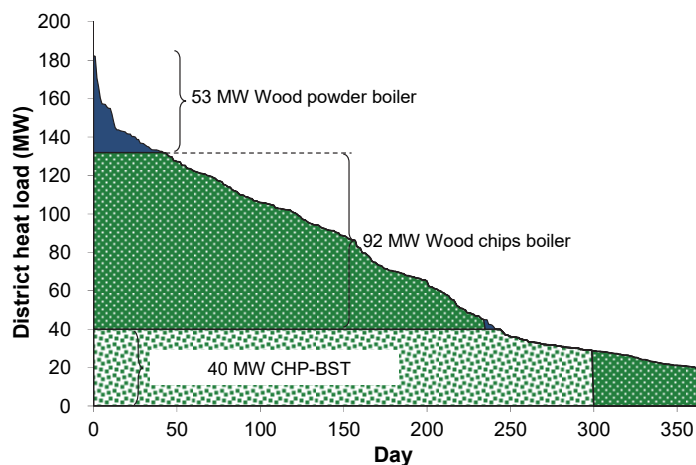
framgår av figur 3a-c. Värdet av samproducerad el motsvarar då den lägsta kostnaden för förnybar elproduktion i separata anläggningar med biobränsle eller havsbaserad vindkraft. Elproduktion i separata anläggningar med biobränsle ger lägst kostnad. Den elkostnaden har därför använts för att värdera samproducerad el och för elanvändning i huset. Kostnader och energiförluster vid distribution av energi och i abonnentcentraler ingår i analysen.



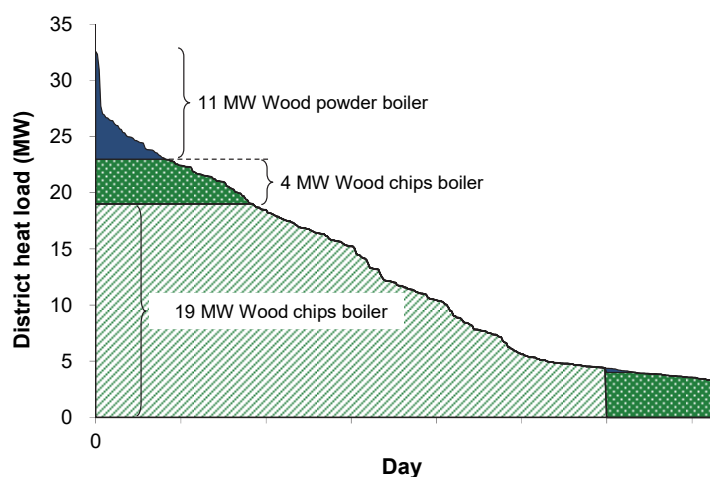
Figur 2. Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion år 2013 i Helsingborg, Växjö och Ronneby.



Figur 3a. Kostnadsminimerad förnybar fjärrvärmeproduktion (Helsingborg).

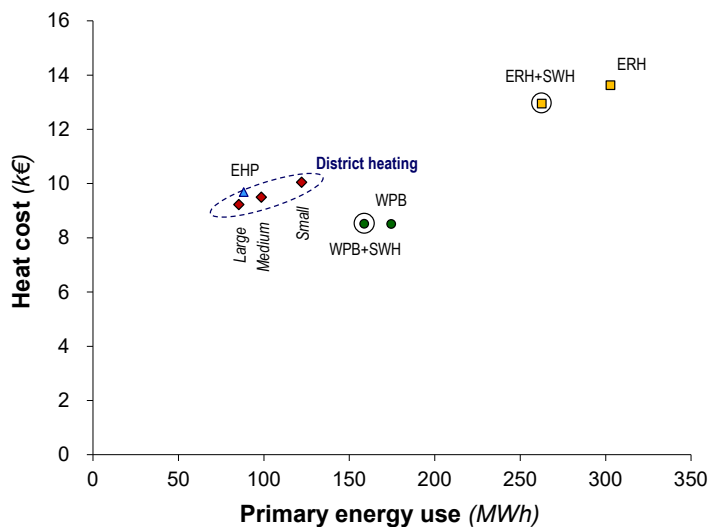


Figur 3b. Kostnadsminimerad förnybar fjärrvärmeproduktion (Växjö).

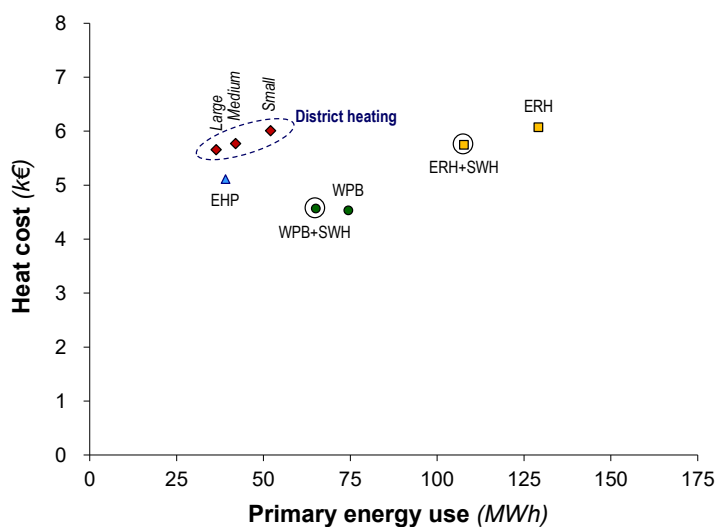


Figur 3c. Kostnadsminimerad förnybar fjärrvärmeproduktion (Ronneby).

Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning för befintligt hus med olika uppvärmningssystem framgår av figur 4. Det framgår av figuren att skillnaden i uppvärmningskostnad mellan de olika uppvärmningssystemen är liten, utom för direktverkande el som har en betydligt högre uppvärmningskostnad men också en betydligt högre primärenergianvändning. Lägst primärenergianvändning ger det större fjärrvärmesystemet och sedan elvärmepumpar. Det medelstora och det mindre fjärrvärmesystemet ger betydligt lägre primärenergianvändning än pelletspannor. Solvärme minskar primärenergianvändningen för direktverkande el och pelletspannor och ger något lägre uppvärmningskostnader. För elvärmepumpar är solvärme inte kostnadseffektivt.



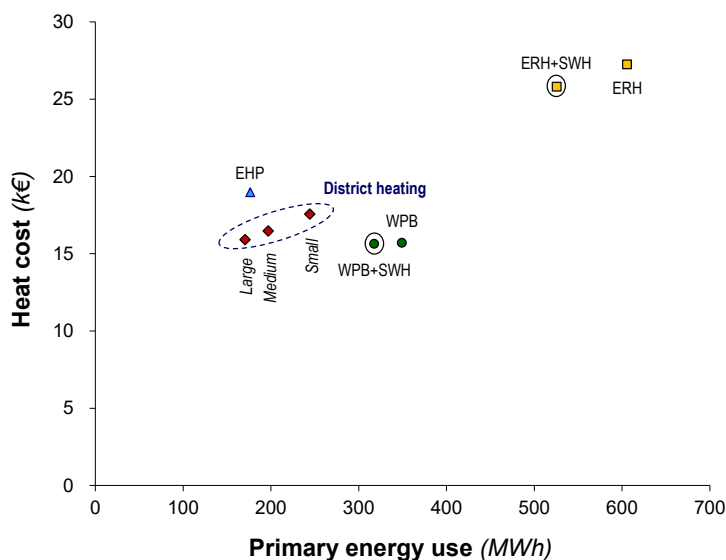
Figur 2. Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning för befintligt hus. EHP = elvärmepump, ERH = direktverkande elvärme, WPB = pelletspanna, SWH = solvärme. Inringad markering är uppvärmningssystem med solvärme.



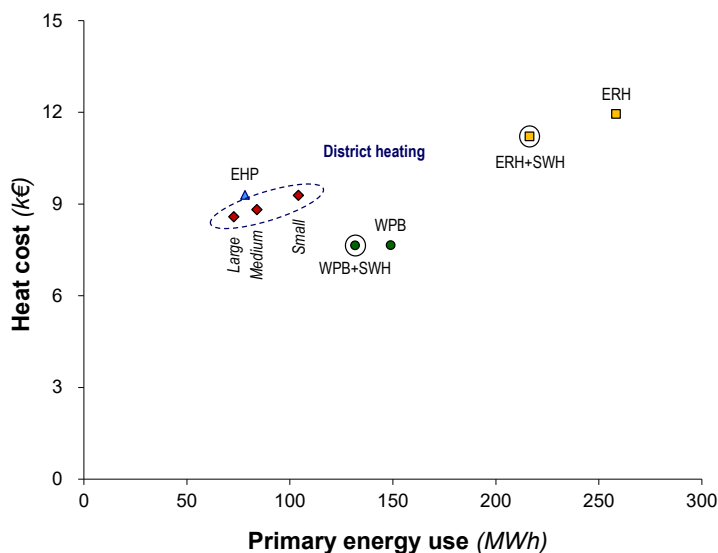
Figur 3. Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning för energieffektiv variant av huset. EHP = elvärmepump, ERH = direktverkande elvärme, WPB = pelletspanna, SWH = solvärme. Inringad markering är uppvärmningssystem med solvärme.

För energieffektiv variant av huset (figur 5) följer primärenergianvändningen mönstret för det befintliga huset men med generellt lägre primärenergianvändning. Uppvärmningskostnaden blir också lägre för den energieffektiva varianten av huset men den lägre uppvärmningskostnaden måste täcka kostnader för energihushållning som inte beaktats i denna del av analysen. Samtidigt förändras de relativa kostnaderna mellan de olika uppvärmningssystemen så att pelletssystemen får klart lägst kostnad följt av elvärmepumpar medan kostnadsskillnaden mellan direktverkande el och fjärrvärme blir liten. Analyserat hus har 16 lägenheter och en uppvärmd yta på

1190 m². Det är ett förhållandevis litet flerbostadshus. Vid fördubblad husstorlek blir fjärrvärmesystemen mer konkurrenskraftiga särskilt jämfört med elvärmepumpar. Men fortfarande är pellets pannor mer kostnadseffektiva än fjärrvärme för den energieffektiva varianten av huset (Figurer 6-7).



Figur 4. Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning för befintligt hus vid fördubblad husstorlek. EHP = elvärmepump, ERH = direktverkande elvärme, WPB = pelletpanna, SWH = solvärme. Inringad markering är uppvärmningssystem med solvärme.



Figur 5. Uppvärmningskostnad och primärenergianvändning för energieffektiv variant av huset och vid fördubblad husstorlek. EHP = elvärmepump, ERH = direktverkande elvärme, WPB = pelletpanna, SWH = solvärme. Inringad markering är uppvärmningssystem med solvärme.

Uppvärmningssystem med hög primärenergianvändning är mer kostnadskänsliga vid förändrade biobränslepriser än system med låg primärenergianvändning. Energieffektiv variant av huset kombinerat med elvärmepumpar eller fjärrvärme

med kraftvärmeproduktion ger låg primärenergianvändning och därmed låg kostnadskänslighet vid ändrade bränslepriser. Vid förändrade ekonomiska avkastningskrav på investeringar är kapitalintensiva system mer kostnadskänsliga än kapitalextensiva system.

Elvärmepumpar med yttjord som värmekälla och fjärrvärme är de mest energieffektiva uppvärmningssystemen. Men skillnaden i uppvärmningskostnad är relativt liten mellan dessa uppvärmningssystem och varierar med hur energieffektiva och stora husen är. För befintligt hus ger det stora och medelstora fjärrvärmesystemet något lägre uppvärmningskostnader än elvärmepumpar. För energieffektiv variant av huset blir elvärmepumpar mer kostnadseffektiva. Men fördubblas husstorleken blir fjärrvärmesystem mer kostnadseffektiva. Men skillnaden i uppvärmningskostnader mellan det mindre fjärrvärmesystemet och elvärmepumpar är liten för den energieffektiva varianten av huset vid fördubblad husstorlek.

Pelletspannor har generellt god kostnadseffektivitet men högre primärenergianvändning än fjärrvärme och elvärmepumpar även om de kombineras med solvärme. Direktverkande el har hög primärenergianvändning och ofta betydligt högre uppvärmningskostnad än de övriga uppvärmningssystemen. En generell trend är att med ökad storlek på fjärrvärmesystem så minskar uppvärmningskostnader och primärenergianvändningen.

Kostnadsberäkningar beror av den lokala kontexten och innehåller osäkerheter samtidigt som kostnadsskillnaden är förhållandevis liten mellan uppvärmning med fjärrvärme, elvärmepumpar och pelletspannor. Det gör att andra faktorer kan bli mer styrande än kostnader såsom hälsoaspekter, osäkerheter och externt beroende av energiföretag. Samtidigt kan teknikutveckling förändra den inbördes konkurrenskraften mellan systemen. Trenden är dock att fjärrvärmesystem tappar i konkurrenskraft vid mer energisnåla hus samtidigt som ökad husstorlek ökar fjärrvärmens konkurrenskraft. En kraftigt minskad energianvändning inom byggd miljö är nödvändigt för att minska användning av naturresurser och för att bidra till minskad klimatpåverkan.

Lokala hälso- och miljöeffekter har inte beaktas i denna analys. Lokal användning av pellets i små anläggningar har normalt sämre hälso- och miljöprestanda än större system för el- eller fjärrvärmeproduktion. Osäkerheter kopplat till resursanvändning och klimat minskar med mer energieffektiva energiförsörjningssystem såsom fjärrvärmesystem med kraftvärmeproduktion och elvärmepumpar. Det externa beroendet av energiföretag minskar vid ökad energieffektivitet i slutanvändningen exempelvis vid mer energisnåla byggnader och värmepumpssystem.

Lågtemperaturfjärrvärme är under utveckling och sådana system kan stärka fjärrvärmens konkurrenskraft. Det genom lägre kostnader och värmeförluster för distributionen. Vidare ökar möjligheterna att utnyttja spillvärme vid lägre temperatur och energieffektiviteten vid samproduktion av el och värme. Fjärrvärmesystem kan också underlätta integration av intermitternt elproduktion. Ökad kunskap behövs om sådana aspekter på fjärrvärmesystem.

3 Antaganden vid energibalansberäkningar

Vid energibalansberäkningar styrs resultatet av gjorda antaganden. I forskningsartiklar och tekniska rapporter används skiftande antagande som medför att beräknat resultat varierar vid analys av samma byggnad, se figur 8. Därför har antagande i energibalansberäkningar analyserats i detalj för att identifiera de parametrar som mest påverkar beräkningarna och vilka osäkerheter som är kopplade till parametrarna (för utförlig beskrivning se referens 2 och 3).

Vi har utgått från ett verkligt hus byggt i Ronneby kommun 1972. Huset har en uppvärmd yta om 2000 m² och en ventilerad volym om 5400 m³. Huset har tre trapphus i tre plan med 27 lägenheter. I tabell 2 framgår de referensvärden som använts vid beräkning av husets energibalans. För att bedöma hur energihushållningen påverkas av gjorda antagande vid energibalansberäkningar har husets energibalans beräknats före och efter implementering av olika energihushållningsåtgärder. Husets befintliga termiska förhållande och analyserade energihushållningsåtgärder för klimatskal framgår av tabell 3. Förutom angivna åtgärder i tabell 3 har värmeåtervinning ur ventilationsluft med FTX-system analyserats. Husets lufttäthet har bedömts vara 0.8 l/s per kvadratmeter vid 50 Pa under- och övertryck.

Tabell 2. Indata för referensberäkning av husets energibalans.

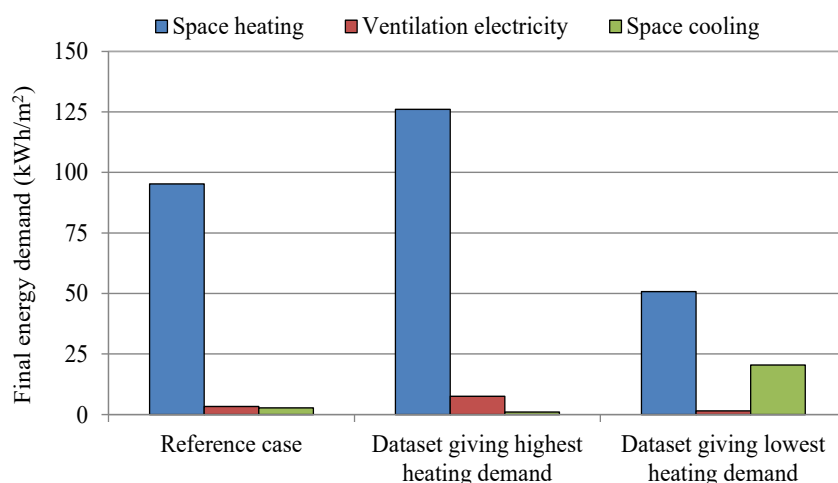
Beskrivning	Parameter	Indata	Kommentar
Makro- och mikro-klimat, data för lokalisering	Klimatdata	2013 för Ronneby	Husets lokalisering
	Årlig utomhustemperatur	30/08/ -15 °C	Maximum/ medel/ minimum
	Horisontalvinkel	20%	För att beräkna skuggning från närliggande objekt
	Vindlast som träffar huset	70%	Relativt till vindhastighet i klimatfil
	Solreflektion mot mark	20%	Del av solstrålning som reflekteras från mark in i huset
	Lufttryck utomhus	1000 hPa	Genomsnittligt värde runt huset
Inom-hustemperatur	Uppvärmning till	21 °C / 18 °C	Bostadsyta och gemensamhetsyta
	Kylning till	26 °C	Bostadsyta och gemensamhetsyta
Gratisvärme	Personer	1.00 W/m ²	Konstant profil över året
	Belysning och apparater	3.05 W/m ²	Konstant profil över året
	Sol	Timvärden	Från klimatfil
Varmvatten	Intensitet	2.85 W/m ²	Standardarmatur
El	Intensitet	3.05 W/m ²	Standardutrustning och standardbelysning
Ventilation	Luftomsättning	0.35 l/s m ²	BBR 2015
	Värmeåtervinning	76%	Energimyndigheten (2010)
	Fläkttryck	400 Pa	Uppskattat
	Fläktverkningsgrad	50%	Camfil (2014)

Baserat på antaganden i forskningsartiklar och tekniska rapporter har exempel på variationen i gjorda antaganden för energibalansberäkningar identifierats. Denna variation och referensvärden redovisade i tabell 2, har sedan använts för att beräkna husets kyl- och värmebehov samt elbehov för ventilation. Det framgår av figur 8 att energibehoven varierar kraftigt med gjorda antaganden. Värmebehovet för rumsuppvärmning varierar mellan 50 och 125 kWh per m² uppvärmd yta.

Tabell 3. Husets termiska egenskaper och beaktade energihushållningsåtgärder.

Byggdelen	Befintliga förutsättningar	Energiåtgärd	Förbättrat u-värde ^a (W/m ² K)
Fönster	Klarglas	Energisnåla fönster	2.9 till 1.2
Dörrar	Dörrar med klarglasfönster	Energisnåla dörrar	3.0 till 1.2
Vind	160 mm betong + 350 mm mineralull	+ 300 mm isolering	0.11 till 0.06
Tegelfasad öst/väst	85 mm tegel + 20 mm luftspalt + 25 mm polystyren + 45 mm glasull + 15 mm gips	+ 240 mm isolering	0.35 till 0.12
Träfasad öst/väst	15 mm träpanel + 20 mm luftspalt + 25 mm polystyren + 95 mm glasull + 15 mm gips	+ 240 mm isolering	0.31 till 0.12
Tegelfasad söder/norr	85 mm tegel + 20 mm luftspalt + 95 mm glasull + 120 mm betong + 15 mm gips	+ 240 mm isolering	0.34 till 0.12
Källarväggar öst/väst	15 mm cement + 50 mm lecablock + 150 mm betong	+ 190 mm isolering	1.44 till 0.19
Källarväggar norr/söder	15 mm cement + 50 mm lecablock + 250 mm betong	+ 190 mm isolering	1.33 till 0.18
Mellanbjälklag	190 mm betong + 10 mm golv	-	2.83
Grundplatta	230 mm betong + 150 mm makadam	-	0.26

^a Från befintligt u-värde till nytt u-värde efter energihushållning.

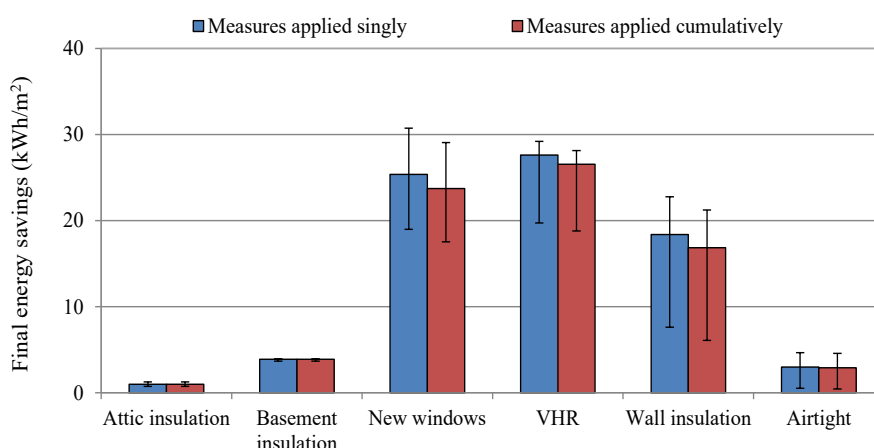


Figur 8. Beräknad energianvändning för rumsuppvärmning, el till ventilation och kylning med referensantaganden samt antagande i forskningsartiklar och tekniska rapporter som ger högst och lägst rumsuppvärmning.

Om husets beräknade energibehov avviker från verkligt energibehov så påverkas beräknad energihushållning. Lägre beräknat energibehov medför att verklig energihushållning underskattas och högre beräknat energibehov att den

överskattas. Det framgår av figur 9 hur variation i antaganden påverkar beräknad energihushållning för olika energihushållningsåtgärder.

Det är svårt att verifiera vilken verklig energihushållning en energihushållningsåtgärd medför. Därför har beräkningar stor betydelse för att bedöma effekten av olika energihushållningsåtgärder. Samtidigt är lönsamhet och minskad energianvändning för en energihushållningsåtgärd en direkt funktion av uppnådd energihushållning.



Figur 9. Beräknad energihushållning för olika energihushållningsåtgärder med referensantaganden samt osäkerhetsintervall baserad på antagande i forskningsartiklar och tekniska rapporter som ger högst och lägst energibehov för rumsuppvärmning.

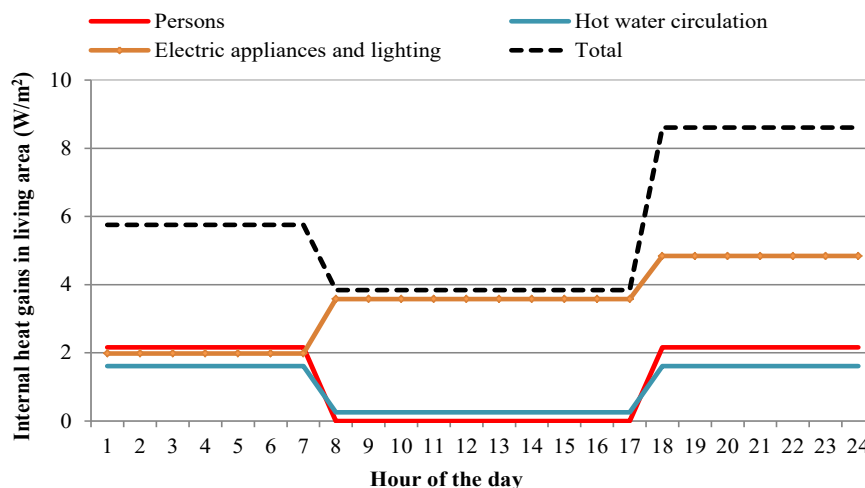
Hur olika parametrars variation påverkar beräknad energibalans har därför analyserats. De parametrar som har störst betydelse är gratisvärme, inomhustemperatur och verkningsgrad för ventilationsvärmexlare. För de klimatrelaterade parametrarna har främst utomhustemperatur, solreflektion mark och skuggning av fönster betydelse för energibalansen.

För att beräkna energibalansen för ett enskilt hus är det lämpligt att utgå från de lokala förutsättningarna medan en allmän bedömning av byggnaders energibalans kan utgå från mer generella antaganden för att få jämförbara resultat.

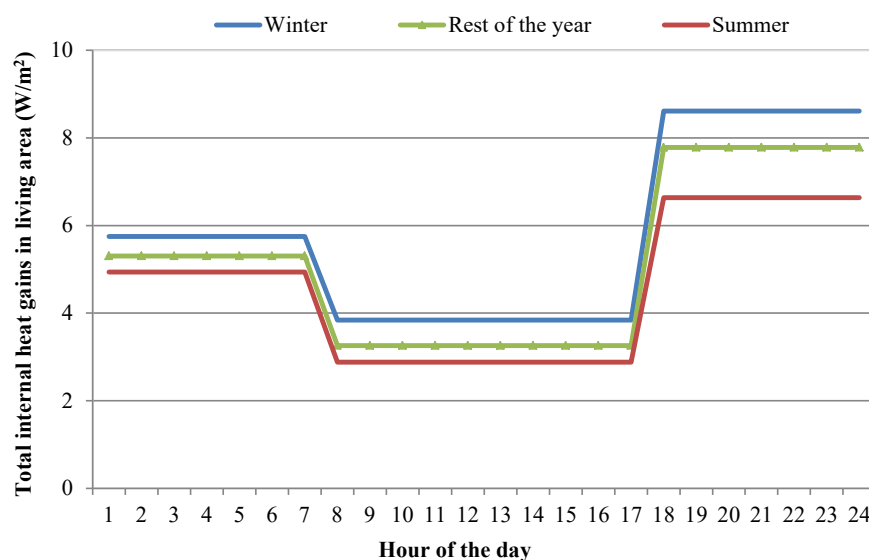
Inomhustemperatur är delvis en brukar- och skötsel fråga. För här analyserat hus finns central temperaturmätning i varje lägenhet varför omfattande mätdata finns över verklig inomhustemperatur. Verkningsgrad för värmexlare kan baseras på prestanda för verkligt aggregat med hänsyn tagen till driftförhållanden.

Gratisvärme har här analyserats i detalj genom "bottom-up" analyser för personvärme, värmeförluster från varmvattencirkulation och värme från elapparater och belysning. Personvärme har beräknats baserat på avgiven värme från person och förväntad lägenhetsnärvaro som varierar under dygn, vecka och år. Värmeförluster från varmvattencirkulation har beräknats baserat på värmeförlust per längdmeter rör och rörlängd. Värme från elapparater (inklusive vitvaror) och belysning har beräknats baserat på förväntat antal, samt typ och effektbehov (för

detaljerad beskrivning, se referens 3). I figurer 10-11 redovisas beräknad gratisvärme uppdelat på personvärme, värmeförluster från varmvattencirkulation och värme från elapparater och belysning för standardutrustning för en vinterdag samt hur den totala gratisvärmen varierar mellan en vinter-, sommar- och vår-/höstdag.



Figur 10. Timprofiler för olika typer av gratisvärme för en vinterdag vid standardutrustning för elapparater och belysning.

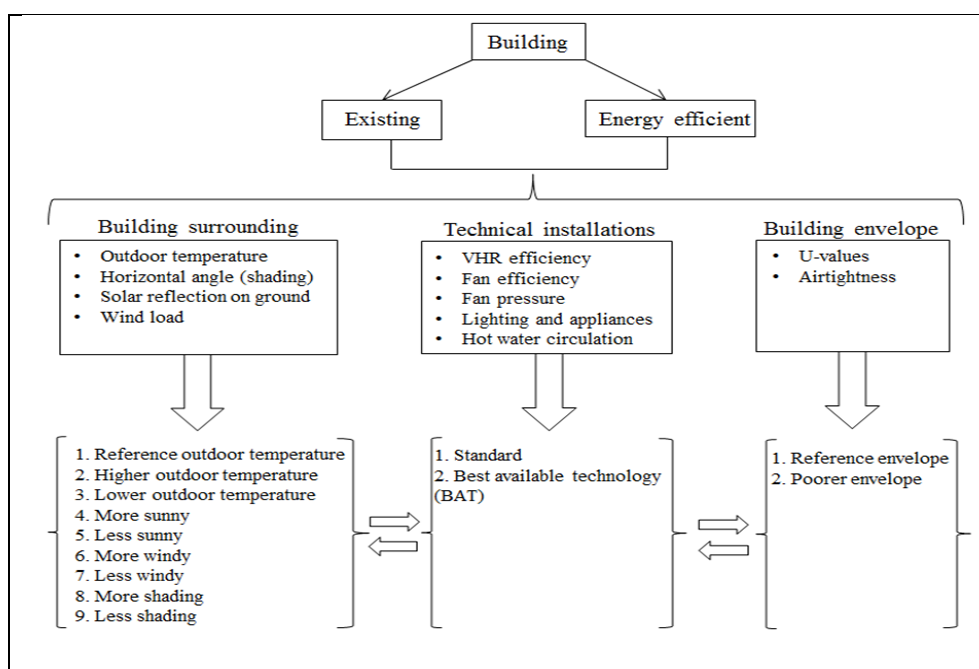


Figur 11. Timprofiler för dygnsgratisvärme från personer, varmvattencirkulation och standardutrustning för elapparater och belysning för en genomsnittlig vinter-, sommar-, och vår-/höstdag.

Olika parametrar kan samverka med varandra och påverka energibalansberäkningar. Därför har sådan samverkan analyserats i detalj uppdelat på kategorierna husets omgivning, husets tekniska installationer och husets klimatskal, se beskrivning i figur 12. Gjord analys visar att

parametersamverkan inte har så stor betydelse för energibalansberäkningar men dess betydelse ökar med mer energisnåla hus och om fler parametrar beaktas.

Genomförda analyser visar att tekniska installationer och hushållens elutrustning har förhållandevis stor betydelse för energibalansberäkningar och med ökande betydelse för mer energisnåla hus. Värmebehovet för rumsuppvärmning för huset efter energihushållning varierade årligen med 9-14 kWh per kvadratmeter uppvärmd yta beroende på gjorda antaganden för tekniska installationer och hushållens elapparater och belysning. Betydelse har också beskrivningen av lokala omgivningsförutsättningar som utomhustemperatur, solreflektion mark och skuggning av fönster.



Figur 12. Schematisk illustration av hur olika parametrar har grupperats och varierats.

4 Energihushållning och fjärrvärmesystem

Hur byggnaders energihushållningsåtgärder påverkar primärenergianvändningen har analyserats i detalj för befintlig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och en framtida optimerad fjärrvärmeproduktion baserad på förnybar energi (för utförlig beskrivning se referens 4). Hur energihushållningsåtgärder påverkar fjärrvärmeproduktion har analyserats på timbasis.

Vi har utgått från flerbostadshuset byggt i Ronneby kommun 1972 som finns beskrivet i kapitel 3. Husets årliga värmebehov för uppvärmning och tappvarmvatten har beräknats till 251 MWh och det totala elbehovet till 58.6 MWh med energibalansberäkningsprogrammet VIP+. Nyckelindata för beräkningarna finns beskrivet i tabell 4. Analyserade energihushållningsåtgärder framgår av tabell 5.

Tabell 4: Nyckelindata för energibalansberäkningar av huset i Ronneby kommun.

Parameter	Data / beskrivning	Kommentar
Klimatdata	Timdata 2013 för Ronneby	Meteonorm databas
Inomhustemperatur	22 °C för bostadsyta, 18 °C för gemensamhetsyta	21 °C för bostadsyta efter byte till energisnåla fönster
Ventilation	0.35 l/s m ² , 0.1 l/s m ² om ej personnärvaro i lägenhet	Baserat på SBN
Lufttäthet vid 50 Pa	0.8 l/s m ²	Typiskt värde för denna byggnadstyp och tidsålder
Gratisvärme:		
Person	"Bottom-up" modellering	Se kapitel 3
Elanvändning	"Bottom-up" modellering	Se kapitel 3
Varmvattencirkulation	"Bottom-up" modellering	Se kapitel 3

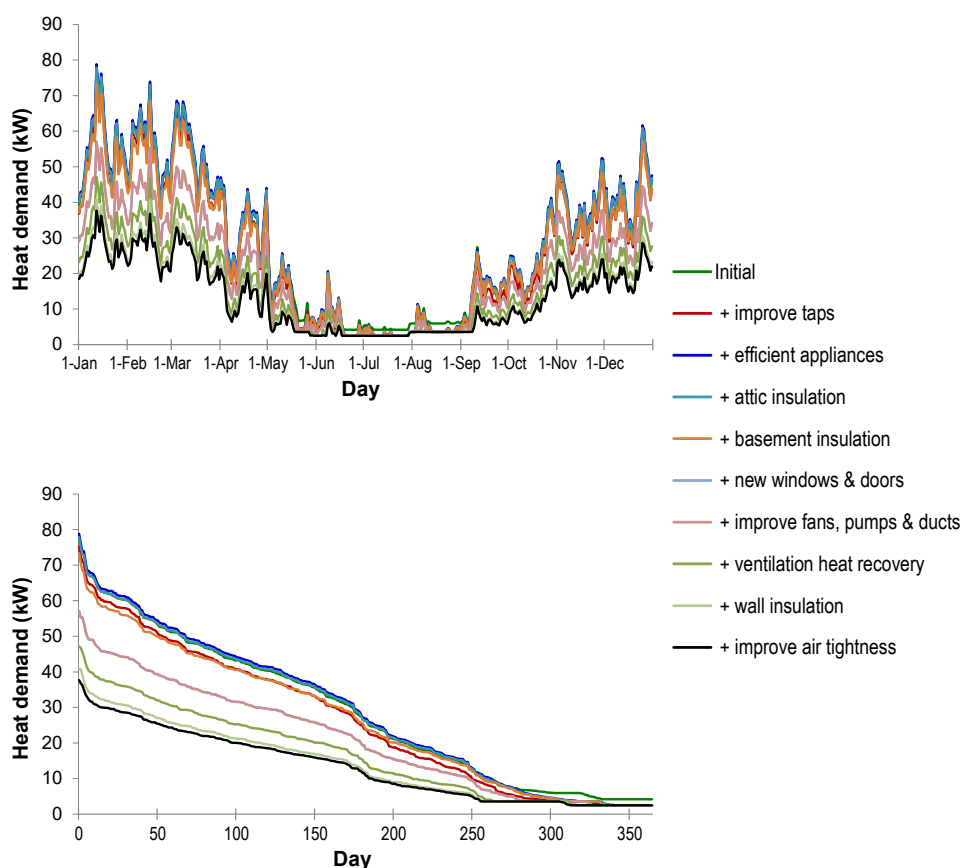
Tabell 5: Analyserade energihushållningsåtgärder

Beskrivning	Effekt
Ny tappvattenarmatur	Minskad användning av tappvarmvatten med 40%
Eleffektiva hushållsapparater och belysning	Minskad elanvändning med 46%
300 mm tilläggsisolering av vindsbjälklag	U-värde från 0.11 till 0.06 W/m ² K
190 mm tilläggsisolering av källarväggar	U- värde från 1.44 till 0.19 W/m ² K
Fönsterbyte	U- värde från 2.9 till 1.20 W/m ² K
Dörrbyte	U- värde från 3.0 till 1.20 W/m ² K
Förbättrade fläktar	Fläktverkningsgrad från 33% till 50% Fläkttryck från 400 Pa till 200 Pa
Värmeåtervinning från ventilation	Värmeförluster ventilation minskar med 76%
240 mm tilläggsisolering av ytterväggar	U- värde från 0.35/0.31 till 0.12 W/m ² K
Förbättrad lufttäthet av klimatskal	Infiltration från 0.8 till 0.6 l/s m ² [35]

Åtgärder anges i förväntad lönsamhetsordning i tabell 5. Det innebär att den första åtgärden har bäst lönsamhet och sedan faller lönsamheten för tillkommande åtgärder. I figur 13 redovisar hur energihushållningsåtgärderna beräknas påverka husets behov av tillförd värme timme för timme under 2013. Värmebehoven är

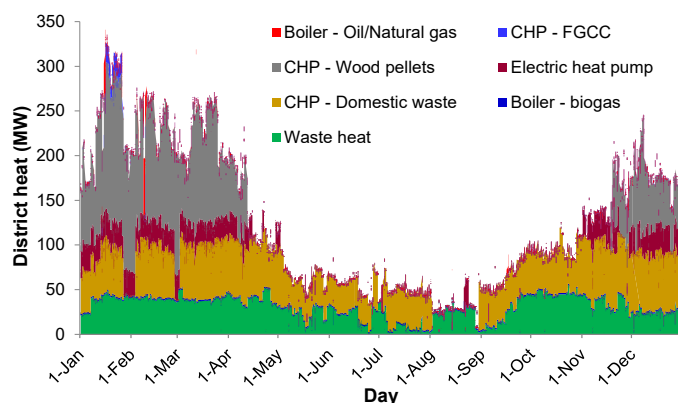
arrangerade efter datum (a) eller efter storlek (b). Mer energieffektiva apparater och mer energieffektiv belysning minskar gratisvärmens och det ökar värmebehoven. Vid ökade värmebehov ger värmehushållningsåtgärder en större värmehushållning.

Värmehushållningen är mycket större på vinterhalvåret. Det eftersom de flesta av energihushållningsåtgärderna ger en minskad värmeanvändning som beror av utomhustemperaturen. Det gör att värmebehovens årliga variation minskar vilket ökar konkurrenskraften för mer kapitalintensiva uppvärmningssystem. Det under förutsättningen att uppvärmningssystem kan anpassas efter de förändrade värmebehoven.

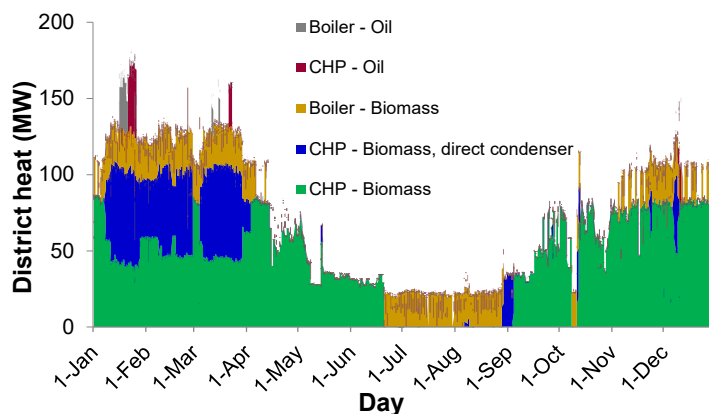


Figur 13. Timvisa värmebehov 2013 redovisade efter datum och storlek.

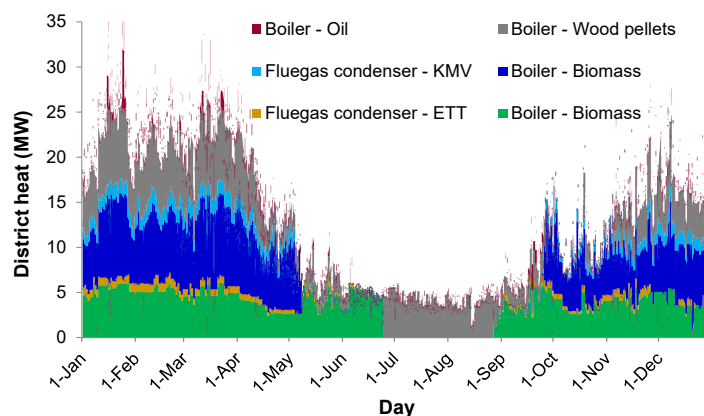
Beräknad timvis värmehushållning genom olika energihushållningsåtgärder har jämförts med verklig timvis fjärrvärmeproduktion år 2013 i Helsingborg, Växjö och Ronneby. Hur energihushållningsåtgärder påverkar fjärrvärmeproduktionen på marginalen och därmed primärenergianvändningen har då beräknats för de tre befintliga fjärrvärmesystemens produktion år 2013. Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion 2013 för de tre systemen framgår av figur 14a-c. Det framgår att i Helsingborg och Växjö samproduceras el. Frågan är hur den elen skall värderas.



Figur 14a. Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion år 2013 i Helsingborg.



Figur 14b. Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion år 2013 i Växjö.



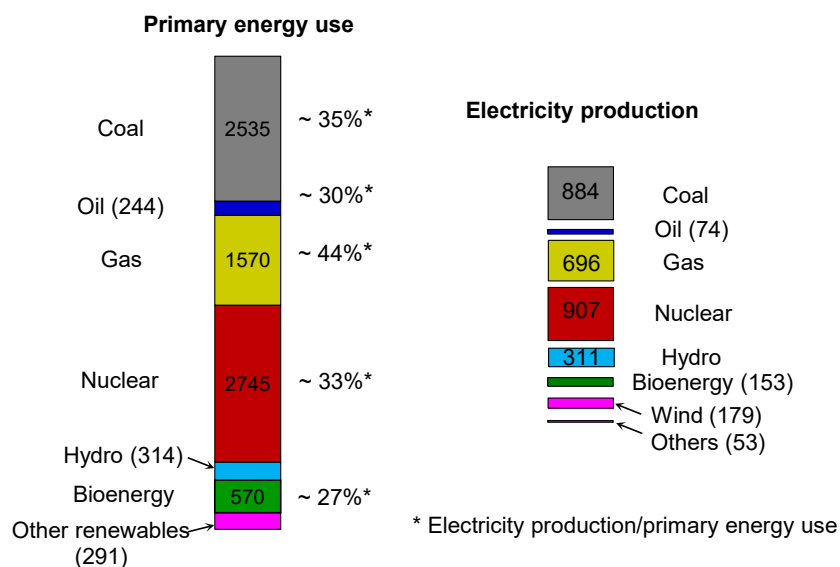
Figur 14c. Timvis uppmätt fjärrvärmeproduktion år 2013 i Ronneby.

Sveriges elproduktion integreras allt mer med EUs, vars elproduktion beror av teknikutveckling, nationella och EU-gemensamma styrmedel, bränslepriser, investeringar i ny produktionskapacitet, etc. Till exempel sker inom EU omfattande investeringar i sol- och vindel, bland annat i Tyskland som avvecklar kärnkraften samtidigt som England har beställt ett nytt kärnkraftverk med förväntad driftstart 2023 och en elproduktionskostnad om cirka 1 SEK/kWh i 2012 års penningvärde.

Både EUs och den globala elproduktionen är i huvudsak bränslebaserad och förlagd till anläggningar med enbart elproduktion. Utmärkande för sådan produktion är en förhållandevis låg verkningsgrad. I figur 15 redovisas primärenergianvändning och producerad elektricitet inom EU fördelat på energislag. I redovisningen av kol, olja, gas och bioenergi ingår både anläggningar för separat elproduktion och för samproducerad elektricitet, men den separata elproduktionen dominerar.

Den internationella energimyndigheten, IEA, har bedömt trender i utvecklingen av elproduktionen inom EU under olika policyscenarior i en rapport från 2013. I så kallat nytt policyscenario förväntas elproduktion baserad på geotermi, sol och vind öka med drygt 5 % årligen mellan 2011-2035. Bioenergibaserad elproduktion förväntas öka med i genomsnitt 2,4 % och vattenkraft med 1,1 % per år. Kol- och oljebaserad liksom kärnkraftsproducerad el förväntas minska medan gasbaserad el förväntas öka så att kolbaserad elproduktion år 2035 blir 400 TWh och gasbaserad 1000 TWh. I befintligt policyscenario förväntas elanvändningen öka mer än i nytt policyscenario. Kolbaserad elproduktion förväntas minska från 884 TWh år 2011 till 658 TWh år 2035, medan gasbaserad elproduktion förväntas öka från 696 TWh till 1023 TWh under samma period.

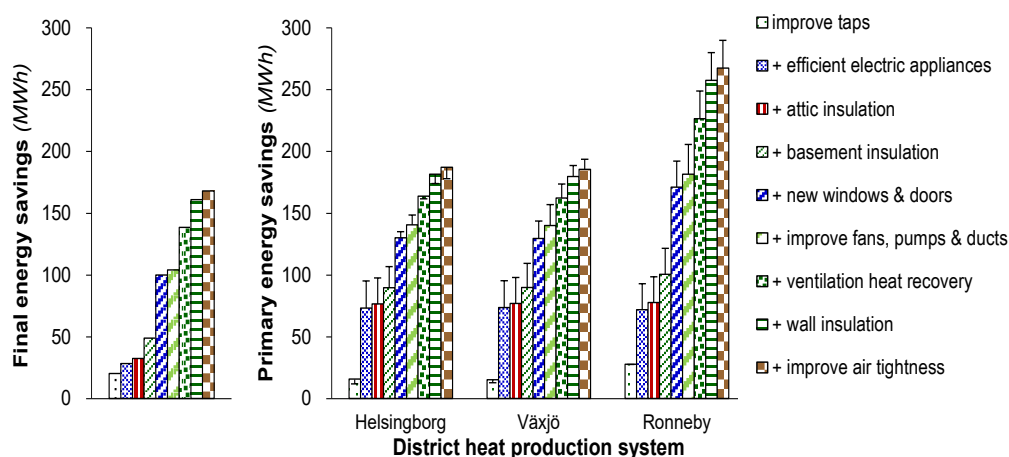
För att täcka in flera möjliga utvecklingsvägar för fjärrvärme- och elproduktion har vi valt att studera tre huvudkombinationer av fjärrvärme- och elproduktion. Vi utgår från (i) verklig fjärrvärmeproduktion för år 2013 och elproduktion i separata gas- eller kolanläggningar med en verkningsgrad motsvarande genomsnittet inom EU för år 2013 samt från (ii) verklig fjärrvärmeproduktion för år 2013 och elproduktion i separata gas- eller kolanläggningar baserade på idag känd bästa teknik med en verkningsgrad om 45% för kolanläggningar och 58% för gasanläggningar. Vidare utgår vi också från (iii) helt förnybara energisystem.



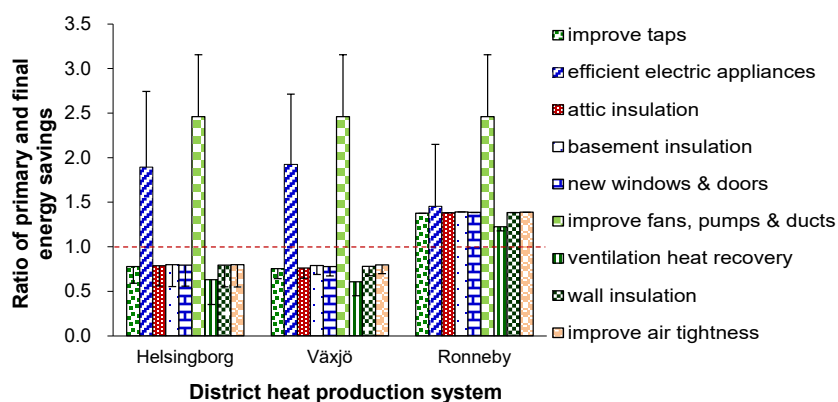
Figur 15. Primärenergianvändning (TWh) för olika typer av elproduktion och producerad el (TWh) inom EU år 2013. Verkningsgrad (elproduktion dividerat med primärenergianvändning) anges för bränslebaserad elproduktion.

I kapitel 2 redovisas kostnadsminimerad förnybar fjärrvärmeproduktion. För att beakta hur teknikutveckling kan påverka den framtida fjärrvärmeproduktionen har analyser också genomförts där vi förutsatt att förgasningsteknik med kombi-cykel används. Den förnybara elproduktionen har baserats på enbart kostnadsminimerad kondensproduktion med biobränsle eller i kombination med 25% vindel/solel. Primärenergien från vindel/solel har förutsatts vara lika med producerad mängd el.

I figur 16 redovisas energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder och vilken minskad primärenergianvändning det medför baserat på 2013 års fjärrvärmeproduktion och elproduktion som baseras på dagens genomsnittliga verkningsgrad för kol- eller gasanläggningar för separat elproduktion inom EU. Det framgår av figuren att primärenergihushållningen är betydligt större för fjärrvärmesystemen med enbart fjärrvärmeproduktion än för system med kraftvärmeproduktion. Förhållande mellan primärenergihushållning och energihushållning i huset (specifik primärenergihushållning) för olika energihushållningsåtgärder framgår av figur 17.

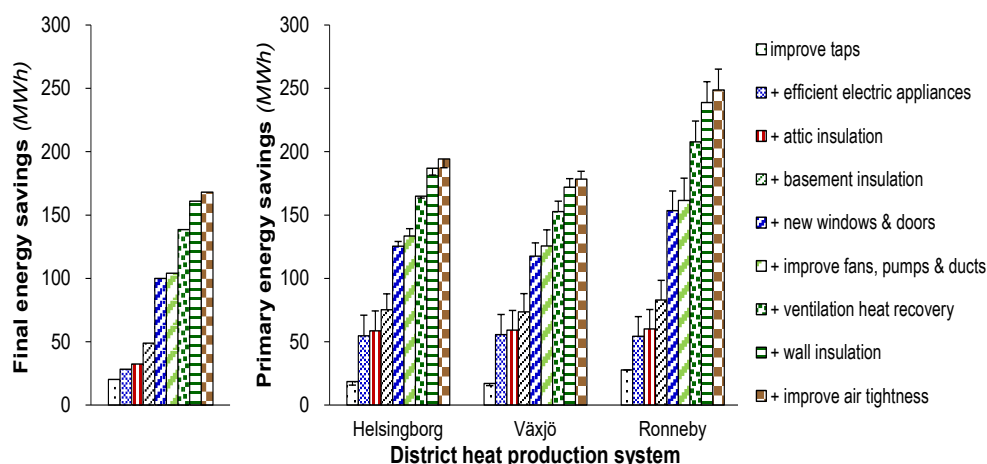


Figur 16. Årlig kumulativ energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder och tillhörande primärenergihushållning baserat på verklig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med elproduktionen i separata fossila gas- eller kolanläggningar med verkningsgrad motsvarande genomsnitt inom EU år 2013. Kolanläggningar redovisas som felmarginal.

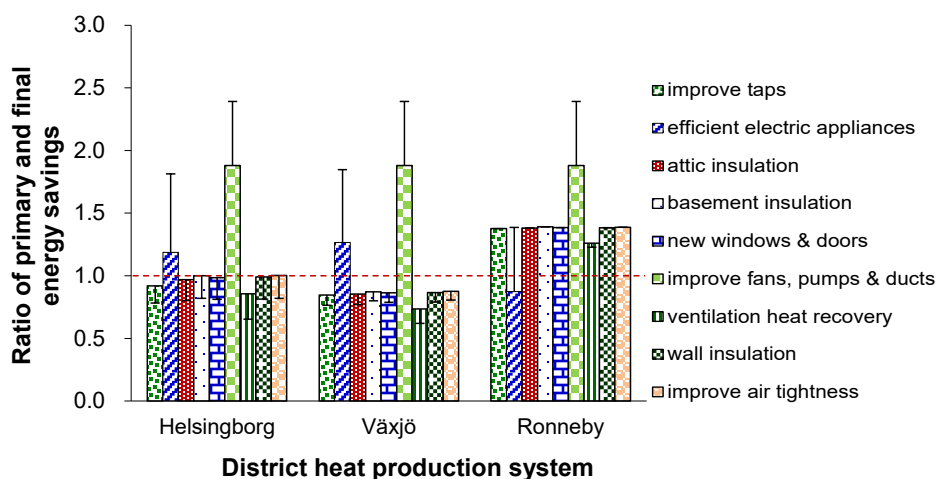


Figur 17. Förhållande mellan primärenergihushållning och energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder baserat på verklig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med elproduktionen i separata fossila gas- eller kolanläggningar med verkningsgrad motsvarande genomsnitt inom EU år 2013. Kolanläggningar redovisas som felmarginal.

Primärenergihushållningen vid värmehushållande åtgärder är lägre för fjärrvärmesystem med kraftvärmeproduktion, och särskilt vid kolbaserad elproduktion, än värmehushållningen i själva byggnaden. För fjärrvärmesystemet med enbart hetvattenpannor är primärenergihushållningen högre än värmehushållningen i själva huset. Lägst specifik primärenergihushållning ger ventilationsvärmeåtervinning genom att elanvändningen ökar för driften av FTX-aggregatet. Hög specifik primärenergihushållning ger de elhushållande åtgärderna och särskilt vid elproduktion i kolkondensanläggningar.



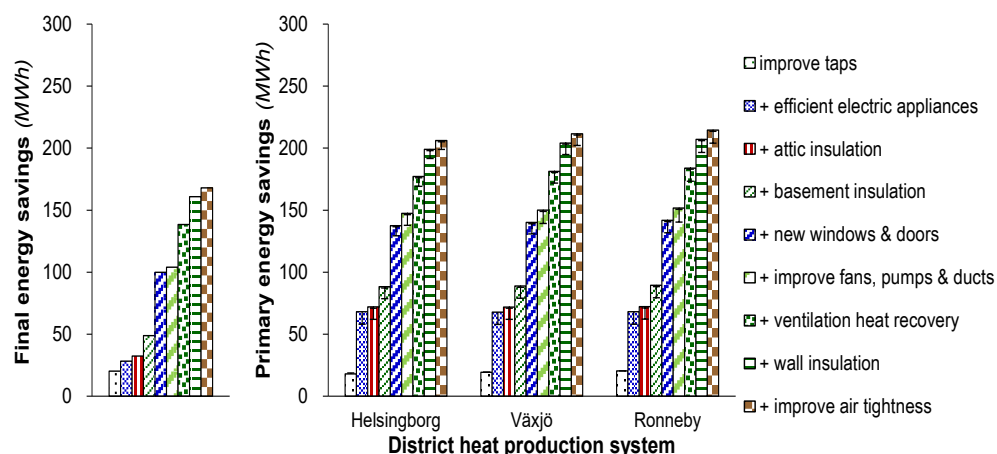
Figur 18. Årlig kumulativ energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder och tillhörande primärenergihushållning baserat på verklig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med elproduktionen i separata fossila gas- eller kolanläggningar med känd bästa teknik. Kolanläggningar redovisas som felmarginal.



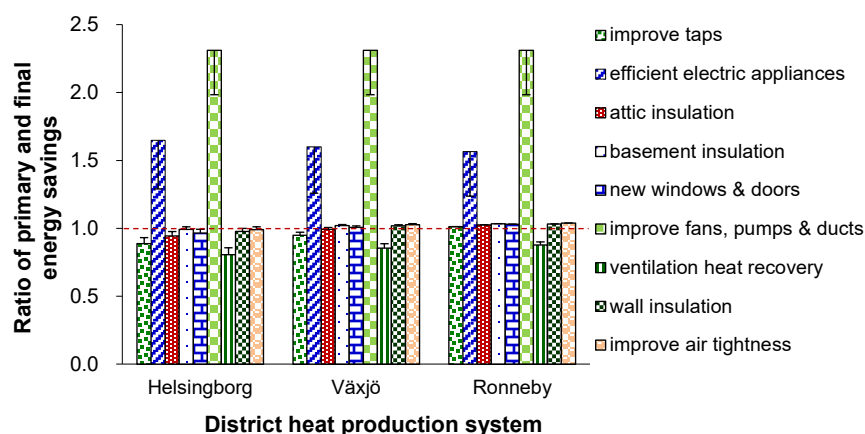
Figur 19. Förhållande mellan primärenergihushållning och energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder baserat på verklig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med elproduktionen i separata fossila gas- eller kolanläggningar med känd bästa teknik. Kolanläggningar redovisas som felmarginal.

Årlig kumulativ energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder och tillhörande primärenergihushållning baserad på verklig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med elproduktionen i separata fossila gas- eller kolanläggningar med känd bästa teknik redovisas i figur 18 och specifik primärenergihushållning i figur 19. Med bättre prestanda för separat elproduktion så blir primärenergihushållningen större för värmehushållningsåtgärder vid kraftvärmebaserad fjärrvärmeproduktion och lägre för elhushållande åtgärder.

Vid förnybar fjärrvärmeproduktion och förnybar elproduktion i separata anläggningar blir skillnaden i primärenergihushållning liten mellan de olika fjärrvärmesystemen, se figurer 20 och 21.



Figur 20. Årlig kumulativ energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder och tillhörande primärenergihushållning baserat på förnybar fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med förnybar elproduktion i separata bioanläggningar med ångturbinteknik eller i kombination med produktion av 25% vindel/solel. Elproduktion i bioanläggningar kombinerad med 25% vindel/solel redovisas som felmarginal.



Figur 21. Förhållande mellan primärenergihushållning och energihushållning i huset för olika energihushållningsåtgärder baserat på förnybar fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och med förnybar elproduktion i separata bioanläggningar med ångturbinteknik eller i kombination med produktion av 25% vindel/solel. Elproduktion i bioanläggningar kombinerad med 25% vindel/solel redovisas som felmarginal.

Beräkningarna visar att primärenergihushållningen varierar kraftigt med gjorda antaganden. De värmehushållande åtgärderna medför en värmehushållning i huset med 54% medan de elhushållande åtgärderna medför en elhushållning med 52%. Men primärenergihushållningen varierar för olika energihushållningsåtgärder och energisystem. Den årliga primärenergihushållningen för samtliga åtgärder är mellan 179 och 298 MWh medan total årlig energihushållning i huset är 168 MWh varav elhushållningen är 30 MWh. Vid förnybara energisystem och med 25% vindel/solel blir total primärenergihushållning mellan 200-204 MWh medan motsvarande värden blir 32-39 MWh för elhushållningen.

För byggnader som är anslutna till det mindre fjärrvärmesystemet med enbart hetvattenpannor blir primärenergihushållningen betydligt större än för systemen med kraftvärmeproduktion med dagens energiförsörjningssystem. Primärenergihushållningen beror på hur den samproducerade elen värderas. Förutsätts att separat elproduktion med förhållandevis låg verkningsgrad ersätts av samproducerad el blir primärenergihushållningen mindre än om el från anläggningar med bättre verkningsgrad ersätts.

De energihushållningsåtgärder som ger högst specifik primärenergihushållning är elhushållande åtgärder och då särskilt åtgärder kopplat till husets tekniska installationer. Det beror på att gratisvärmens från tekniska installationer är mindre än från hushållsel. Dessa åtgärders specifika primärenergihushållning ökar vid mindre effektiva elproduktionsanläggningar och kraftvärmebaserad fjärrvärmeproduktion. Lägst specifik primärenergihushållning erhålls med ventilationsvärmeväxlare då sådana system ökar elbehoven för att minska värmebehoven.

Förnybara energisystem med elproduktion i biokondensanläggningar och vindel/solel medför att skillnaden i primärenergihushållning för olika fjärrvärmesystem blir liten. För de flesta värmehushållningsåtgärder blir skillnad mellan energihushållningen i huset och primärenergihushållningen marginell. Tappvarmvattenhushållning och värmeåtervinning ur ventilationsluft ger något lägre primärenergihushållning än energihushållningen i huset. Fortfarande ger elhushållning högst specifik primärenergihushållning.

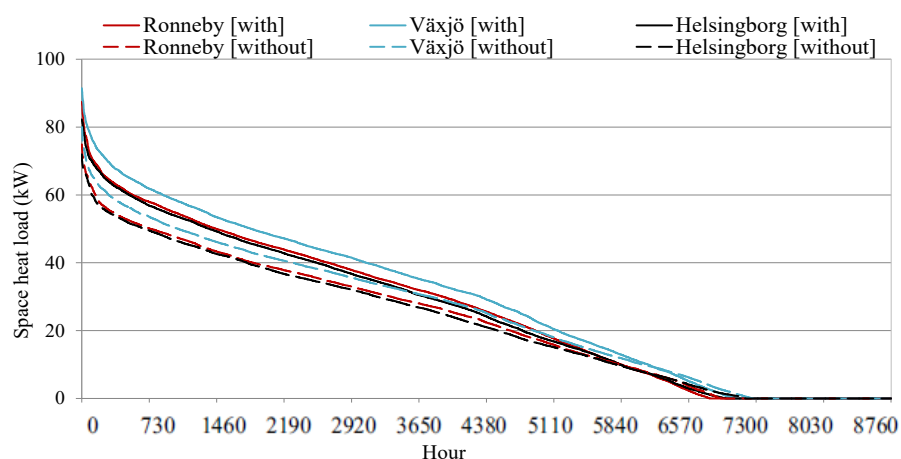
5 Ekonomisk energirenovering av fjärrvärmda flerbostadshus

Ekonomisk energirenovering av det fjärrvärmda flerbostadshuset beskrivet i kapitel 3 har analyserats med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby med beaktandet av befintliga fjärrvärmesystem i respektive stad som finns beskrivet i kapitel 4. Vidare har primärenergihushållningen för de olika energihushållningsåtgärderna analyserats (för utförlig beskrivning se referens 5).

Analyserade energihushållningsåtgärder framgår av tabell 6 och inom vilket intervall prestanda på enskilda åtgärder har analyserats. Åtgärderna presenteras inte i lönsamhetsordning eftersom ordningen beror på vilket ekonomiskt scenario som använts för att beräkna åtgärdernas lönsamhet. Indata för energibalansberäkningar baseras på angiven data i kapitel 4 men med klimatdata för respektive ort. Timvisa beräknade värmebehov för rumsuppvärmning av huset med klimatdata från respektive ort redovisas i figur 22, med och utan hänsyn tagen till minskade värmeförluster för tappvarmvattencirkulation och användandet av känd bästa teknik (BAT) för hushållsapparater och belysning.

Tabell 6: Analyserade energihushållningsåtgärder och intervall för prestandaanalys.

Energiushållningsåtgärd	Beskrivning
Tilläggsisolering av vindsbjälklag	50 till 500 mm mineralull
Tilläggsisolering av källarväggar	50 till 350 mm styrofoam
Tilläggsisolering av ytterväggar	45 till 510 mm mineralull
Bättre dörrar och fönster	U-värde 1.5 till 0.7 W/m ² K
Resurseffektiv tappvattenarmatur	Bäst känd teknik
Eleffektiva hushållsapparater & belysning	Bäst känd teknik
Ventilationsvärmeåtervinning	Centralt eller trapphusplacerat värmeåtervinningsaggregat (FTX)



Figur 22. Beräknade timvisa värmebehov för rumsuppvärmning av analyserat hus med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby år 2013 redovisade efter storlek, med och utan hänsyn tagen till energihushållning för tappvarmvattencirkulation och användandet av BAT för hushållsapparater och belysning.

Skillnaden mellan Helsingborg och Ronneby är liten medan det något kallare klimatet i Växjö ger något högre värmebehov i Växjö. Minskad gratisvärme till huset, genom minskade värmeförluster från tappvarmvattencirkulation och hushållsapparater och belysning vid användandet av BAT, har större påverkan på värmebehoven för rumsuppvärmning än lokaliseringen. Husets slutliga energibehov för de olika orterna framgår av tabell 7 fördelat på rumsuppvärmning, el för ventilation, tappvarmvatten och hushållsel.

Tabell 7. Slutlig energianvändning i huset beräknat med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby med (inom parentes) och utan åtgärder som reducerar användningen av hushållsel och cirkulationsförluster för tappvarmvatten.

Lokalisering/ Klimat	Årligt energibehov i huset (MWh)				
	Rumsupp- värmning	Ventilation elbehov	Tappvarm- vatten	Hushållsel	Totalt
Helsingborg	194 (223)	6.0	49.8	59.8 (29.6)	309 (308)
Växjö	222 (252)	6.0	49.8	59.8 (29.6)	338 (337)
Ronneby	200 (228)	6.0	49.8	59.8 (29.6)	316 (314)

De minskade kostnaderna för energiförsörjningen som energihushållningsåtgärder medför har beräknats på basis av fjärrvärmepriser, vattenavgifter och elnätspriser i Helsingborg, Växjö och Ronneby för år 2015 medan kostnad för elhandel baseras på svenskt genomsnitt för år 2015. Genom att fjärrvärmepriser och prisstrukturen varier mellan de olika orterna liksom vattenavgifter och elnätskostnader så varier det ekonomiska värdet av samma energihushållningsåtgärd mellan de olika orterna även om hänsyn tas till den variation som klimatskillnaderna medför.

Tabell 8. Energihushållning i huset med FTX-system och investeringskostnad vid centralt eller trapphusplacerat aggregat. Investeringskostnaden omfattar en period om 50 år.

FTX-system	Rumsupp- värmning (MWh /år)	Energihus- hållning (MWh/år)	Ökat elbehov (MWh/yr)	Investerings-kostnad (k€)
<i>Helsingborg:</i>				
Referens	222.7	-	-	-
Centralt placerat	180.0	42.7	2.2	129.1 ^a /132.7 ^b /138.5 ^c
Trapphusplacerat	178.6	44.1	1.4	146.4 ^a /152.3 ^b /162.1 ^c
<i>Växjö:</i>				
Referens	251.7	-	-	-
Centralt placerat	205.9	45.8	2.2	129.1 ^a /132.7 ^b /138.5 ^c
Trapphusplacerat	204.3	47.4	1.4	146.4 ^a /152.3 ^b /162.1 ^c
<i>Ronneby:</i>				
Referens	228.2	-	-	-
Centralt placerat	186.4	41.8	2.2	129.1 ^a /132.7 ^b /138.5 ^c
Trapphusplacerat	185.0	43.2	1.4	146.4 ^a /152.3 ^b /162.1 ^c

^a BAU scenario; ^b medelscenario; ^c hållbarhetsscenario.

I det följande redovisas två exempel på lönsamhetsberäkning av energihushållningsåtgärder, nämligen värmeåtervinning från ventilationsluft (FTX-system) och tilläggsisolering av källarvägg. Energihushållning i huset med FTX-system och investeringskostnad vid centralt eller trapphusplacerat aggregat framgår av tabell 8. Investeringskostnaden omfattar en period om 50 år. Kanaler har en antagen livslängd om 50 år och aggregatet 25 år. I investeringskostnaden ingår därför också ett byte av aggregatet efter 25 år. Investeringskostnaden för aggregatbytet om 25 år har nuvärdeberäknats med angiven realränta för de olika ekonomiska scenarierna. Därför varierar investeringskostnaden och särredovisas för de olika scenarierna i tabell 8.

I tabell 9 redovisas nuvärdet av energihushållningen över en 50-årsperiod med FTX-system för de tre olika scenarierna samt nuvärdet dividerat med investeringskostnaden. Det framgår av figuren att ett centralt placerat aggregat är mer kostnadseffektivt än ett trapphusplacerat aggregat. FTX-systemen är lönsamma för hållbarhetsscenariot men inte för BAU-scenariot. Bäst lönsamhet blir det om huset är placerat i Helsingborg och sämst lönsamhet om det är placerat i Ronneby. Den styrande faktorn för detta är utformningen av fjärrvärmepriset där årstidsvarierad pris ökar lönsamheten eftersom värmeåtervinningen är störst på vinterhalvåret då fjärrvärmepriset är högre vid årstidsvarierat pris.

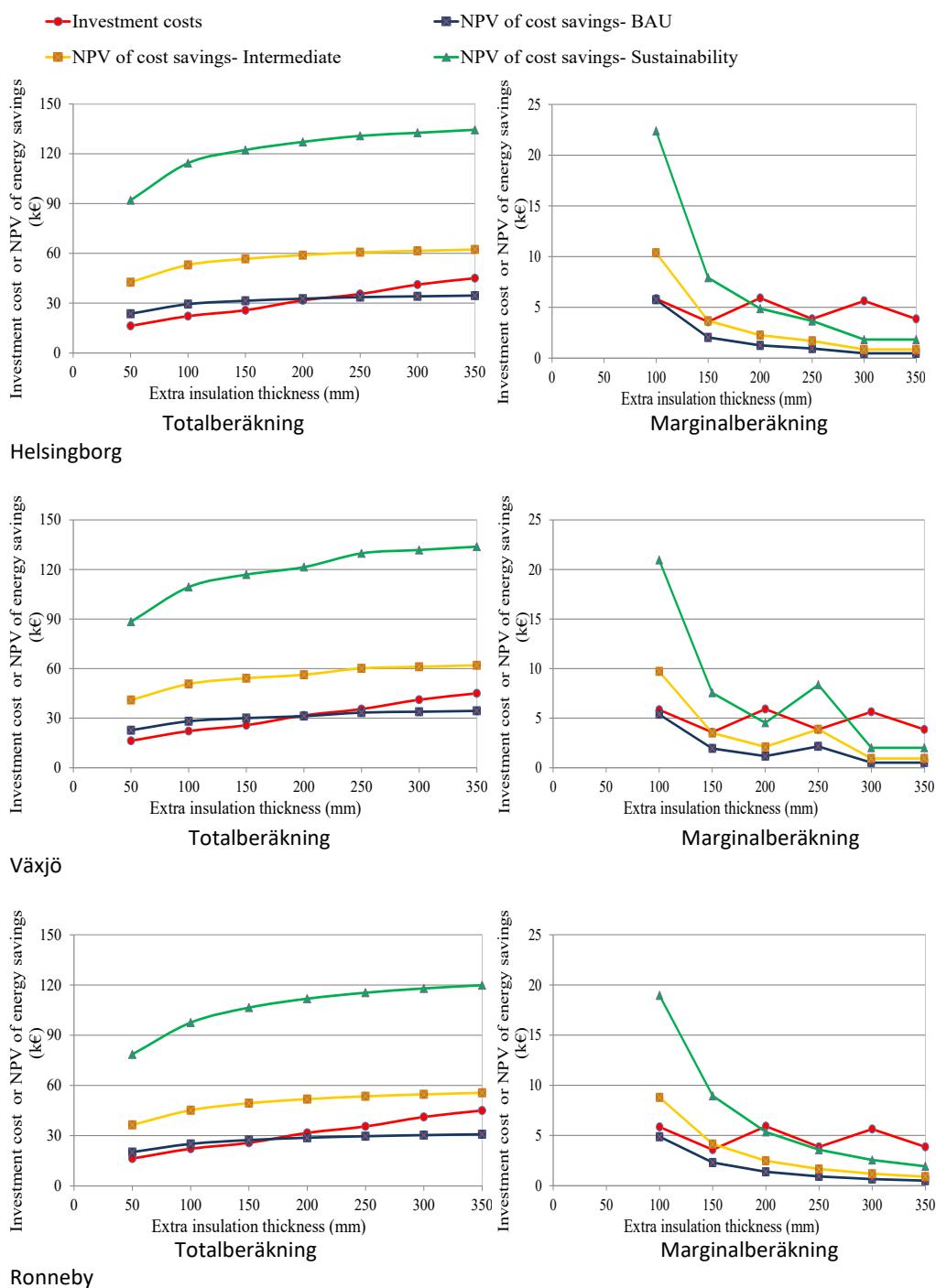
Tabell 9. Nuvärdet av energihushållningen över en 50-årsperiod med FTX-system för de tre olika ekonomiska scenarierna samt nuvärdet dividerat med investeringskostnaden.

FTX-system	Nuvärdet av energihushållning (k€)			Nuvärdet av energihushållning (k€) / investeringskostnad (k€)		
	BAU	Medel	Hållbart	BAU	Medel	Hållbart
Helsingborg						
Centralt placerat	71.9	129.5	279.4	0.56	0.98	2.02
Trapphusplacerat	77.4	139.5	300.9	0.53	0.92	1.86
Växjö						
Centralt placerat	72.1	130.0	280.4	0.56	0.98	2.02
Trapphusplacerat	77.2	139.1	300.1	0.53	0.91	1.85
Ronneby						
Centralt placerat	63.8	115.1	248.3	0.49	0.87	1.79
Trapphusplacerat	68.8	124.0	267.5	0.47	0.81	1.65

I figur 23 redovisas nuvärdet av total och marginal energikostnadsbesparing vid tilläggsisolering av källarväggar med olika isolertjocklekar under en 50-årsperiod om huset är lokaliserat i Helsingborg, Växjö eller Ronneby samt investeringskostnaden för isoleringen. Åtgärden är lönsam om investeringskostnaden är lägre än den totala energikostnadsbesparingen. Den optimala isolertjockleken är där marginalkostnaden för investeringen är lika med marginal energikostnadsbesparingen, se de högra figurerna. Det framgår att tilläggsisolering av källarvägg är lönsam för alla tre lokaliseringarna och för alla tre scenarierna. Men lönsamheten är något sämre för Ronneby än för Helsingborg och Växjö.

Marginalkostnadsberäkningen visar att ekonomisk isolertjocklek för BAU-scenariot är 100, 50 och 50 mm för Helsingborg, Växjö and Ronneby. Motsvarande

värden för medelscenariot och hållbarhetsscenariot är 150, 250 och 150 mm. Men en isolertjocklek om 250 mm är nästan lönsam för hållbarhetsscenariot för Helsingborg och Ronneby. Det framgår av figur 23 att marginalinvesteringskostnaden varierar för att öka isolertjockleken med 50 mm. Den variationen beror på de praktiska möjligheterna att applicera isoleringen. I vissa fall skiljer sig inte arbetstiden åt för att öka isoleringen med 50 eller 100 mm.



Figur 23. Investeringskostnad och nuvärde av energihushållning för en 50-årsperiod vid totalberäkning (vänster figurer) och vid marginalberäkning (höger figurer) för olika tjocklekar på tilläggsisolering av källarvägg med huset lokaliserat i Helsingborg, Växjö eller Ronneby.

I tabell 10 redovisas en sammanställning av lönsamma energihushållningsåtgärder för olika scenarier och lokalisering av huset. I tabell 11 redovisas vilken energihushållning de ekonomiska paketlösningarna i tabell 10 medför för olika scenarier och lokalisering samt total investeringskostnad och nuvärdet av energihushållningen. I tabell 12 redovisas årlig energihushållning i huset och primärenergihushållning med befintlig eller förnybar energiförsörjning. Genom att beräkna både totalkostnad och marginalkostnad för de olika energihushållningsåtgärderna har vi kunnat optimera energiprestanda för de enskilda åtgärderna och sedan sätta samman åtgärder som ger ekonomiska energihushållningspaket.

Tabell 10. Sammanställning av lönsamma energihushållningsåtgärder för olika scenarier och lokalisering av huset.

Lokalisering	BAU-scenariot	Medelscenariot	Hållbarhetsscenariot
Helsingborg	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur
	BAT belysning & frys	BAT samtliga apparater & belysning	BAT samtliga apparater & belysning
	100 mm isolering källarvägg	150 mm isolering källarvägg	150 mm isolering källarvägg
	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 1.1 W/ m ² K
		400 mm isolering vind	400 mm isolering vind
			FTX-system
Växjö	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur
	BAT belysning & frys	BAT samtliga apparater & belysning	BAT samtliga apparater & belysning
	50 mm isolering källarvägg	250 mm isolering källarvägg	250 mm isolering källarvägg
	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 0.9 W/ m ² K
			400 mm isolering vind
			FTX-system
Ronneby	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur	BAT vattenarmatur
	BAT belysning & frys	BAT belysning & frys	BAT samtliga apparater & belysning
	50 mm isolering källarvägg	150 mm isolering källarvägg	150 mm isolering källarvägg
	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 1.2 W/ m ² K	Fönster & dörrar 1.1 W/ m ² K
			500 mm isolering vind
			FTX-system

Tabell 11. Energihushållning för de ekonomiska paketlösningarna i tabell 10 för olika scenarier och lokalisering samt total investeringskostnad och nuvärdet av energihushållningen och deras förhållande under en 50-årsperiod.

Lokalisering	Scenario	Värme-hushållning (MWh/yr)	El-hushållning (MWh/yr)	Investering (k€)	Nuvärde av besparing [energi & vatten] (k€)	Nuvärde /investering
Helsingborg	BAU	97.7 (36%)	22.7 (34%)	134	279	2.1
	Medel	103.4 (38%)	30.2 (46%)	181	474	2.6
	Hållbarhet	143.3 (53%)	28 (43%)	329	1118	3.4
Växjö	BAU	101.7 (34%)	22.7 (34%)	128	314	2.4
	Medel	107.8 (36%)	30.2 (46%)	172	474	2.7
	Hållbarhet	161.1 (53%)	28 (43%)	381	1130	3.0
Ronneby	BAU	95.5 (34%)	22.7 (34%)	128	306	2.4
	Medel	99.4 (36%)	22.7 (34%)	138	484	3.5
	Hållbarhet	140.7 (51%)	28.0 (43%)	333	1107	3.3

Betydande ekonomisk energihushållning kan uppnås för här analyserat hus. Ekonomisk energihushållningen för rumsuppvärmning och tappvarmvatten är beräknat till mellan 98 och 143 MWh (36-53%) om huset är lokaliserat i Helsingborg. Motsvarande värden för Växjö och Ronneby är 102-161 MWh (34-53%) och 96-141 MWh (34-51%). Ekonomisk elhushållning är beräknad till mellan 23-30 MWh (34-46%) för de olika scenarierna och beror inte på lokaliseringen. Störst energihushållning erhålls med hållbarhetsscenariot och minst med BAU-scenariot. Stor betydelse för det ekonomiska utfallet har realränta och antagen real energiprisutveckling. Betydelse har också prismodeller för köpt fjärrvärme.

Tabell 12. Årlig energihushållning (MWh) i huset och primärenergihushållning (MWh) med befintlig eller förnybar energiförsörjning.

Lokalisering	Scenario	Energi-hushållning i huset	Primärenergihushållning Befintlig energi-försörjning	Förnybar energi-försörjning
Helsingborg	BAU	120	117	116
	Medel	134	118	119
	Hållbarhet	171	156	167
Växjö	BAU	124	128	123
	Medel	138	130	126
	Hållbarhet	189	180	189
Ronneby	BAU	118	173	119
	Medel	122	179	123
	Hållbarhet	169	248	173

Utgår vi från hållbarhetsscenariot leder de ekonomiska energihushållningspaketen till omfattade ekonomiska vinster under analyserad 50-års period. Investeringarna i energihushållningsåtgärder är drygt 300 tusen euro medan nuvärdet av minskad energi- och vattenanvändning som åtgärderna medför är drygt 1.1 miljoner euro. De ekonomiska vinsterna är också förhållandevis stora för de två andra scenarierna.

Primärenergihushållningen är ungefär densamma i Helsingborg och Växjö för både befintlig och förnybar energiförsörjning och skillnaden i primärenergihushållningen mellan de tre orterna är liten vid förnybar energiförsörjning. I Ronneby är primärenergihushållningen betydligt större än i Helsingborg och Växjö för befintlig energiförsörjning.

6 Diskussion och slutsatser

Fjärrvärmesystems konkurrenskraft

Fjärrvärmesystems konkurrenskraft med eller utan energihushållning vid helt förnybara energisystem har analyseras för ett flerbostadshus i Växjö kommun för de tre olika stora fjärrvärmesystemen i Helsingborg, Växjö och Ronneby. Skillnaden i uppvärmningskostnad mellan de olika uppvärmningssystemen för huset utan energihushållning är liten, utom för direktverkande el som har en betydligt högre uppvärmningskostnad och också en betydlig högre primärenergianvändning. Lägst primärenergianvändning ger det större fjärrvärmesystemet och sedan elvärmepumpar med ytjord som värmekälla. Det medelstora och mindre fjärrvärmesystemet ger betydligt lägre primärenergianvändning än pellets pannor. Solvärme minskar primärenergianvändningen för direktverkande el och pellets pannor och ger något lägre uppvärmningskostnader. För elvärmepumpar är solvärme inte kostnadseffektivt.

För energieffektiv variant av huset följer primärenergianvändningen mönstret för huset utan energihushållning men med generellt lägre primärenergianvändning. Uppvärmningskostnaden blir generellt lägre för energieffektiv variant men den lägre uppvärmningskostnaden måste täcka kostnader för energihushållning som inte beaktats i denna del av analysen. Samtidigt förändras de relativa kostnaderna mellan de olika uppvärmningssystemen så att pellets systemen får klart lägst kostnad följt av elvärmepumpar medan kostnadsskillnaden mellan direktverkande el och fjärrvärme blir liten. Analyserat hus har 16 lägenheter och en uppvärmd yta om 1190 m². Det är ett förhållandevis litet flerbostadshus. Vid fördubblad husstorlek blir fjärrvärmesystemen mer konkurrenskraftiga särskilt jämfört med värmepumpar. Men fortfarande är pellets pannor mer kostnadseffektiva än fjärrvärme med energieffektiv variant av huset.

Kostnadsberäkningar beror av den lokala kontexten och innehåller osäkerheter samtidigt som kostnadsskillnaden är förhållandevis liten mellan uppvärmning med fjärrvärme, elvärmepumpar och pellets pannor. Det gör att andra faktorer kan bli mer styrande än kostnader såsom hälsoaspekter, osäkerheter och externt beroende av energiföretag. Samtidigt kan teknikutveckling förändra den inbördes konkurrenskraften mellan systemen. Trenden är dock att fjärrvärmesystem tappar i konkurrenskraft vid mer energisnåla hus samtidigt som ökad husstorlek ökar fjärrvärmens konkurrenskraft.

Lokala hälso- och miljöeffekter har inte beaktats i denna analys. Lokal användning av pellets i små anläggningar har normalt sämre hälso- och miljöprestanda än större system för el- eller fjärrvärmeproduktion. Osäkerheter kopplat till resursanvändning minskar med mer energieffektiva energiförsörjningssystem såsom fjärrvärmesystem med kraftvärmeproduktion och elvärmepumpar.

Lågtemperaturfjärrvärme är under utveckling och sådana system kan stärka fjärrvärmesystems konkurrenskraft genom lägre kostnader och värmeförluster för distributionen. Vidare ökar möjligheterna att utnyttja spillvärme vid lägre temperatur och energieffektiviteten ökar för samproduktion av el och värme.

Fjärrvärmesystem kan också underlätta integration av intermittent elproduktion. Ökad kunskap behövs om sådana aspekter på fjärrvärmesystem.

Energibalansberäkningar

Vid energibalansberäkningar styrs resultatet av gjorda antaganden. I forskningsartiklar och tekniska rapporter används skiftande antagande som medför att beräknat resultat varierar vid analys av samma byggnad. Om byggnaders beräknade energibehov avviker från verkligt energibehov så påverkas beräknad energihushållning. Lägre beräknat energibehov medför att verklig energihushållning underskattas och högre beräknat energibehov att den överskattas. Därför har antagande i energibalansberäkningar analyserats i detalj för att identifiera de parametrar som mest påverkar beräkningarna och vilka osäkerheter som är kopplade till parametrarna.

Genomförda analyser visar att tekniska installationer och hushållens elutrustning har förhållandevis stor betydelse för energibalansberäkningar och betydelsen ökar för mer energisnåla hus. Beräknat värmebehovet för rumsuppvärmning för huset i Ronneby kommun efter energihushållning varierade årligen med 9-14 kWh per kvadratmeter uppvärmd yta beroende på gjorda antaganden för tekniska installationer och hushållens elapparater och belysning.

Olika parametrar kan integrera med varandra och påverka energibalansberäkningar. Därför har sådan integrering analyserats i detalj uppdelat på kategorierna husets omgivning, husets tekniska installationer och husets klimatskal. Gjord analys visar att integrationen inte har så stor betydelse för energibalansberäkningar men dess betydelse ökar med mer energisnåla hus och om antalet parametrar som varierar ökar. En tillförlitlig beskrivning av lokala omgivningsförutsättningar som lokal variation av utomhustemperatur, solreflektion mark och skuggning av fönster ökar noggrannheten för energibalansberäkningar av ett specifikt hus.

Energihushållning och primärenergianvändning

Hur byggnaders energihushållningsåtgärder påverkar primärenergianvändningen har i detalj analyserats för befintlig fjärrvärmeproduktion i Helsingborg, Växjö och Ronneby och en framtida optimerad fjärrvärmeproduktion baserad på förnybar energi. De värmehushållande åtgärderna medför en värmehushållning i huset med 54% medan de elhushållande åtgärderna medför en elhushållning med 52%. Dessa energihushållningsåtgärder har inte optimerats ekonomiskt utan beskriver möjliga tekniska åtgärder.

Beräknad timvis värmehushållning genom olika energihushållningsåtgärder har sedan jämförts med verklig timvis fjärrvärmeproduktion 2013 i Helsingborg, Växjö och Ronneby. För att täcka in flera möjliga utvecklingsvägar för fjärrvärmeproduktion har vi valt att studera tre kombinationer av fjärrvärmeproduktion och elproduktion. Vi utgår från (i) verklig fjärrvärmeproduktion för år 2013 och elproduktion i separata gas- eller kolanläggningar med en verkningsgrad motsvarande genomsnittet inom EU för år 2013 samt från (ii) verklig fjärrvärmeproduktion för år 2013 och elproduktion i separata gas- eller kolanläggningar baserade på idag känd bästa teknik med en verkningsgrad med

45% för kolanläggningar och 58% för gasanläggningar. Vidare utgår vi också från (iii) helt förnybara energisystem.

Beräkningarna visar att primärenergihushållningen varierar för olika energihushållningsåtgärder och energiförsörjningssystem. Den årliga primärenergihushållningen för samtliga åtgärder är mellan 179 och 298 MWh medan total årlig energihushållning i huset är 168 MWh varav elhushållningen är 30 MWh. Vid förnybara energisystem med 25% vindel/solel av den förnybara elproduktionen blir total primärenergihushållning mellan 200-204 MWh medan motsvarande värden blir 32-39 MWh för elhushållningen.

För byggnader som är anslutna till det mindre fjärrvärmesystemet med enbart hetvattenpannor blir primärenergihushållningen betydligt större än för systemen med kraftvärmeproduktion med dagens energiförsörjningssystem. Primärenergihushållningen beror på hur den samproducerade elen värderas. Förutsätts att separat elproduktion med förhållandevis låg verkningsgrad ersätts av samproducerad el blir primärenergihushållningen mindre än om el från anläggningar med bättre verkningsgrad ersätts. De energihushållningsåtgärder som ger högst specifik primärenergihushållning är de elhushållande åtgärderna och då särskilt åtgärder kopplat till husets tekniska installationer. Det beror på att gratisvärmens från tekniska installationer är lägre än från hushållsel. Dessa åtgärders specifika primärenergihushållning ökar vid mindre effektiva elproduktionsanläggningar och kraftvärmebaserad fjärrvärmeproduktion. Lägst specifik primärenergihushållning erhålls med ventilationsvärmeväxlare då sådana system ökar elbehoven för att minska värmebehoven.

Förnybara energisystem med kombinerad elproduktion i biokondensanläggningar och vindel/solel medför att skillnaden i primärenergihushållning för olika fjärrvärmesystem blir liten. För de flesta värmehushållningsåtgärder blir skillnad mellan i energihushållningen i huset och primärenergihushållningen marginell. Tappvarmvattenhushållning och värmeåtervinning ur ventilationsluft ger något lägre primärenergihushållning än energihushållningen i huset. Fortfarande ger elhushållning högst specifik primärenergihushållning.

Värmehushållningen i huset är mycket större på vinterhalvåret. Det eftersom de flesta av energihushållningsåtgärderna ger en minskad värmeanvändning som beror av utomhustemperaturen. Det gör att värmebehovens årliga variation minskar vilket ökar konkurrenskraften för mer kapitalintensiva uppvärmningssystem om uppvärmningssystemen kan anpassas efter de förändrade värmebehoven.

Ekonomisk energirenovering

Ekonomisk energirenovering av det fjärrvärmda flerbostadshuset i Ronneby har analyserats med klimatdata för Helsingborg, Växjö och Ronneby med beaktandet av befintliga fjärrvärmesystem i respektive stad. Vi har beräknat både totalkostnad och marginalkostnad vid lönsamhetsberäkning av de olika energihushållningsåtgärderna. Därmed har vi kunnat optimera energiprestanda för den enskilda åtgärden och sätta samman ekonomiska energihushållningspaket. Vidare har minskad primärenergihushållningen för de olika

energihushållningsåtgärderna analyserats för befintlig och en framtida förnybar energiförsörjning.

Betydande ekonomisk energihushållning kan uppnås för här analyserat hus. Ekonomisk energihushållningen för rumsuppvärmning och tappvarmvatten är beräknat till mellan 98 och 143 MWh (36-53%) om huset är lokaliserat i Helsingborg. Motsvarande värden för Växjö och Ronneby är 102-161 MWh (34-53%) och 96-141 MWh (34-51%). Ekonomisk elhushållning är beräknad till mellan 23-30 MWh (34-46%) för de olika scenarierna och beror inte på lokalisering. Störst energihushållning erhålls med hållbarhetsscenariot och minst med BAU-scenariot. Utgår vi från hållbarhetsscenariot leder de optimala energihushållningspaketen till omfattade ekonomiska vinster under analyserad 50-års period. Investeringarna i energihushållningsåtgärder är drygt 300 tusen euro medan nuvärdet av minskad energi- och vattenanvändning som åtgärderna medför är drygt 1.1 miljoner euro. Men de ekonomiska vinsterna är också förhållandevis stora för de två andra scenarierna. Stor betydelse för det ekonomiska utfallet har realränta och antagen real energiprisutveckling. Betydelse har också prismodeller för köpt fjärrvärme. Primärenergihushållningen är ungefär densamma i Helsingborg och Växjö för både befintlig och förnybar energiförsörjning och skillnaden i primärenergihushållningen mellan de tre orterna är liten vid förnybar energiförsörjning. I Ronneby är primärenergihushållningen betydligt större än i Helsingborg och Växjö för befintlig energiförsörjning.

UTVECKLING AV RESURSEFFEKTIVA FJÄRRVÄRMESYSTEM

Här har energihushållningsåtgärder för ett typiskt flerbostadshus från 1970-talet analyserats i detalj. I den ekonomiska analysen har kostnaderna för att investera i åtgärder för energihushållning vägts mot de minskade kostnader som åtgärderna medför under sin hela livslängd. Åtgärderna bedöms som lönsamma när investeringskostnaden är lägre än kostnadsminskningen för energiförsörjningen.

Resultaten visar att en kostnadseffektiv energihushållning av ett fjärrvämt flerbostadshus från miljonprogrammet kan minska sitt värmebehov med upp till 53 procent och sitt elbehov med upp till 46 procent vilket leder till omfattade ekonomiska vinster för husägaren under en 50-årsperiod.

Forskningen visar också att förnybara energisystem bara medför en liten skillnad i primärenergihushållning för olika stora fjärrvärmesystem. Med ett förnybart energisystem när husen blir mer energisnåla tappar fjärrvärmens konkurrenskraft samtidigt som en ökad husstorlek ökar fjärrvärmens konkurrenskraft jämfört med träpellets pannor och elvärmepumpar med yttjord som värmekälla.

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