ISRN LUTMDN/TMHP-14/5311-SE

ISSN 0282-1990

Hållbarhetsanalys av uppvärmningsalternativ

En jämförelse mellan fjärrvärme och värmepumpar ur ett kundperspektiv i Lunds kommun

Erik Bergman
Jonas Persson

Examensarbete på Civilingenjörsnivå
Avdelningen för Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Tekniska Högskola | Lunds Universitet

Hållbarhetsanalys av uppvärmningsalternativ

En jämförelse mellan fjärrvärme och värmepumpar ur ett kundperspektiv i Lunds kommun

Erik Bergman

Jonas Persson

Juni 2014, Lund

Föreliggande examensarbete på civilingenjörsnivå har genomförts vid avdelningen för Energihushållning, Inst för Energivetenskaper, Lunds Universitet - LTH samt vid Kraftringen Energi AB i Lund. Handledare på Kraftringen Energi AB: Alma Hess, Fredrik Luthman; handledare på LU-LTH: dr. Patrick Lauenburg; examinator på LU-LTH: prof. Jurek Pyrko.

Projektet har genomförts i samarbete med en referensgrupp bestående av Annamaria Sandgren och Kerstin Sernhed från Grontmij AB, Matz Hagberg från Lunds kommun, Roger Gartsjö, dr. Patrick Lauenburg från LTH samt Ulrika Bergström, Alma Hess och Fredrik Luthman från Kraftringen Energi AB.

Examensarbete på Civilingenjörsnivå

ISRN LUTMDN/TMHP-14/5311-SE

ISSN 0282-1990

© 2014 Erik Bergman och Jonas Persson samt Energivetenskaper

Energihushållning
Institutionen för Energivetenskaper
Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 Lund

www.energy.lth.se

Sammanfattning

Kraftringen Energi AB driver tillsammans med Lunds kommun ett projekt med titeln *Fjärrvärmens roll i ett hållbart Lund*. Projektets syfte är att undersöka var det inom Lunds kommun är lämpligt att ansluta till fjärrvärme ur ett hållbarhetsperspektiv. Den här studien bidrar till projektet genom att studera uppvärmningssystemen fjärrvärme, bergvärmepump och luft/vatten-värmepump ur ett hållbarhetsperspektiv. Hållbarhetsanalysen innefattar en jämförelse ur ett ekonomiskt, miljömässigt och socioekonomiskt perspektiv.

Under arbetets gång har en litteraturstudie samt en fallstudie genomförts. I fallstudien är utgångspunkten att en kund står inför ett val av nytt uppvärmningssystem. Studien som genomförs är en konsekvensanalys i ett framåtblickande perspektiv, d.v.s. det är effekten av en förändring i ett system som uppkommer på grund av valet som jämförs alternativen emellan. Ur ett miljömässigt perspektiv innebär förutsättningarna i studien att kunden kommer att påverka marginalproduktionen i fjärrvärme- respektive elnätet. De miljöeffektkategorier som jämförs är emissioner av koldioxidekvivalenter per producerad kWh energi och primärenergianvändning i kWh energiråvara per kWh nytta. För den ekonomiska jämförelsen innebär detta att kunden inte kan tillgodoräkna sig tidigare investeringar i uppvärmningssystem. Tre fastigheter med olika uppvärmningsbehov undersöks, ett småhus, ett mindre flerbostadshus (Nils Holgersson-huset) och ett större flerbostadshus. Det som studeras är annuiteten, bestående av kapitalkostnader, fasta kostnader och rörliga kostnader. De socioekonomiska effekterna analyseras kvalitativt ur ett regionalt perspektiv.

Konsekvensanalysen av miljöpåverkan visar det mest hållbara valet av uppvärmningsalternativ över en prognosticerad 15-års period. Analysen visar att fjärrvärme ger upphov till lägst klimatpåverkan och har högst resurseffektivitet, följt av bergvärmepump och luft/vatten-värmepump. Känslighetsanalysen av miljöpåverkan visar att miljövärderingen av marginalbränslen har stort utslag på resultatet. I ett småhus i Lunds kommun så har luft/vatten-värmepump lägst årliga kostnader, följt av bergvärmepump och fjärrvärme. Känslighetsanalysen för den ekonomiska jämförelsen visar att resultatet kan variera för specifika fall. För ett mindre flerbostadshus och större flerbostadshus är fjärrvärme det ekonomiskt mest hållbara alternativet i Lunds kommun, följt av bergvärmepump och luft/vatten-värmepump. Även här visar känslighetsanalysen att resultatet varierar för specifika fall. I ett socioekonomiskt perspektiv inom Lunds kommun är fjärrvärme mer hållbart än värmepumpar, främst på grund av dess synergieffekter med industriell spillvärme, dess bidrag till en ökad sysselsättning, samt fjärrvärmens flexibilitet och leveranssäkerhet som energisystem.

Nyckelord: Hållbarhet, energisystem, uppvärmningssystem, fjärrvärme, bergvärmepump, luft/vatten-värmepump, konsekvensanalys, marginalproduktion, marginalel, klimatpåverkan, resurseffektivitet, kostnadsjämförelse, socioekonomiska effekter.

Abstract

Kraftringen Energi AB, together with the municipality of Lund runs the project *The role of district heating in a sustainable Lund*. The purpose of the project is to investigate where in Lund municipality it is appropriate to connect to district heating from a sustainability perspective. This study contributes to the project by comparing district heating, geothermal heat pumps and air/water heat pumps from a sustainability perspective. The sustainability analysis includes a comparison from an economic, environmental and socioeconomical perspective.

During the work, a literature review and a case study was conducted. In the case study the condition is that a customer faces a choice of a new heating system. The study carried out is thus an impact analysis in a forward-looking perspective, i.e. it is the effect of a change in a energysystem that arises from the choice of heating system that is compared. From an environmental perspective, this means that the customer will affect the marginal production in the district heating and electricity system. The environmental impact categories that are compared are equivalent carbon dioxide emissions per kWh of energy and primary energy use in kWh energy commodity per kWh utility. For economic comparison, this means that the customer cannot be credited with earlier investments in heating systems. Three buildings with different heating needs are studied, a small house, a small apartment building (Nils Holgersson-house) and a larger apartment building. The annuity of the heating systems are compared, divided into capital costs, fixed costs and variable costs. The socioeconomic and social effects are analyzed from a regional perspective.

The results from the environmental impact analysis, which shows the most sustainable heating system over a forecasted 15 year period, shows that district heating has the lowest climate impact and primary energy use followed by geothermal heat pump and air/water heat pump. The sensitivity analysis of the environmental impact shows that the margin fuels has a great impact on the results. The economic analysis shows that the air/water heat pump has the lowest cost in a small house in Lund municipality, followed by geothermal heat pump and district heating. The sensitivity analysis shows that the result can vary for specific cases. The economically most sustainable heat system in a small and large apartment building in Lund municipality is district heating, followed by geothermal heat pump and air/water heat pump. The sensitivity analysis shows that the results vary for specific cases. In a social perspective within Lund municipality, district heating is more sustainable than heat pumps. This is mainly due to the synergy effects with industrial waste water, its contribution to employment within the region, and its flexibility and supply reliability as energy system.

Key words: Sustainability, energy systems, heating systems, district heating, geothermal heat pump, air/water heat pump, marginal production, marginal electricity, environmental impact, climate, resource efficiency, cost comparison, social effects.

Förord

Den här studien är ett examensarbete som omfattar 60 högskolepoäng (hp), fördelat på 30 hp per författare, utfört vid Lunds Universitet - Lunds Tekniska Högskola (LTH), på Institutionen för Energivetenskaper under våren 2014. Arbetet utgör den avslutande delen på författarnas civilingenjörsutbildningar i Ekosystemteknik med specialisering inom energisystem omfattande vardera 300 hp. Arbetet har utförts på uppdrag av Kraftringen Energi AB. Patrick Lauenburg från LTH samt Alma Hess och Fredrik Luthman från Kraftringen har varit handledare.

Vi vill börja med att tacka våra handledare för det tacka våra handledare för bra stöd, kommunikation och vägledning. Även ett stort tack riktas till Anna-Maria Sandgren och Kerstin Sernhed på Grontmij AB samt Ulrika Bergström, Matz Hagberg och Roger Gartsjö som tillsammans med handledarna utgjorde referensgruppen till examensarbetet. Referensgruppen gav mycket värdefulla kommentarer, uppmuntran och feedback.

Ett stort tack riktas även till följande personer, som alla bidragit med värdefull information och gjort den här studien möjlig:

Erik Axelsson och John Jonsson på Profu AB

Sirje Pädam på WSP Sverige AB

Inger Lindström på Länsstyrelsen Skåne

Martin Gierow, Kraftringen

Lennart Greiff, Kraftringen

Katarina Skalare, Kraftringen

Liisa Fransson, Kraftringen

Linda Ekström, Kraftringen

Kristina Eriksson, Kraftringen

Samt till alla andra som har hjälpt oss med frågor och funderingar.

Lund, 2014-06-04

Erik Bergman och Jonas Persson

Innehåll

1 Inledning ... 1
1.1 Problemformulering ... 1
1.2 Syfte ... 1
1.3 Metod ... 1
1.4 Avgränsningar ... 2
1.5 Disposition ... 2
2 Bakgrund ... 3
2.1 Hållbarhet ... 3
2.2 Miljö ... 3
2.2.1 Miljöfaktorer ... 3
2.2.2 Systemgränser ... 5
2.2.3 Miljövärdering av energi ... 6
2.3 Ekonomi ... 11
2.4 Socioekonomiska effekter ... 11
2.5 Uppvärmningstekniker ... 12
2.5.1 Fjärrvärme ... 12
2.5.2 Värmepump ... 12
2.6 Energisystem ... 15
2.6.1 Fjärrvärmenätet i Lunds Kommun ... 15
2.6.2 Elproduktionssystemet ... 17
2.7 Tidigare jämförelser ... 20
3 Fallstudie ... 21
3.1 Förutsättningar för studien ... 21
3.2 Verkningsgrader och förluster ... 21
3.3 Miljö ... 22
3.3.1 Systemgränser och avgränsningar ... 22
3.3.2 El- och värmeproduktion ... 22
3.3.3 Miljöfaktorer ... 28
3.4 Ekonomi ... 34
3.4.1 Systemgränser och avgränsningar ... 34
3.4.2 Metodik för kostnadsjämförelsen ... 34
3.4.3 Uppvärmningsbehov ... 35

3.4.4 Ekonomisk livslängd ... 35
3.4.5 Kalkylränta ... 36
3.4.6 Investeringskostnader ... 37
3.4.7 Energikostnader ... 39
3.4.8 Ekonomisk värdering av miljöpåverkan ... 41
4 Socioekonomiska effekter ... 43
4.1 Sysselsättning på kommunal nivå ... 43
4.1.1 Metodik ... 43
4.1.2 Fjärrvärme ... 44
4.1.3 Värmepump ... 44
4.1.4 Sammanfattning ... 45
4.2 Övriga effekter ... 45
4.2.1 Avfall ... 46
4.2.2 Biobränsle ... 46
4.2.3 Industriell spillvärme ... 47
4.2.4 Torv ... 48
4.2.5 Kapacitet i elnät ... 48
4.2.6 Flexibilitet i energisystemet ... 48
4.2.7 Leveranssäkerhet ... 49
4.2.8 Tillgänglighet ... 49
4.2.9 Användarvänlighet ... 49
4.2.10 Sociala effekter i leverantörskedjan ... 50
4.2.11 Fjärrkyla ... 50
4.2.12 Sammanfattande bedömning ... 50
5 Resultat ... 51
5.1 Miljö ... 51
5.2 Ekonomi ... 53
5.2.1 Ekonomisk värdering av miljöpåverkan ... 54
5.3 Känslighetsanalys ... 56
5.3.1 Miljöpåverkan ... 56
5.3.2 Ekonomisk analys ... 62
6 Diskussion ... 75
6.1 Miljö ... 75

6.1.1 Bokföringsperspektiv 75
6.1.2 Konsekvensanalys 76
6.1.3 Indata/Datakvalitet 77
6.1.4 Känslighetsanalys 78
6.1.5 Sammanfattande bedömning 79
6.2 Ekonomi 79
6.2.1 Resultat 80
6.2.2 Indata/Datakvalitet 80
6.2.3 Känslighetsanalys 81
6.2.4 Förlängd servisledning 82
6.2.5 Sammanfattande bedömning 82
6.3 Socioekonomiska effekter 82
6.3.1 Sysselsättning i Lunds kommun 82
6.3.2 Övriga effekter 83
6.4 Förslag på fortsatt arbete 84
7 Slutsatser 85
Referenser 86
Bilaga A. Miljöberäkningar 94
Bilaga B. Ekonomiska beräkningar 97

1 Inledning

I detta kapitel formuleras problemet som den här studien avser analysera. Dessutom redogörs för arbetets syfte, metodik, avgränsningar samt rapportens disposition.

1.1 Problemformulering

Energianvändning är en av de viktigaste frågorna när det kommer till hållbar utveckling. De gemensamma EU-målen om effektiviserad energianvändning och minskad klimatpåverkan styr mot mer hållbara energisystem inom EU och Sverige. Energibolagen är en viktig del i utvecklingen mot ett hållbart samhälle, då bolagen är nyckelaktörer med möjlighet att påverka den regionala utvecklingen med en energi- och klimatsmart samhällsplanering, både inom el- och värmebranschen.

Fjärrvärme och värmepumpar är de två vanligaste uppvärmningsalternativen idag och konkurrerar därför i många kommuner. Det har länge förts en diskussion kring vilket uppvärmningsalternativ som egentligen är mest hållbart. Tidigare jämförelser visar stor spridning i resultat, beroende på antaganden, lokala förutsättningar och studerade parametrar.

Som en del av Sveriges hållbarhetsarbete inom offentlig sektor driver Energimyndigheten ett program som heter *Uthållig kommun* där Lund är en av de 37 deltagande kommunerna. Det innefattar bl.a. kunskapsöverföring och projektmedel inom temaområdet *Energismart Planering*. Från tidigare erfarenhet inom programmet är det viktigt att så tidigt som möjligt engagera energibolagen i planeringsprocessen för att lättare hitta bra systemlösningar och nå kommunernas mål inom energi- och klimatområdet (Energimyndigheten, 2014).

Lunds kommun driver därför ett projekt med titeln *Fjärrvärmens roll i ett hållbart Lund* tillsammans med Kraftringen Energi AB, det kommunalägda energibolaget som äger el- och fjärrvärmenätet inom Lunds kommun. Projektets syfte är att undersöka var inom Lunds kommun det ur ett hållbarhetsperspektiv är lämpligt att ansluta till fjärrvärme och var det inte är det samt vilka miljökrav som kan ställas på val av uppvärmningssätt. Projektet syftar även till att genom kunskapsspridning skapa större samsyn kring fjärrvärmen i kommunen. Det är här kundperspektivet kommer in i bilden: hur påverkar en fastighetsägares val av uppvärmningssystem hållbarheten inom kommunen?

1.2 Syfte

Syftet med den här studien är att ur ett hållbarhetsperspektiv analysera uppvärmningsalternativ inom Lunds kommun. Hållbarhetsanalysen innefattar en jämförelse av fjärrvärme, bergvärmepump och luft/vatten-värmepump ur en ekonomisk, miljömässig och socioekonomisk synvinkel.

1.3 Metod

Den här studien bygger på en litteraturstudie samt egna beräkningar. En hållbarhetsanalys består av tre delar; ekonomi, miljö och socioekonomiska effekter.

- Den ekonomiska analysen består av en livscykelskostnadsanalys (LCC).
- För att beräkna miljöpåverkan utförs en konsekvensanalys som kvantifierar den framtida effekten av de studerade valalternativen. Dessutom utförs en jämförelse ur ett bokföringsperspektiv med historisk uppmätt data.
- För de socioekonomiska effekterna utförs en kvalitativ analys baserad på studerad litteratur. Dessutom approximeras resultatet från en befintlig studie till Lunds kommun.
- För att undersöka vilka faktorer som är styrande för resultatet genomförs även en känslighetsanalys på den ekonomiska och miljömässiga jämförelsen.

1.4 Avgränsningar

Studien avgränsar sig till att analysera uppvärmningsalternativen fjärrvärme, bergvärmepump och luft/vatten-värmepump. Fastighetstyperna som undersöks i den ekonomiska jämförelsen är ett småhus, ett mindre flerbostadshus samt ett större flerbostadshus. Studien avgränsar sig geografiskt till att endast innefatta Lunds kommun. Utgångspunkten är att en värmekund står inför ett val av uppvärmningssystem och analysen ämnar kvantifiera konsekvensen av de olika valalternativen över den tiden som uppvärmningssystemet bedöms vara i drift. Konsekvensanalysen utförs därför i ett framåtblickande perspektiv. Detta innebär för kostnadsanalysen att kunden inte kan tillgodoräkna sig tidigare investeringar i uppvärmningssystemet. Ur miljöperspektivet innebär det att kunden kommer att påverka marginalproduktionen av fjärrvärme respektive el. Som en jämförelse genomförs även en analys ur ett bokföringsperspektiv vilket innebär att medelproduktion och historisk uppmätt data används. De miljönyckeltal som används är klimatpåverkan och resurseffektivitet. Klimatpåverkan mäts som emissioner av koldioxidekvivalenter, $CO_{2\text{-}e}$, och resurseffektivitet som primärenergianvändning. De socioekonomiska effekterna analyseras kvalitativt ur ett regionalt perspektiv.

1.5 Disposition

Den här studien inleds med en problemformulering om hur det här projektet uppkom följt av syfte, metod och avgränsningar. Ett bakgrundskapitel där hållbarhet, uppvärmningstekniker och energisystem beskrivs inleder den här studien. Därefter följer ett kapitel som avhandlar tidigare jämförelser uppvärmningssystemen emellan. På detta följer ett kapitel om metodiken för den miljömässiga och kostnadsmässiga jämförelsen i den fallstudie som genomförts. De samhällsekonomiska och sociala effekterna har lyfts ut till ett eget kapitel då dessa diskuteras på ett mer regionalt plan. Efter det kommer ett kapitel med resultat och känslighetsanalys från den miljömässiga och kostnadsmässiga jämförelsen. Avslutningsvis följer en diskussion och slutsatser.

2 Bakgrund

I detta kapitel beskrivs inledningsvis begreppet hållbarhet. Därefter beskrivs de studerade uppvärmningsteknikerna och deras respektive energisystem.

2.1 Hållbarhet

Hållbar utveckling är en term som används för att beskriva en utveckling som ”tillgodoser dagens behov utan att äventyra kommande generationers möjligheter att tillgodose sina behov” (United Nations, 1987) och är fördelat på tre ben; ekologisk, ekonomisk och social hållbarhet. Socialt hållbar utveckling handlar om att bibehålla ett stabilt, demokratiskt, säkert och mångfaldigt samhälle där grundläggande mänskliga behov kan uppfyllas och där segregering, mänsklig ohälsa, fattigdom och ojämlikhet motverkas. Ekonomiskt hållbar utveckling handlar om hushållning; att maximera den nytta som fås ut genom användandet av resurser, såväl naturresurser som arbetskraft. Ekonomiskt hållbar utveckling kan också handla om ökad sysselsättning och tillväxt, vilket även knyter an till socioekonomiska effekter. Ekologiskt eller miljömässigt hållbar utveckling innebär att våra aktiviteter inte påverkar den miljö vi lever i, och är beroende av, så att den förstörs och inte kan återskapas. Exempel på indikatorer för ekologisk hållbarhet är bibehållande av ekosystemtjänster, biodiversitet, giftfria miljöer, rent vatten, klimat och orörd natur.

Genom den här studien knyts lokala resultat och mål om hållbarhet som Lunds kommun sätter upp till mål på nationell nivå, t.ex. de 16 nationella miljömålen samt Sveriges klimatpolitiska mål om utsläppsminskningar, energieffektiviseringar och mer förnybar energi (Naturvårdsverket, 2014). Dessa är i sin tur en del av de klimat- och energieffektiviseringsåtgärder som EU åttagigt sig, bl.a. genom Energieffektiviseringsdirektivet (2012/27/EU), EU:s åttaganden inom Kyotoprotokollet och genom den handel med utsläppsrätter som sker inom The European Union Emission Trading System, EU ETS. Allt detta grundar sig i den globala klimatregim som finns idag genom FN:s klimatkonvention United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. För att nå de internationella mål om hållbar utveckling, begränsade antropogena emissioner och en stabilisering av årsmedeltemperaturen som gemensamt beslutas inom UNFCCC är denna typ av analys viktig.

2.2 Miljö

Ett uppvärmningssystem påverkar miljön när energi omvandlas från råvara till nytta, en livscykel som ofta innefattar många steg. Eftersom påverkan sker på så många olika sätt och ställen måste avgränsningar göras, dels vid val av studerade miljöpåverkanskategorier men även i tid och rum. I detta stycke beskrivs vilka miljöpåverkanskategorier och avgränsningar som är relevanta för en miljömässig analys av uppvärmningssystem.

2.2.1 Miljöfaktorer

Framställning, distribution och energiomvandling av bränslen leder till emissioner av en rad olika ämnen som påverkar miljön på olika sätt, t.ex försurning, utsläpp av partiklar och klimatpåverkan. I rapporten *Miljökommunikation med nyckeltal och indikatorer* drogs

slutsatsen att de två bästa nyckeltalen för att beskriva fjärrvärmens miljöprestanda var resurseffektivitet och klimatpåverkan, vilket även knyter an till EU:s 20-20-20-mål om minskad primärenergianvändning, minskade koldioxidutsläpp och ökade andel förnybar energi (Gode, et al., 2012). I *Miljöfaktaboken 2011*, som är en omfattande sammanställning av påverkan från olika bränslen och kraftslag, redovisas också nyckeltalen klimatpåverkan och resurseffektivitet (Gode, et al., 2011). Värmemarknadskommitténs överenskommelse om redovisning av miljövärden för fjärrvärme säger också att resurseffektivitet och klimatpåverkan tillhör de viktigaste miljöfaktorerna (Värmemarknadskommittén, 2013). Med förankring i ovannämnda litteratur har den här studien fokuserat på just klimatpåverkan och resurseffektivitet för bedömningen av de olika uppvärmningsalternativens miljöprestanda. I detta stycke förklaras begreppen resurseffektivitet och klimatpåverkan närmare.

Resurseffektivitet

Resurseffektivitet är ett mått på hur effektivt ett system är på att producera nytta utifrån råvaror. Energiråvarorna kallas för primärenergi, och resurseffektiviteten mäts i primärenergianvändning. Primärenergi är energiråvaror i deras naturligt förekommande form; råolja, kol, biomassa, strömmande vatten, solljus etc. Primärenergianvändning är ett mått på hur mycket primärenergi som går åt vid framställningen av nyttig energi, under hela livscykeln. Detta kan beräknas som en kvot mellan total använd primärenergi och nyttiggjord energi som benämns primärenergifaktor, PEF. Denna faktor kan beräknas för olika former av nyttig energi: bränslen, värme eller elektricitet. PEF för bränslen beräknas enligt ekvation (1).

$$PEF_{bränsle} = \frac{PE_{utv} + PE_{för} + PE_{tpt} + PE_{bränsle}}{E_{bränsle}} \qquad (1)$$

Där PE_{utv} är primärenergin som går åt vid utvinning av bränslet, $PE_{för}$ den primärenergi som går åt vid förädling och PE_{tpt} den vid transporter. $PE_{bränsle}$ är primärenergiinnehållet i själva bränslet och $E_{bränsle}$ är det totala energiinnehållet i bränslet. De två sista skiljer sig eftersom all energi i bränslet inte alltid räknas som primärenergi. Ett exempel på detta är restprodukter, t.ex. avfall, där primärenergiinnehållet vanligen allokeras till ursprungsprodukterna (Gode, et al., 2011), därför får även avfall en PEF under 1. Detta är dock inte helt vedertaget utan det förs en debatt kring hur primärenergin i restprodukter bör allokeras (Gode, et al., 2012) (Gode, et al., 2012). Eftersom efterfrågan på en viss restprodukt, exempelvis sågverksspån, är större än utbudet så skapas incitament för att framställa mer sågverksspån och därmed är det inte längre endast en restprodukt, och då bör energiinnehållet i bränslet inte allokeras bort.

För att beräkna PEF för el- eller värmeproduktion måste hänsyn tas till omvandlingsförlusterna i kraft- eller värmeverket, och exempelvis kärnkraft har en PEF kring 3 (Gode, et al., 2011), eftersom en stor andel av energin i kärnbränslet kyls bort.

Primärenergifaktorn säger dock inte hela sanningen, eftersom den inte gör skillnad på vilken energiråvara som används för att producera den nyttiga energin. Därför brukar bränsle delas in i tre kategorier (Persson, et al., 2005):

- **Icke förnybara** — Olja, naturgas, kol och uran
- **Förnybara, icke fritt flödande** — Biobränslen, vattenkraft, avfall och

	spillvärme
• **Förnybara, fritt flödande**	Vindkraft, solkraft, strömmande vatten och vågor

Det är vanligt att utöver PEF ange hur stor andel av primärenergin som är av fossilt ursprung, för att få en mer komplett bild av resursutnyttjandet. De fritt flödande, förnybara, primärenergikällorna brukar tilldelas en PEF under 1. Detta beror på att exempelvis vinden inte ”förbrukas” då vindkraft produceras. Däremot går en viss mängd primärenergi åt vid framställning och transport av vindkraftverk, och därför blir PEF för vindkraft strax över 0 (Gode, et al., 2011).

Klimatpåverkan

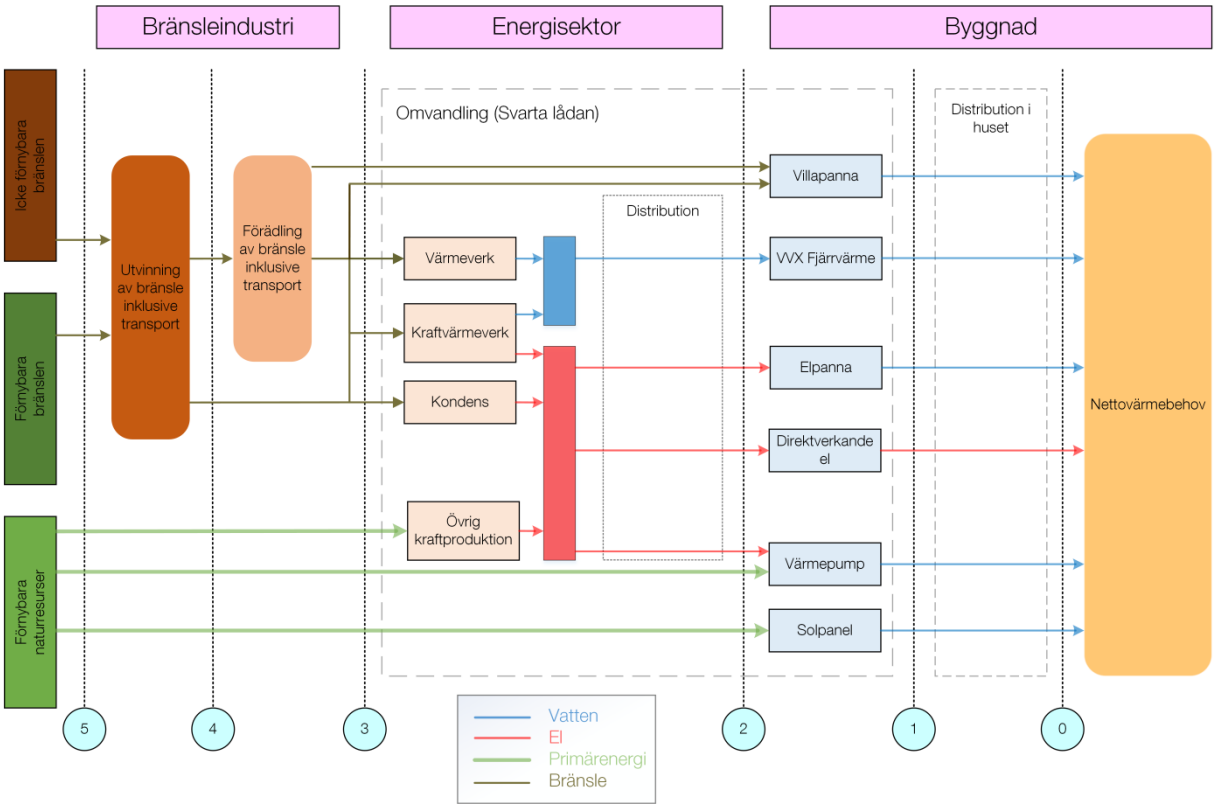
Bostads- och servicesektorn står för 38 % av Sveriges totala slutliga energianvändning varav uppvärmning står för nästan 60 % av den energianvändningen (Energimyndigheten, 2013). För att på ett så rättvist sätt som möjligt kunna jämföra olika uppvärmningssystems klimatpåverkan är det vanligaste sättet att jämföra emissioner av växthusgaser i form av koldioxidekvivalenter, $CO_{2\text{-}e}$, i förhållande till levererad nyttiggjord energi. Detta mäts i gram $CO_{2\text{-}e}$/kWh. Koldioxidekvivalenter är en gemensam måttenhet för alla växthusgaser omräknat till motsvarande mängd CO_2. När begreppet koldioxidutsläpp används i denna rapporten menas utsläpp av koldioxidekvivalenter.

Det är skillnad mellan fossila och biogena emissioner av koldioxid. De biogena emissioner som sker genom förbränning av biomassa tillhör kolets naturliga kretslopp och bidrar inte till en ökad växthuseffekt. De fossila utsläppen bidrar dock till en ökad växthuseffekt eftersom de tillför koldioxid till kretsloppet, det är alltså enbart utsläppen av fossil koldioxid som bidrar till en nettoklimatpåverkan.

2.2.2 Systemgränser

För att på ett så rättvist sätt som möjligt kunna redovisa energianvändning och därmed miljöpåverkan för olika uppvärmningssystem är det viktigt hur systemgränserna ansätts. Energiproduktion har olika stora överföringsförluster och miljöpåverkan beroende på vilken energiråvara och omvandlingsprocess som används. Mycket av förlusterna sker ofta innan produkten når slutkonsumenten, det är alltså viktigt att få med påverkan från energiråvarans hela flöde för en rättvis jämförelse.

Rapporten *Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning* utförd av ÅF – Energi & Miljö AB, på uppdrag av Energimyndigheten, syftar till att på ett rättvisande sätt kunna jämföra energianvändningen för byggnader med olika uppvärmningssystem (Persson, et al., 2005). I rapporten identifieras energivarans flöde från vagga till nettovärmebehov, detta visualiseras i Figur 1.



Figur 1. Energivarans möjliga flöden beroende på uppvärmningsalternativ samt möjliga systemgränser (Persson, et al., 2005).

Figuren visar de identifierade systemgränserna 0-5. Rapportens slutsats är att systemgräns 5, från vagga till uppvärmningsbehov, bör användas för att redovisa miljöpåverkan och primärenergianvändning från olika uppvärmningsalternativ samt systemgräns 1, en fastighets energibehov för ett specifikt uppvärmningsbehov, vid jämförelse av olika byggnaders energiprestanda. För att endast jämföra mängden köpt energi används systemgräns 2. Systemgränser innefattar även geografiska avgränsningar vilket behandlas i följande stycke.

2.2.3 Miljövärdering av energi

Eftersom energisystemet är stort och komplext kan det vara svårt att säga vilken väg energin tagit från källa till nytta för en enskild användare av systemet. Miljöpåverkan från enskilda kunders energikonsumtion över tid och rum avgörs till stor del av vilka avgränsningar och vilket perspektiv studien har. Till exempel är det svårt att veta hur energisystemet utvecklas i framtiden och därför blir det svårt att miljövärdera framtida energianvändning. I detta stycke beskrivs olika sätt att miljövärdera energianvändning och allokeringsprinciper för produktion och användning.

Konsekvens eller bokföring

I en valsituation är det ofta av intresse att studera konsekvenserna av de olika alternativen. Detta kallas för en konsekvensanalys och innebär en undersökning av vilka effekter som följer av en förändring, eller störning, i ett system. Detta skiljer sig från det som brukar kallas bokföring, vilket är en analys av ett existerande system i dess nuvarande utformning. En ny kund på värmemarknaden som väljer mellan fjärrvärme eller värmepump medför en extra belastning på antingen elsystemet eller fjärrvärmesystemet, vilket i sin tur kräver en

anpassning av respektive system. En konsekvensanalys ämnar försöka kvantifiera effekten av den förändringen. En bokföring innebär en beräkning av den totala, eller genomsnittliga, påverkan från fjärrvärmesystemet respektive elsystemet baserat på historiskt uppmätta värden. När energiföretag redovisar miljöpåverkan rekommenderas vanligen att ett bokföringsperspektiv används men när en förändrad energianvändning skall miljövärderas rekommenderas att en konskevensanalys genomförs (Erlandsson, et al., 2014).

Marginal eller medel

Vid konsekvensanalyser används så kallade marginalbetraktelser. Både el och fjärrvärme produceras från många olika energikällor inom samma system. På kort sikt blir konsekvensen av en störning att en eller flera produktionsanläggningar inom systemet får anpassa sin drift. En extra kund innebär att mer el eller värme måste produceras och detta görs i en anläggning som för stunden har outnyttjad kapacitet, vilket vanligen är den anläggningen i drift vid det givna tillfället med den högsta rörliga produktionskostnaden. Den extra elen eller värmen kallas för marginalenergi och kommer alltså från det produktionsslag som vid ett givet tillfälle kan tillgodose ytterligare en enhet efterfrågad energi. Med ett bokföringsperspektiv beräknas miljöpåverkan utifrån medelproduktion, den genomsnittliga elen eller värmen från alla produktionsanläggningar i systemet. De olika perspektiven leder till olika miljövärdering av energianvändning eftersom miljöpåverkan från marginalproduktion kan skilja sig från miljöpåverkan från medelproduktion.

Med ett bokföringsperspektiv, vilket innebär att medeldata används, går det att få ett tydligt resultat eftersom uppmätta data på ett existerande system används. Dock måste ställning tas till vilken systemgräns som ska ansättas. Rent tekniskt är större delen av Europas elnät sammankopplat med överföringsledningar och det går därför att argumentera för att den europeiska elproduktionen bör fördelas jämnt över alla europeiska elanvändare. Det går även att argumentera för att all el som handlas på en gemensam elbörs bör fördelas jämnt över kunderna i de deltagande länderna. Slutligen går det att hävda att svenska kunder delar på den svenska elmixen, eftersom användarna kan påverka producenterna genom lagar och styrmedel. (Sköldberg, et al., 2006)

När medeldata används fördelas ansvaret för systemets miljöpåverkan jämnt på alla som utnyttjar systemets tjänster och ingen står som enskilt ansvarig för eventuella störningar i systemet. Risken med att använda ett bokföringsperspektiv är att konsekvensen av förändringar i ett system underskattas. Med ett marginalperspektiv tas hänsyn till den faktiska förändringen som sker till följd av störningen. Dock är det svårt att förutsäga vad den faktiskta förändringen blir, och det finns dessutom inget vedertaget sätt att definiera vad som är marginalel eller marginalfjärrvärme.

Driftsmarginal (kortsiktiga marginaleffekter)

Ett vanligt sätt att definiera marginalproduktion är den så kallade driftsmarginalen, som beskrivs i stycket ovan. Driftmarginalen utgörs av den för stunden dyraste produktionsanläggningen i drift, inom det befintliga systemet, och är därför en specifik produktionsanläggning i varje givet ögonblick.

Driftmarginalen kan skifta från timme till timme eller månad till månad och det är vanligt att uppskatta driftsmarginalen som det produktionsslag som oftast är på marginalen under ett år. I elsystemet kan det vara svårt att säga exakt vilken anläggning som är på marginalen eftersom det är ett integrerat europeiskt system som hänger samman via överföringsledningar. Därför kan vattenkraft vara driftsmarginalen i Sverige och samtidigt exporteras el till exempelvis Danmark där effekten i ett kolkraftverk kan minskas. En extra kund i Sverige kan då leda till minskad export av vattenkraft och därmed ökad produktion av kolkondens i Danmark. Att bestämma marginalproduktionen avgörs därför av hur systemgränserna ansätts. Vad gäller vattenkraft har den en möjlighet att ersätta annan produktion i både tid och rum beroende på att vattenmagasinen, med viss begränsning, kan ses som ett stort energilager. Även om vattenkraften skulle vara driftsmarginal i ett givet ögonblick så innebär en extra kund att möjligheten att ersätta annan produktion vid ett senare tillfälle försvinner eftersom den lagrade mängden energi har minskat.

I ett fjärrvärmenät är det oftast lättare att avgöra driftsmarginalen än i ett elnät i och med att systemet är så pass mycket mindre och mer överskådligt. En skillnad mellan el och värme är att värme till viss del kan lagras medan el produceras och konsumeras momentant. Detta påverkar driftsmarginalen i ett fjärrvärmenät med samma resonemang som för vattenmagasinen.

Utbyggnadsmarginal (långsiktiga marginaleffekter)

Så kallad utbyggnadsmarginal tar hänsyn till att en störning av systemet ger upphov till en förändring av själva systemet och inte bara en förändring i driften av det befintliga systemet. På sikt blir detta konsekvensen av alla störningar, stora som små, hur systemet förändras kan dock variera. Exempelvis kan en ökad efterfrågan på el på sikt leda till en utbyggnad av vindkraft eller kolkondens eller en blandning av de båda. För att besvara den frågan måste en rad antaganden om framtiden göras; utvecklingen av teknik, råvarupriser, styrmedel etc. Ett exempel på styrmedel som påverkar utbyggnadsmarginalen är det svensk-norska elcertifikatsystemet som har en kvotplikt för förnybar elproduktion. Systemet innebär att motsvarande kvot av den elproduktion som byggs ut för att täcka det ökade behovet enligt lag måste vara förnybart. Ett sätt att beräkna utbyggnadsmarginalen är att använda en energisystemmodell som simulerar energisystemets utveckling.

Komplex marginal (dynamisk förändringseffekt)

Dynamisk förändringseffekt eller komplex marginal är en sammanslagning av driftsmarginal och utbyggnadsmarginal och är alltså ett försök att kvantifiera exakt vad som händer i el- eller värmeproduktionen vid en förändrad efterfrågan, eftersom en störning leder till både kortsiktiga och långsiktiga effekter. För att beräkna den komplexa marginalen används simuleringar med energisystemmodeller.

För det nordiska elsystemet finns en modell som heter MARKAL-NORDIC. I modellen simuleras den mest kostnadseffektiva utvecklingen av norra Europas elsystem utifrån en rad antaganden kring omvärldsutveckling såsom energiefterfrågan, styrmedel, bränslepriser och teknikutveckling. I rapporten *Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion – modellberäkningar* (Sköldberg & Unger, 2008) från Elforsk har effekterna av en förändrad

elanvändning/elproduktion med avseende på elproduktionsmixen och koldioxidutsläppen analyserats med hjälp av MARKAL-NORDIC. För att kvantifiera effekten av en störning körs två simuleringar, en med störningen och en utan, där effekten av störningen då kan beräknas som differensen mellan de två simuleringarna. Simuleringen innefattar både att befintliga anläggningar körs annorlunda (driftmarginal) och att anläggningar byggs eller stängs (utbyggnadsmarginal).

Motsvarande verktyg existerar även för enskilda fjärrvärmenät. Verktyget heter martes och är utvecklat av konsultbolaget Profu. Martes utgår från en belastningskurva för det specifika fjärrvärmenätet och kopplar till den de produktionsanläggningar som finns eller antas finnas i nätet. Utifrån de enskilda anläggningarnas rörliga produktionskostnad beräknas den mest kostnadseffektiva produktionsmixen. Martes ger en högupplöst bild av produktionen då resultatet är uppdelat i dag- och nattperioder för varje dygn under året.

Marginalbränslen

Marginalbetraktelser kan användas för att bestämma vilken produktionsteknik som skall allokeras till vilken förbrukning. Miljöpåverkan i sin tur kommer till största del från det bränsle som används i anläggningen, men en typ av bränsle kan ha olika påverkan beroende på ursprung. Vid miljöpåverkansberäkningar används vanligen LCA-data för bränslen. Dessa data har sin grund i historiska mätningar och kan sammanfattas i miljöfaktorer för de olika bränslena. De anger genomsnittliga värden och säger inget om vad som händer vid en ökad efterfrågan på dessa bränslen. I ett marginalperspektiv kan en störning innebära att ett visst kraftverk måste öka sin produktion, och det extra bränslet som behövs kan leda till en utökad produktion eller utvinning av den typen av bränsle. I fallet biobränslen kan det innebära att bränslen behöver importeras eller att obrukad mark tas i anspråk för odling av just biobränslen då befintliga odlingar och restprodukter inte längre är tillräckliga för att tillgodose efterfrågan (Gode, et al., 2012). Exempelvis anses i rapporten *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet* att marginaldata för bränslen bör användas vid beräkningar av marginalfjärrvärme (Gode, et al., 2012).

Ursprungsgaranterad el

I lagen om ursprungsgarantier för el (2010:601) står att all elproduktion, såväl kolkraft som vindkraft, har rätt att tilldelas ursprungsgarantier för sin elproduktion. I Sverige hanteras detta av Energimyndigheten. Denna garanti kan sedan handlas, separat från den fysiska elen, på en marknad styrd av utbud och efterfrågan. Elkunder kan alltså tillsammans med den fysiska elen välja att även köpa ursprungsgarantier för en viss typ av elproduktion. Den ursprungsgaranterade elens miljövärden bokförs då på de elanvändare som valt att köpa ursprungsgaranterad el. Lagen är sprungen ur ett gemensamt EU-direktiv med syftet att skapa en mer transparent och gemensam elmarknad där elens ursprung lättare kan spåras och dess miljövärden bokföras. Idag kostar ”förnybar el” för kunder hos Kraftringen 1 öre/kWh i tillägg till det vanliga elpriset (Kraftringen, 2014). Den extra kostnaden som tillkommer är liten i relation till det totala elpriset och frågan huruvida den extra intäkten till producenter av förnybar el förändrar elproduktionens sammansättning. Ursprungsgaranterad el kan användas vid miljövärdering av elanvändning men det ifrågasätts huruvida det är riktigt att göra så, framförallt då det handlar om en valsituation som leder till en förändrad elanvändning (Gode,

et al., 2009). Detta beror på att det momentant inte sker någon förändring i elproduktionen när en kund väljer ursprungsgaranterad el, det byggs exempelvis inte några nya vindkraftverk direkt en kund väljer att köpa vindkraftsel. Den kortsiktiga driftsmarginalen är alltså densamma oavsett om kunden köper ursprungsgaranterad el från vind eller kolkraft. Huruvida utbyggnadsmarginalen påverkas beror på om ursprungsmärkningen ger några ekonomiska incitament till att bygga ut elproduktionen av ett specifikt kraftslag sett ur ett längre tidsperspektiv.

All ”omärkt” el, alltså el som saknar ursprungsmärkning, kallas samlat för residualmixen av elproduktionen. Denna elen är det som blir över när all ursprungsmärkt el räknats bort från den totala elmixen. I Sverige är det Energimarknadsinspektionen som ansvarar för att beräkna residualmixen (Energimarknadsinspektionen, 2011).

Det finns även andra miljömärkningar på el, t.ex. bra miljöval, där en extra avgift tas ut som går till olika fonder som sponsrar miljöarbeten knutna till elproduktion och elanvändning, exempelvis energieffektiviseringsprojekt. Bra miljöval påverkar alltså inte direkt själva elproduktionsmixen men bidrar till att göra den mer hållbar ur miljösynvinkel. Bra miljöval el kostar 2,5 öre/kWh (Kraftringen, 2014).

Det finns idag även många elhandlare som erbjuder sina kunder så kallade vindandelar. Det innebär att kunden betalar en extra avgift för elen och blir därmed medlem i ett kooperativ som äger eller bygger nya vindkraftverk. Det finns flera mindre kooperativ och priset varierar. Denna typ av ”miljömärkning” har möjlighet att leda till ökad andel vindkraft i elproduktionsmixen förutsatt att kooperativen använder pengarna till nybyggnation.

På motsvarande sätt som med ursprungsmärkt el är det möjligt att allokera fjärrvärme. Då skulle det vara möjligt att sälja t.ex. ursprungsmärkt spillvärme eller värme från bioeldade kraftvärmeverk. Kraftringen har dock inget sådant system idag.

Allokeringar i produktionen

Många gånger produceras flera energiformer i en och samma anläggning, t.ex. kraftvärmeverk eller värmepumpar som producerar både fjärrvärme och fjärrkyla. I dessa anläggningar måste miljöpåverkan fördelas på de olika produkterna vilket kan ske enligt olika principer. Det kan t.ex. ske antingen genom ekonomisk allokering, energiallokering eller med alternativproduktionsmetoden. Ekonomisk allokering innebär att produkterna får bära miljöbelastningen i förhållande till deras respektive ekonomiska värde. Energiallokering innebär att påverkan fördelas efter hur mycket energi som produceras av respektive slag. Mer om olika allokeringsprinciper för kraftvärme står skrivet i rapporten *Kraftvärmeallokeringar – en översikt* (Martinsson, et al., 2012).

Den mest vanligt använda när det kommer till kraftvärme (i Sverige), och den metod som rekommenderas av både Svensk Energi och Svensk Fjärrvärme, samt anvisas i reglerna för miljövarudeklarationer och rekommenderas i GHG-protokollets riktlinjer, är alternativproduktionsmetoden (Martinsson, et al., 2012). Metoden går ut på att jämföra kraftvärmeproduktion med separat el och värmeproduktion. Den ökade nyttan som fås av samproduktion fördelas på elen och värmen vilket leder till att båda gynnas av metoden.

2.3 Ekonomi

Den ursprungliga definitionen av ekonomi är läran om hushållande med resurser i ett tillstånd av knapphet. Detta kan också formuleras som att få ut största möjliga värde av minsta möjliga insats, vilket kan appliceras på en privat- eller företagsmässig investering, t.ex. införskaffandet av ett uppvärmningssystem.

Ekonomisk hållbarhet kan tolkas på olika vis beroende på vilken utgångspunkt som väljs. Ekonomisk hållbarhet förknippas i Brundtlandkommissionen med ekonomisk tillväxt. Detta anses av vissa vara oförenligt med ekologisk hållbarhet i det långa loppet, då tillväxt driven av ökande konsumtion får som konsekvens att materiella uttag ur ekosystemen ökar. Ett annat synsätt på ekonomisk hållbarhet är en långsiktig hushållning med mänskliga och materiella resurser. Tillsammans leder dessa två synsätt till att en förutsättning för att uppnå en långsiktig ekonomisk hållbarhet blir att väga in kostnaden för utsläpp och uttag av ändliga resurser i den ekonomiska kalkylen. En ekonomisk hållbarhet kan även innebära en politik som drivs för att hålla ekonomin i ett samhälle stabil över tiden, vilket även det är fundamentalt för en hållbar utveckling.

Att konsumera hållbart ur ett privatekonomiskt perspektiv behöver dock inte vara särskilt komplicerat. Här handlar det om att ha sin egen, eller företagets, ekonomi i balans. En kund som står inför ett val av uppvärmningssystem begränsas i regel av sin privat- eller företagsekonomi. Det som är privatekonomiskt mest hållbart inom ramarna för den här studien blir ur ett nyinvesteringsperspektiv det uppvärmningssystem med den lägsta kostnaden i förhållande till önskad nytta.

2.4 Socioekonomiska effekter

Socioekonomiska effekter av hållbarhet handlar om att tillgodose mänskliga behov och motverka orättvisor. Hur valet av uppvärmningssystem påverkar detta är inte direkt uppenbart och framförallt svårt att kvantifiera. En viktig del i de socioekonomiska effekterna är sysselsättning och tillväxt. Parametrarna är lättare att kvantifiera än övriga socioekonomiska effekter då de går att mäta direkt i ett ekonomiskt värde. Dessa effekter ligger egentligen i gränslandet mellan sociala och ekonomiska effekter.

Övriga sociala effekter som kan tänkas påverkas vid val av uppvärmningssystem kan vara områden som leveranssäkerhet, tillgänglighet, användarvänlighet och sociala effekter i leverantörskedjan. Dessa effekter knyter direkt an till möjligheten att tillgodose mänskliga behov och motverka orättvisor.

En regionalt hållbar utveckling innebär förutom sysselsättning och mänskliga behov ett effektivt användande och hushållande av de resurser som finns tillgängliga i ett samhälle. I detta perspektiv finns det områden så som avfall, bränslen, industriell spillvärme, kapacitet i elnät, flexibilitet i energisystem och fjärrkyla som påverkas, och kan bidra till en ökad eller minskad regional hållbarhet, vid val av uppvärmningssystem.

Socioekonomisk påverkan från den enskilda individens val av uppvärmningsssystem är svårkvantifierade. Däremot har de aggregerade effekterna av flera individers val en tydligare

påverkan. Därför kan socioekonomiska effekter analyseras på en regional skala istället för på individnivå genom att ställa frågor som: vad blir de socioekonomiska effekterna om alla invånare i kommunen väljer värmepumpar som uppvärmningssystem?

2.5 Uppvärmningstekniker

År 2011 stod uppvärmning av bostäder och lokaler för ungefär 77 TWh, vilket motsvarar 20 % av den totala slutgiltiga energianvändningen i Sverige. Effektivare uppvärmningssystem i kombination med energieffektiviseringar i byggnader gör att den siffran minskar år för år. Utfasningen av oljepannor till förmån för värmepumpar och fjärrvärme är en av de bidragande orsakerna. Fjärrvärme och elvärme står i dagsläget för 81 % av den totala slutliga energianvändningen till uppvärmning (Energimyndigheten, 2013). I det här kapitlet beskrivs de två jämförda uppvärmningsteknikerna, fjärrvärme och värmepump.

2.5.1 Fjärrvärme

Fjärrvärme är en teknik för att tillgodose uppvärmningsbehov i byggnader och uppvärmning av tappvarmvatten. Värmen fördelas genom ett värmemedium, vanligen vatten, som cirkulerar i rörledningar mellan en eller flera produktionsanläggningar och kunderna. Värmen kan produceras på olika sätt: i värmeverk, av spillvärme från industriella processer, med värmepumpar eller i kraftvärmeverk. Hos kunden finns en fjärrvärmecentral där värme från vattnet i fjärrvärmenätet överförs via en värmeväxlare. Värmeväxlaren består av två separata men tätt sammanfogade rör där värmen i vattnet från fjärrvärmenätet överförs till värmevatten för radiatorer och till en tank för tappvarmvatten. Det är alltså tre skilda vattenburna system det rör sig om. En vanlig typ av värmeväxlare i dagens fjärrvärmecentraler är plattvärmeväxlare. När värmen överförts till kunden recirkuleras fjärrvärmevattnet sedan till produktionsanläggningen, via distributionsnätet, där det återigen värms upp. Fjärrvärmecentralen dimensioneras efter fastighetens behov av tappvarmvatten och uppvärmning, men även utifrån att den ska åstadkomma avkylning av fjärrvärmenätet. Verkningsgraden hos en fjärrvärmecentral och värmesystem inom fastigheten är hög och nästan helt oberoende av utomhustemperaturen.

2.5.2 Värmepump

Värme flödar spontant från varmare till kallare platser. En värmepump åstadkommer det motsatta, den överför värme från ett ställe med låg temperatur till ett med hög temperatur. För att åstadkomma detta behövs ett så kallat kylmedium och en kompressor. Kylmediet används för att, med hjälp av fasövergång mellan gas- och flytande form, flytta energi. Kompressorn, som normalt sett (i hemmaapplikationer) drivs av elektricitet, ändrar trycket och därmed kokpunkten på kylmediet. Kylmediet skickas i vätskeform med lågt tryck till den kalla sidan, där övergår det till gasform och absorberar energi. Därefter passerar kylmediet kompressorn, som höjer trycket på gasen. Mediet passerar den varma sidan där det övergår i flytande form, vilket avger energi. I expansionsventilen sänks trycket på det arbetande mediet igen innan det åter passerar den kalla sidan.

Värmefaktor

Värmepumpens styrka är att den kan flytta större mängder värmeenergi än den mängd elenergi som krävs för att driva den. Kvoten dem emellan brukar kallas värmefaktor eller Coefficient of Performance, COP. För en modern värmepump kan värmefaktorn ligga kring 4 (Energimyndigheten, 2012) vilket innebär att för varje kW eleffekt erhålls 4 kW värmeeffekt. Värmefaktorn anges för en specifik temperaturskillnad mellan den varma och den kalla sidan.

Eftersom värmefaktorn varierar med temperaturskillnaden är den inte konstant året runt. För att kunna räkna med en genomsnittlig verkningsgrad brukar därför en årsvärmefaktor, Seasonal Performance Factor (SPF) användas. SPF varierar enligt ekvation (2):

$$SPF = \frac{\sum Q_{månad}}{\sum W_{månad}} \qquad (2)$$

Där $Q_{månad}$ står för uppvärmningsbehovet för respektive månad och $W_{månad}$ för elförbrukningen per månad. Uppvärmnings- och tappvarmvattenbehovet varierar under året med temperaturen vilket innebär att kompressorn i värmepumpen får arbeta olika mycket olika månader, det skapas alltså en differentierad elförbrukning över året. SPF tar hänsyn till månadsvariationerna i behov och förbrukning då den dividerar den sammanlagda summan av de båda faktorerna.

En annan faktor som påverkar värmepumpens årsvärmefaktor är vilket värmesystem som finns i fastigheten. Värmepumpar arbetar bäst vid en låg temperaturskillnad mellan den varma och kalla sidan. Om kunden har ett lågtemperatursystem, så som golvvärme, gynnar detta värmepumparnas årsvärmefaktor i jämförelse med vattenburna radiatorer. För att förtydliga handlar det alltså inte om fjärrvärmedistribution i lågtemperaturnät utan kundens värmesystem i fastigheten.

Värmekällor för värmepumpar

En värmepump fungerar bäst då skillnaden mellan inne- och utetemperaturen är så låg som möjligt. Detta beror på att det krävs en mindre tryckssskillnad, och därmed mindre elektricitet, för att kylmediet ska kunna genomgå fasövergångarna. När värmepumpar används för att värma bostäder motsvaras den varma sidan av inomhusluften eller vattnet som cirkulerar i radiatorerna i huset. Den kalla sidan motsvaras i det enklaste fallet av utomhusluften. Eftersom utetemperaturen varierar över året varierar även temperaturskillnaden som värmepumpen jobbar med, och därmed även dess effektivitet. En riktigt kall dag kan värmepumpen därför dra nästan lika mycket elektricitet som mängden värmeenergi som den lyckas flytta och får därmed en värmefaktor strax över 1. Detta kan undvikas genom att använda en källa med jämnare temperatur som kall sida. Detta kan exempelvis vara grundvatten, sjövatten eller ytjordvärme.

Dimensionering av värmepump

En värmepump brukar dimensioneras efter husets effektbehov och energianvändning, detta i sin tur är beroende av husets ålder, storlek, önskad inomhustemperatur och geografiskt läge. Enligt *Energimyndighetens sammanställning av värmepumpar för småhus* (Energimyndigheten, 2007) bör en värmepump med en avgiven effekt på 60–70 procent av

husets maximala effektbehov (gäller ej för frånlufts- eller luft/luftvärmepump) väljas, vilket resulterar i att cirka 90 procent av årsenergibehovet täcks. Det resterande värmebehovet täcks med hjälp av elpatron/elkassett, så kallad spetsel. Husets effektbehov är den effekt som behövs för att värma fastigheten under årets kallaste dag. Det lönar sig oftast inte att dimensionera värmepumpen till det maximala effektbehovet då det innebär en extra kostnad samt onödigt slitage eftersom den får gå ojämnare. Ett genomsnittligt hus med ett uppvärmningsbehov på 20 000 - 21 000 kWh/år har ett effektbehov på 8-10 kW enligt Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2012) (Energimyndigheten, 2002).

Prestanda hos Värmepumpar

Prestandan hos olika typer av värmepumpar varierar som tidigare nämnt med klimatet och påverkar mängden köpt energi. Enligt Europakommissionens beslut om riktlinjer för värmepumpsteknik (2013/114/EU) ligger det rekommenderade värdet för årsvärmefaktorn på 3,5 för en bergvärmepump och 2,5 för en luft/vatten-värmepump i kallt klimat (den klimatzonen som täcker in södra Sverige) (EU, 2013). Energimyndigheten har utfärdat test i labbmiljö för både bergvärmepumpar och luft/vatten-värmepumpar.

För bergvärmepumpstestet undersöks två hus med olika energibehov, 24 200 kWh/år och 34 300 kWh/år, där 4 200 kWh/år beräknas gå till tappvarmvattenberedning. Testen utfördes med en årsmedeltemperatur på + 6°C (Europeisk standard för kallt klimat) och både för ett hus med golvvärme och för ett med vattenburna radiatorer. Antalet testade bergvärmepumpar är nio stycken, testen är utförda i november 2014 samt april 2014. Resultatet från testet varierar enligt Tabell 1. (Energimyndigheten, 2012)

Tabell 1. Uppmätta testvärden för 9 olika bergvärmepumpar beroende på uppvärmningsbehov och värmesystem (Energimyndigheten, 2012).

	24 200 kWh/år		34 300 kWh/år	
	Radiatorer	Golvvärme	Radiatorer	Golvvärme
Lägsta testvärde	2,8	3,2	3,0	3,5
Högsta testvärde	3,8	4,7	4,1	5,0
Medelvärde	3,3	4,0	3,5	4,3

I testet för luft/vatten-värmepumpar är undersöks tre uppvärmningsbehov: 15 000 kWh/år, 25 000 kWh/år och 35 000 kWh/år på ett hus beläget i södra Sverige med en årsmedeltemperatur på + 6°C. Husets värms upp med hjälp av radiatorer och el används som tillsats då värmepumpen inte klarar husets värmebehov. Antalet testade luft/vatten-värmepumpar är 17 stycken, testen har utförts mellan december 2006 och september 2013. Resultatet från testet varierar enligt Tabell 2. (Energimyndigheten, 2014)

Tabell 2. Uppmätta testvärden för 17 olika luft/vatten-värmepumpar beroende på uppvärmningsbehov (Energimyndigheten, 2014).

	15 000 kWh/år	25 000 kWh/år	35 000 kWh/år
Medelvärde	2,8	2,6	2,4

2.6 Energisystem

Uppvärmning med fjärrvärme och värmepump använder sig av två separata produktions- och distributionssystem. I följande stycken ges en beskrivning av de två systemen, vilka produktionsanläggningar och bränslen som används och vad prognosen är för framtida utveckling av de båda systemen.

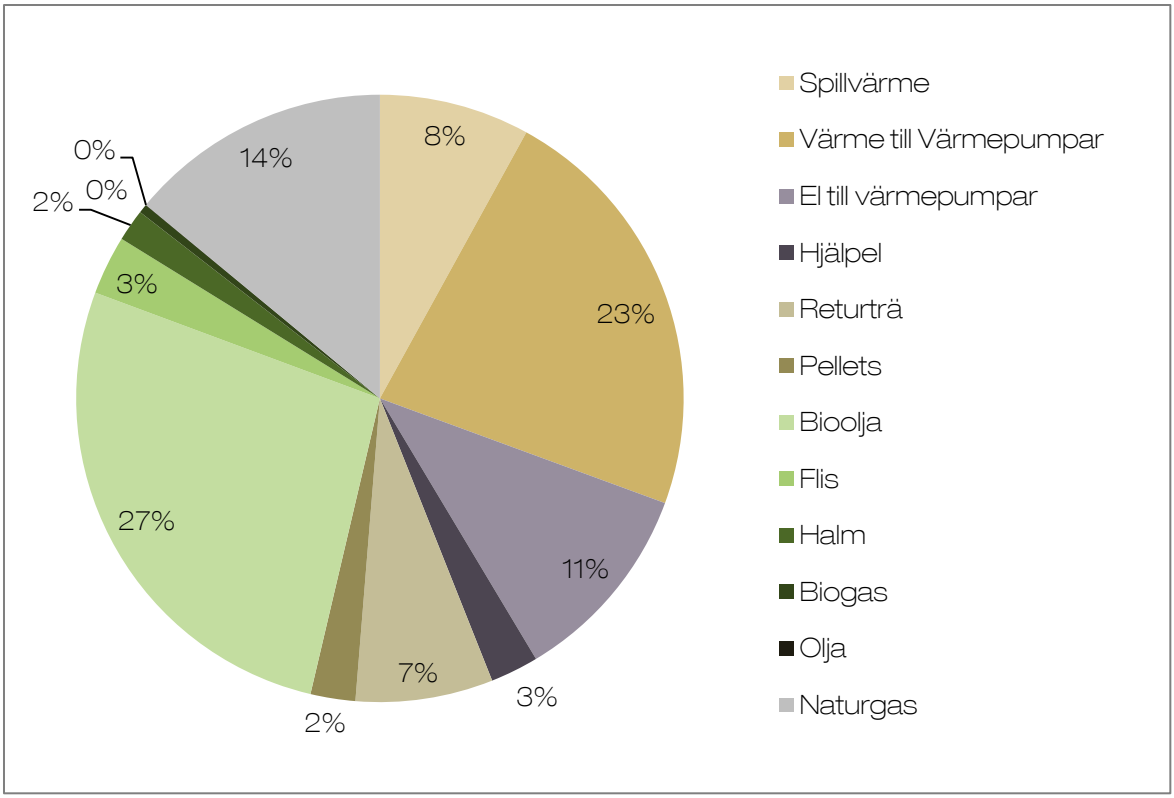
2.6.1 Fjärrvärmenätet i Lunds Kommun

Kraftringen äger fjärrvärmenätet som omfattar Eslöv, Lomma och Lund. Årligen distribueras knappt 1 TWh fjärrvärme i nätet och produktionen sker idag i följande anläggningar; Gunnesboverket, Södra verket och Ångkraftverket i Lund, Örtoftaverket i Örtofta, Värmeverket i Eslöv och Återbruket i Lomma.

På Gunnesboverket finns flera olika produktionsanläggningar och värmen kommer från olika bränslen/källor: bioolja, naturgas, pellets och geotermi. Det finns även en stor ackumulatortank på Gunnesboverket med en kapacitet på 1000 MWh som kan användas som energilager för att jämna ut driften i anläggningarna. Vid Södra verket utvinns värme ur avloppsvattnet som kommer till det anslutande reningsverket. Här produceras både fjärrvärme och fjärrkyla och det finns även en naturgaspanna som körs när behovet av värme är extra stort. Ångkraftverket producerar fjärrvärme och fjärrkyla med värmepumpar och det finns även reservanläggningar för produktion av värme till fjärrvärmenätet samt el till sjukhuset vid eventuella strömavbrott.

Eslöv och Lomma är sammankopplade med Lund via värmeväxlare som gör att värme kan skickas eller tas emot mellan näten. Återbruket i Lomma är ett kraftvärmeverk som producerar el och värme med en panna där det eldas returträ. Den mesta värmen i Eslöv kommer i dagsläget från spillvärme från Örtofta sockerbruk men värme levereras även från bioolja, naturgas, flis, halm och avloppsvatten.

Figur 2 visar fjärrvärmeproduktionen för 2013 fördelat på energiinnehåll i ingående bränslen.



Figur 2. Fjärrvärmeproduktionen år 2013 fördelat på bränsle.

Av de ingående bränslena är det olja, naturgas och bioolja som är dyrast, följt av värmepumpar, essa står oftast för driftsmarginalen.

Prognoser för Lunds fjärrvärmenät

Lunds fjärrvärmenät är mitt uppe i en större omställningsprocess som kommer att pågå under flera år framöver. I december 2013 togs Örtoftaverket i drift, vilket är ett kraftvärmeverk som eldas med skogsbränsle och returträ samt torv. Anläggningen kommer årligen producera omkring 500 GWh, motsvarande hälften av värmebehovet i nätet. Driftsstyrningen av övriga anläggningar har under den här studiens gång förflyttats från Gunnesbo till Örtofta. Andra omställningar som fjärrvärmenätet i Lund står inför är att spillvärmeleveranserna från Örtofta sockerbruk upphör efter 2014 i och med att sockerbruket har effektiviserat sin process och minimerat de interna värmeförlusterna. Den nya forskningsanläggningen MAX IV beräknas leverera spillvärme motsvarande 40 GWh årligen med start under slutet av 2014. I och med anläggandet av European Spallation Source, ESS, kommer fjärrvärmenätet få tillgång till anläggningens spillvärme som antas uppgå till uppemot 200 GWh från år 2019. En planerad ledning för att sammankoppla Lund-Lomma-Eslöv-nätet med fjärrvärmenätet i Landskrona och Helsingborg kommer bland annat innebära att billigare värme importeras till Lund och minskar behovet av dyr marginalproduktion. Ledningen väntas vara inkopplad i slutet av 2016.

Den interna prognosen för energileveranser för perioden fram till år 2024 är att de kommer vara lika stora som idag. Detta beror på att en ökning i antal kunder tas ut av energieffektiviseringar hos befintliga. Samtidigt antas vissa produktionsanläggningar kunna

fasas ut, och i första hand handlar det om en minskning i användandet av biooljor och naturgas.

Bränslen i Kraftringens fjärrvärme

Bränslemixen i fjärrvärmenätet består till stor del av biobränslen, som delas in i primära och sekundära biobränslen (Värmemarknadskommittén, 2012). Ett primärt biobränsle har odlats i syfte att bli energiråvara, t.ex. salix och rörflen. Biomassa som uppstår som en restprodukt från skogs- eller jordbruksindustrin tillhör sekundära biobränslen och har inte framställts för energiändamål, t.ex. returträ, spån, halm.

Bränslemixen i Örtofta består av returträ, skogsflis och torv. Bränslet kommer i huvudsak komma från Skåne och södra Småland. Skogsbränsle och returträ tillhör sekundära biobränslen medan klassificeringen av torv är omdiskuterad. Enligt rapporten *Uthållig användning av torv* (SOU 2002:100) ska torv klassas som ett långsamt förnybart bränsle (Torvutredningen, 2002), något som även IPCC gör, däremot räknas koldioxidutsläppen från torv som fossila (IPCC, 2014).

Bioolja är förnybar olja framställd ur biomassa eller biologiska restprodukter. Den bioolja som Kraftringen använder idag kommer från restprodukter från Sverige och närliggande länder. Pellets är ett biobränsle som består av restprodukter från skogsbruket som torkas och komprimeras för att öka energiinnehållet i bränslet. Pellets är ett exempel på förädlade sekundära biobränslen, som alltså processerats i syfte att användas som bränsle. När det gäller svensk produktion av pellets så används nästan enbart sekundära biobränslen i processen vilket leder till relativt låga emissioner av koldioxidekvivalenter (Hagberg, et al., 2009).

Returträ, eller RT-flis, är ett sekundärt biobränsle bestående av exempelvis rivningsvirke och andra träprodukter. Returträ är avfallsklassat eftersom det kan innehålla exempelvis impregnerat trämaterial. Flis kan både innebära RT-flis som beskrivits ovan men även skogsflis. Skogsflis tillverkas ofta av GROT, grenar, rötter och toppar. Detta är icke kommersiellt brukbara träddelar som lämnats kvar vid avverkning och klassas därför som ett sekundärt biobränsle. Även halm är ett sekundärt biobränsle vars tillgång är direkt kopplad till jordbruket (Bioenergiportalen, 2008).

2.6.2 Elproduktionssystemet

Den energi som går åt för att driva värmepumpar är vanligen elektricitet och framförallt i värmepumpsapplikationer i bostäder.

I Sverige finns omkring 37 GW installerad elproduktionskapacitet, och vattenkraft utgör knappt hälften av det. Kärnkraft utgör en dryg fjärdedel, vindkraft står för cirka 8 % och resten består av förbränningsanläggningar: kraftvärme, gasturbiner och kondenskraft (Energimyndigheten, 2011). Dock så kan inte all den installerade effekten utnyttjas samtidigt, exempelvis produceras vindkraft enbart då det blåser och mängden vattenkraft som kan produceras beror på nederbörden. Av den totala producerade elen står kärnkraft för cirka 40 % och vattenkraft för 45 % och tillsammans utgör de baskraften i den svenska elproduktionen. Den svenska elproduktionsmixen har låg miljöpåverkan, framförallt ur klimatsynvinkel, då både vattenkraft, vindkraft och kärnkraft har mycket låga utsläpp av koldioxidekvivalenter.

Kärnkraften leder dock till en hög primärenergianvändning då en stor del av energin i kärnbränslet kyls bort och inte kommer till nytta.

Det svenska elnätet är sammankopplat med elnäten i Norge, Finland, Danmark, Tyskland och Polen via överföringsförbindelser och el kan både importeras och exporteras mellan länderna. Därför använder svenska elkunder inte bara el producerad i Sverige och det är svårt att bestämma var den enskilda kundens köpta el är producerad då all el blandas i nätet, precis som producerad fjärrvärme blandas i fjärrvärmeledningarna. Vid betraktande av den Nordiska elmixen kan det konstateras att Norges elproduktion är nästan uteslutande baserat på vattenkraft. I Finland består elproduktionen av en blandning av vattenkraft, kärnkraft och förbränningsanläggningar där det eldas biobränslen och fossila bränslen. Danmark har en stor andel kolkraftverk och även mycket vindkraft. Även i Tyskland och Polen står kolkraft för baskraften och Tyskland har på senare år fasat ur kärnkraften samt påbörjat en stor omställning till förnybar elproduktion. I dagsläget används kolkondens på driftsmarginalen i det Nordiska elnätet under i stort sett hela året (Gode, et al., 2009). Sverige har de senaste åren varit nettoexportör av el (Energimyndigheten, 2013) och den svenska elproduktionen hjälper därför att hålla nere mängden el producerad med kolkondens.

Prognoser för elproduktionssystemet

Utvecklingen av elproduktionssystemet kommer framförallt styras av politiska styrmedel, bränsleprisutveckling och hur stor efterfrågan på el är i framtiden. I Sverige finns ett förbud mot utbyggnad av vattenkraft så ny elproduktion kommer att vara av andra slag så länge förbudet ligger kvar.

För alla medlemsländer inom EU finns gemensamma direktiv som styr utvecklingen av elproduktionen inom länderna. Direktivet om främjande av förnybar energi (2009/28/EG) säger att 20 % av all energianvändning inom EU ska vara förnybar år 2020. Det är sedan upp till alla medlemsländer att med nationella styrmedel och lagar bidra till att målet uppnås. Ett annat direktiv som påverkar elproduktionen är handelssystemet för utsläppsrätter, EU-ETS (2003/87/EG), som omfattar både el- och värmeproducenter.

I Sverige är elcertifikatsystemet, som är gemensamt med Norge, det huvudsakliga styrmedlet som påverkar utvecklingen av förnybar elproduktion. Styrmedlet innebär förenklat att en viss kvot av all el måste vara förnybar samt att producenter av förnybar el subventioneras. Systemet har varit bidragande till den stora utbyggnaden av vindkraft i Sverige, framtida utveckling av förnybar elproduktion i Sverige kommer till stor del bero på hur elcertifikatsystemet utvecklas (Blomqvist, et al., 2008).

Hur EU-direktiven utformas och hur de implementeras nationellt kommer speglas i framtidens elproduktionssystem. Om priset på koldioxid och elcertifikat blir högt i förhållande till priset på el främjar det en utbyggnad av förnybar elproduktion. Detta styrs dels av kvotplikten i elcertifikatsystemet och mängden utsläppsrätter.

Bränsleprisutvecklingen kommer också att vara avgörande för vilken elproduktion som byggs ut i framtiden. Sedan 1970-talet och den första oljekrisen, som innebar kraftigt ökade oljepriser, har olja som bränsle till elproduktion till stor del fasats ur i Norden

(Energimyndigheten, 2013). Nybyggnation av fossileldade kraftverk är fortfarande vanlig, men eftersom det är en ändliga resurser med stor klimatpåverkan är deras framtid osäker. En av anledningarna till att omställningen till förnybar elproduktion inte går snabbare är att det fortfarande är lönsamt med fossil elproduktion. Detta kan dock ändras om priserna på fossila bränslen skulle öka kraftigt.

2.7 Tidigare jämförelser

Som en del i den här studien har en litteraturstudie genomförts. Tidigare jämförelser mellan uppvärmningsalternativ, med fokus på fjärrvärme och värmepumpar, har undersökts. Metodik, undersökta parametrar och således även resultat skiljer sig åt rapporterna emellan och återges i Tabell 3.

Tabell 3. Sammanfattning av tidigare studier inom området.

Studie	Typ av jämförelse	Studerade system	Studerad parameter	Typ av fastighet	Mest gynnade system
Energiindikatorer 2013	Kostnadsjämförelse	FJV, BVP, LV/VP	Annuitet (kr/år)	Mindre flerbostadshus, Större flerbostadshus	FJV
Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige	Kostnadsjämförelse / Lönsamhet i att byta från fjärrvärme till bergvärmepump	FJV, BVP	kr/MWh	Mindre flerbostadshus	FJV / Lönsamt att byta till BVP i 1/3 av kommunerna
Uppvärmning i Sverige 2012	Kostnadsjämförelse	Solvärme, oljepanna, naturgas, pellets/vet, direktverkande el, FJV, BVP	Annuitet (kr/år)	Småhus	VP
Alternativkostnad till fjärrvärme	Procentuella kostnadsvariationer mellan kommuner	FJV, BVP pelletspanna	kr/MWh	Mindre flerbostadshus	-21 % och +46 % FJV, -44 % och +75 % BVP
Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter	Variationer i inbördes kostnadsposter	FJV, BVP, pelletspanna, naturgas	Procentuell variation (%)	Mindre flerbostadshus	Varierande resultat beroende på lokala förutsättningar
Bergvärme på djupet	Kostnadsjämförelse	FJV, BVP	kr/kWh	Småhus	BVP
Värmeräknaren	Kostnadsjämförelse för Lunds kommun 2013	FJV, BVP, LV/VP	Annuitet (kr/år)	Småhus, Mindre flerbostadshus, Större flerbostadshus	FJV
Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme	Samhällsekonomisk och sociala effekter	FJV, VP	BNP, BRP, Sysselsättning	-	FJV

3 Fallstudie

I detta kapitel motiveras de antaganden som ligger till grund för den miljömässiga och ekonomiska jämförelsen. Det inleds med allmänna förutsättningar för att sedan beskriva specifika antaganden för miljö respektive ekonomi.

3.1 Förutsättningar för studien

Fjärrvärme och el, som innefattar värmepumpar, är de vanligaste uppvärmningsalternativen för samtliga fastighetstyper i Sverige idag (Energimyndigheten, 2012). Därför avgränsar sig den här studien till att jämföra uppvärmningsalternativen fjärrvärme, bergvärmepump och luft/vattenvärmepump i Lunds kommun.

Oljepanna, naturgas och direktverkande el är dyrare och har större miljöpåverkan och är därför exkluderade ur studien. Pellets/ved-panna är ett uppvärmningsalternativ som enligt tidigare studier kan konkurrera med både fjärrvärme och värmepumpar. Pellets/ved-panna är vanligare på landsbygden dit inte fjärrvärmenätet når. På grund av studiens koppling till projektet *Fjärrvärmens roll i ett hållbart Lund*, där syftet är att undersöka var det är fördelaktigt att ansluta till just fjärrvärmenätet, har pellets/ved-panna inte studerats närmare.

3.2 Verkningsgrader och förluster

Verkningsgraden i uppvärmningssystemet styr mängden köpt energi i förhållande till uppvärmningsbehovet. För uppvärmningsalternativen används verkningsgrad enligt Tabell 4.

Tabell 4. Verkningsgrader för respektive uppvärmningssystem och fastighet.

	Småhus	Mindre flerbostadshus	Större flerbostadshus
Fjärrvärme	0,99	0,99	0,99
Bergvärmepump (Energimyndigheten, 2012)	3,30	3,13	3,13
Luft/vattenvärmepump (Energimyndigheten, 2014)	2,80	2,00	2,00

För fjärrvärmecentralen räknas med en verkningsgrad på 99 %, systemet har låga förluster inom byggnaden och påverkas inte av utomhustemperaturen i någon märkbar omfattning. För bergvärmepump används medelvärdet från Energimyndighetens test för bergvärmepumpar (se Tabell 1) med en nedjustering på 5 % i flerbostadshus p.g.a. ett ökat varmvattenbehov. Att värma tappvarmvatten kräver mer energi än att värma värmevatten då värmevattnet har en högre temperatur från början. För luft/vatten-värmepumpar används även här medelvärdet från Energimyndighetens test, se Tabell 2. Förutom en nedjustering på 5 % för det ökade varmvattenbehovet i flerbostadshusen görs här också ytterligare en nedjustering av årsvärmefaktorn till 2,0. Detta eftersom det i flerbostadshusen, för luft/vatten-värmepumpsfallet, antas en lägre täckningsgrad (70-80 % av värmebehovet) än för bergvärmepumpen och fjärrvärmesystemet. Vid en lägre effekttäckningsgrad måste elpannan dimensioneras större samt gå oftare vilket sänker SPF. Justeringen till 2,0 är uppskattad och

inte framräknad då den lägre täckningsgraden endast är ett uppskattat intervall och en generell, genomsnittlig värmepump används. Valet av årsvärmefaktorerna är en generalisering för en genomsnittlig fastighet, teknik och temperatur. Deras inverkan på resultatet undersöks vidare i känslighetsanalysen.

I distributionsnäten för respektive energisystem sker det också förluster. För fjärrvärmenätet antas i den här studien 10 % förluster i nätet (Svend & Sven, 2013). Förluster i elnätet varierar beroende på nivå av nätet, stamnätet, regionnätet och lokalnätet har olika höga förluster vid olika tidpunkter på dygnet (Jamal, 2013). I den här studien antas förlusterna i elnätet också ligga på 10 %.

3.3 Miljö

I detta stycke redogörs för de antaganden som ligger till grund för den miljömässiga jämförelsen. I stycket finns även sammanställande tabeller över de miljöfaktorer som använts som källor samt de resulterande miljöfaktorer som beräknats för de studerade uppvärmningssystemen.

3.3.1 Systemgränser och avgränsningar

För miljöpåverkansdelen används de systemgränser för ett uppvärmningssystems miljöpåverkan och resurseffektivitet som förespråkas i rapporten *Allt eller inget – Systemgränser för byggnaders uppvärmning* (Persson, et al., 2005). Detta innebär ett från vagga till grav-perspektiv på energiråvarans flöde i respektive uppvärmningssystem. Principen ”Limited loss of information at the final product”, eller cut-off principen, som innebär att miljöpåverkan från anläggningar och infrastruktur kan bortses från, tillämpas för respektive energisystem. Detta innebär även en exkludering av kundens värmepump, fjärrvärmecentral, ledningar i huset samt anslutning till nätet. Detta motiveras med att liknande infrastruktur och enheter återfinns i båda systemen, att en jämförelse med LCA-data på anläggningar och ledningar blir för komplex och omfattande samt att de antas bidra med mindre än 1 % av den totala påverkan ur ett livscykelperspektiv.

Eftersom ingen LCA har utförts inom den här studien är alla beräkningar av slutgiltiga miljöfaktorer för uppvärmningssystemen baserade på data från andra studier. Detta innebär att metodiken för att ta fram miljöfaktorer varierar till viss del mellan olika system och scenarier. Som beskrivet i bakgrunden kan primärenergifaktorn delas in i andel förnybar och andel icke förnybar primärenergi. Det har dock inte gjorts i den här studien eftersom alla använda källor inte redovisar detta. Enligt definitionen av konsekvensanalys i LCA-sammanhang så skall marginaldata användas i alla led, exempelvis utvinning och transport av bränslen (Erlandsson, et al., 2014). Eftersom data för marginalbränslen inte finns tillgängliga, eller innebär alltför osäkra uppskattningar, används inte marginaldata för utvinning och transport av bränslen i den här studien.

3.3.2 El- och värmeproduktion

I detta stycke beskrivs hur marginalproduktionen uppskattas samt vilka systemgränser och allokeringsprinciper för el- och värmeproduktion i ett bokföringsperspektiv som använts i den här studien.

Marginalproduktion

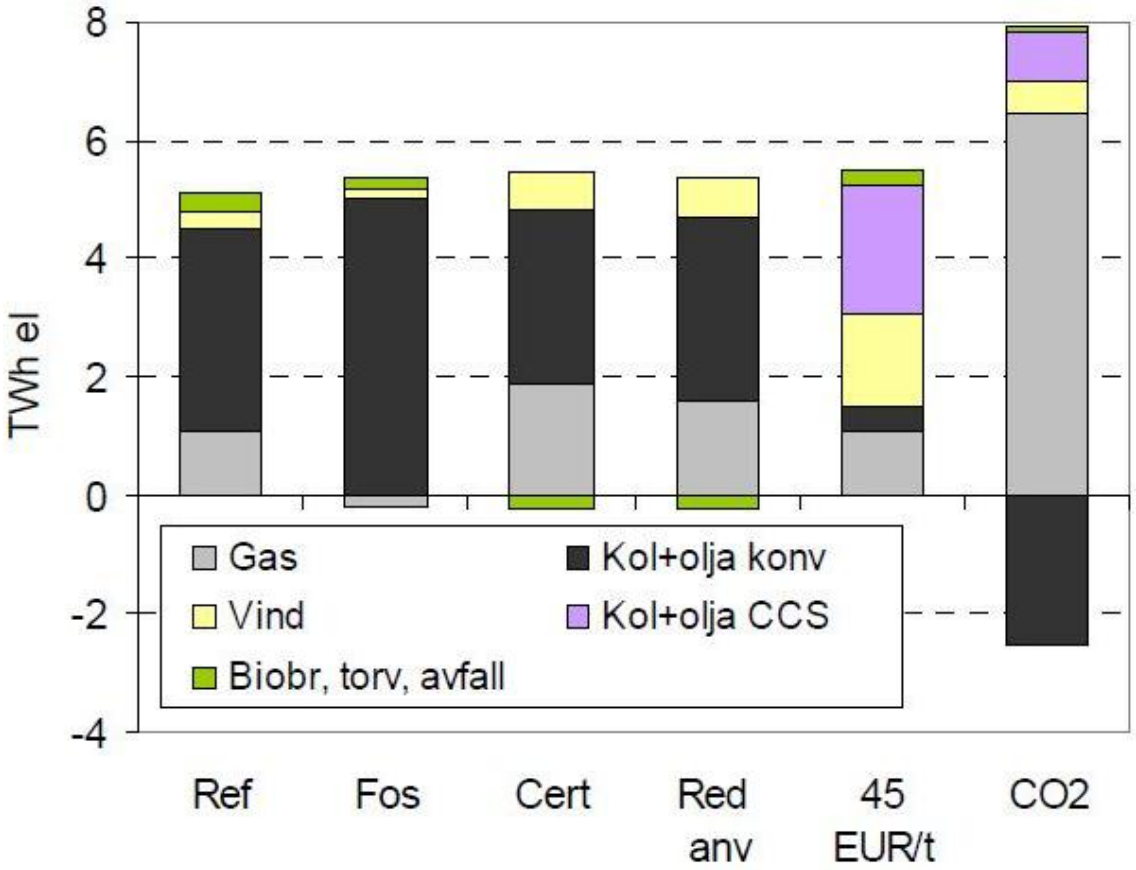
När ett nytt uppvärmningssystem installeras i en fastighet innebär detta en störning på det energisystem som driver uppvärmningssystemet, för att kvantifiera miljöpåverkan måste därför effekten av störningen undersökas. Detta görs genom att identifiera vilken produktionsteknik som ligger på marginalen och har möjlighet att tillgodose en ökad efterfrågan. Många hävdar att marginaltekniker bör identifieras med energisystemmodeller (Gode, et al., 2012) (Ekvall & Weidema, 2004) för att väga in både kortsiktiga (driftsmarginal) och långsiktiga (utbyggnadsmarginal) effekter av en störning.

Marginalel

I den här studien används fem scenarier för marginalel. Av dessa kommer tre från Elforsk rapport *Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion* (Sköldberg & Unger, 2008) där energisystemmodellen MARKAL-NORDIC används för att ta fram marginaltekniker för produktion av el. Dessa tre marginalproduktionsscenarier motsvarar den så kallad dynamiska förändringseffekten, eller komplex marginal, som är beskriven i bakgrunden.

Elforsk-rapporten analyserar effekten av en ökad efterfrågan av el i Sverige på 5 TWh/år mellan åren 2008 och 2051. Den förändrade elanvändningen i Sverige påverkar förutom elproduktionen inom landet även elproduktionen i övriga Norden samt Tyskland och Polen med hänvisning till ”den utformning av styrmedel som föreligger och det sätt som elmarknaden fungerar”. Modellen tar hänsyn till elproduktionssystemets utveckling både beroende och oberoende av den antagna störningen och inkluderar effekter på både driften och sammansättningen av produktionsanläggningar i systemet. Detta görs genom att elsystemets utveckling simuleras både med och utan den analyserade störningen och att modellen kostnadsoptimerar drift av befintliga anläggningar samt nybyggnation av anläggningar utifrån en given efterfrågan. Simuleringen resulterar i en produktionsmix vart sjunde år under den studerade perioden. Marginalproduktionen läses ut som den produktionsmix som utgör differensen mellan simuleringen med störningen och simuleringen utan störningen och beräknas som ett snitt av resultatet för de olika årtalen.

Resultatet visar att den ökade elanvändningen i Sverige till störst del påverkar elproduktionen utanför Sverige. Detta beror på att Sverige i grundsimuleringen (utan störningen) kommer att vara nettoexportör av el och den ökade inhemska elanvändning leder till en minskad export. Resultatet av modelleringen är kraftigt beroende på vilka antaganden som görs kring omvärldsutvecklingen under den studerade perioden, exempelvis vilken utveckling av priser på utsläppsrätter, elcertifikat och bränslepriser som ansätts. Därför har olika scenarier för omvärldsutvecklingen använts för att täcka in ett större spektra av tänkbara resultat. För varje scenario beräknades en emissionsfaktor för koldioxid, dessa återges i Figur 3.



Figur 3. Sammansättningen av marginalteknikerna för de olika scenarierna. Ref står för referensfallet, Fos för ökade fossilbränslepriser och 45 EUR/t för ett ökat pris på utsläppsrätter. (Sköldberg & Unger, 2008)

Scenarierna ger ett spann av koldioxidutsläpp på 160 – 780 g $CO_{2\text{-}e}$/kWh. I den här studien har referensscenariot i studien, som resulterade i 670 g $CO_{2\text{-}e}$/kWh, samt de scenarierna med lägst respektive högst emissionsfaktor använts. Det scenario som gav lägst utsläpp utgick från ett pris på utsläppsrätter på 45 EUR/ton, att jämföra med 20 EUR/ton i referensscenariot. Detta resulterade i en kraftig expansion av förnybar elproduktion, främst vindkraft. Dessutom innebar det högre koldioxidpriset att CCS-teknik blev kostnadseffektiv vilket drog ner koldioxidutsläppen från den fossila elproduktionen som fortfarande var dominerande i produktionsmixen. Det scenario som gav högst koldioxidutsläpp utgick från ett högre pris på fossila bränslen jämfört med referensscenariot. Detta medför att de naturgaseldade kraftverk som byggdes i referensscenariot ersattes med koleldade kraftverk eftersom priset på kol förväntas bli lägre än naturgas. I alla scenarior består marginalproduktionen till stor del av fossileldade kraftverk, till en början främst kol med en gradvis övergång till naturgas.

Förutom marginalproduktionsscenarierna från Elforskrapporten används i den här studien koleldad kondenskraft och naturgaseldad kraftvärme (benämnt naturgaskombi hädanefter) som ytterligare två marginalelproduktionsscenarier. Dessa två är vanliga antaganden kring marginalproduktion där kolkondens antas på kort sikt och naturgaskombi på lång sikt (Gode, et al., 2009). Detta motsvarar en antagen kortsiktig och långsiktig driftsmarginal.

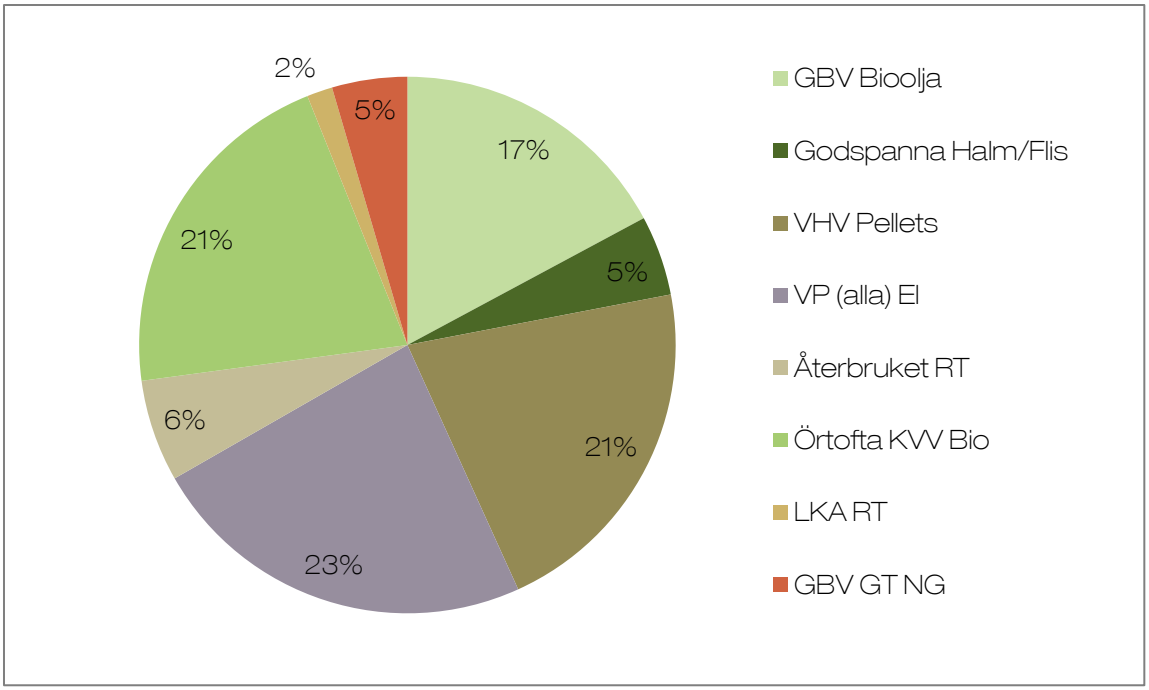
Marginalfjärrvärme

I den här studien har ett scenario för marginalproduktion av fjärrvärme använts, baserat på prognoser från Kraftringen.

Dessa prognoser är interna och skapade av Kraftringen Produktion. De innefattar bl.a. EVITA-ledningen som redan börjat byggas, infasningen av spillvärme från forskningsanläggningarna ESS och MAX IV som även de börjat byggas samt full drift av det nyligen färdigställda Örtoftaverket. Baserat på denna kunskap har Kraftringen beställt simuleringar av sin fjärrvärmeproduktion från konsultbolaget Profu som har utfört dessa i energisystemmodellen Martes. En rad simuleringar har utförts med olika förutsättningar som antas representera olika årtal i framtiden.

I den här studien har tre simuleringar legat till grund för att ta fram marginalproduktionen. Simuleringarna motsvarar åren 2015, 2017 och 2025. I simuleringen för 2017 antas EVITA-ledningen vara färdigbyggd och värme kan importeras/exporteras mellan Lund/Lomma/Eslöv-nätet och Landskronas och Helsingborgs nät. I samma simulering antas MAX IV och Örtofta leverera värme med sin fulla kapacitet. Resultatet är varaktighetsdiagram som visar hur stora volymer värme som produceras i de olika anläggningarna vid olika tidpunkter, samt vilken prioriteringsföljd som anläggningar startas efter. Martes ger ett varaktighetsdiagram fördelat på dag- och nattvärden för årets alla dygn.

För att beräkna marginalproduktionen utifrån denna prognos har först de tre varaktighetsdiagrammen för åren 2015, 2017 och 2025 interpolerats till ett varaktighetsdiagram för perioden 2014-2029. Därefter har den sist startade anläggningen i varje tidsintervall plockats ut (driftmarginalen) under hela den studerade perioden. Driftsmarginalen utgörs av den anläggning med högst rörlig kostnad som är i drift vid ett givet ögonblick och antas kunna öka sin produktionskapacitet för att tillgodose den ökade efterfrågan. Detta ger alltså inga volymer per anläggning utan visar endast vilken anläggning som startat sist vid ett givet tidsintervall. För att kvantifiera volymen per produktionsanläggning har en produktionsmix tagits fram för varje månad baserad på den tidsandel som de ingående anläggningarna ligger på marginalen. Anledningen till att det är differentierat månadsvis är att värmebehovet varierar över året och när mest värme behövs är de dyraste anläggningarna i drift. Den månadsvisa produktionsmixen multipliceras med det genomsnittliga värmebehovet den månaden, hämtat från lastkurvan som Martessimuleringen baseras på. Den resulterande produktionsmixen visas i Figur 4 nedan.



Figur 4. Prognosticerad marginalproduktionsmix i Kraftringens fjärrvärmenät i Lund/Lomma/Eslöv.

I Figur 4 står GBV Bioolja för biooljeeldade pannor på Gunnesboverket. Godspanna Halm/Flis är inköpt värme från anläggningar i Ellinge och Svenstorp eldade med Halm och Flis. VHV Pellets är Västhamnsverket i Helsingborg där pellets eldas. VP (alla) el är en sammanslagning av alla värmepumpar i nätet. Återbruket RT står för Återbruket i Lomma där det eldas returträ. Örtofta KVV Bio är Kraftvärmeverket i Örtofta där en blandning av biobränslen eldas. LKA RT är värmeverket i Landskrona där returträ eldas och GBV GT NG är den naturgaseldade gasturbinen på Gunnesboverket. Som figuren visar är alla värmepumpar i nätet sammanslagna till en post. I själva verket är de fem stycken men i beräkningarna är det förenklat till en anläggning med en årsvärmefaktor på 3,0.

Martessimuleringar finns även över driften av anläggningarna i Landskrona och Helsingborg och därför har, vid de tillfällen värme exporteras/importeras, den anläggningen som påverkas kunnat identifieras och läggas till marginalproduktionsmixen. Vissa produktionsanläggningar har behandlats annorlunda av olika anledningar:

- Driften av värmepumpen vid sjukhuset i Lund utgår främst ifrån behovet av fjärrkyla och har inte ansetts kunna vara driftmarginal för fjärrvärme då en ökad efterfrågan snarare skulle påverka driften av en annan anläggning. Därför har, vid de tillfällen då den anläggningen varit den dyraste i drift, istället den näst billigaste anläggningen med ledig kapacitet valts som driftmarginal.
- På samma sätt har spillvärmeanläggningarna plockats bort ur driftmarginalen då spillvärmen antas ersätta värmeproduktion i andra anläggningar i fjärrvärmenätet.
- Under de tre första åren av prognosen antas gasturbinen på Gunnesbo gå för fullt under de kalla vintermånaderna och ligger då på marginalen.

Det bör poängteras att denna metod alltså inte tar hänsyn till en förändring av själva systemet till följd av den extra kunden, utan endast driften av det system som antas finnas under den studerade perioden oberoende av den extra kundens inverkan på värmebehovet. Detta kan kallas för en prognosticerad driftsmarginal.

I rapporten *Robust LCA* rekommenderas det att vid en konsekvensanalys använda 2-3 scenarier för att göra analysen mer trovärdig (Erlandsson, et al., 2014). För den här studien har det bedömts att den stora osäkerheten ligger i val av elproduktionsmix, därför har endast ett marginalproduktionsscenario för fjärrvärme studerats, vilket ytterligare motiveras av att försöka få ett mer överskådligt resultat.

Medelproduktion

Ur ett bokföringsperspektiv används medeldata som är baserat på genomsnittet av den historiska produktionen. Detta ger en bild av hur påverkan från hela systemet sett ut fram till nu och är användbart vid jämförelser av hur bra miljöprestanda ett befintligt system har i dess nuvarande utformning. En bokföringsanalys innehåller mindre osäkerheter än en konsekvensanalys och resultatet är därför mer tillförlitligt än när marginaldata används.

Medelel

Som beskrivet i bakgrunden är det omdiskuterat vilken elmix som skall användas i bokföringsanalyser. Därför har i den här studien olika elmixar använts för att representera de olika synsätten. Dessa är Nordisk och Europeisk medelel, Ursprungsgaranterad el från vindkraft samt Nordisk residualmix.

Den Nordiska medelelen representerar synen att de Nordiska länderna delar på all den producerade elen inom regionen eftersom vi har en gemensam elmarknad. Datan är hämtad från två källor, dels rapporten *Emissionsfaktor för nordisk elproduktionsmix* (Martinsson, et al., 2012) utförd av IVL på uppdrag av Energimyndigheten. I studien är dataunderlag för elproduktion, import och export hämtat från NORDEL (numer del av ENTSO-E, European Network of Transmission System Operators for Electricity) och det europeiska statistikorganet Eurostat. Norden definieras som Norden exklusive Island eftersom elnäten inte sitter ihop. Export och import av el tas med i beräkningarna. Den andra källan för Nordisk elmix är från Svensk Energis *Vägledning angående ursprungsmärkning av el (2012-07-10)* (Svensk Energi, 2012). Källan används som ett komplement till IVL's framtagna emissionsfaktor då de skiljer sig betydligt på grund av olika val av metodik. Metodiken som används av Svensk Energi baseras på total elanvändning och inkluderar inte import eller export av el.

Ursprungsgaranterad el från vindkraft kan en kund välja att köpa från vissa elhandelsbolag och har därför inkluderats i den här studien. Hur detta fungerar i praktiken är beskrivet i stycke 2.2.3.

Den Nordiska residualmixen beräknas varje år av Energimarknadsinspektionen (Energimarknadsinspektionen, 2011). Residualmixen beräknas med modellen framtagen inom det europeiska projektet EPED-REDISS (Reliable Disclosure Systems for Europe) som beskrivs i Svensk Energis vägledning om ursprungsmärkning av el (Svensk Energi, 2012).

Värmemarknadskommitén och Svensk Energi rekommenderar användning av nordisk residualmix vid beräkningar av miljöpåverkan (Värmemarknadskommittén, 2013) (Svensk Energi, 2012).

Den europeiska elmixen motsvarar synsättet att den europeiska elmarknaden är integrerad genom överföringsledningar och att alla alla EU-länder lyder under samma direktiv och därför bör dela på påverkan från den europeiska elproduktionen. Datan är tagen från en sammanställning av Ecometrica (Brander, et al., 2011) som använt statistik från IEA (IEA, 2014).

Medelfjärrvärme

Kraftringen mäter hur stora volymer energi som produceras av varje anläggning inom fjärrvärmenätet varje år. Därför går det att beräkna medelproduktionen som ett snitt av den totala produktionen. I den här studien har medelfjärrvärme från år 2013 använts, vilket är samma bränslemix som syns i bakgrundskapitlet om Kraftringens fjärrvärme i Lund.

3.3.3 Miljöfaktorer

Detta stycke beskriver beräkningen av faktorer för koldioxidutsläpp och primärenergianvändning för de olika produktionsscenarierna. För elproduktionen har miljöfaktorer tagits direkt från externa källor men för fjärrvärmen har de beräknats av författarna med hjälp av miljöfaktorer för de ingående bränslena.

Elproduktion

För de marginalelscenarier som togs fram i rapporten *Effekter av förändrad elanvändning/elproduktion* (Sköldberg & Unger, 2008) användes enbart koldioxidutsläpp vid energiomvandlingen i elproduktionsledet för att beräkna emissionsfaktorerna. Detta beräknas utifrån typiska verkningsgrader i elproduktionsanläggningar samt energi- och kolinnehåll i bränslet. Valet att göra på det här sättet motiveras delvis genom att utsläppsrättshandelssystemet utgår från samma metodik och är en viktig del av modellen. Konsekvensen är att emissioner som uppstår vid produktion och distribution av bränslen samt byggnation av energiomvandlingsanläggningar exkluderas ur de framtagna emissionsfaktorerna. Detta är alltså inte LCA-data. Primärenergifaktorer för scenarierna med högst och lägst emissionsfaktor beräknas med hjälp av faktorer från Miljöfaktaboken i rapporten *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet* (Gode, et al., 2012). I den här studien antas referensfallet ha samma primärenergifaktor som scenariot med hög emissionsfaktor eftersom bränslemixarna är liknande mellan scenarierna.

För elproduktion med kolkondens och naturgaskombi används miljöfaktorer från Miljöfaktaboken. Datan för kolkondens är i Miljöfaktaboken hämtad från en LCA på ett finskt kraftverk utförd av finska miljöinstitutet SYKE (Sokka, et al., 2005). Miljöfaktorerna för ett naturgaskombi är också hämtat från Miljöfaktaboken. I Miljöfaktaboken är data för emissioner och primärenergianvändning vid produktion och distribution från en svensk LCA (Bousted, 2005) och data för energiomvandling kommer från en miljörapport för Ryaverket i Göteborg (Göteborg Energi AB, 2009).

Den nordiska elproduktionsmixens emissionsfaktor har IVL's rapport *Emissionsfaktor för nordisk elproduktionsmix* beräknats med LCA-data från Miljöfaktaboken och förbränningsemissioner från Naturvårdsverkets nationella värden (Naturvårdsverket, 2014). Verkningsgrader från ett tillägg till kraftvärmedirektivet (Rådets direktiv 2004/8/EG, 2004) har använts för att ta fram mängden insatt bränsle som sedan kategoriserats enligt SCBs och Energimyndighetens indelning. För el producerad i kraftvärmedrift har allokering mellan el och värme gjorts med hjälp av alternativproduktionsmetoden. För den import/export som sker över systemgränsen har så kallad bruttoavräkning använts vilket innebär att nettoexport av el över året ändå kan leda till en nettoimport av växthusgaser (Martinsson, et al., 2012). Den andra källan för Nordisk elmix som använts är från Svensk Energi och har i den här studien beräknats som ett medel för perioden 2005 – 2009 från siffrorna som redovisats i *Vägledning angående ursprungsmärkning av el (2012-07-10)* (Svensk Energi, 2012), dock finns inte metodiken för beräkningen av emissionsfaktorerna redovisat i källan och primärenergifaktor antas vara samma som i IVL's beräkningar.

Den Europeiska medelelen är i Ecometricas sammanställning beräknad genom att använda emissionsfaktorer från IPCC (IPCC, 2006) och alternativproduktionsmetoden för kraftvärmeallokering med schablonmässiga verkningsgrader för kraft- och värmeproduktion. Det finns andra källor för Europeisk medelel, exempelvis *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet* (Gode, et al., 2012) som hänvisar till Miljöfaktaboken. Dock återfanns inte beräkningarna i Miljöfaktaboken så därför har Ecometricas framräknade emissionsfaktor valts istället. Dock är de väldigt lika i storleksordning. Eftersom Ecometrica inte beräknat någon primärenergifaktor används primärenergifaktorn från *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet*, trots att ingen förstahandskälla kunde återfinnas.

Miljöfaktorer för ursprungsgaranterad el från vindkraft är hämtat från en LCA utförd av Vattenfall (Vattenfall AB, 2010) via Miljöfaktaboken. Livscykelanalysen inkluderar byggandet och rivningen av själva kraftverket.

Den nordiska residualmixen är som nämnt framtagen årligen av Energimarknadsinspektionen som även tillhandahåller miljöfaktorer för denna. EI's beräkningar baseras på metoden i EPED-REDISS (Svensk Energi, 2012) (Gode, et al., 2011) (RE-DISS, 2014) och delar in kraftproduktion i förnybart, fossilt och kärnkraft som i sin tur tilldelas viktade emissions- och primärenergifaktorer. Med dessa beräknas sedan miljöfaktorer för de ingående ländernas residualmixar beroende på andelen fossilt, förnybart och kärnkraft i landet. Detta är alltså inte LCA-data då denna beräkningsmetodik är väldigt förenklad och inte tar med koldioxidutsläpp och primärenergianvändning under hela livscykeln.

Tabell 5. Sammanställning av miljöfaktorer för använda elproduktionsmixar.

Elproduktionsscenarier	g $CO_{2\text{-}e}$/kWh	PEF	LCA -data	Typ
Nordisk residualmix 2011	291 (Svensk Energi, 2012)	2,26 (Svensk Energi, 2013)	NEJ	Allokerad
Nordisk residualmix 2012	258 (Energimarknadsinspektionen, 2014)	2,23 (Värmemarknadskommittén, 2013)	NEJ	Allokerad
Nordisk elmix (Svensk Energi)	87 (Svensk Energi, 2012)	1,74*	NEJ	Medel
Nordisk elmix (IVL)	131,2 (Martinsson, et al., 2012)	1,74 (Martinsson, et al., 2012)	JA	Medel
Kolkondens	871,74 (Gode, et al., 2011) (Sokka, et al., 2005)	2,61 (Gode, et al., 2011) (Sokka, et al., 2005)	JA	Driftmarginal
Naturgaskombi	452 (Gode, et al., 2011) (Göteborg Energi AB, 2009) (Bousted, 2005)	1,98 (Gode, et al., 2011) (Bousted, 2005)	JA	Driftmarginal
Europeisk medel	453,8 (Brander, et al., 2011)	2,61 (Gode, et al., 2012)	NEJ	Medel
Komplex marginalel (referensscenario)	67 (Sköldberg & Unger, 2008)	2,15*	NEJ	Komplex Marginal
Komplex marginalel (höga CO_2-priser)	16 (Sköldberg & Unger, 2008)	1,62 (Gode, et al., 2012)	NEJ	Komplex marginal
Komplex marginalel (höga fossilbränslepriser)	78 (Sköldberg & Unger, 2008)	2,15 (Gode, et al., 2012)	NEJ	Komplex marginal
Ursprungsgaranterad el (Vindkraft)	13,32 (Gode, et al., 2011) (Vattenfall AB, 2010)	0,05 (Gode, et al., 2011) (Vattenfall AB, 2010)	JA	Allokerad

*approximerade av författarna

För att beräkna miljöfaktorer för levererad värme till kund måste verkningsgrad i värmepump och förluster i distributionsnät tas i beaktning. Detta görs genom ekvation (3):

$$PEF_{lev} = \frac{PEF_{prod}}{SPF_{kund} \cdot \eta_{dist}} \qquad (3)$$

PEF_{lev} = primärenergifaktor för levererad värme till kund
PEF_{prod} = primärenergifaktor för producerad el
SPF_{kund} = verkningsgrad på installation hos kund (fjärrvärmecentralen)
η_{dist} = verkningsgrad (förluster) i distributionsnät.

Motsvarande beräkningar enligt ekvation (3) görs även för emissioner av koldioxidekvivalenter. Verkningsgrad i distributionsnät antas vara 90 %. SPF för värmepumpar antas vara 2,8 för luft/vattenvärmepump och 3,2 för bergvärmepump. Beräkningarna har i grundfallet endast utförts med de högre värdena för SPF och har inte justerats ned för sämre prestanda i flerbostadshus, istället utförs en känslighetsanalys där SPF varieras både upp och ner.

Fjärrvärme

För fjärrvärmen har emissions- och primärenergifaktorerna bestämts med hjälp av miljöfaktorer för de ingående bränslena. Data för primärenergianvändning samt koldioxidutsläpp vid produktion och distribution av bränslet är tagna från Miljöfaktaboken och energiomvandlingsdata är tagna från Naturvårdsverkets data (Naturvårdsverket, 2014) via Värmemarknadskomitténs sammanställning (Värmemarknadskommittén, 2013).

Tabell 6 visar vilka miljöfaktorer för bränslen som använts för beräkningen av miljöfaktorer för Kraftringens fjärrvärme i Lund. De med betydande påverkan analyseras vidare i känslighetsanalysen.

Tabell 6. Miljöfaktorer för bränslen i Kraftringens fjärrvärmeproduktion.

Bränsle	Emissionsfaktor, energiomvandling (g CO_2-e/kWh)	Emissionsfaktor, produktion och distribution av bränsle (g CO_2-e/kWh)	Total Emissionsfaktor (g CO_2-e/kWh)	PEF
Naturgas	207,00	40,00	247,00	1,09
Bioolja (olja från restprodukter)	6,00	4,00	10,00	0,04
Returträ/-flis	9,00	3,00	12,00	0,05
(Skogs)flis	9,00	7,00	16,00	0,03
Torv	393	40	433,00	1,01
Halm	9,00	7,00	16,00	0,03
Pellets	6,00	13,00	19,00	0,11
Spillvärme	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogas	0,00	10,00	10,00	0,15
Olja	270,00	21,00	291,00	1,11

Värden för emissioner vid produktion och distribution av naturgas är från samma LCA som beskrevs under marginalproduktionskapitlet under marginalel (Bousted, 2005). Värden för olja är från en livscykelinventering för petroleumprodukter som används i Sverige (Öman, et al., 2011) via Miljöfaktaboken.

Data för de sekundära biobränslena skogsflis och halm är enligt VMKs rekommendationer tagna från miljöfaktorn för GROT hämtat från miljöfaktaboken. Emissionsfaktorn i Miljöfaktaboken är från en LCA utförd vid Uppsala Universitet (Lindholm, et al., 2010). För RT-flis är produktion och distribution antagen att ha samma emissionsfaktor som avfallsfraktionen papper-trä-plast. För skogsflis, halm och RT-flis är emissionsfaktorn vid

energiomvandling hämtad från Naturvårdsverkets värden för trädbränslen. Datan i Miljöfaktaboken för emissioner vid produktion och distribution av pellets från sågverksrester är från en LCA på svenska träpellets (Hagberg, et al., 2009).

För biogasen har miljövärden för biogas från reningsverksslam använts. Data är hämtade från en LCA på svenska biodrivmedel (Börjesson, et al., 2010) via Miljöfaktaboken. För torv är koldioxidutsläpp vid produktion och distribution samt primärenergianvändning hämtade från en LCA utförd av IVL (Hagberg & Holmgren, 2008). Förbränningsemissioner är från Naturvårdsverkets sammanställning.

För spillvärmen antas inga koldioxidutsläpp och ingen primärenergianvändning då all påverkan bedöms belasta ursprungsprocessen. Viss upparbetning av spillvärmen kan krävas för att den ska kunna matas ut på fjärrvärmenätet, vilket hanteras genom att pålägga hela fjärrvärmesystemet en schablonmässig extra elförbrukning för hjälpel om 3 % av total levererad fjärrvärme, detta enligt Värmemarknadskomitténs överenskommelse (Värmemarknadskommittén, 2013).

Vissa av miljöfaktorerna är mer osäkra än andra. Exempelvis är faktorerna för bioolja approximerade då specifika data saknas. Emissionsfaktorn för energiomvandling approximeras enligt VMKs överenskommelse till samma som för tallbeckolja då de kan antas ha liknande förbränningsegenskaper. Faktorer för koldioxidutsläpp vid produktion och distribution samt primärenergianvändning approximeras till samma som för avfall då bioolja anses vara ett restbränsle. (Värmemarknadskommittén, 2013)

Då fjärrvärmemixen är framtagen som mängden producerad värme och miljöfaktorerna angivna per kWh ingående bränsle måste verkningsgraderna för anläggningarna i fjärrvärmenätet användas för att med hjälp av bränslefaktorerna beräkna påverkan per kWh producerad värme. Verkningsgraden för de ingående anläggningarna baseras på interna uppgifter om mängder ingående bränsle och producerad värme. Verkningsgraden för värmeproduktion i kraftvärmeverk viktas genom allokering av ingående bränsle mellan el- och värmeproduktion enligt alternativproduktionsmetoden (Martinsson, et al., 2012) (Svensk Energi, 2013). För importerad värme via EVITA-ledningen från kraftvärmeverken utanför dagens nät antas samma verkningsgrad som för Örtofta kraftvärmeverk. För den köpta värmen från Godspannorna följs VMKs överenskommelse om uppskattad verkningsgrad (Värmemarknadskommittén, 2012). Den totala primärenergifaktorn beräknas enligt ekvation (4):

$$\sum_{k=1}^{n} \frac{x_k \cdot PEF_k}{\eta_k} = PEF_{tot,prod} \qquad (4)$$

k = det specifika bränslet
n = antalet bränslen i produktionsmixen
x = andelen av bränslet i produktionsmixen
PEF = primärenergifaktor
η = verkningsgrad för den specifika anläggningen där bränslet förbränns
$PEF_{tot,prod}$ = total primärenergifaktor för den producerade värmen

Motsvarande beräkningar enligt ekvation (4) görs även för emissioner av koldioxidekvivalenter. Eftersom el till värmepumpar är en del av Kraftringens bränslemix måste den ingående elen definieras. Miljöfaktorer för fjärrvärmen beräknas för alla de studerade elproduktionsscenarierna. Detta görs för att rättvist kunna jämföra mot värmepumpar som drivs av de olika elproduktionsmixarna. Resultatet syns i Tabell 7 och Tabell 8 nedan.

Tabell 7. Miljövärden för Kraftringens fjärrvärme i Lunds kommun, år 2013. (per kWh producerad värme).

Elproduktionsscenarier	CO_2-e (g/kWh)	PEF
Nordisk residualmix 2011	82,2	0,4976
Nordisk residualmix 2012	77,5	0,4933
Nordisk elmix (IVL)	59,7	0,4244
Europeisk medel	105,1	0,5468
Ursprungsgaranterad el (Vindkraft)	43,1	0,1866
Nordisk elmix (Svensk Energi)	53,5	0,4244

Tabell 8. Miljöfaktorer för marginalfjärrvärme (per kWh producerad värme)

Elproduktionsscenarier	CO_2-e (kg/kWh)	PEF
Kolkondens	97,8	0,3103
Naturgaskombi	65,0	0,2609
Komplex marginalel (referensscenario)	82,0	0,2742
Komplex marginalel (höga CO_2-priser)	42,1	0,2327
Komplex marginalel (höga fossilbränslepriser)	90,7	0,2742

Till slut beräknas miljöfaktorer för levererad värme till kund genom att ta hänsyn till förluster i distributionsnät och verkningsgrad i fjärrvärmecentral enligt ekvation (5):

$$PEF_{lev} = \frac{PEF_{tot,prod}}{\eta_{kund} \cdot \eta_{dist}} \qquad (5)$$

PEF_{lev} = primärenergifaktor för levererad värme till kund
$PEF_{tot,prod}$ = total primärenergifaktor för den producerade värmen
η_{kund} = verkningsgrad på installation hos kund (fjärrvärmecentralen)
η_{dist} = verkningsgrad (förluster) i distributionsnät.

Motsvarande beräkningar enligt ekvation (5) görs även för emissioner av koldioxidekvivalenter.Verkningsgraden i fjärrvärmecentralen antas vara 99% och verkningsgraden i distributionsnätet antas vara 90%.

3.4 Ekonomi

Utgångspunkten i den ekonomiska jämförelsen är att kunden inte har något uppvärmningssystem i dagsläget. Detta behöver inte innebära att det är en nybyggd fastighet utan kan snarare ses som en förenkling av jämförelsen. I den här studien antas det att utrivningskostnaden för ett befintligt uppvärmningssystem skulle bli lika stor för samtliga system, därför bortses utrivningskostnaden i jämförelsen. De hustyper som studeras i den ekonomiska jämförelsen är ett småhus, ett mindre flerbostadshus (Nils Holgersson-fastigheten) och ett större flerbostadshus.

3.4.1 Systemgränser och avgränsningar

I den ekonomiska analysen används systemgräns 2 från Figur 1, inköpt energi till fastigheten. Systemgränsen speglar hur mycket energi kunden måste köpa in till sin fastighet och sitt uppvärmningssystem, inklusive verkningsgrad. Eftersom studien endast undersöker ett uppvärmningsbehov undersöks inte förlusterna i byggnaden. Då systemgränsen är köpt energi allokeras ej förluster i respektive distributionssystem på kunden i den ekonomiska jämförelsen.

Fastigheternas värmesystem antas i den här studien vara vattenburna radiatorer för samtliga uppvärmningssystem. De bedöms redan finnas i fastigheten och innebär därför ingen extra installationskostnad.

3.4.2 Metodik för kostnadsjämförelsen

En livscykelkostnadsanalys, LCC, syftar till att beräkna en produkts eller ett systems totala kostnad över dess livslängd. Kostnadsjämförelsen sker från ett nyinvesteringsperspektiv, d.v.s. inga tidigare investeringar i uppvärmningssystem kan tillgodoräknas. Det är den årliga uppvärmningskostnaden, fördelat på kapitalkostnader samt fasta och rörliga kostnader, som jämförs systemen emellan. Jämförelsen utförs med hjälp av annuitetsmetoden, som fördelar uppvärmningsalternativets alla kostnader jämt över investeringens ekonomiska livslängd. Detta görs genom att diskontera de framtida kostnaderna till ett nuvärde, som sedan fördelas i årliga annuiteter över den ekonomiska livslängden enligt ekvation (6).

$$annuitet = \frac{Q}{v} * c + k + G\left(d + \frac{p}{(1-(1+p)^n)}\right) \qquad (6)$$

Annuitet:	Årlig kostnad (kr/år)
Q:	Värmebehov (kWh/år)
v:	Verkningsgrad
c:	Energipris (kr/kWh)
k:	Uppsäkringskostnad (kr/år)
d:	Drift- och underhållskostnad (%)
G:	Grundinvestering (kr)
p:	Kalkylränta (%)
n:	Ekonomisk livslängd (år)

Antaganden för de ingående parametrarna i ekvation (6) beskrivs i styckena nedan. Samtliga prisuppgifter är inklusive moms. För en småhusägare är det fullt normalt. Även om näringsverksamhet, så som uthyrning av lägenheter i ett flerbostadshus, är avdragsgill för ingående moms på inköp som görs för den momspliktiga verksamheten (Skatteverket, 2014) räknas momsen med i samtliga kostnadsposter. Detta eftersom slutkonsumenten, i det här fallet lägenhetsinnehavaren, betalar moms på uppvärmning. Finns det då ingen momskostnad för fastighetsägaren resulterar slutkonsumentens momsbetalning på uppvärmning i en ren vinst för fastighetsägaren, vilket blir missvisande för resultatet.

3.4.3 Uppvärmningsbehov

De uppvärmningsbehov används i den här studien redovisas i Tabell 9. Samtliga uppvärmningsbehov inkluderar tappvarmvattenbehov.

Tabell 9. Valda uppvärmningsbehov för respektive fastighet.

	Småhus	Mindre flerbostadshus	Större flerbostadshus
Uppvärmningsbehov (kWh/år)	17 000 (16 800)	193 000	1 000 000
Källa	Energimyndigheten (Energimyndigheten, 2013)	Nils Holgersson-gruppen (Nils Holgersson-gruppen, 2012)	Energimyndigheten och Energimarknadsinspektionen (Energimyndigheten, 2013) (Energimarknadsinspektionen, 2012)

3.4.4 Ekonomisk livslängd

Den ekonomiska livslängden är den tid som en investering bedöms vara privat- eller företagsekonomiskt lönsam.

Enligt Svensk Fjärrvärme är det ibland oklart vad som avses med avskrivningstid, ekonomisk och teknisk livslängd när kostnader för uppvärmningssystem jämförs. Den senare talar om hur

lång tid uppvärmningssystemet är funktionsdugligt och är alltid längre än den ekonomiska livslängden. Därför är det viktigt att bestämma en så riktig teknisk livslängd som möjligt, eftersom denna delvis fungerar som utgångspunkt när den ekonomiska livslängden avgörs. Andra faktorer som också spelar in på den ekonomiska livslängden är att den tekniska utvecklingen inom branschen kan göra det ekonomiskt lönsamt att byta uppvärmningssystem, ökade drifts- och underhållskostnader samt om hänsyn tas till de risker en investering innebär. (Svensk Fjärrvärme, 2007)

I den här studien används den ekonomiska livslängden som avskrivningstid för uppvärmningssystemet. Den ekonomiska livslängden är satt till 15 år motiverat utifrån tidigare jämförelser inom området, bl.a. *Uppvärmning Sverige 2012* (Energimarknadsinspektionen, 2012) samt *Energiindikatorer 2013* (Energimyndigheten, 2013).

3.4.5 Kalkylränta

En investering i ett uppvärmningssystem innebär nästan alltid ett lån med en räntekostnad. Kalkylräntan återger avkastningskravet, alternativkostnaden samt de risker som återfinns för det kapital som fastighetsägaren binder i sin investering.

Vid användning av kalkylränta är det viktigt att skilja på real ränta och nominell ränta. Om en justering för inflation görs i de prisuppgifter som rör uppvärmningsalternativen så ska kalkylräntan även innehålla inflationsjustering och vice versa. Real ränta är den ränta som fås efter inflationen dragits av från den nominella räntan, som är den ränta som bankerna erbjuder. En real ränta speglar alltså den faktiskta räntesatsen för ett specifikt år. Eftersom lånet tas idag, men betalningen uppstår över lånets löptid, används i den här studien en real ränta som tar hänsyn till inflationen under samma tidsperiod som lånet löper.

En tioårig bolåneränta har ungefär samma löptid som uppvärmningsalternativens ekonomiska livslängd och bedöms därför som ett rimligt antagande för kalkylräntan. En nominell, genomsnittlig bolåneränta på 4.7 % samt en inflationsjustering på 2 % ger en real ränta på 2.7 % respektive 6 % för flerbostadshusen då dessa oftast har högre avkastningskrav och det är ett större risktagande inblandat. Dessa räntesatser används bl.a. i kostnadsjämförelserna *Uppvärmning Sverige 2012* (Energimarknadsinspektionen, 2012) samt *Energiindikatorer 2013* (Energimyndigheten, 2013) och antas därför vara representativa att använda även i den här studien.

3.4.6 Investeringskostnader

Investeringskostnaderna för ett uppvärmningssystem varierar mycket beroende på geografiska och fastighetsspecifika förutsättningar.

Fjärrvärme

Installation av fjärrvärme består av följande kostnadsposter:

- Rördragning från befintligt fjärrvärmenät fram till huset
- Rördragning inne i huset
- Installation av fjärrvärmecentral
- Anslutningsavgift

En av de kostnadsposter som kan variera mycket i fjärrvärmefallet är servisledningen, som är beroende av hur långt det är till befintligt fjärrvärmenät samt vilken typ av mark det är. Om fastigheten är ett småhus och ligger mindre än 20 meter från befintlig ledning så ingår detta i den schablonmässiga kostnaden som en kund erbjuds av Kraftringen. Efter 20 meter tillkommer en kostnad för extra servisledning. För flerbostadshus finns inget schablonmässigt avstånd utan kostnaden varierar från fall till fall.

Då det är Lunds kommun som är det avgränsade området för studien har Kraftringens egna prisuppgifter på fjärrvärme använts. I intervju med försäljningsavdelningen angavs generella prisuppgifter för de studerade fastighetstyperna enligt Tabell 10 (Nilsson, 2014).

Tabell 10. Investeringskostnader för fjärrvärme i Lunds kommun.

	Småhus	Litet flerbostadshus	Stort flerbostadshus
Anslutningskostnad (kr)	30 000	62 500	312 500
Värmeväxlare och installationskostnad (kr)	45 000	125 000	625 000
Total kostnad (kr)	75 000	187 500	937 500

Bergvärmepump

Kostnaden för att installera bergvärme varierar främst på grund av följande faktorer (Svensk Fjärrvärme, 2007):

- Kostnaden för borrhålet (bergart, jorddjup ovanför berg, närhet till andra brunnhål, fastighetens geografiska placering, misslyckade borrningar)
- Anläggningens omfattning och utformning
- Värmepumpens effekt i förhållande till energibehovet hos fastigheten
- Dimensioneringen av det spetsuppvärmningssystem som installeras
- Inköpskostnaden för komponenter till uppvärmningssystemet
- Konkurrenssituationen på den regionala installatörsmarknaden

Vid en telefonintervju med EkoEnergi AB, en regional värmepumpsinstallatör, framkom det att installationskostnaderna varierar mycket i just Lunds kommun beroende på att förutsättningarna i berggrunden varierar och att en småhus kan räkna med en total

investeringskostnad på minst 150 000 kronor för en bergvärmepumpsanläggning (Scholtz, 2014). Enligt Sveriges Geologiska Undersökning, SGU, varierar djupet till berggrunden i Lund med allt från cirka 10 meter ned till nästan 100 meter (SGU, 2014).

Uppgifterna från EkoEnergi stämmer bra överrens med övrig studerad litteratur, exempelvis *Uppvärmning Sverige 2012* (Energimarknadsinspektionen, 2012) samt *Energiindikatorer 2013* (Energimyndigheten, 2013) och används som indata i kostnadsjämförelsen för ett småhus. För ett flerbostadshus används samma uppgifter om installationskostnader som används i Värmeräknaren av Profu. Dessa bygger på Profus energisystemmodell REAM som i sin tur bygger på kontakt med installatörer. Investeringskostnaderna återges i Tabell 11.

Tabell 11. Investeringskostnader för bergvärmepump i Lunds kommun.

	Småhus	Litet flerbostadshus	Stort flerbostadshus
Borrhål (kr)	75 000	427 187	2 278 500
Värmepump och installation (kr)	75 000	444 623	2 371 500
Total kostnad (kr)	150 000	871 810	4 650 000

Luft/vatten-värmepump

En luft/vatten-värmepump har lägre investeringskostnad än en bergvärmepump då det inte behövs borras någon energibrunn. Kostnaden varierar enligt följande faktorer:

- Anläggningens omfattning och utformning
- Värmepumpens effekt i förhållande till energibehovet hos fastigheten
- Dimensioneringen av det spetsuppvärmningssystem som installeras
- Inköpskostnaden för komponenter till uppvärmningssystemet
- Konkurrenssituationen på den regionala installatörsmarknaden

I telefonintervju med EkoEnergi AB anges en minsta kostnad på 110 000 kronor för installation av luft/vatten-värmepump i en villa i Lunds kommun (Scholtz, 2014). Uppgifterna från EkoEnergi stämmer bra överrens med tidigare jämförelser inom området så som *Uppvärmning Sverige 2012* (Energimarknadsinspektionen, 2012) samt *Energiindikatorer 2013* (Energimyndigheten, 2013) och används som indata i kostnadsjämförelsen för ett småhus. För flerbostadshus har samma källa som för bergvärmepump använts, Värmeräknaren från Profu. Investeringskostnaderna återges i Tabell 12.

Tabell 12. Investeringskostnader för luft/vatten-värmepump i Lunds kommun.

	Småhus	Litet flerbostadshus	Stort flerbostadshus
Luft/vatten-värmepump Komplett system (kr)	110 000	436 795	1 970 000

Sammanfattande investeringskostnader

De antaganden för investeringskostnader som görs sammanfattas i Tabell 13 och beskrivs utförligare i styckena nedan. De representerar ett generellt fall och deras inverkan på resultatet studeras vidare i känslighetsanalysen.

Tabell 13. Investeringskostnader för de studerade uppvärmningsalternativen.

	Småhus	Litet flerbostadshus	Stort flerbostadshus
Fjärrvärme			
Anslutningskostnad (kr)	30 000	62 500	312 500
Värmeväxlare och installationskostnad (kr)	45 000	125 000	625 000
Total kostnad (kr)	75 000	187 500	937 500
Bergvärmepump			
Borrhål (kr)	75 000	427 187	2 278 500
Värmepump och installation (kr)	75 000	444 623	2 371 500
Total kostnad (kr)	150 000	871 810	4 650 000
Luft/vatten-värmepump			
Komplett system (kr)	110 000	436 795	1 970 000

3.4.7 Energikostnader

De energipriser som används i den ekonomiska analysen sammanfattas i Tabell 14. I grundfallet tas inte hänsyn till en energiprisutveckling, detta är dock något som undersöks i känslighetsanalysen. Eftersom elmarknaden är avreglerad, och en kund har rätt att teckna ett elavtal med vilket elhandelsbolag som helst, kommer ett statistiskt medelvärde från aktuellt prisområde för respektive fastighetstyp att räknas fram. Då det är Kraftringen som äger fjärrvärmenätet inom det geografiska området för studien används Kraftringens fjärrvärmepriser för det aktuella året.

Tabell 14. Sammanfattande energipriser för de studerade fastigheterna år 2014.

Typ av pris	**Småhus**	**Mindre flerbostadshus**	**Större flerbostadshus**
Elhandelspris (öre/kWh)	111,6	105,5	105,5
Rörligt elnätspris (öre/kWh)	16,3	7,5	7.5
Fjärrvärmepris (öre/kWh)	74	93,7	92,9
Tillkommande fast elnätskostnad (kr/år) Bergvärmepump	1877	62 712	266 570
Tillkommande fast elnätskostnad (kr/år) Luft/vatten-värmepump	3210	79 624	379 320
Fast avgift (kr/år) Fjärrvärme	4000	0	0

Elkostnader

Elpriset består av två huvuddelar, elnätsavgift och elenergiavgift. Elnätsavgiften består av en fast abonnemangskostnad samt en överföringsavgift för den mängd el som levereras till fastigheten och betalas till elnätsägaren i området. Elenergiavgiften är priset på energi i form av el samt energiskatt, moms och vinstpåslag.

Elnätsavgift och uppsäkringskostnad

I Lunds kommun är Kraftringen elnätsägare, alltså används deras prisuppgifter för dessa kostnadsposter (Kraftringen AB, 2014) (Kraftringen, 2014). Den fasta abonnemangsavgiften för en fastighets ursprungliga säkring hade betalts oavsett uppvärmningssystem, därför är det heller inte motiverat att den kostnaden inkluderas i den ekonomiska jämförelsen. Däremot måste det vid installation av värmepump i en fastighet ske en uppsäkring eftersom det under vissa dagar av året kommer att ske ett större effektuttag än tidigare. Ökningen i säkringskostnad per år kan således allokeras fullt ut till uppvärmningsalternativet och bör därför räknas med i den ekonomiska analysen.

I den här studien bedöms småhusägaren göra en uppsäkring från 16 A till 20 A vid installation av bergvärmepump och till 25 A vid luft/vatten-värmepump i ett småhus. Eftersom luft/vatten-värmepump fungerar dåligt vid riktigt kalla temperaturer dimensioneras oftast elpannan något större än i bergvärmepumpsfallet, därav skillnaden i uppsäkring. Tabell 27 i Bilaga B visar rekommenderade säkringsstorlekar för olika effektuttag och årsförbrukning av el för ett småhus.

Uppsäkring i ett flerbostadshus ser annorlunda ut då de vanligen täcks av effektabonnemang. I Kraftringens effektabonnemang ingår en fast avgift, en abonnemangsavgift, en effektavgift samt en överföringsavgift (Kraftringen, 2014). Profu har, för sitt verktyg Värmeräknaren, varit i kontakt med värmepumpsinstallatörer för att undersöka vad uppsäkringskostnaderna ligger på för värmepumpar. För ett mindre flerbostadshus är den beräknade maxeffekten 110 kW för ett bergvärmepumpssystem och 140 kW för ett luft/vatten-värmepumpssystem, för ett större flerbostadshus är den 520 kW respektive 720 kW (Axelsson, 2014). Eftersom uppsäkringen är effektberoende varierar den mellan olika fastigheter och dess påverkan på resultatet undersöks i känslighetsanalysen.

Elenergiavgift

Elenergiavgiften är i Sverige indelad i fyra olika prisområden, där den här studien befinner sig i prisområde SE4. Elenergiavgiften varier från år till år, för att få ett rättvist medelvärde i befintligt prisområde har statistik från 2009-2013 års elenergipriser i SE4 inhämtats från Statistiska Centralbyrån, SCB. Kategorierna hos SCB delas in efter årlig elförbrukning, en privatkund i ett småhus med värmepump hamnar därför i kategorin Villa utan elvärme och en näringsidkare med en värmepump i ett flerbostadshus i kategorin Näringsverksamhet. Ett årsmedelvärde för avtalstyperna Villa utan elvärme och Näringsverksamhet räknades ut och efter viktning per procentandel för respektive avtalstyp och år räknades ett genomsnittligt elenergipris ut. I Tabell 28 i Bilaga B redovisas avtalsfördelning och årsmedelvärden för Villa utan elvärme respektive Näringsverksamhet.

Till elnätsavgiften och elenergiavgiften tillkommer energiskatt och moms. Energiskatten är sedan januari 2013 29.3 öre/kWh på samtliga kommuner i SE4 (Skatteverket, 2013). En moms på 25 % tillkommer på elenergiavgiften samt energiskatten men inte på den fasta och rörliga elnätsavgiften då den redan är inkluderad där (Kraftringen AB, 2014).

Fjärrvärmekostnader

Fjärrvärmepriset hos Kraftringen är differentierat beroende på om det är ett småhus eller ett flerbostadshus. För privatpersoner finns det ett fast standardavtal och ett rörligt avtal, för flerbostadshus är det ett säsongs- och effekt-differentierat pris som gäller. Då uppvärmningsbehovet ligger på över 17 000 kWh/år blir standardavtalet billigare, därför har denna avtalsform för ett småhus använts i den här studien (Kraftringen, 2014). För ett flerbostadshus är priset säsongs- och effektdimensionerat enligt Tabell 31 i Bilaga B. Enligt Kraftringens hemsida blir fjärrvärmepriset 93.7 öre/kWh för ett mindre flerbostadshus med ett uppvärmningsbehov på 193 MWh/år och 92.9 öre/kWh för ett större flerbostadshus med ett uppvärmningsbehov på 1 GWh/år (Kraftringen, 2014).

3.4.8 Ekonomisk värdering av miljöpåverkan

Som nämnt i stycke 2.3 innebär de beskrivna synsätten på en hållbar ekonomisk utveckling att ett pris på miljöpåverkan kan sättas. Ekosystemen påverkas i negativ, och till viss del irreversibel, riktning genom förbrukningen av ändliga resurser och utsläpp av växthusgaser. Inom ramen för ett kapitalistiskt, marknadsekonomiskt system har denna miljöpåverkan också ett ekonomiskt värde. Klimatkompensation är en finansiering av en åtgärd som en privatperson eller näringsidkare kan nyttja sig av. Med hjälp av detta system köps utsläppsreducerande åtgärder motsvarande den mängd utsläpp som kunden vill kompensera för.

Oavsett om klimatkompensation ses som en välgörenhet eller en avfallshanteringstjänst är det ett sätt att värdera skillnaden i miljöpåverkan mellan olika uppvärmningssystem. För den här miljövärderingen används ett marginalperspektiv och den elproduktionen som används är från referensscenariot i rapporten *Effekter av förändrad elanvändning och elproduktion*. För att kunna jämföra uppvärmningsalternativen har emissionsfaktorn från marginalproduktionsscenariot, enligt Tabell 8, multiplicerats med respektive fastighets uppvärmningsbehov.

I den här jämförelsen har Tricorona Gold Standard CER valts som medel att klimatkompensera med. Gold standard är kvalitetsstämpel framtagen av WWF som fokuserar på projekt inom förnybar energi, energieffektiviseringar och minskad avskogning men även med krav på socialt ansvarstagande och hållbar utveckling. Gold standard kontrolleras av FN:s oberoende revisorer och är betrodd av mer än 80 internationella miljöorganisationer. (Tricorona, 2014)

I ett jämförande perspektiv har samtliga uppvärmningssystem pålagts en miljökostnad. Att klimatkompensera 1 ton $CO_{2\text{-}e}$ kostar med Tricorona Gold Standard CER 362,50 kr inklusive moms (Tricorona, 2014). Utsläppen, i ton $CO_{2\text{-}e}$ per år och fastighetstyp multipliceras med klimatkompensationskostnaden. Då kostnaden att klimatkompensera uppstår årligen kan den påläggas uppvärmningsalternativets årliga kostnad.

4 Socioekonomiska effekter

I det här kapitlet analyseras de samhällsekonomiska och sociala effekter som uppstår eller påverkas vid val av uppvärmningssystem.

4.1 Sysselsättning på kommunal nivå

I rapporten *Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme* (Sirje, et al., 2013) utfördes en analys av samhällsekonomiska effekter på kommunal nivå. Fjärrvärmebranschens bidrag till kommunens sysselsättning analyserades genom att studera effekterna av att fjärrvärmebranschen plockades bort ur kommunen i verktyget rAps och se hur sysselsättningen i övriga branscher påverkades. I den här studien har inte resurserna för att genomföra motsvarande analys funnits och istället har resultatet från referenslitteraturen approximerats till Lunds kommun. Författarna till referenslitteraturen poängterar att analysen, där hela fjärrvärmesektorn plockas bort utan att ersättas av något annat, är ”naiv” eftersom energisystemet hade utvecklats annorlunda om fjärrvärmen inte funnits. Metodiken motiveras dock genom att det är ett enkelt sätt att kartlägga några av de effekter som fjärrvärmen genererar i energisystemet. I analysen på kommunnivå har det antagits att fjärrvärmen helt försvinner och inte ersätts av något annat, vilket motiveras genom att produktionen av värmepumpar är koncentrerat till ett fåtal övriga kommuner som inte omfattats av studien.

4.1.1 Metodik

I den här studien har dock ett försök gjorts att uppskatta hur den ökade produktionen av el och värmepumpar påverkar antalet sysselsatta inom kommunen. För att ta reda på om samma metodik som används i referenslitteraturen är relevant för den här studien undersöks initialt följande frågeställningar:

- Är resultatet från analysen, där fjärrvärmen helt plockas bort ur energisystemet, överförbart till den här studiens syfte: ett val av uppvärmningssystem?
- Är resultatet överförbart till Lunds kommun, d.v.s. skulle samma händelseförlopp ske i Lunds kommun som i de modellerade kommunerna?

Syftet med den här studien är att undersöka effekterna av en kunds val av uppvärmningssystem. Därför blir det långsökt att använda en metodik där hela fjärrvärmesystemet försvinner för att besvara frågan. Tillsammans blir flera kunders enskilda val betydande och därför är det motiverat att vidga frågeställningen till:

- Vad händer om alla skulle byta från fjärrvärme till värmepumpar?

De i referenslitteraturen studerade kommunerna skiljer sig från Lunds kommun då den ekonomiska verksamheten i kommunen är fördelad på andra branscher. Därför blir approximeringen en tämligen grov uppskattning, men eftersom det är det enda sättet att få fram motsvarande siffror utan att göra en specifik simulering för Lunds kommun är det motiverat att göra en approximering (Pädam, 2014). Dock bör alla resultat från en sådan approximering tas som en grov uppskattning.

4.1.2 Fjärrvärme

Approximeringen har gjorts genom att ta resultatet från rAps-modelleringen av tre kommuner i Jämtland; Östersund, Åre och Krokom, och jämföra den i referenslitteraturen beräknade multiplikationsfaktorn för sysselsättning i Jämtlandskommunerna med Lunds kommun. Multiplikationsfaktorn anger det totala antalet tjänster som genereras per direkt anställda inom fjärrvärmebranschen. För Jämtlandskommunerna var 110 tjänster inom fjärrvärmen direkt påverkade och övriga branscher stod för 66 tjänster, varav 8 var inom skogsbruk och sågverk, vilket resulterar i en multipliationsfaktor på 1,67. De extra tjänsterna som genereras inom branscherna skogsbruk och sågverk plockas bort eftersom dessa inte bedöms finnas inom Lund kommun och på så vis justeras multiplikationsfaktorn för sysselsättning ned. Den approximerade multiplikationsfaktorn för Lund blir då 1,53.

Kraftringen har idag totalt ca 400 anställda, och av dessa arbetar i dagsläget 87 personer med fjärrvärmeproduktion. Dessa 87 personer arbetar med fjärrvärme inom hela Kraftringen och alltså inte enbart inom Lunds kommun. För att ta reda på hur många som sysselsätts av fjärrvärmen inom Lunds kommun fördelas de anställda efter mängden levererad energi till respektive del av nätet. Lunds kommun står för totalt cirka 75 % av värmelasten i Kraftringens fjärrvärmenät och det leder till att 65,25 personer antas vara anställda med att producera fjärrvärme till Lunds kommun. Med en multiplikationsfaktor för sysselsättning på 1,53 blir det totala antalet människor anställda tack vare fjärrvärmen i Lunds kommun cirka 100 personer.

4.1.3 Värmepump

Enligt SCB:s statistik över elanvändning och produktion användes mellan åren 2009-2011 i genomsnitt 1179 GWh/år el i Lunds kommun och under samma period producerades i snitt 66 GWh inom kommunen (SCB, 2014). Detta innebär att 5,6 % av elen som används i kommunen kan anses komma från elproduktion inom kommunen. Om fjärrvärmen i kommunen skulle försvinna till förmån för eldrivna värmepumpar skulle efterfrågan på el inom kommunen öka motsvarande det nuvarande fjärrvärmeunderlaget. Om kvoten mellan elproduktion och elanvändning inom kommunen antas vara konstant kommer 5,6 % av den ökade efterfrågan på el tillgodoses av en ökad elproduktion inom kommunen. Vidare så antas att värmeproduktion är lika arbetskrävande som elproduktion och att verkningsgraden från bränsle till värme är lika stora systemen emellan.

Detta gör att kvoten mellan elproduktion och elanvändning kan multipliceras med antalet anställda i dagens fjärrvärmeproduktion, för att beräkna antalet sysselsatta som kan antas genereras inom elproduktionen i kommunen till följd av att fjärrvärmen försvinner. Resultatet blir att 3,7 personer anställs av elproduktion inom kommunen.

Dessutom skapas fler jobb inom produktionen av värmepumpar. Enligt Svenska Värmepump Föreningen, SVEP, finns dock inga tillverkare av värmepumpar inom Lunds kommun (SVEP, 2014). För att uppskatta mängden arbeten som skapas för att installera värmepumpar har värmepumpsinstallatörer kontaktats. Utifrån deras uppgifter har en genomsnittlig installationstid för en värmepump i ett småhus uppskattats till 20 h, eller två värmepumpar per arbetsvecka, inkluderande både VVS och elarbete (Scholtz, 2014). Med denna uppgift kan en

anställd antas kunna installera 94 värmepumpar per år, räknat med fem veckors semester. Om arbetsmängden skalar linjärt mot uppvärmningsbehovet och en villa antas behöva 17 MWh per år, samt att hela Lunds fjärrvärmeunderlag (750 GWh) övergår till värmepumpar som antas hålla i 15 år kan antalet sysselsatta med installationer uppskattas genom ekvation (7):

$$N_{sys} = \frac{Q_{fjv}}{Q_{villa} \cdot N_{inst}} \qquad (7)$$

N_{sys} = Antal sysselsatta med installationer av värmepumpar
Q_{fjv} = Fjärrvärmeunderlaget i Lunds kommun
Q_{villa} = Årligt värmebehov i ett småhus
N_{inst} = Antal värmepumpsinstallationer per anställd och år

Resultatet blir 31,3 sysselsatta med att installera värmepumpar. Totalt blir det 35 sysselsatta i scenariot där fjärrvärmen ersätts av värmepumpar.

4.1.4 Sammanfattning

Enligt denna enkla uppskattning skulle alltså en övergång från fjärrvärme till värmepumpar leda till att det blev 65 färre arbetstillfällen inom Lunds kommun. Det går även att tolka som att uppvärmningsalternativet fjärrvärme sysselsätter knappt dubbelt så många personer som värmepumpar sett till Lunds kommun.

4.2 Övriga effekter

I *Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme* (Sirje, et al., 2013) utförs en analys av vilka samhällekonomiska effekter som uppstår om fjärrvärmen försvinner från det svenska energisystemet. Bland annat utförs en kvalititav analys på områden som berörs men där effekten inte har kunnat kvantifieras. De i referenslitteraturen berörda områdena har här analyserats utifrån den aktuella avgränsningen. Områden som berörs i en valsituation, men som inte tagits upp i referenslitteraturen, har lagts till. Av de studerade områdena är vissa rent samhällsekonomiska aspekter medans andra påverkar den enskilda kunden socialt.

De studerade områdena är:

- Avfall
- Biobränsle
- Industriell spillvärme
- Torv
- Kapacitet i elnät
- Flexibilitet i energisystemet
- Leveranssäkerhet
- Tillgänglighet
- Användarvänlighet
- Sociala effekter i leverantörskedjan
- Fjärrkyla

Frågeställning är: vilket är det mest hållbara valet av uppvärmningsalternativ i Lunds kommun med avseende på det studerade området? Bedömningen baseras på studerad litteratur men är till viss del subjektiv.

4.2.1 Avfall

Avfallet bidrog år 2012 till 14,7 TWh energi som insats i det svenska energisystemet, där 13 TWh var värme och 1,7 TWh el (Avfall Sverige, 2013). Sverige har den effektivaste avfallsförbränningen i Europa, cirka 3 MWh/ton (Avfall Sverige, 2008), och ungefär hälften av hushållsavfallet går till energiåtervinning, främst i kraftvärmeverk där värme och el produceras. Förbränningskapaciteten är redan idag större än vad de inhemskt uppkomna soporna räcker till, det sker alltså en import av sopor idag.

Fjärrvärme som system skapar en inhemsk marknad för avfallsförbränning och utan den är det i dagsläget svårt att säga vad som skulle hända med det avfall som uppkommer. Det råder deponiförbud i Sverige, elproduktion utan att ta tillvara på värmen skulle vara ytterst olönsamt på grund av den låga verkningsgraden och för export av avfallet utomlands krävs att mottagarländerna har kapacitet att ta emot det samt att de kan kvalitetssäkra hanteringen av avfallet.

Ett svenskt energisystem utan fjärrvärme skulle innebära en stor risk för att den samhällekonomiska kostnaden för avfallshantering skulle öka (Sirje, et al., 2013). Detta beror dels på att avfall som energiresurs till stor del skulle gå förlorad då enbart kraftgenerering med avfall som bränsle är ineffektivt, samt att alternativhanteringen är svår att uppskatta. Detta gäller dock på nationell nivå och frågan här är om valet av uppvärmningssystem i Lunds kommun har någon inverkan.

Eftersom Kraftringen idag inte bränner avfall bedöms det troligt att soporna tar samma väg som de gör idag, oavsett hur många som har fjärrvärme inom Lunds kommun. Det är Sysav som tar hand om och återvinner avfall i södra Skåne. På avfallskraftvärmevärket Spillepengen återvinns bl.a. hushållsavfallet till energi. Spillepengen är inkopplat på Malmös fjärrvärmenät som ägs av E.ON. Uppkomsten och flödet av sopor bedöms alltså som oförändrat oavsett om en kund inom Lunds kommun väljer fjärrvärme eller värmepump då avfallsförbränningen sker i Malmö.

4.2.2 Biobränsle

Biobränslen är vanliga bränslen inom kraftvärmeverken i Sverige idag. Enligt Svensk Fjärrvärme utgjorde biobränslen 42 % av energitillförseln i fjärrvärmesystemen år 2012 (Svensk Fjärrvärme, 2014). I Kraftringens produktion uppgick biobränslen till 40 % av den totala tillförda energin enligt Figur 2. De branscher som levererar biobränslen är främst skogsbruket och sågverken. Merparten av de skogsbränslen som Kraftringen köper kommer från Skåne, resten från södra och mellersta Småland, returträ importeras till hälften från utlandet. Om restprodukter, som exempelvis sekundära biobränslen, kommer till användning är det samhällekonomiskt fördelaktigt om alternativet är att de inte utnyttjas överhuvudtaget.

Ett minskat värmeunderlag för fjärrvärme innebär lägre avsättning för avverkningsresterna från skogsbruket då användningsområden för resterna är begränsat. Ett minskat

värmeunderlag leder även till en ökad framställning av förädlat trädbränsle på bekostnad av andelen oförädlat bränsle. För både oförädlade och förädlade trädbränslen finns det en regional, nationell och global marknad. I referenslitteraturen bedöms inte den nationella marknaden påverkas negativt i fallet då fjärrvärmen försvinner ur energisystemet (Sirje, et al., 2013). Valet av uppvärmningssystem i Lunds kommun bedöms inte heller påverka dessa marknader då det finns alternativ avsättning för bränslet. I Lunds kommun finns inte heller någon större skogsindustri, sågverk, livsmedelsproduktion eller annan industri med biobränslen som restprodukter som påverkas.

4.2.3 Industriell spillvärme

Spillvärme från industrier utgör en dubbel nytta i samhället. Industriföretagen slipper betala för att kyla sin process och får istället intäkter för använda fjärrvärmenätet som en värmesänka. Fjärrvärmebolagen får tillgång till billig värme och slipper elda diverse bränslen och samhället som helhet får tillgång till resurser som annars hade gått förlorade. De industribranscher som levererar spillvärme i Sverige är främst skogs- och massaindustri, järn-, stål- samt kemiindustri.

I medelproduktionsprognosen för Kraftringens fjärrvärme över de närmsta 15 åren står spillvärmen för 12 % av produktion jämnt fördelat per år. I prognosen ingår spillvärmeleveranser från MAX IV, ESS och en viss del importerad värme via EVITA-ledningen. Detta innebär att industriell spillvärme står för en betydande del av uppvärmningen inom kommunen.

Ett sätt att försöka värdera spillvärmens samhällsekonomiska värde är att värdera den som en fri resurs, där det förlorade värdet blir priset multiplicerat med volymen (Sirje, et al., 2013). Leveranserna av spillvärme i Lunds fjärrvärmenät uppgår årligen, över den prognosticerade tiden, till cirka 120 GWh (12 % multiplicerat med 1 TWh). Räknat med 10 % distributionsförluster levererades alltså 108 GWh spillvärmebaserad fjärrvärme. I en samhällsekonomisk kalkyl bör slutkonsumentens pris vara utgångspunkten när det gäller värdet på en vara eller tjänst. Det genomsnittliga fjärrvärmepriset i Lunds kommun är idag 86,90 öre/kWh. Utan att räkna med någon prisutveckling resulterar det i en samhällsekonomisk kostnad på cirka 94 miljoner kronor årligen om spillvärmen inte tas tillvara på.

Förutom den rent ekonomiska värderingen innebär spillvärme även en miljönytta. För spillvärmen antas inga koldioxidutsläpp och ingen primärenergianvändning, enligt Tabell 6, då all påverkan bedöms belasta ursprungsprocessen. Att kunna ta tillvara på industriell spillvärme genom fjärrvärmenätet bedöms därför som viktig ur både ett samhällsekonomiskt och miljömässigt perspektiv. Med avseende på industriell spillvärme som en samhällsnytta bedöms fjärrvärme vara det mest hållbara valet av uppvärmningssystem inom Lunds kommun.

4.2.4 Torv

Sveriges landyta täcks till cirka ¼ av torv och den årliga tillväxten är betydligt större än den årliga skörden för förbränning. Torv används i cirka 30 värme- och kraftvärmeverk i Sverige idag och står i genomsnitt för cirka 5 % (2,7 TWh) av insatt bränsle i den svenska fjärrvärmemixen (Sirje, et al., 2013).

Örtoftaverket är ett av dessa kraftvärmeverk, torven utgör här cirka 15 % av produktionen. Torvproduktionen i Sverige är koncentrerad till ett antal kommuner och Lunds kommun är inte en av dem. Även om användningen av torv i Kraftringens fjärrvärmemix inte är obetydlig bedöms det finnas avsättning för den torven i övriga fjärrvärmenät i Sverige. Effekterna på torvens produktion, användning och marknad från valet av uppvärmningssystem i Lunds kommun bedöms därför som obetydliga.

4.2.5 Kapacitet i elnät

Svenska Kraftnät har, i rapporten *Perspektivplan 2025 – En utvecklingsplan för det svenska stamnätet* (Svenska Kraftnät, 2012), bedömt att de totala investeringarna i elområde SE4 fram till 2025 kommer att kosta 55-60 miljarder SEK. De huvudsakliga utmaningarna i elområde SE4 identifieras som:

1. Anslutning av havsbaserad vindkraft
2. Alltför svagt nät i delar av området
3. Begränsningar i överföringskapacitet från mellersta Sverige (SE3)
4. Ökad integration med Europa

Vid val av värmepump kommer efterfrågan på el att öka vilket kan förstärka punkt 2 och 3 ovan. Detta medför ökade investeringsbehov i elnätet inom regionen vilket leder till en ökad samhällsekonomisk kostnad. Med avseende på kapacitet i elnät bedöms fjärrvärme vara det mer hållbara valet av uppvärmningssystem då det inte bidrar till ett ökat investeringsbehov i elnätet.

4.2.6 Flexibilitet i energisystemet

Fjärrvärme som uppvärmningsteknik utgör en storskalig produktion och distribution av värme som ersätter enskilda uppvärmningssystem. Den har historiskt sätt visat sig anpassningsbar vid omvärldshändelser och politiska direktiv som berört energibranschen. Produktionsmixen har gått från att vara oljedominerad i början på 1980-talet, då den största fjärrvärmeexpansionen skedde, till en blandning av främst avfall, spillvärme och biobränslen (Svensk Fjärrvärme, 2014). Dagens energipolitiska mål inriktar sig mer på effektiviseringar hos kunden, då produktionsstyrning till viss del redan är uppnådd.

Resultatet från analysen som utfördes i *Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme* (Sirje, et al., 2013) visar att ett energisystem med fjärrvärme är mer flexibelt än ett utan fjärrvärme eftersom det anpassade sig bättre till de förändringar som infördes i känslighetsanalysen. Ett energisystem där stora delar av värmen produceras och distribueras centralt är mer flexibelt än ett energisystem med fler separata uppvärmningslösningar i fastigheterna inom kommunen.

Värmepumpar är förvisso en energi- och resurseffektiv lösning men när det gäller ett systemperspektiv har fjärrvärmeproduktionen visat sig vara mer flexibel än elproduktionen när det gäller anpassning till exempelvis nya energipolitiska mål. Med avseende på flexibiliteten i respektive energisystem bedöms fjärrvärme vara det mest hållbara valet av uppvärmningssystem i Lunds kommun.

4.2.7 Leveranssäkerhet

Leveranssäkerhet för uppvärmning av fastigheter är viktig ur ett socioekonomiskt perspektiv då uppvärmning är en grundläggande samhällsfunktion. Fjärrvärmesystemet kan ses som mer leveranssäkert än elsystemet för uppvärmning av två anledningar. Ledningarna i fjärrvärmens distributionssystem är nedgrävda i marken till skillnad från elnätet som till viss del är luftburet. Eftersom värmen i fjärrvärmens distributionssystem lagras i vattenmassa finns det en ledtid mellan ett eventuellt produktionsbortfall och när fjärrvärmecentralen slutar att värma upp en fastighet. Vid ett avbrott i elnätet slutar värmepumpen att fungera då kompressorn drivs av el.

Även om det inte sker många avbrott i respektive system bedöms leveranssäkerheten ha ett högt värde. Vid ett bortfall kan stora kostnader uppstå, oavsett system. Med avseende på leveranssäkerhet bedöms fjärrvärme vara det mest hållbara valet av uppvärmningssystem i Lunds kommun på grund av ovan nämna anledningar.

4.2.8 Tillgänglighet

En fördel som elvärmen har relativt fjärrvärme är att den är tillgänglig på många ställen där det inte finns fjärrvärme och elvärmen har därmed en viktig roll i samhället oavsett vilket alternativ som är mest hållbart sett till övriga aspekter. Fjärrvärmen är begränsad på så vis att den inte är lönsam att expandera till lika stora områden som elnätet täcker. Just denna undersökning är begränsad till Lunds kommun och även inom kommunen finns områden dit fjärrvärmen inte sträcker sig. Majoriteten av fastigheterna inom kommunen bedöms ha tillgång till el och kan således installera en värmepump. Fjärrvärmenätet är begränsat till främst Lunds tätort. Med avseende på tillgänglighet bedöms värmepumpar vara det mest hållbara valet av uppvärmningssystem inom Lunds kommun.

4.2.9 Användarvänlighet

Ur kundens perspektiv är ett användarvänligt uppvärmningssystem hållbart ur ett socialt perspektiv då det innebär mindre risk för att systemet underpresterar på grund av felhantering. Ett uppvärmningssystem som ställer krav på användarens kunskap riskerar även stänga ute användare som inte besitter den nödvändiga kunskapen. Både bergvärmepump och fjärrvärme är relativt underhållsfria för kunden. För båda systemen finns instruktioner från leverantören för hur årlig kontroll och skötsel av komponenter kan genomföras. Luft/vatten-värmepump kräver mer kontinuerligt underhåll. Utedelen bör hållas fri från löv, snö och is, i innedelen sitter det filter som bör rengöras regelbundet. För bergvärmepumpen består utedelen av energibrunnen som behöver förnyas med jämna, om än långa, tidsintervall.

En värmepumpsanvändare behöver generellt sett ha bättre uppsikt på sitt uppvärmningssystem då en större del av det är under kundens eget ansvar. Med avseende på

användarvänlighet bedöms fjärrvärme vara det mer hållbara valet av uppvärmningssystemet inom Lunds kommun eftersom det är ett relativt underhållsfritt uppvärmningssystem.

4.2.10 Sociala effekter i leverantörskedjan

Både fjärrvärme och värmepumpar är beroende av stora produktions- och distributionssystem som utgörs av delar och material framställda i olika delar av världen. Detsamma gäller för de enskilda komponenter som sitter ute hos kunden. För att kunna säga att uppvärmningssystemen är socialt hållbara bör bland annat alla delar i systemen vara producerade under skäliga arbetsvillkor. Detta kan åstadkommas genom tydliga regler vid inköp och krav på underleverantörer. Huruvida Kraftringen skulle ha annorlunda krav på underleverantörer jämfört med aktörer inom värmepump- eller elbranschen har inte undersökts. Däremot kan det konstateras att Kraftringen som enskilt ansvarig för fjärrvärmen i Lund har större möjlighet att påverka sina underleverantörer jämfört med kedjan elproduktion till värme från värmepumpar, där flera aktörer delar på ansvaret. Ingen ställning har tagits kring vilket som är det mest hållbara valet av uppvärmningssystem med avseenda på sociala effekter i leverantörskedjan.

4.2.11 Fjärrkyla

Fjärrkyla i Sverige används främst för ett klimatbehov och klimatkrav som finns i lokaler och produceras via frikyla, absorptionskylmaskiner, kalla sidan på värmepumpar eller kylmaskiner. Fjärrkylaleveranser uppgår årligen till 1 TWh i Sverige (Sirje, et al., 2013). I Lunds kommun levereras årligen cirka 66 GWh fjärrkyla, främst till företag (Kraftringen, 2014).

Fjärrkylan är beroende av fjärrvärmens utbredning och leveranser, dock kan fjärrkyla rent samhällskostnadsmässigt ersättas med andra kyltekniker (Sirje, et al., 2013). På grund av att samhällskostnaden inte påverkas bedöms inget uppvärmningssystem vara mer hållbart än det andra med avseende på fjärrkyla.

4.2.12 Sammanfattande bedömning

Bedömningen av vilket uppvärmningssystem som är mest hållbart i Lunds kommun med avseende på de studerade områdena sammanfattas i tabell 15 nedan.

Tabell 15. Sammanfattande bedömning av övriga sociala effekter

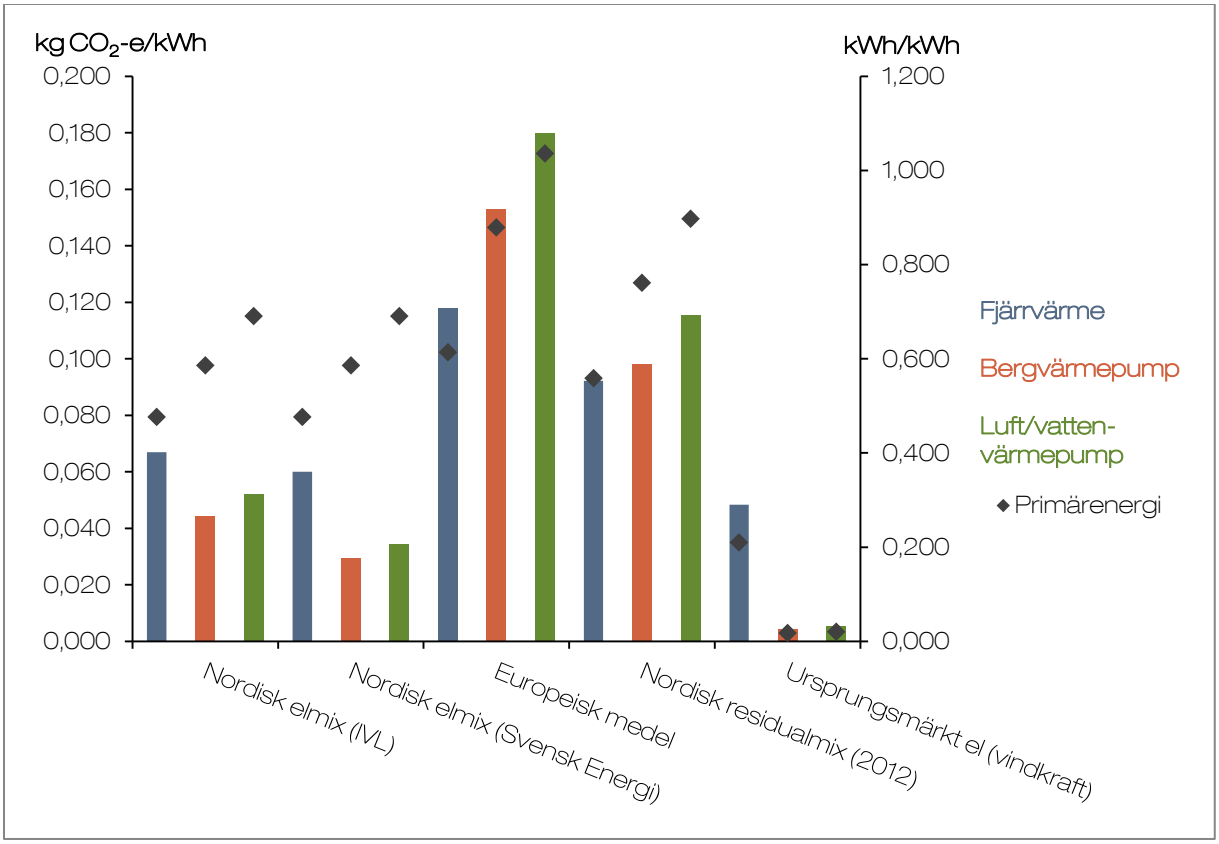
Område	Mest hållbart i Lunds kommun
Avfall	-
Biobränsle	-
Industriell Spillvärme	Fjärrvärme
Torv	-
Kapacitet i elnät	Fjärrvärme
Flexibilitet i energisystem	Fjärrvärme
Leveranssäkerhet	Fjärrvärme
Tillgänglighet	Värmepump
Användarvänlighet	Fjärrvärme
Sociala effekter i leverantörskedjan	-
Fjärrkyla	-

5 Resultat

I det här kapitlet presenteras resultatet från fallstudien samt den känslighetsanalys som beskriver hur osäkerheter i indata påverkar resultatet.

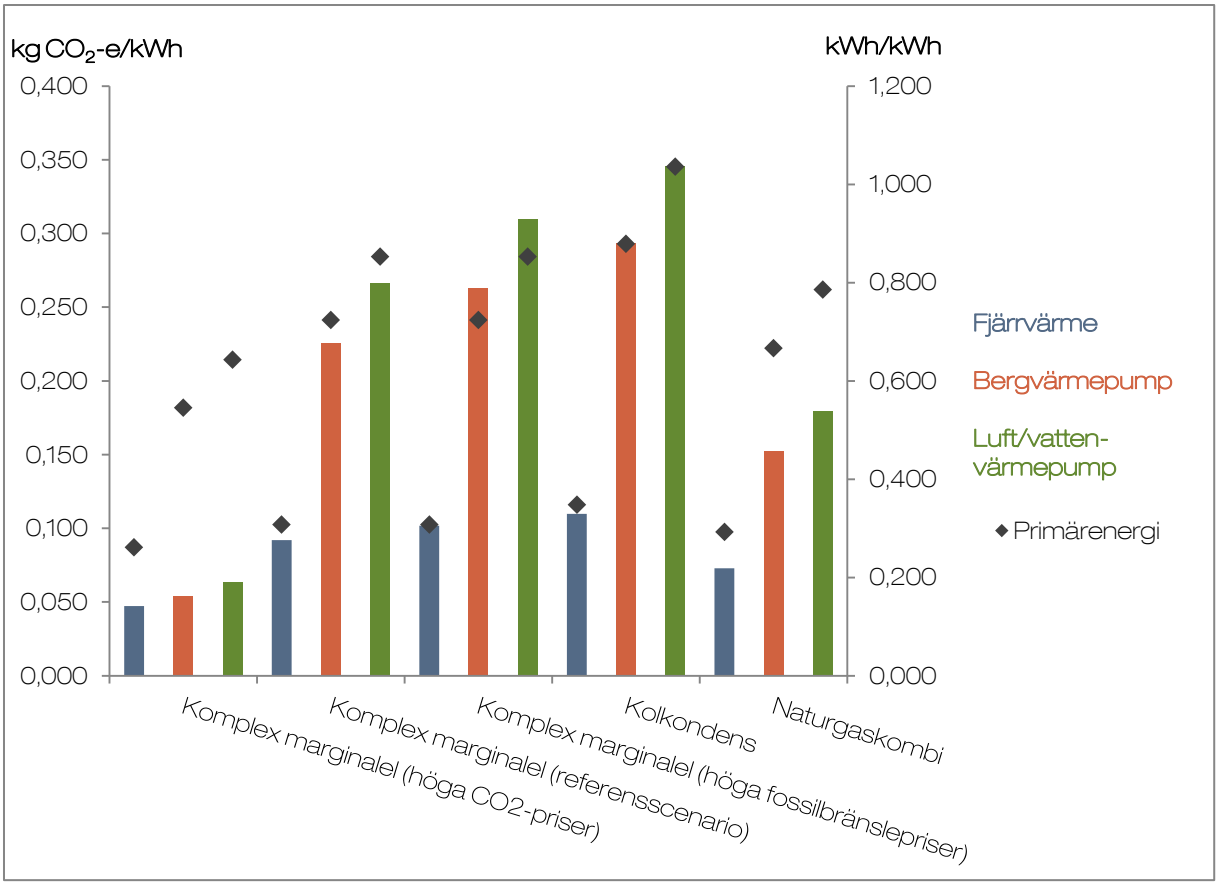
5.1 Miljö

Resultatet från den miljömässiga jämförelsen av resurseffektivitet och klimatpåverkan hos de studerade uppvärmningssystemen visas i Figur 5 och Figur 6, fullständiga tabeller, ingående data samt antaganden återges i Bilaga A.



Figur 5. Miljöpåverkan från uppvärmningsalternativen ur ett bokföringsperspektiv inom Lunds kommun. Staplarna motsvarar emissioner av koldioxidekvivalenter och avläses på vänster y-axel. De svarta fyrkanterna motsvarar primärenergifaktor och avläses på höger y-axel. På x-axeln syns ingående elmix i uppvärmningssystemen som representeras av olika färger.

I ett bokföringsperspektiv är det förhållandevis likvärdiga resultat för de olika uppvärmningssystemen. För den Nordiska elmixen uppvisar värmepumparna lägre klimatpåverkan men sämre resurseffektivitet än fjärrvärme. För den europeiska elmixen är fjärrvärmen bättre sett till både klimatpåverkan och resurseffektivitet. För den nordiska residualmixen är det jämnt mellan fjärrvärme och bergvärmepump sett till klimatpåverkan, medans luft/vatten-värmepumpen presterar sämre. Fjärrvärmen har här bäst resurseffektivitet. För ursprungsmärkt el från vindkraft är värmepumparna klart bättre i båda kategorierna.

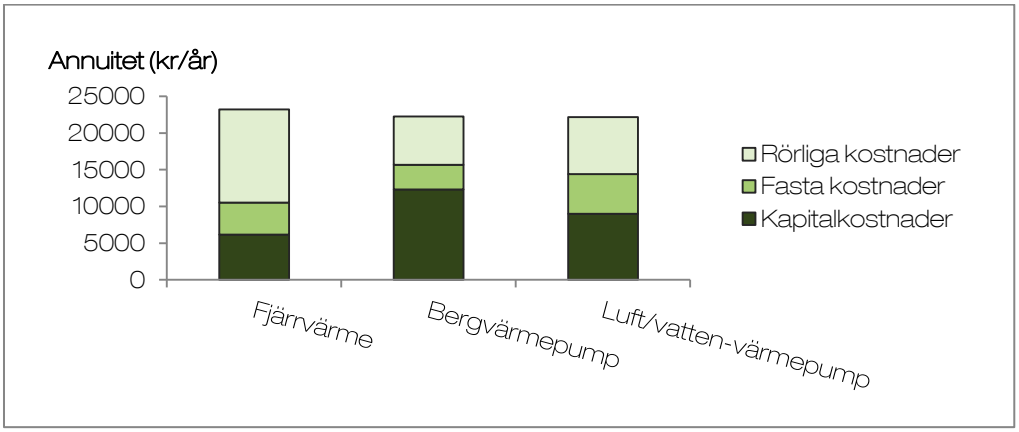


Figur 6. Miljöpåverkan från uppvärmningsalternativen ur ett konsekvensperspektiv inom Lunds kommun. Staplarna motsvarar emissioner av koldioxidekvivalenter och avläses på vänster y-axel. De svarta fyrkanterna motsvarar primärenergifaktor och avläses på höger y-axel. På x-axeln syns ingående elmix i uppvärmningssystemen som representeras av olika färger. Blå = fjärrvärme, röd = bergvärmepump, grön = luft/vattenvärmepump.

Ur ett konsekvensperspektiv har fjärrvärmen bättre miljöprestanda för alla de studerade elproduktionsscenarierna. Det är endast i marginalelscenariet som förutsätter ett kraftigt ökad pris på utsläppsrätter som värmepumparna konkurrerar med fjärrvärmen, och då enbart gällande klimatpåverkan.

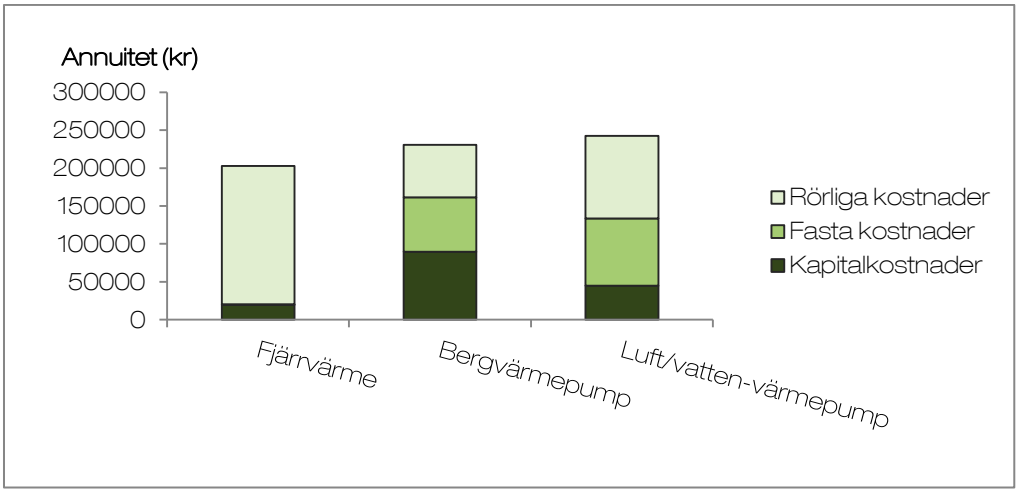
5.2 Ekonomi

Resultatet från den ekonomiska jämförelsen över en 15 årig ekonomisk livslängd och övriga antaganden enligt stycke 4.2 visas i Figur 7, Figur 8 och Figur 9. Indata och exakta tabellvärden återges i Bilaga B.



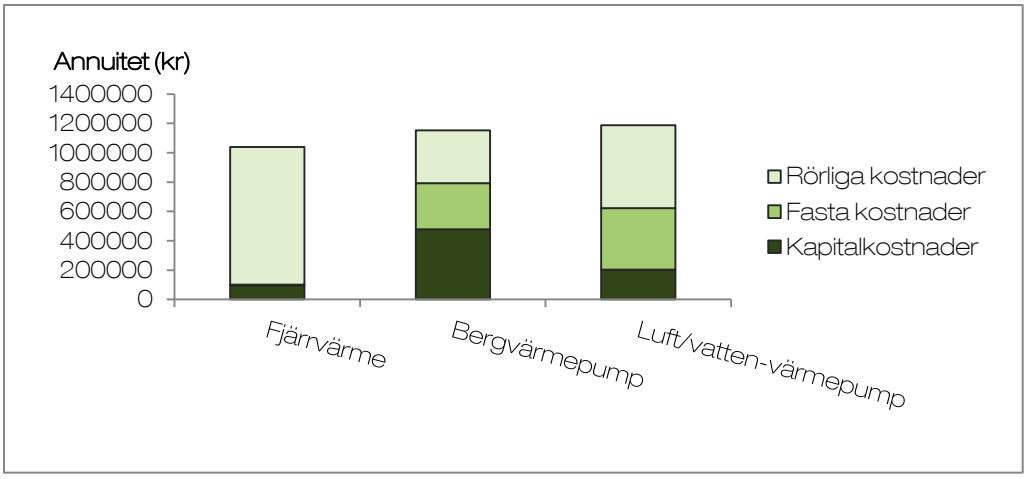
Figur 7. Årliga kostnader för ett småhus i Lunds kommun.

För småhuset skiljer det ungefär 100 kronor i annuitet mellan värmepumparna, där luft/vatten-värmepumpen är billigast, medan fjärrvärme är ungefär 1000 kronor dyrare än bergvärmepump och luft/vatten-värmepump. I grafen syns även hur den inbördes kostnadsfördelningen skiljer sig mellan uppvärmningsalternativen, där fjärrvärme har störst mängd köpt energi, bergvärmepump är mest kapitalintensiv och luft/vatten-värmepump har högst fasta årliga kostnader i form av uppsäkring, drift och underhåll.



Figur 8. Årliga kostnader för ett mindre flerbostadshus i Lunds kommun.

I det mindre flerbostadshuset syns samma inbördes kostnadsfördelning som för småhuset, men här är fjärrvärme det uppvärmningsalternativ som har lägst annuitet, följt av bergvärmepump och sist luft/vatten-värmepump.

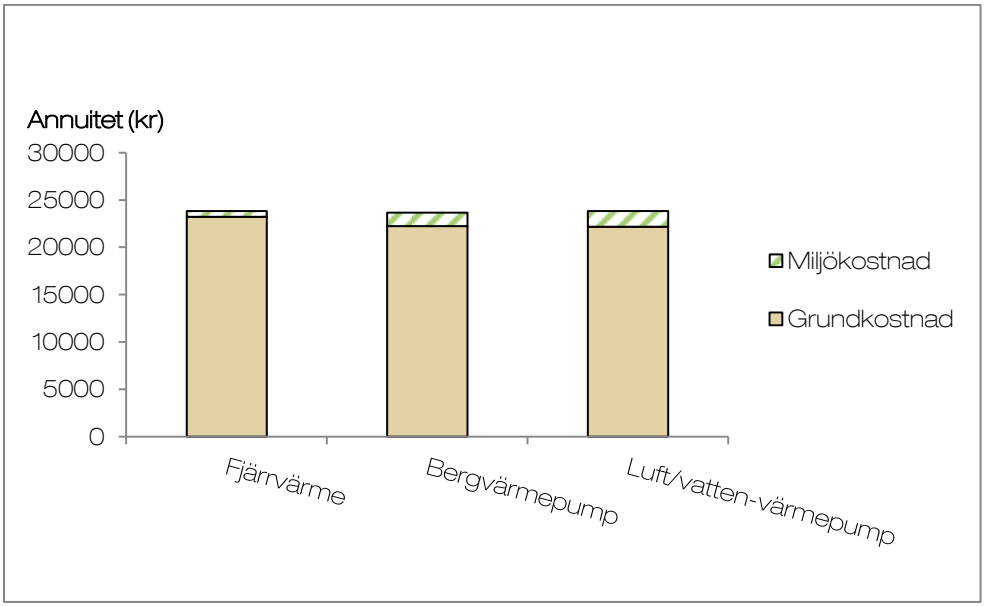


Figur 9. Årliga kostnader för ett större flerbostadshus i Lunds kommun.

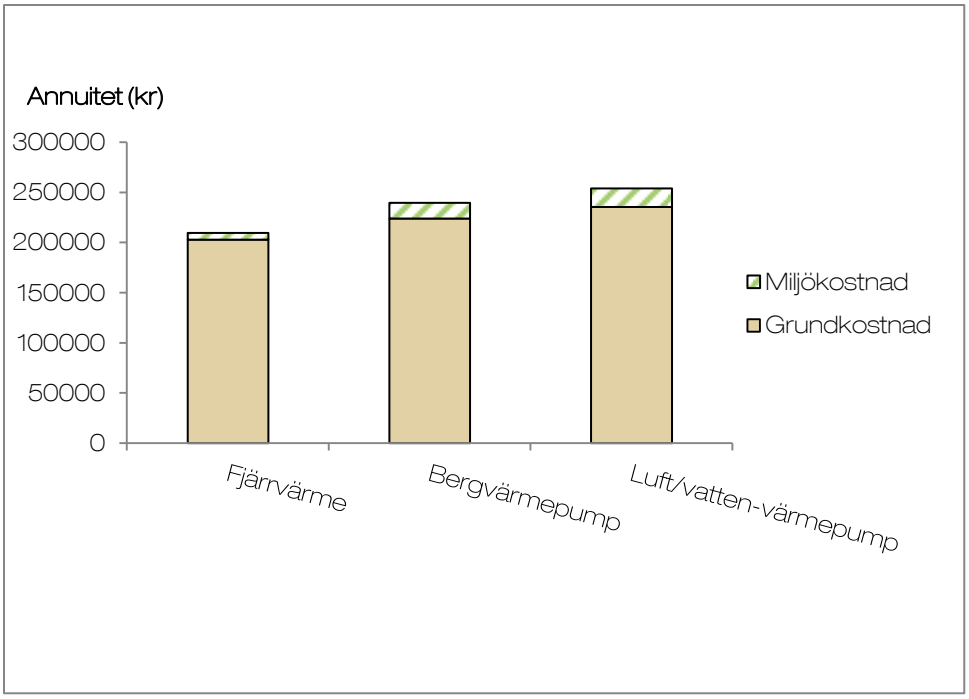
Kostnaderna för uppvärmningsalternativen visar samma tendens i det större flerbostadshuset som i det mindre, men ligger på en högre nivå.

5.2.1 Ekonomisk värdering av miljöpåverkan

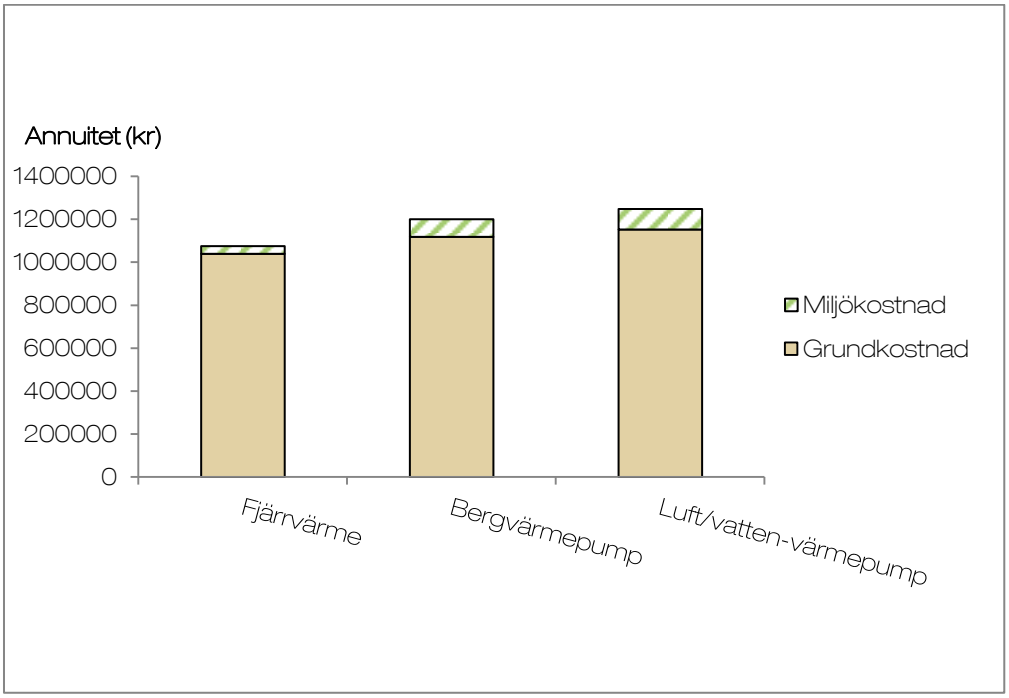
Resulterande miljökostnad för respektive uppvärmningssystem och fastighet återges i Figur 10, Figur 11 och Figur 12. Indata återges i Bilaga B.



Figur 10. Grundkostnad med pålagd miljökostnad för ett småhus ur ett marginalperspektiv.



Figur 11. Grundkostnad med pålagd miljökostnad för ett mindre flerbostadshus ur ett marginalperspektiv.



Figur 12. Grundkostnad med pålagd miljökostnad för ett större flerbostadshus ur ett marginalperspektiv.

5.3 Känslighetsanalys

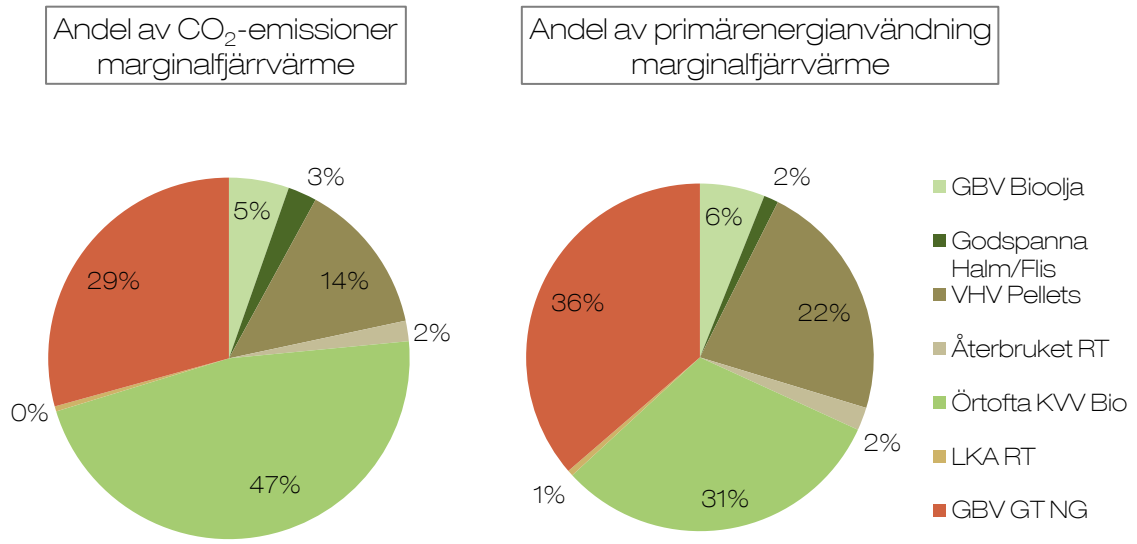
Resultaten i stycke 5.1 och 5.2 baseras på specifika indata som bygger på vetenskapliga källor, uppmätt och insamlad data, vedertagna antaganden, statistik samt schablonvärden. Detta innebär att resultatet varierar i ett verkligt fall. För att åskådliggöra hur stor påverkan en parameter har på slutresultatet har en känslighetsanalys på miljömässiga och ekonomiska jämförelsen gjorts.

5.3.1 Miljöpåverkan

I samtliga uppvärmningssystem finns det osäkerhetskällor, en betydande faktor är vilken el som uppvärmningssystemen antas drivas av, något som redan visualiserats i resultatet. Här utförs en känslighetsanalys på övriga nyckelfaktorer för miljöpåverkan. Känslighetsanalysen av miljöjämförelsen har begränsats till att enbart inkludera konsekvensanalysen.

Fjärrvärme

För fjärrvärmen är de stora osäkerheterna definitionen av marginalproduktionen, den ingående elen samt osäkerheter i de miljöfaktorer för bränslen som använts för beräkning av fjärrvärmens miljöprestanda. Eftersom det är så många osäkerhetskällor krävs det att nyckelparametrarna plockas ut för att inte känslighetsanalysen ska bli oöverskådlig. För fjärrvärmens del kan detta visualiseras genom att titta på vilka delar av produktionen som bidrar till störst miljöpåverkan. Detta visualiseras i Figur 13.



Figur 13. Visar emissioner av koldioxidekvivalenter (vänster) och primärenergianvändning (höger) fördelat per anläggning i fjärrvärmens marginalproduktionsmix.

För marginalproduktionsmixen syns att de anläggningar som har störst påverkan är Örtofta kraftvärmeverk, gasturbinen i Gunnesbo samt Västhamnsverket i Helsingborg. I Örtofta kraftvärmeverk, Västhamnsverket och Godspannorna eldas de sekundära biobränslena flis, halm och pellets. Enligt Värmemarknadskomitténs överenskommelse räknas inte energiinnehållet i sekundära biobränslen till primärenergifaktorn för bränslet då det anses vara

en restprodukt vilket innebär att bränslets energiinnehåll allokeras till ursprungsprodukten (Värmemarknadskommittén, 2013). Detta är dock inte en allmänt accepterat metodik och exempelvis Miljöfaktaboken redovisar även primärenergifaktor för biobränslen innehållande energin i bränslet (Gode, et al., 2011). I känslighetsanalysen antas därför primärenergifaktorn för biobränslen även innehålla energin i bränslet.

En annan viktig parameter är miljöfaktorerna för bioolja. Specifika data för detta bränsle saknas och approximeras i grundfallet med värden för tallbeckolja och avfall. Ett worst case skulle vara att all bioolja som eldades var exempelvis importerad palmolja. I känslighetsanalysen har därför en emissionsfaktor för palmolja (Rådets direktiv 2009/28/EG, 2209) använts för bioolja. Primärenergifaktorn har antagits innehålla energin i bränslet.

I Västhamnsverket i Helsingborg används i grundantagandet svenska pellets. I själva verket importeras en viss del av bränslet från utlandet. I känslighetsanalysen används istället en primärenergifaktor för importerade pellets tagna från *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet* (Gode, et al., 2012). Motsvarande emissionsfaktor för produktion och distribution finns inte tillgängligt och ändras därför inte, även om den skulle öka markant på grund av den betydligt längre transporten.

En viktig parameter som påverkar marginalfjärrvärmens miljöprestanda är miljöfaktorn för naturgas. Enligt rapporten *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet* (Gode, et al., 2012) skulle framtida naturgas till allt större del kunna komma från importer utanför Europa samt från okonventionella källor, exempelvis skiffergas. Dock så finns inga pålitliga källor för miljöfaktorer för skiffergas och dessutom antas naturgasanvändningen i Kraftringens fjärrvärme fasas ut inom en snar framtid så detta bedöms inte vara relevant. Det skulle däremot kunna få en effekt på miljöprestandan hos elproduktionen, något som inte analyseras i denna studie. De nya miljöfaktorerna för känslighetsanalysen visas i Tabell 16.

Tabell 16. Sammanställning över nya miljöfaktorer för bränslen i känslighetsanalysen. De faktorer som ändrats är rödmarkerade.

Bränsle	Emissionsfaktor, energiomvandling (g CO_2-e/kWh)	Emissionsfaktor, produktion och distribution av bränsle (g CO_2-e/kWh)	Total Emissionsfaktor (g CO_2-e/kWh)	PEF
Naturgas	207,00	40,00	247,00	1,09
Bioolja (palmolja)	-	-	223,00	1,04
Returträ/-flis	9,00	3,00	12,00	0,05
(Skogs)flis	9,00	7,00	16,00	1,03
Torv	393	40	433,00	1,01
Halm	9,00	7,00	16,00	1,03
Pellets	6,00	13,00	19,00	1,39
Spillvärme	0,00	0,00	0,00	0,00
Biogas	0,00	10,00	10,00	0,15

För att göra känslighetsanalysen något förenklad varieras alla dessa parametrar samtidigt och resulterar i vad som kallas en worst case fjärrvärme. De resulterande miljöfaktorerna, beroende på ingående el i värmepumparna, visas i Tabell 17 nedan.

Tabell 17. Nya miljöfaktorer för marginalfjärrvärme för känslighetsanalys

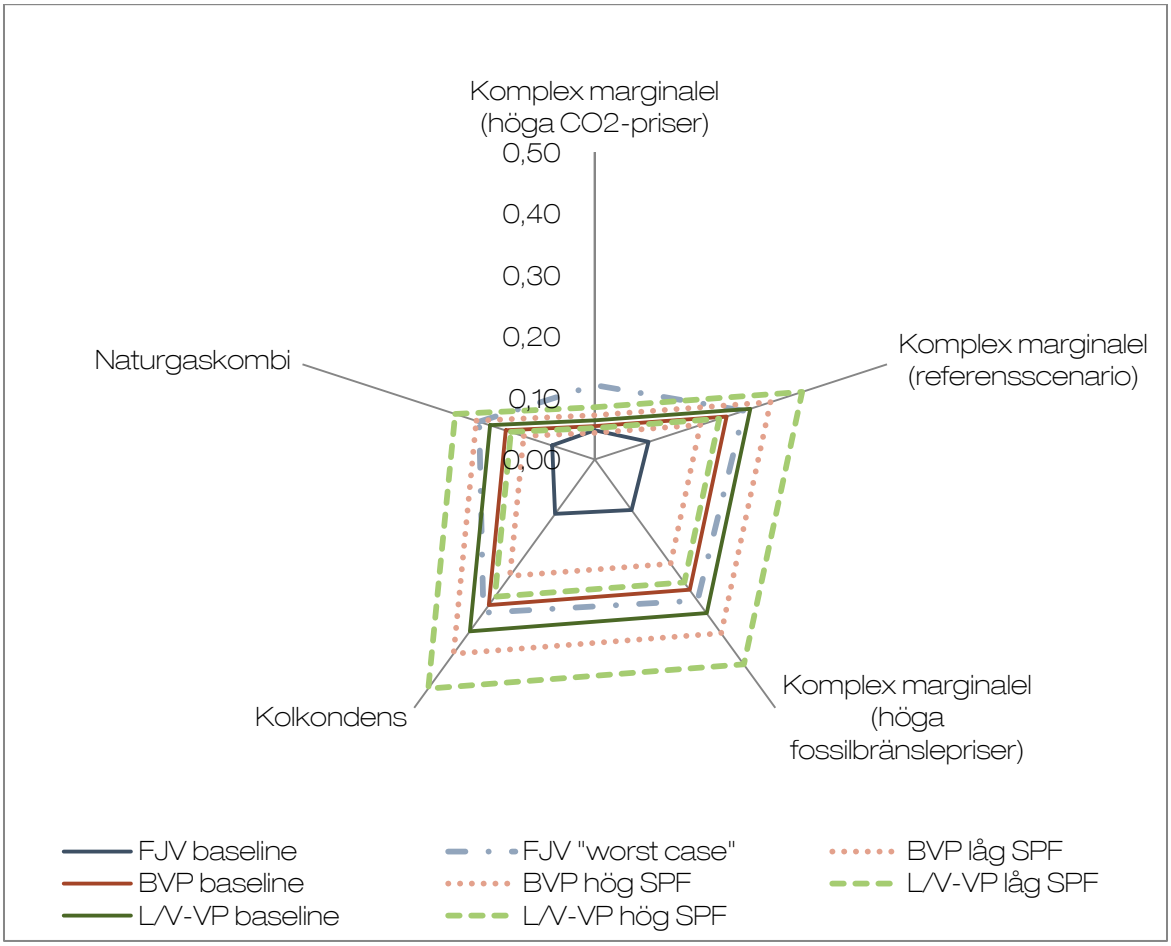
Elproduktionsscenarier	CO_2-e (g/kWh)	PEF
Komplex marginalel (höga CO_2-priser)	107,7	1,0300
Komplex marginalel (referensscenario)	227,5	1,1545
Komplex marginalel (höga fossilbränslepriser)	253,3	1,1545
Kolkondens	274,9	1,2625
Naturgaskombi	176,3	1,1145

Värmepumpar

För värmepumparna ligger osäkerheten framförallt i vilken el som antas driva dem, samt deras verkningsgrad. Då elproduktionens inverkan redan visualiserats i resultatet varieras i känslighetsanalysen dessutom värmepumparnas SPF med ±25 %, eftersom SPF bestämmer hur mycket el som behövs för ett specifikt uppvärmningsbehov. Detta kan då antingen symbolisera en mer eller mindre effektiv värmepump, en fastighet med ett lågtemperatursystem eller ett värmepumpssystem med lägre effekttäckning som utgångspunkt.

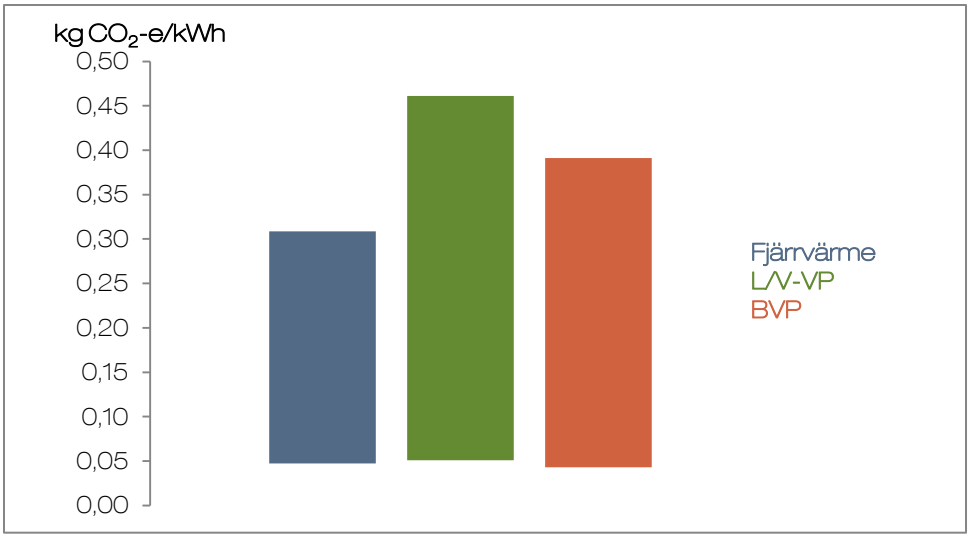
Resultat

Resulterande klimatpåverkan visas i Figur 14 nedan.



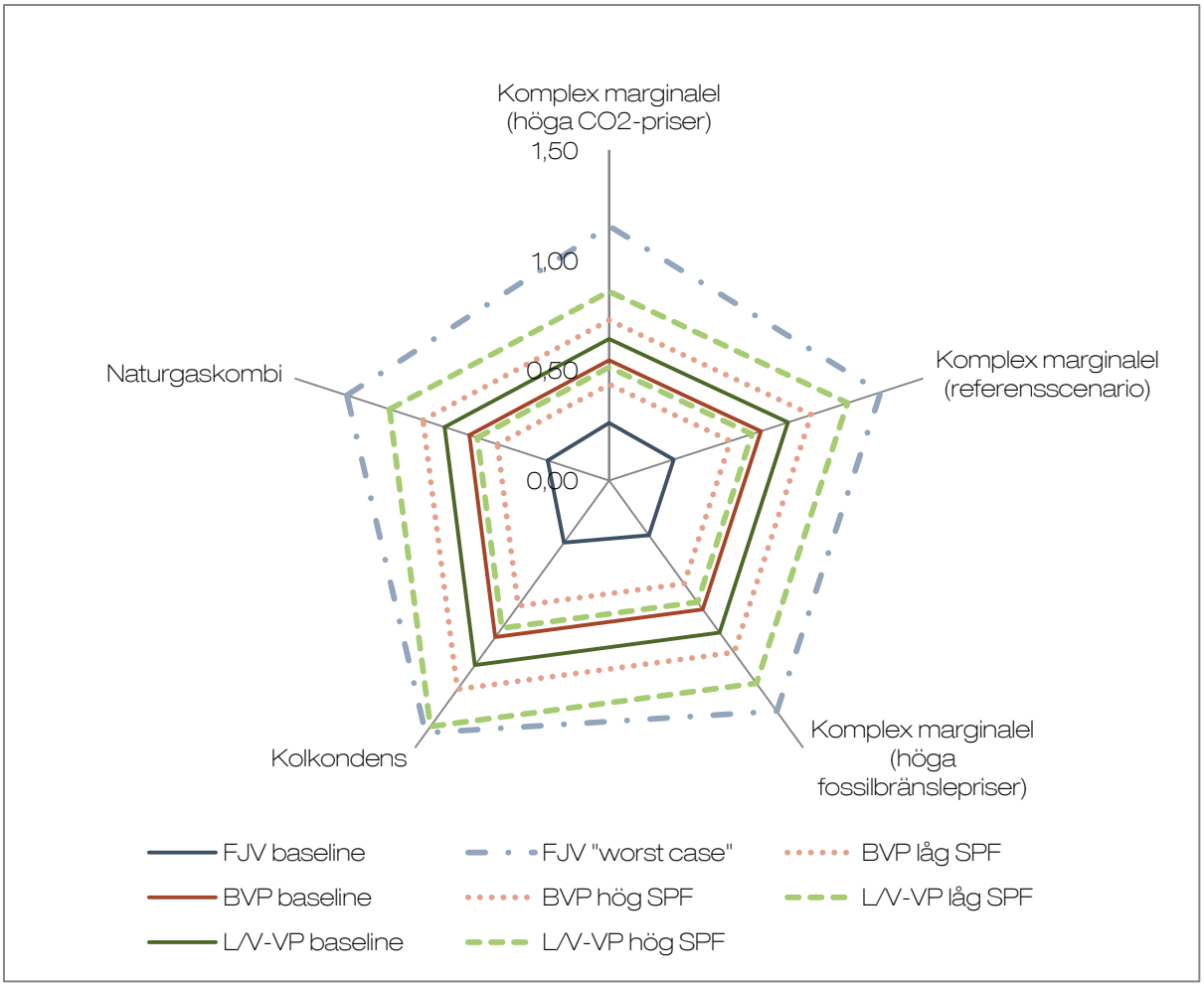
Figur 14. Känslighetsanalys som visar emissioner av koldioxidekvivalenter (kg CO_2-e/kWh) hos "worst case" fjärrvärme och värmepumpar med varierande SPF.

Som grafen visar är klimatpåverkan från ”worst case” fjärrvärmen mer jämförbar med värmepumparna ur ett marginalperspektiv. För att sammanfatta resultatet för känslighetsanalysen visas i Figur 15 det totala intervallet för alla uppvärmningssystem.

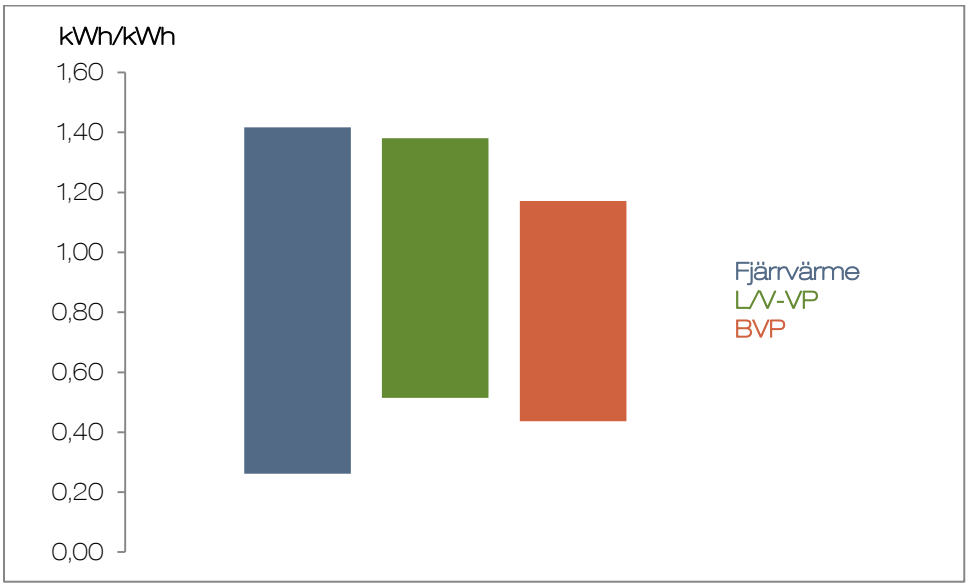


Figur 15. Totala intervallet för emissioner av koldioxidekvivalenter för de studerade uppvärmningssystemen ur ett marginalperspektiv.

Det totala studerade spannet för emissioner av koldioxidekvivalenter för marginalfjärrvärme ligger lägre än det för värmepumparna, men de är jämförbara och den lägsta nivån för de olika systemen är ungefär lika stora. Motsvarande beräkningar utförs för resurseffektivitet och visas i Figur 16 och Figur 17.



Figur 16. Känslighetsanalys som visar en jämförelse av primärenergianvändning (kWh/kWh) hos "worst case" fjärrvärme och värmepumpar med varierande SPF.



Figur 17. Totala intervallet i känslighetsanalysen för primärenergianvändning för de studerade uppvärmningssystemen ur ett marginalperspektiv.

Graferna visar att det totala studerade spannet av primärenergianvändning för marginalfjärrvärmen är större än för bergvärmepump och luft/vattenvärmepump med en lägre lägsta och högre högsta nivå.

5.3.2 Ekonomisk analys

I *Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter* (Svensk Fjärrvärme, 2007) och *Alternativkostnad till fjärrvärme* (Carlson, et al., 2008) belyses vikten av de lokala förutsättningarnas påverkan på det ekonomiska resultatet. De fastställer att det inte går att avgöra vilket uppvärmningsalternativ som generellt sätt är mest fördelaktigt då förutsättningarna för en fastighet varierar så pass mycket. Det är därför viktigt att redogöra för vilken indata som används i en jämförelse, beskriva osäkerheten i dessa samt att analysera hur resultatet varierar med en förändring av parametrarna.

Kalkylränta

Kalkylräntan är i basfallet baserad på ett medelvärde av bolåneräntan för ett småhus samt på vedertagna källor för flerbostadshusen. I själva verket varierar räntan på privatpersoners lån samt hur ett företag värderar framtida investeringar och risker. Kalkylräntan varieras därför i känslighetsanalysen med ±1 %.

Ekonomisk livslängd

Den ekonomiska livslängden är som tidigare nämnt lika lång som avskrivningstiden i den här studien och påverkar således räntekostnader och annuiteten.

I känslighetsanalysen undersöks en längre och en kortare ekonomisk livslängd för uppvärmningssystemen, och det antas att inga komponentbyten kommer behövas. Uppvärmningssystemen värderas alltså i känslighetsanalysen som mindre riskfyllda att investera i, mindre benägna att gå sönder i förtid samt att ha en längre teknisk livslängd och tvärt om. Den förändring som undersöks är 5 års minskad samt 5 års ökad ekonomisk livslängd.

Energipriser

De rörliga energipriserna för olika uppvärmningssystem förändras över tiden, dels genom en ständigt ökande inflation men även genom en real prisutveckling som både kan vara högre och lägre än förändringen i konsumentprisindex. Utvecklingen av energipriser är en komplex fråga som bl.a. beror på faktorer som politisk styrning, klimat, utbud och efterfrågan samt globala händelser som påverkar marknaden och försörjningstryggheten.

Att olika energislag ökar olika mycket i pris och mer än inflationen styrks av SCB:s producentprisindex per produktgrupp. Om en historisk 15-års period studeras, lika lång tid som uppvärmningssystemens ekonomiska livslängd, ses en tydlig skillnad. Mellan år 1999 – 2013 (med år 2005 som basår) steg priset på el med 119 % och priset på gas, värme och kyla med 62 % medan det harmoniserade konsumentprisindexet (HIKP) under samma period enbart steg med 26 % (SCB, 2014).

Givetvis förändras den procentuella ökningen eller minskningen på de olika energispriserna från år till år, beroende på t.ex. styrmedel eller omvärldshändelser, men det är tydligt att

fjärrvärmeprisutvecklingen varit lägre än den för el. Detta beror delvis på att fjärrvärmebranschen lyckats anpassa produktionsmixen efter rådande styrmedel och världsmarknadspriser på olika energislag. Några av anledningarna till den relativt låga prisutvecklingen inom fjärrvärme kan vara en anpassning av produktionsmixen efter rådande styrmedel, från fossila bränslen till biobränslen, avfall och spillvärme.

Med detta som bakgrund motiveras ett scenario med en real prisökning på 2.5 % per år och ett scenario där elpriset ökar 5 % och fjärrvärmepriset 2.5 % per år. För att få ett framtida pris på energi i dagens penningvärde beräknas kvoten av nuvärdet för den framtida energikostnaden med, respektive utan energiprisökning. Detta sker över den ekonomiska livslängden med en tillhörande kalkylränta. Eftersom det är en kvot mellan nettonuvärden över en kalkyltid med samma kalkylränta spelar det ingen roll vilket energipris beräkningen utgår från, faktorn beror bara på den procentuella realprisökningen, kalkyltiden och kalkylräntan. Resulterande multiplikationsfaktorer återges i Tabell 18.

Tabell 18. Multiplikationsfaktorer för en real energiprisökning över en 15-årig ekonomisk livslängd med olika reala kalkylräntor.

	2.5 % energiprisökning	5 % energiprisökning
2,7 % kalkylränta	1,18	1,4
6 % kalkylränta	1,165	1,37

Värdena i Tabell 18 har i känslighetsanalsyen multiplicerats med de energipriser som används för den ekonomiska jämförelsen och som återges i Tabell 14.

Årsvärmefaktor

Årsvärmefaktorn är teknik- och temperaturberoende men påverkas också av effekttäckningen hos pumpen, om den dimensioneras för att täcka en mindre del av effektbehovet sänks investeringskostnaden men även SPF försämras samt att det måste köpas mer elenergi. Den påverkas även, som nämns i stycke 2.5.2, av husets värmesystem. I energimyndighetens värmepumpstest i labbmiljö ger ett lågtemperatursystem i fastigheten cirka 20 % bättre genomsnittlig SPF för de 9 testade bergvärmepumparna än vad radiatorer ger (Energimyndigheten, 2012). I deras test för luft/vatten-värmepumpar ger golvvärme (35°C) i genomsnitt cirka 20 % högre SPF än vid 45°C vatten till radiatorer för de 17 testade pumparna (Energimyndigheten, 2014).

I känslighetsanalysen varieras därför SPF med ±25 %. Detta kan då antingen symbolisera en mer eller mindre effektiv värmepump, en fastighet med ett lågtemperatursystem eller ett värmepumpssystem med lägre effekttäckning som utgångspunkt. Oavsett vad förändringen av SPF symboliserar förblir investeringskostnaden oförändrad.

Uppvärmningsbehov

Enligt stycke 3.43, Uppvärmningsbehov, varierar uppvärmningsbehovet för genomsnittligt småhus i Sverige med –20 % till +25 % (Energimyndigheten, 2013). För ett genomsnittligt flerbostadshus är motsvarande variation något mindre, cirka ±10 % (Energimyndigheten, 2013).

I känslighetsanalysen varieras uppvärmningsbehovet med ±20 %. Det förändrade uppvärmningsbehovet bedöms vara inom det intervall som den installerade värmepumpen klarar av att leverera, och påverkar således inte installationskostnaden.

Investeringskostnader

Investeringskostnaderna för samtliga uppvärmningsalternativ bygger som tidigare nämnt, under stycke 3.4.6 på samtal med lokala installatörer, försäljningsavdelningen på Kraftringen samt Profus verktyg Värmeräknaren och kan därför betraktas som rimliga men ändå generella uppskattningar. En förändrad investeringskostnad kan representera olika förändrade förutsättningar, några av de vanligare är:

- Borrning av energibrunn för bergvärmepump, både misslyckade borrhål och extra djup
- Ökad eller minskad kostnad för komponenterna i en värmepumpsanläggning beroende på hur den dimensioneras att täcka effekt- och energibehovet
- Ökad servisledning för fjärrvärme, utförs även som en separat analys

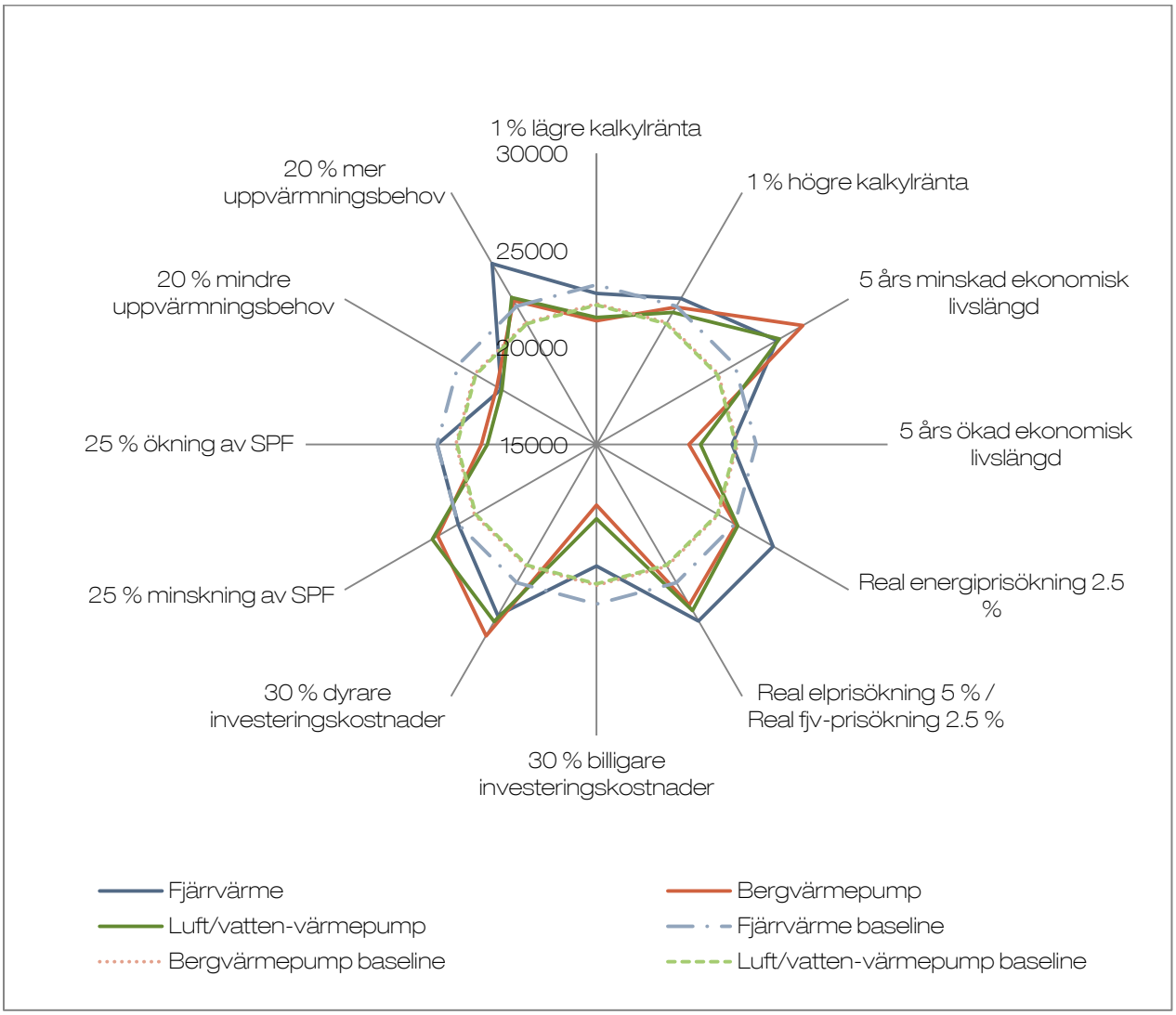
Enligt *Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter* (Svensk Fjärrvärme, 2007) varierar investeringskostnaden för olika uppvärmningsalternativ med ±30 % för en Nils Holgersson-fastighet. I känslighetsanalysen har därför en förändrad investeringskostnad av samma storlek studerats.

Uppsäkringskostnad

Som tidigare nämnt kommer uppsäkringskostnaderna i den här studien från Profus Värmeräknaren. De anger i mailkonversation att uppsäkringskostnaderna är svåruppskattade, och antagligen ligger något i överkant. Därför görs i den här studien en känslighetsanalys med 2/3 av uppsäkringskostnaden i grundantagandet.

Resultat

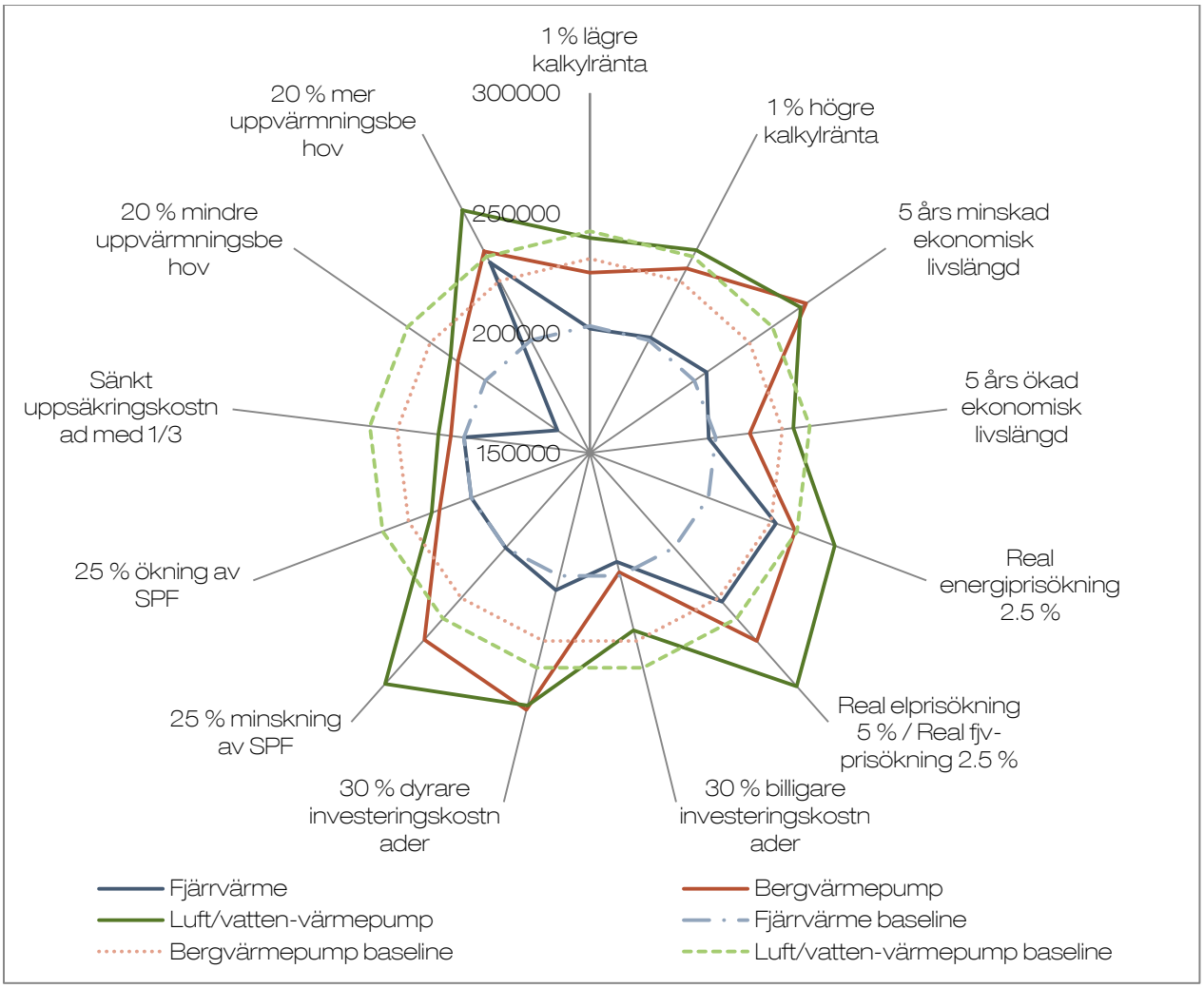
Förändringen av annuiteten som parametrarna ger upphov visas i Figur 18, Figur 19 och Figur 20. Tabeller med tillhörande data återfinnes i Bilaga B.



Figur 18. Parametrarnas inverkan på resultatet i den ekonomiska jämförelsen för ett småhus i Lunds kommun.

Vid en förändring av kalkylräntan påverkas bergvärmepumpens annuitet mest, då den är kapitalintensivast, vid 1 % högre kalkylränta har den blivit dyrare än luft/vatten-värmepump och nästan lika dyr som fjärrvärme. Samma trend kan även ses vid en förändring av den ekonomiska livslängden, ytterligare en parameter som påverkar kapitalkostnaden och således bergvärmepumpen mest. De två scenarierna med energiprisökningar, samt det med ett förändrat uppvärmningsbehov visar att fjärrvärmen påverkas mest, detta p.g.a. dess höga andel rörliga kostnader. I fallet med olika energiprisutveckling på fjärrvärme- respektive elsidan blir alternativen nästan jämnlika, där fjärrvärme fortfarande är något dyrare. En förändring av investeringskostnaden påverkar bergvärmepumpen mest på grund av den redan höga kostnaden i förhållande till övriga alternativ. Vid en förändring av årsvärmefaktorn förblir fjärrvärmen oförändrad medan värmepumparnas annuitet förändras. En brytpunkt där värmepumparna blir billigare än fjärrvärme kan hittas vid något sämre SPF än i basfallet.

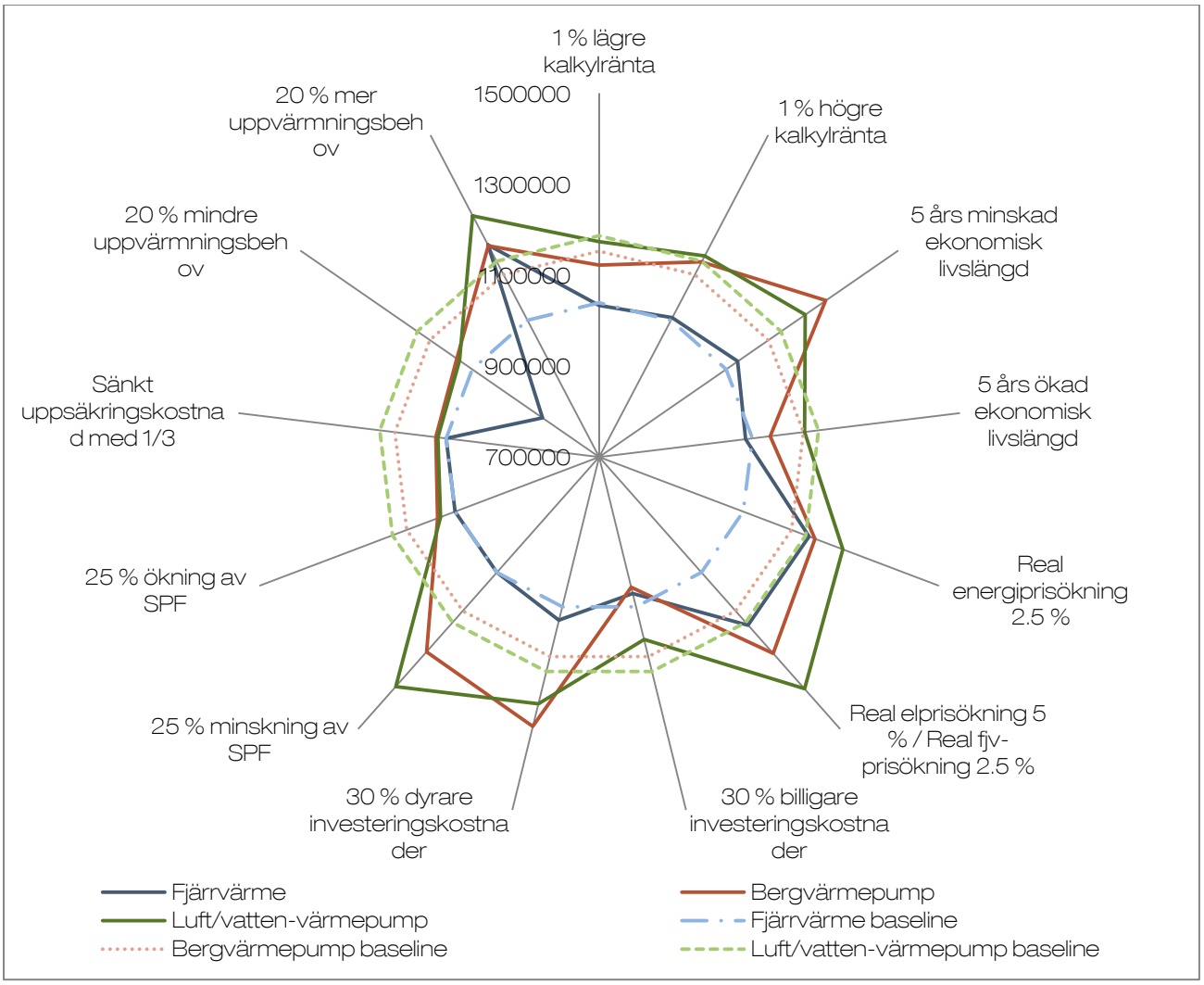
Resultatet från känslighetsanalysen på ett mindre flerbostadshus visas i Figur 19.



Figur 19. Parametrarnas inverkan på resultatet i den ekonomiska jämförelsen för ett mindre småhus i Lunds kommun.

I det mindre flerbostadshuset ser trenden annorlunda ut. Vid en överblick över samtliga parametrar syns att luft/vatten-värmepump aldrig konkurrerar med fjärrvärme vid en förändring av en enskild parameter. Även bergvärmepumpen har svårt att konkurrera med fjärrvärme men gör det vid en lägre investeringskostnad, ett ökat uppvärmningsbehov samt vid en sänkt uppsäkringskostnad. För flerbostadshusen är uppsäkringskostnaden en stor kostnadspost, i basfallet är den relativt grovt tilltagen. Om den minskas med 1/3 blir värmepumparna konkurrenskraftiga med varandra eftersom luft/vatten-värmepumpen har högre uppsäkringskostnader än bergvärmepump. Luft/vatten-värmepumpen konkurrerar däremot med bergvärmepump vid ett antal olika parametrar. Bl.a. vid en minskad ekonomisk livslängd, dyrare investeringskostnader och ökning av årsvärmefaktorn blir värmepumparna jämlika.

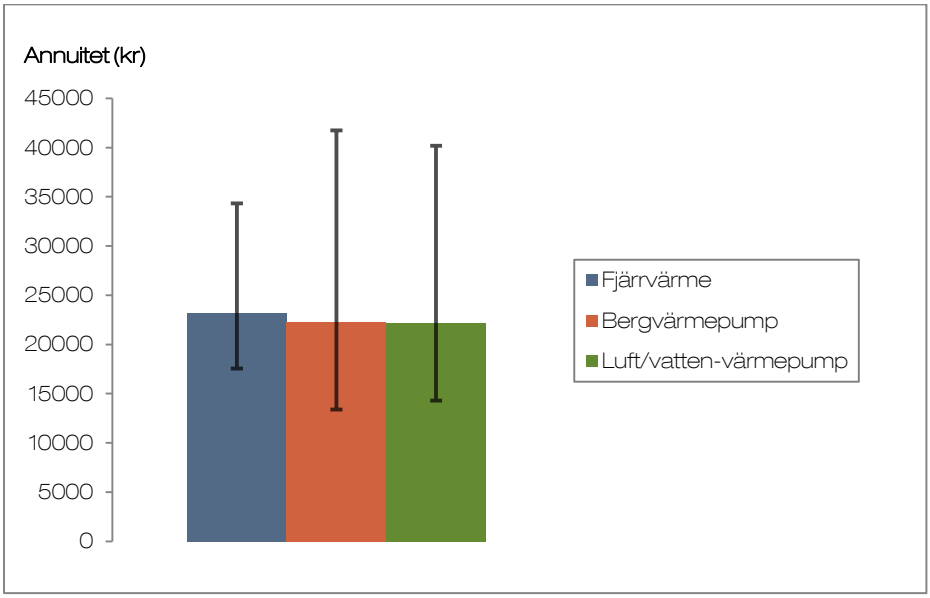
Resultatet från känslighetsanalysen för det större flerbostadshuset visas i Figur 20.



Figur 20. Parametrarnas inverkan på resultatet i den ekonomiska jämförelsen för ett större småhus i Lunds kommun.

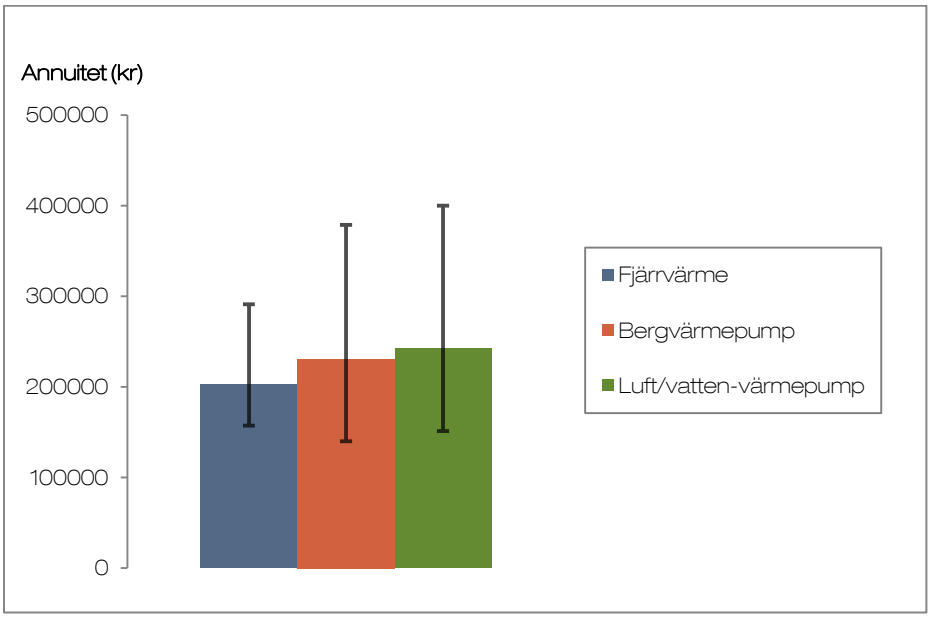
För det större flerbostadshuset ser trenden ungefär likadan ut som för det mindre flerbostadshuset, fast med högre kostnader. Här syns dock att bergvärmepumpen blir det billigaste alternativet vid 30 % lägre investeringskostnader och 20 % mer uppvärmningsbehov. Luft/vatten-värmepump blir i sin tur billigare än bergvärmepump vid en ökad årsvärmefaktor och en sänkt uppsäkringskostnad. Skillnaden i resultatet jämfört med det mindre flerbostadshuset beror på att skillnaden i kostnad är mindre mellan uppvärmningssystemen, en förändring i en parameter ger således lättare ett överslag.

I Figur 21, Figur 22 och Figur 23 visar det kostnadsintervall som ett uppvärmningssystem kan befinna sig inom för respektive fastighetstyp. Tabeller med indata återges i Bilaga B.



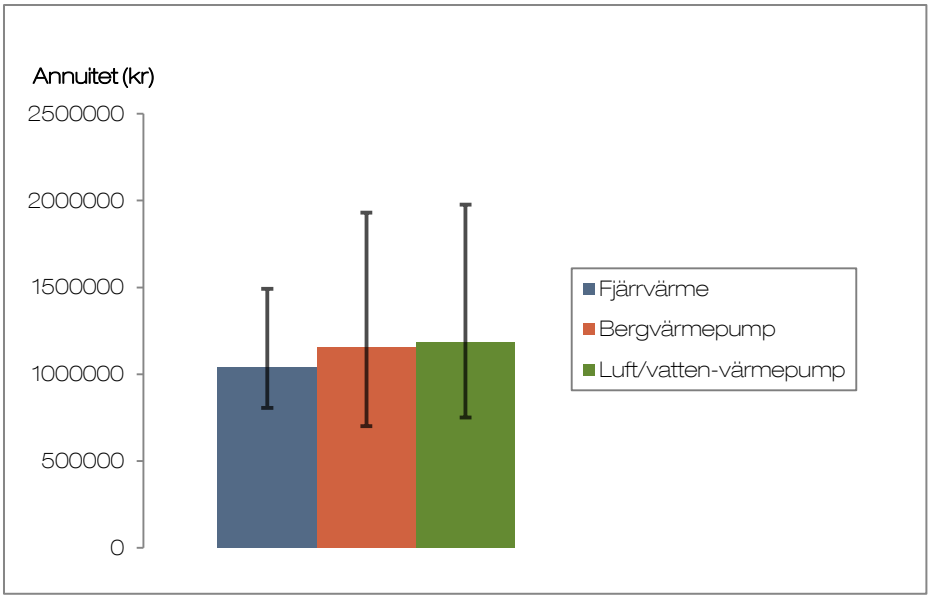
Figur 21. Det totala kostnadsintervallet för respektive uppvärmningssystem för ett småhus i Lunds kommun.

I småhuset har fjärrvärme högst annuitet i basfallet men minst kostnadsintervall vid en förändring av parametrarna. Värmepumparna är snarlika i sin kostnad, där bergvärmepumpen har något högre respektive lägre intervallsgränser.



Figur 22. Det totala kostnadsintervallet för respektive uppvärmningssystem för ett mindre flerbostadshus i Lunds kommun.

I det mindre flerbostadshuset har fjärrvärme lägst annuitet och minst kostnadsintervall, följt av bergvärmepump och sist luft/vatten-värmepump. Värmepumparna högre kostnadsintervall är betydligt högre än fjärrvärmens, men även det lägre intervallet understiger fjärrvärmens lägsta.



Figur 23. Det totala kostnadsintervallet för respektive uppvärmningssystem för ett större flerbostadshus i Lunds kommun.

I det större flerbostadshuset ser trenden likadan ut som i det mindre flerbostadshuset, fast med högre kostnader.

Kostnadsjämförelse vid förlängd servisledning för fjärrvärme

I projektformuleringen till *Fjärrvärmens roll i ett hållbart Lund* står det att projektets syfte är att skapa ett underlag som visar var det ur ett hållbarhetsperspektiv är lämpligt att ansluta till fjärrvärme och var det inte är det. Detta genomförs i den här studien som en undersökning på prisskillnaden mellan uppvärmningsalternativen och extra kulvertkostnad utanför det schablonmässiga avstånd som ingår i anslutningskostnaden för fjärrvärme. Genom att undersöka var brytpunkterna mellan kostnaderna för uppvärmningsalternativen ligger för de olika fastigheterna erhålles ett avstånd som säger hur långt från befintligt fjärrvärmenät det är ekonomiskt fördelaktigt att ansluta sig, och var det istället är ekonomiskt fördelaktigt att installera en värmepump.

I den här studien är det företagets annuitet för en extra kostnad per meter som påläggs kundens kostnad. I verkligheten så är upphandling av uppvärmningssystem beroende av en rad faktorer, som t.ex. anslutningsgrad, fastighetstyper m.m.

Avgränsningar

Den här undersökningen utförs enbart som en ekonomisk jämförelse. I en miljömässig jämförelse skulle miljöpåverkan från den extra kulvertlängden adderas till den påverkan, i koldioxidekvivalenter och primärenergi, som fjärrvärmen ger upphov till. Den miljöpåverkan som uppstår vid extra kulvertdragning kan inte allokeras på en enda kund, utan måste i så fall slås ut på alla kunder inom nätet. Eftersom studien avgränsar sig mot anläggningar och infrastruktur för båda systemen i den miljömässiga jämförelsen gäller även här samma avgränsningar.

Kulvertkostnad

För att kunna se hur lång fjärrvärmeledning som kan dras innan värmepump som uppvärmningsalternativ blir billigare måste en kostnad i kr/m tas fram. Enligt *Kulvertkostnadskatalogen* (Svensk Fjärrvärme, 2007), som sammanställer kostnader för entreprenören, delas anläggningskostnaderna in i fyra olika områdeskategorier:

- Innerstadsområde
- Ytterstadsområden eller annan tätortsbebyggelse
- Park- och grönområden
- Utbyggnad i samband med nyexploatering

Kostnaderna skiljer sig mycket mellan de olika kategorierna. Innerstadsområden har de högsta kostnaderna, där återställningsarbete och hinder av andra ledningar är en stor bidragande orsak. I övrig tätortsbebyggelse ser kostnadsfördelningen ungefär likadan ut, men totalkostnaden är lägre. Kulvertkostnader i park- och grönområden är ännu lägre, här utgör byggkostnadens andel mellan en tredjedel och upp till halva kostnaden. Den sista kategorin som innebär nyexploatering har de lägsta kostnaderna. Här kan samförläggning med andra ledningar innan det finns någon anläggningsyta i området utnyttjas.

Enligt Kraftringen används 25 mm rör till småhus, 40 mm rör till mindre flerbostadshus och 80 mm rör till större flerbostadshus.

Eftersom kostnaden skiljer sig så pass mycket mellan de olika områdestyperna räknas en kostnad ut för var och en av områdestyperna och för respektive rördiameter. Eftersom kostnaden uppstår som en investering år 1 måste den räknas om till en annuitet för att kunna adderas till annuiteterna i resultatet från den ekonomiska analysen. Annuiteten för kulvertkostnaderna är uträknade med 15 års ekonomisk livslängd och 6 % kalkylränta. Resulterande annuitet för meterkostnad återges i Tabell 19, indata återges i Bilaga B.

Tabell 19. Annuiteten för olika rördiameter i olika områdestyper kopplat till de studerade fastigheterna.

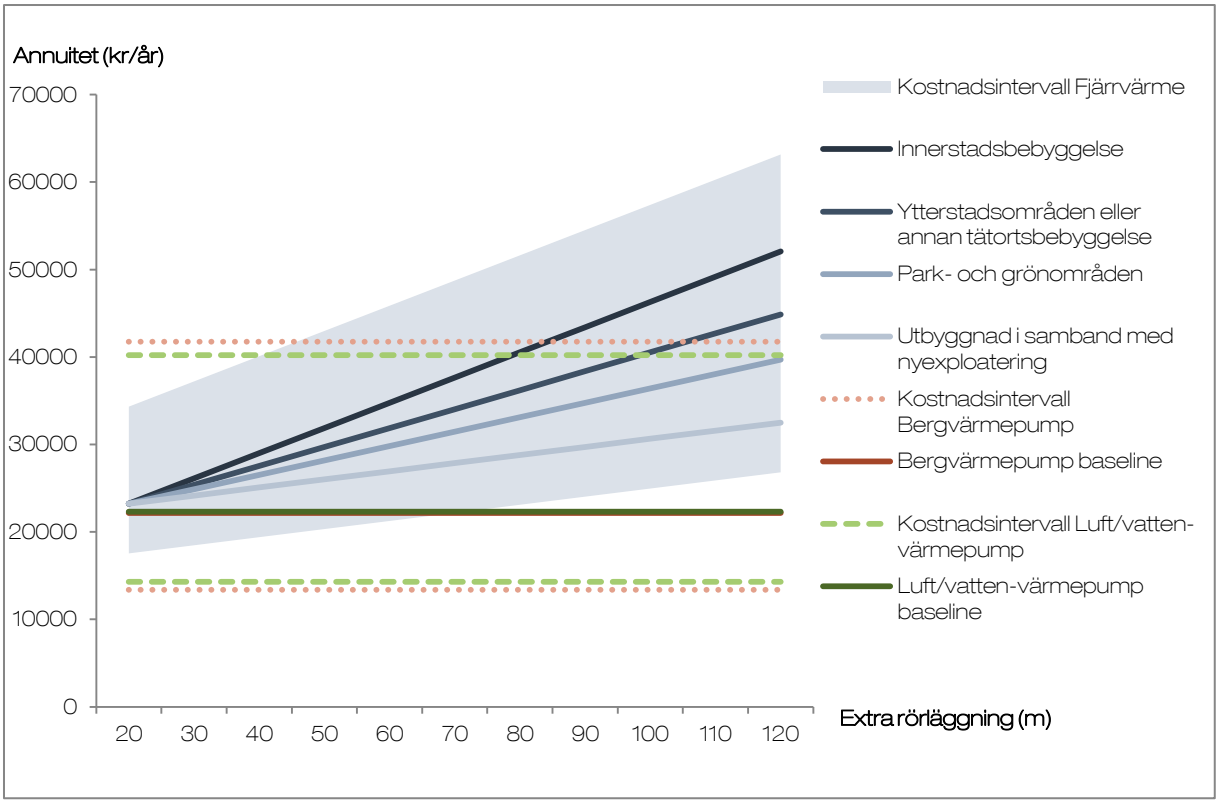
Områdestyp	Småhus, 25 mm (kr/m)	Mindre flerbostadshus, 40 mm (kr/m)	Större flerbostadshus, 80 mm (kr/m)
Innerstadsbebyggelse	288	371	566
Ytterstadsområden eller annan tätortsbebyggelse	216	288	412
Park- och grönområden	165	216	299
Utbyggnad i samband med nyexploatering	93	124	196

Skärningspunkter

Genom att addera annuiteten som en funktion av meter ledning till intervallet för fjärrvärmekostnaden erhålls en lutande linje för varje områdestyp och fastighet som representerar den ökande fjärrvärmekostnaden per meter servisledning. Kostnadsintervallen för uppvärmningsalternativen är samma som visas i Figur 18, Figur 19 och Figur 20. Eftersom värmepumpsalternativen inte behöver extra dragning av ledning representeras de av räta linjer. Den resulterande grafen representerar hur kostnaden för fjärrvärme förändras med en

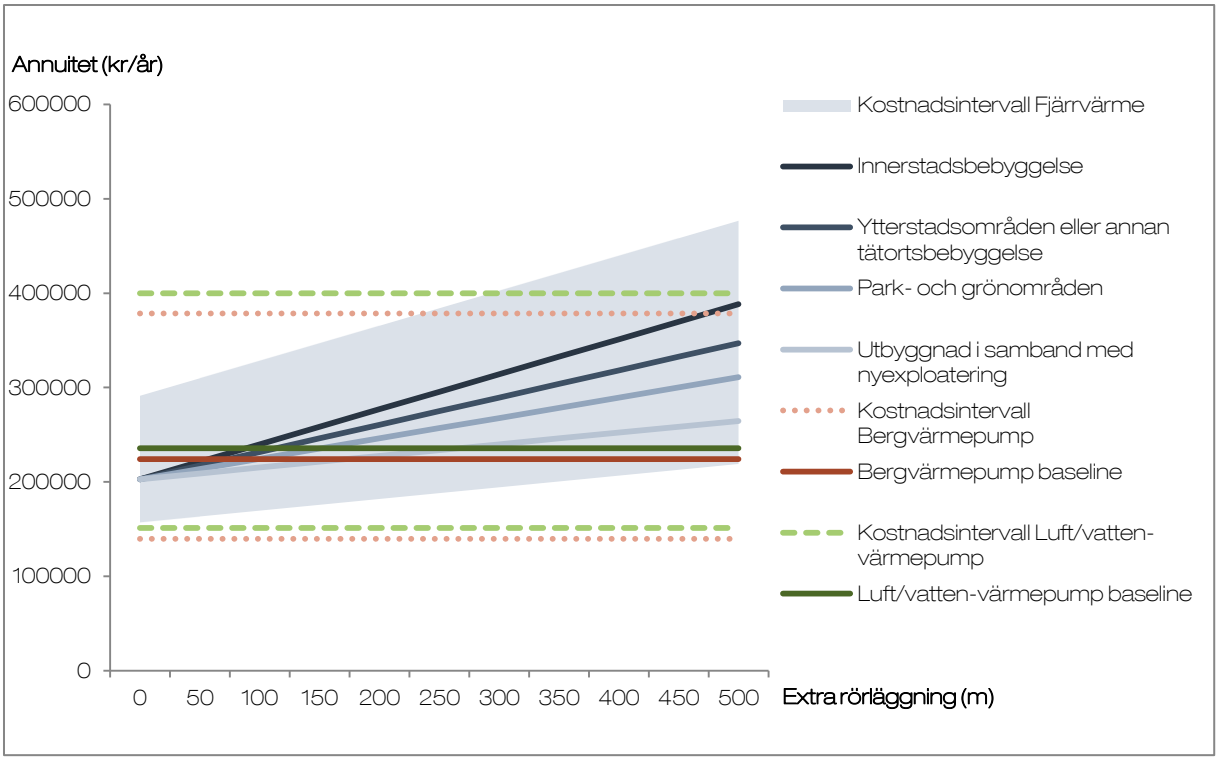
ökad kulvertdragning inom olika typer av områden, inom vilket intervall kostnaden kommer att varieras samt var brytpunkterna med värmepumparnas kostnad ligger.

Resultatet visualiseras i Figur 24, Figur 25 och Figur 26. Tillhörande tabeller återges i Bilaga B. Resultaten från den här känslighetsanalysen bör ses som högst generella och diskuteras vidare i diskussionskapitlet.



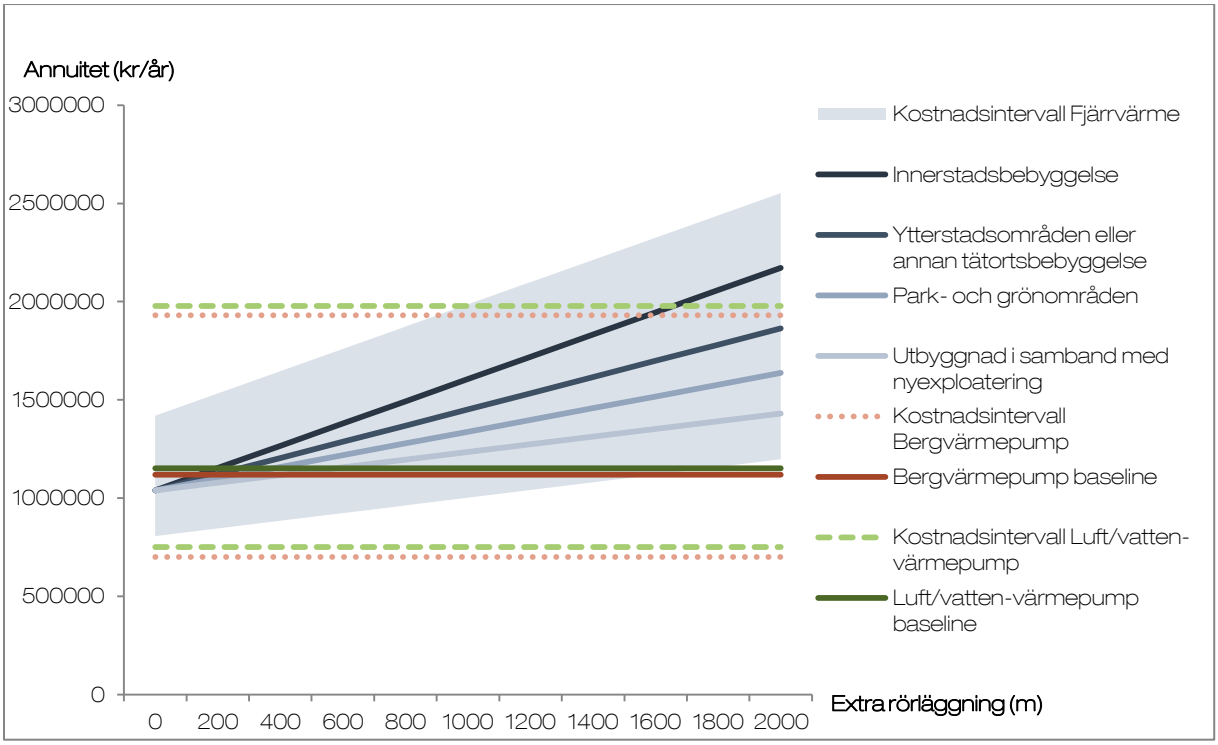
Figur 24. Kostnadsjämförelse mellan extra servisledning för fjärrvärme och värmepumpar för ett småhus i Lunds kommun.

För småhuset så är kostnaden för fjärrvärme redan högre än den för värmepumparna vid det schablonmässiga avståndet på 20 meter. Undersöks de yttre intervallen för de olika uppvärmningsalternativen syns att det går från att det överhuvudtaget inte är lönsamt att välja fjärrvärme till att det går att dra cirka 100 meter extra ledning, förutom de 20 meter som redan är inkluderade i det schablonmässiga priset, innan brytpunkten mellan uppvärmningssystemen nås.



Figur 25. Kostnadsjämförelse mellan extra servisledning för fjärrvärme och värmepumpar för ett mindre flerbostadshus i Lunds kommun.

För det mindre flerbostadshuset syns att basfallen korsar varandra mellan 50 och 250 meter beroende på områdestyp och värmepump. De yttre intervallsgränserna visar dock på stor spridning i resultatet.



Figur 26. Kostnadsjämförelse mellan extra servisledning för fjärrvärme och värmepumpar för ett större flerbostadshus i Lunds kommun.

För det större flerbostadshuset ligger brytpunkterna i basfallen mellan 150 och 550 meter beroende på områdestyp och värmepump. Dock syns samma trend i kostnadsintervallet som för det mindre flerbostadshuset.

6 Diskussion

I det här kapitlet förs en diskussion kring tidigare presenterat resultat. Är de realistiska, vilka av dem är användbara och går det att dra några slutsatser? Hur kopplar val av metodik, avgränsningar och antaganden till resultatet? I slutet av kapitlet görs en sammanfattande bedömning samt hur studien hade kunnat utföras annorlunda, vilket leder till det avslutande stycket om förslag på fortsatt arbete.

6.1 Miljö

Syftet med den här studien har varit att ta fram underlag för en kund i Lunds kommun som står inför ett val av uppvärmningssystem. Därför har en konsekvensanalys av miljöpåverkan utförts för att utreda vilka effekter de olika valalternativen får på miljön. De studerade parametrarna är resurseffektivitet och klimatpåverkan. Det finns fler intressanta miljöeffektkategorier att studera, t.ex. försurning, övergödning och påverkan på biologisk mångfald, men den här studien väljer att avgränsa sig till att enbart studera de två förstnämnda eftersom de bedöms vara de mest relevanta när det gäller energisystem. Eftersom det råder skilda meningar kring relevansen i att använda marginaldata, samt en osäkerhet i att uppskatta marginalproduktion, har även en jämförelse ur ett bokföringsperspektiv utförts. Fallstudien visar att resultaten skiljer sig beroende på vilket perspektiv som används.

6.1.1 Bokföringsperspektiv

I bokföringsperspektivet är konkurrensen mellan de olika uppvärmningssystemen jämn. Bokföringsanalysen innehåller mindre osäkerheter än konsekvensanalysen eftersom historiskt uppmätta medeldata används, men resultaten visar fortfarande ett stort spann beroende på vilken systemgräns och allokeringsprincip för ingående elproduktion som antas. Det mest realistiska antagandet om ingående elproduktion i bokföringsperspektivet är den Nordiska elmixen eftersom detta bäst speglar den fysiska verkligheten med tanke på elnätets utformning och den gemensamma Nordiska elmarknaden. Av de två alternativen för emissionsfaktor för den Nordiska elmixen anses den som är framräknad av IVL vara mest tillförlitlig då den är baserad på LCA-data och det finns tydliga källor på hur den beräknats. Den emissionsfaktor som är framtagen med hjälp av Energimarknadsinspektionen är lägre, men oavsett vilken av de två emissionsfaktorerna för Nordisk elmix som används står sig värmepumparna bättre, sett till klimatpåverkan. Detta beror på att den Nordiska elmixen innehåller stor andel vatten- och kärnkraft som har låg klimatpåverkan. Däremot står sig fjärrvärmen bättre sett till resurseffektivitet vid antagandet om Nordisk elmix, detta beror på att det i Kraftringens fjärrvärmeproduktion främst används biobränslen, restprodukter och spillvärme, där primärenergianvändningen allokeras på en annan produkt.

Det är missvisande att räkna med ursprungsmärkt el eller residualmix eftersom det bara innebär en allokering av miljövärden som inte speglar den fysiska verkligheten. Om en elkund betalar 1 öre/kWh extra för vindkraftsel och räknar med motsvarande emissionsfaktor för sitt uppvärmningssystem blir det på pappret ett väldigt billigt och bra miljöval. Ur ett bokföringsperspektiv speglar detta dock inte verkligheten eftersom motsvarande reduktion av

koldioxidutsläpp inte har skett, utan enbart allokerats på kunder som inte gjort valet att köpa ursprungsmärkt el. Sett över hela elproduktionssystemet skulle motsvarande reduktion av emissioner kosta betydligt mer per användare, och i ett bokföringsperspektiv är det viktigt att alla användare delar lika på påverkan från hela systemet. Systemet med ursprungsmärkning bedöms inte heller påverka marginalproduktionen varken på kort eller på lång sikt då de ekonomiska incitamenten är för svaga med dagens prisnivåer. Dessutom finns det redan ett styrmedel som påverkar andelen förnybart direkt, nämligen elcertifikatsystemet. En ökad efterfrågan på ursprungsgarantier från förnybar el riskerar endast leda till sänkta priser på elcertifikat vilket leder till att de sammanlagda incitamenten för utbyggnad av förnybar elproduktion förblir oförändrade.

Bland andra Svensk Energi rekommenderar användandet av residualmixen för beräkning av miljöpåverkan ur ett bokföringsperspektiv. Resultatet framräknat med den Nordiska residualmixen visar ett jämnt lopp mellan uppvärmningsalternativen sett till klimatpåverkan och att fjärrvärmen är mer resurseffektiv. Eftersom residualmixen är den andra sidan av ursprungsmärkningen så gäller samma resonemang kring varför det inte visar den fysiska verkligheten, och varför det inte anses tillämpbart ur ett bokföringsperspektiv.

Den Europeiska elmixen speglar synen att Europeiska elanvändare lyder under samma direktiv från EU och att det Europeiska elnätet i begränsad utsträckning hänger samman, och därför bör dela på påverkan från den Europeiska elproduktionen. Detta anses vara mer tillämpbart längre fram i tiden då överföringsbegränsningarna byggts bort och en Europeisk elmarknad har utvecklats. Resultatet framräknat med den europeiska elmixen visar att fjärrvärmen har bättre miljöprestanda än värmepumparna, vilket beror på att det fortfarande är stor andel fossil elproduktion i stora delar av Europa.

6.1.2 Konsekvensanalys

I konsekvensanalysen är det svårare att säga vilket marginalelscenario som är mest tillämpbart då det rör sig om uppskattningar av framtiden. I Sverige är behovet av fossilbaserad kraft- eller värmeproduktion litet då vi har god tillgång till biobränslen och vattenkraft samt en baskraft bestående av kärnkraft men sett till den Nordiska elproduktionen består marginalelen i dagsläget av fossileldad kondenskraft. I ett längre tidsperspektiv styrs elproduktionens sammansättning av en mängd osäkra parametrar, bland annat hur bränslepriser och styrmedel utvecklas. En del av utbyggnadsmarginalen i Sverige kommer att bestå av förnybart tack vare elcertifikatsystemet. Skulle systemgränsen för elproduktion sättas vid Sveriges gränser skulle marginalelen ha god miljöprestanda, men detta speglar inte den fysiska verkligheten då stora mängder el både importeras och exporteras över gränsen. En ökad elanvändning i Sverige påverkar helt enkelt inte bara elproduktion inom Sverige. Enligt den litteratur som studerats och de energisystemmodelleringar som ligger till grund för de komplexa marginalelsmixarna är marginalelen på både kort och lång sikt fossilbaserad och därför anses resultatet från studien täcka ett realistiskt framtidsscenario.

Prognosen för Kraftringens fjärrvärmeproduktion de närmsta 15 åren bedöms vara relativt tillförlitlig jämfört med en eventuell prognos över elproduktionens utveckling. Detta beror på att den lokala fjärrvärmemarknaden endast styrs av efterfrågan på värme inom Lunds

kommun, som har en naturlig begränsning i form av antal fastigheter inom kommunen som är i behov av uppvärmning. Kraftringen, den aktör som erbjuder fjärrvärme i Lunds kommun, kan därför ha en mer långsiktig plan för produktionen.

Resultaten av konsekvensanalysen visar att fjärrvärmen står sig bättre än värmepumparna oavsett vilket av de studerade marginalelsscenarierna som används. Endast i det scenario som förutsätter ett pris på utsläppsrätter av koldioxid på 45€/ton konkurrerar de jämt. Anledningen till att fjärrvärmen visar en bättre miljöprestanda beror på att en stor andel av marginalfjärrvärmen består av biobränslen, vars koldioxidutsläpp hör till kolets naturliga kretslopp och primärenergin allokeras på andra produkter. Marginalelen däremot domineras i alla scenarier av fossil elproduktion.

En av osäkerheterna i studien är att metoderna för att identifiera marginalproduktionen av fjärrvärme respektive el skiljer sig åt. Fjärrvärmens marginalproduktion är baserat på driftsmarginalen av en prognosticerad produktionskurva medan marginalelen är en så kallad komplex marginal som innefattar både drift- och utbyggnadsmarginal, alternativt rena uppskattningar om driftsmarginal. Marginalfjärrvärmen innefattar alltså inte den ökade efterfrågans påverkan på produktionssammansättningen, vilket den komplexa marginalen av elproduktionen gör. En alternativ metodik hade varit att göra en rad enklare uppskattningar om marginalfjärrvärmen och jämfört alla dessa med olika scenarier för marginalel. I den här studien har det istället valts att utgå från den prognos för fjärrvärmenätets utveckling inom Lunds kommun som funnits till hands och studera hur olika antaganden om marginalelen påverkar resultatet. Denna avgränsning motiveras med att den största osäkerheten ändå ligger i antagandet om marginalel.

6.1.3 Indata/Datakvalitet

Utöver osäkerheter och skillnader i framtagandet av själva marginalproduktionsmixen för de studerade systemen finns det osäkerheter i beräkningarna av miljöfaktorerna. Som beskrivet i fallstudien baseras vissa av faktorerna på LCA-data och andra inte. Detta leder till att resultaten inte är fullt jämförbara för alla faktorer. För fjärrvärmen har LCA-data för bränslen använts i alla beräkningar, men miljöpåverkan från energiomvandlingsanläggningar har exkluderats. I de olika elscenarierna varierar vilken typ av data som använts från källa till källa. I konsekvensanalysen är emissionsfaktorerna framtagna för de tre simulerade komplexa marginalelsscenarierna endast framräknade med energiomvandlingsemissioner och inkluderar alltså inte produktion och distributionen av bränslet. Trots detta är resultatet av konskevensanalysen till fjärrvärmens fördel.

En fullständig konsekvensanalys skulle innebära att marginaldata används i alla led, även för bränsleframställningen. I den här studien har endast det produktionsslag som ligger på marginalen använts, och alla data för klimatpåverkan och resurseffektivitet är baserade på medeldata, vilket medför en osäkerhet i studien. Anledningen att studien utförts på detta sätt beror på att det helt enkelt inte finns tillgängliga data på marginalbränslen. Eftersom det räknas med medeldata för bränslen i både fjärrvärmen och elproduktionen utgör detta antagande inte någon orättvisa i jämförelsen.

6.1.4 Känslighetsanalys

I känslighetsanalysen har vissa nyckelfaktorer i indata varierats för att se hur resultatet påverkas. Värmepumparnas verkningsgrad och miljöfaktorer för ingående bränslen i fjärrvärmen är de parametrar som studerats.

Resurseffektivitet

Känslighetsanalysen visar att det totala spannet för fjärrvärmens resurseffektivitet är större än det för värmepumparna. Detta beror på den stora variationen i biobränslenas primärenergifaktor till följd av hur energiinnehållet i biobränslena allokeras. I fallstudien har allokeringen följt värmemarknadskommissionens rekommendationer och i känslighetsanalysen har energiinnehållet för alla sekundära biobränslen allokerats till bränslet. I ett bokföringsperspektiv bör energiinnehållet i sekundära biobränslen allokeras till ursprungsprodukten eftersom framställningen av dessa i dagsläget inte drivs primärt av behovet av bränslen, utan av efterfrågan av exempelvis skogsråvara. I ett marginalperspektiv är det dock mer osäkert eftersom framtida utbud och efterfrågan av biobränslen är svårt att uppskatta.

I en konsekvensanalys bör marginaldata användas i alla led. Marginaldata för bränslen har inte funnits tillgängligt, men att ta med energiinnehållet i bränslet till dess primärenergifaktor anses vara en möjlig approximation. Detta speglar en framtid där en ökad efterfrågan på biobränslen leder till att tidigare odlingsmark för skog eller livsmedel tas i anspråk för odling av primära biobränslen. För att avgöra hur rimligt detta scenario är under den studerade tidsperioden hade en undersökning av mängderna tillgängligt biobränsle från nuvarande skogs- och jordbruk behövt utföras. Marginalbiobränsle skulle alltså kunna vara antingen primära eller sekundära biobränslen beroende på hur mycket efterfrågan av biobränslen ökar i förhållande till mängden sekundära biobränslen som finns tillgängligt. Troligtvis handlar det om en gradvis övergång från att mer effektivt utnyttja de restprodukter som finns till att börja odla grödor i energisyften.

Ställningstagandet i hur bränslets energiinnehåll bör allokeras blir direkt avgörande för fjärrvärmens resurseffektivitet, vilket även visas i känslighetsanalysen där fjärrvärmens resurseffektivitet varierar med drygt en faktor 4 mellan grundantagandet och ”worst case”. Miljöfaktorerna för ingående el är dock oförändrade, men skulle marginaldata för bränslen funnits tillgängliga hade även elproduktionen påverkats. Dock hade utslaget på resultatet för värmepumparna varit mindre eftersom det framförallt handlar om fossila bränslen där bränslets energiinnehåll redan ingår i primärenergifaktorn.

Känslighetsanalysen på värmepumparnas prestanda leder till en variation i resurseffektivitet. Dock framgår det att den utförda känslighetsanalysen på fjärrvärme leder till en större variation, vilket innebär att de ingående miljöfaktorerna är viktigare att studera än värmepumparnas prestanda.

För att kunna utforska detta hade mer fokus behövt läggas på att identifiera miljöfaktorer för marginalbränslen. Det hade också varit intressant att inkludera fördelningen på förnybar och icke förnybar primärenergi eftersom endast resurseffektiviteten inte ger hela bilden.

Klimatpåverkan

Känslighetsanalysen visar att det totala spannet för klimatpåverkan är större för värmepumparna än för fjärrvärmen. Detta beror främst på marginalelens varierande klimatpåverkan och värmepumparnas varierande prestanda. Eftersom endast en förändring införts i ”worst case” fjärrvärmen, nämligen att biooljan antagits vara importerad palmolja, slår känslighetsanalysen inte lika hårt på fjärrvärmens klimatpåverkan som dess resurseffektivitet. ”Worst case” fjärrvärme har högre klimatpåverkan än bergvärmepumpen vid grundantagandet om SPF, och konkurrerar jämt med luft/vattenvärmepumpen.

I dagsläget eldar inte Kraftringen importerad palmolja utan bioolja från restprodukter som kommer från Sverige och närliggande länder. Känslighetsanalysen visar att det blir viktigt för Kraftringen att se till att biooljan som används fortsatt kommer från närområdet och är utvunnen ur restprodukter om de vill hålla nere sin klimatpåverkan. Detta gäller för övriga biobränslen också. Så länge de inte behöver transporteras långa sträckor är fjärrvärmen klart bättre sett till klimatpåverkan. I ett marginalperspektiv finns dock en risk för att biobränslen kommer att behöva importeras, men hur omfattande importer som kan tänkas ske under den studerade tiden har inte analyserats vidare.

Viktigt att poängtera är att den stora klimatpåverkan från palmoljan beror på produktion och distribution av bränslet, något som inte ens är medräknat i miljöfaktorerna för den komplexa marginalelen då dessa inte baseras på LCA-data utan endast energiomvandlingsemissioner. Ur ett marginalperspektiv kan det tillkomma motsvarande ökningar av emissioner för alternativa utvinningsmetoder av fossila bränslen, vilket inte syns i känslighetsanalysen.

Även känslighetsanalysen på klimatpåverkan visar att miljöfaktorer för marginalbränslen hade varit intressanta att analysera, samt att LCA-data hade behövts för de komplexa marginalelsscenarierna för att få en rättvis jämförelse.

6.1.5 Sammanfattande bedömning

Utifrån studiens syfte, att ur ett hållbarhetsperspektiv ta fram underlag för en kund som står inför ett val av uppvärmningssystem, ger konsekvensanalysen den mest relevanta informationen. Bokföringsanalysen besvarar frågan hur den genomsnittliga påverkan från respektive uppvärmningssystem ser ut i dagsläget. Resultatet från bokföringsanalysen visar att konkurrensen är jämn mellan de studerade alternativen då den Nordiska elmixen används. Konsekvensanalysen visar vad de framtida effekterna blir av det val av uppvärmningsalternativ som görs idag där resultaten visar att fjärrvärmen har en bättre miljöprestanda. Dock visar känslighetsanalysen att miljövärderingen av de bränslen som ingår i marginalproduktionen får stor påverkan på resultatet, resurseffektiviteten mellan ”worst case” fjärrvärme och grundantagandet varierar med drygt en faktor 4. En mer detaljerad studie där marginalbränslen inom både el- och fjärrvärmeproduktion används hade behövts för att kunna ge ännu tydligare resultat.

6.2 Ekonomi

Syftet med den här studien har varit att ur ett kundperspektiv analysera ett val av uppvärmningssystem inom Lunds kommun. Därför utfördes en kostnadsanalys på

uppvärmningssystemen fjärrvärme, bergvärmepump och luft/vatten-värmepump med en tillhörande känslighetsanalys.

6.2.1 Resultat

Vid en jämförelse av det ekonomiska resultatet från den här studien med de sammanfattade resultaten från tidigare studier i Tabell 3 kan vissa slutsatser dras. Precis som i de flesta studier över flerbostadshus är fjärrvärme det ekonomiskt mest fördelaktiga alternativet även i den här jämförelsen. De studier som undersöker småhus kommer fram till att värmepumpar ger lägre annuitet än fjärrvärme, vilket också syns i resultatet av den här studien. I *Alternativkostnad till fjärrvärme* syns att kostnadsintervallet för ett uppvärmningssystem är stort, och att det varierar mer för en bergvärmepump än för fjärrvärme. Liknande resultat syns även i den här studien. Resultatet i *Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter* visar på en relativt stor variation i uppvärmningssystemens kostnadsposter. Detta visualiseras i den här studien genom resultatet av den ekonomiska känslighetsanalysen.

6.2.2 Indata/Datakvalitet

Indata till den ekonomiska jämförelsen kommer från många olika håll. Energipriser baseras på statistik, ekonomisk livslängd och kalkylränta på vanligt använda värden enligt tidigare studier medan investeringskostnader och uppsäkringskostnader är baserade på uppgifter från Profu och Kraftringen. Häri ligger en osäkerhetsfaktor, med statistik över installations- och uppsäkringskostnader hade jämförelsen blivit mer verklighetsförankrad och tydligare slutsatser hade kunnat dras. Nu visade det sig vara svårt att hitta uppgifter på installations- och uppsäkringskostnader, dels på grund av att de varierar mycket mellan olika leverantörer och fastighetens behov och dels för att de inte sammanställs någonstans i Sverige idag. Ett försök gjordes att använda sig av den metodik som finns beskriven i rapporten *Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter* (Svensk Fjärrvärme, 2007). Där används Länsstyrelsens databas kring det stöd för konvertering från direktverkande elvärme i bostadshus som fanns fram till 2010.

Genom kontakt med Länsstyrelsen i Skåne studerades 805 ansökningar om bidrag från 1/1 2006 till 31/12 2010. Dock så var ansökningsbidraget utformat så att om fjärrvärme fanns som uppvärmningsalternativ i området fick personen i fråga inte ansöka för bidrag för ett annat uppvärmningsalternativ. Detta begränsar antalet ansökningar som var intressanta för den här studien och därmed användbarheten av databasen. Informationen hade i det här fallet inte gett en rättvis bild, istället ansågs att studerad litteratur kring investeringskostnader samt en känslighetsanalys skulle ge ett mer trovärdigt resultat.

Den ekonomiska livslängden för de olika uppvärmningssystemen varierar egentligen från fall till fall. Den beror på produktens tekniska livslängd, men också klimat, skötsel och hur noggrant installationen genomfördes. Egentligen så har inbördes komponenter för respektive uppvärmningssystem olika lång livslängd, där t.ex. borrhålet för bergvärme kan hålla i över 50 år, medan kompressorn i en värmepump normalt sett måste bytas efter 10 år. Dock så är ett kompressorbyte inkluderat i drifts- och underhållskostnaderna över den ekonomiska livslängden för båda värmepumparna. En ekonomisk livslängd på 15 år kan vara lite väl lågt

för en fjärrvärmecentral och en värmepump med dagens teknik. Att undersöka faktiskta ekonomiska livslängder avsågs för fallspecifikt för den här typen av studie.

6.2.3 Känslighetsanalys

Genom känslighetsanalysen har osäkerheterna i indata fångats in. Via spindelgraferna tillsammans med intervallsstaplarna erhålls en helhetsbild av den ekonomiska jämförelsen. Tillsammans visar de det totala kostnadsintervallet samt hur en förändring i respektive parameter påverkar resultatet. Detta är styrkan i den känslighetsanalys som utförts, här kan läsaren själv se påverkan från en specifik parameter och eventuella brytpunkter mot andra system samtidigt som intervallet ger en uppfattning om möjliga min- och maxkostnader. Överlag följer bergvärmepumpen och luft/vatten-värmepumpen varandra åt vid en förändring, skillnaderna är att bergvärme har högre investeringskostnader och påverkas således mer av de parametrar som bidrar till högre eller lägre kapitalkostnader medan luft/vatten-värmepump har högre drifts- och underhållskostnader. Fjärrvärme däremot påverkas mest av de parametrar som bidrar till högre eller lägre rörliga kostnader, då lejonparten av fjärrvärmens årliga kostnader består av köpt energi.

Att intervallsgränserna antar så låga respektive höga värden, och på så vis täcker ett stort kostnadsintervall, beror på att maximal påverkan från respektive parameter har agreggerats. Det bör poängteras att de min- och maxkostnader som erhålls via intervallsdiagramen inte förväntas uppstå i ett verkligt fall. Att samtliga parameterar för ett uppvärmningssystem skulle bidra till enbart antingen en ökad, eller en minskad, kostnad är inte särskilt troligt. Ännu mindre troligt är det att samtliga parametrar dessutom skulle anta sina maximala/minimala nivåer så som modellerats i känslighetsanalysen. Resultatet visar att bergvärmepumpen har störst kostnadsintervall i samtliga fastigheter, följt av luft/vatten-värmepump och fjärrvärme. Detta beror på att bergvärmepump är mest kapitalintensiv av uppvärmningsalternativen där parametrarna investeringskostnad, ekonomisk livslängd och kalkylränta har ett stort utslag på den maximala och minimala kostnaden.

För att fjärrvärme ska vara konkurrenskraftigt i ett småhus krävs antingen att de rörliga kostnaderna hålls nere genom minskat uppvärmningsbehov, sämre fungerande värmepump samt förändrade energipriser eller att förutsättningarna för kapitalkostnaderna och de fasta kostnaderna förändras i den ekonomiska kalkylen, så som förändrade investeringskostnader, kalkylränta eller ekonomisk livslängd. I grundfallet är dock värmepumparna knappt kostnadsmässigt fördelaktiga.

I ett mindre och större flerbostadshus styrs uppvärmningssystemens årliga kostnad av samma tendenser, där fjärrvärmen består till stor del av rörliga kostnader, bergvärmepump av kapitalkostnader och luft/vattenvärmepump av fasta kostnader i och med den höga uppsäkringskostnad som systemet innebär. Grundfallet visar dock att fjärrvärme är det billigaste alternativet följt av bergvärmepump och luft/vatten-värmepump.

Det syns tydligt i den ekonomiska värderingen av miljöpåverkan att fjärrvärmen i ett marginalperspektiv inom Lunds kommun har betydligt lägre klimatpåverkan än värmepumparna för samtliga fastighetstyper. För småhuset får då uppvärmningssystemen får

nästan exakt lika stor kostnad. I flerbostadshusen hade fjärrvärme redan lägst grundkostnad, här blir skillnaderna i annuitet uppvärmningssystemen emellan bara större. När kostnaden för miljöpåverkan pålagts grundkostnaderna har externaliteterna internaliserats. Detta uttryck innebär att miljöpåverkan, en negativ extern effekt, tilldelas ett värde som får marknadsaktörer att ta hänsyn till dem. För att inte miljöpåverkan ska falla under allmänna tillgångars tragedi bör de regleras på något sätt. Att värdera dem i en kostnad är en möjlig lösning som skulle kunna fungera väl inom den rådande marknadsekonomin. Därför är den här typen av analys viktig att utföra.

6.2.4 Förlängd servisledning

I undersökningen av förlängd servisledning för fjärrvärme finns många osäkerheter. I verkligheten är en upphandling beroende av en rad faktorer, som t.ex. anslutningsgrad, fastighetstyper m.m., och inte bara anslutningskostnaden i kr/m för en enda fastighet. Dessutom påverkar indata resultatet i kostnadsjämförelsen och därmed den skillnad i kostnad som uppstår uppvärmningssystemen emellan som sedan ligger till grund för denna jämförelse. Det går därför inte att dra någon slutsats kring hur lång servisledning det lönar sig att lägga för respektive fastighetstyp. Resultatet visar dock att det i större uträckning lönar sig att dra extra servisledning för att ansluta ett mindre flerbostadshus och ett större flerbostadshus än det gör för ett småhus. Detta beror på att det är en större kostnadsskillnad i mellan uppvärmningssystemen för flerbostadshusen än det är för småhuset.

6.2.5 Sammanfattande bedömning

Utifrån studiens syfte, att ur ett hållbarhetsperspektiv ta fram underlag för en kund som står inför ett val av uppvärmningssystem, det för ett småhus inte går att avgöra vilket av uppvärmningssystemen som är mest hållbart ur ett ekonomiskt perspektiv, skillnaden i annuitet är såpass liten att en förändring i en parameter lätt kan ge fördel till ett av systemen. Dessutom innebär här en värdering av miljöpåverkan att uppvärmningsalternativen får nästan exakt lika hög årlig kostnad. För ett mindre och större flerbostadshus anser författarna att fjärrvärme generellt sett är det ekonomiskt mest hållbara alternativet.

6.3 Socioekonomiska effekter

De socioekonomiska effekterna har analyserats utifrån ett bredare perspektiv än de miljömässiga och ekonomiska jämförelserna. För att lättare kunna identifiera de socioekonomiska effekter som uppstår till följd av valet av uppvärmningssystem används ett regionalt perspektiv istället för ett renodlat kundperspektiv.

6.3.1 Sysselsättning i Lunds kommun

Den regionala sysselsättningsanalysen visar att fjärrvärmen anställer fler personer i Lunds kommun än alternativet värmepumpar. Dock är beräkningen baserat på grova generaliseringar och förenklingar. Att approximera resultatet för Östersund, Åre och Krokom på Lund blir en osäker uppskattning i bästa fall, då kommunernas ekonomiska förutsättningar skiljer sig åt, men efter samtal med Sirje Pädam som utfört rAps-analysen i referenslitteraturen bedömdes det vara en möjlig metodik för att få en indikering om vad en motsvarande analys på Lunds kommun skulle ge för resultat. I referensen utfördes analysen endast på scenariot där

fjärrvärmen försvann och inte ersattes av något, men i den här studien har en uppskattning av antalet arbetstillfällen som tillkommer när fjärrvärmen ersätts av värmepumpar uppskattats. Denna uppskattning innehåller dock många osäkerheter.

Till att börja med är det ett orimligt antagande att kvoten mellan elproduktion och elanvändning skulle vara konstant, men det är å andra sidan svårt att säga var den extra elproduktionen skulle tillkomma, allt eller inget skulle kunna vara inom kommunen. Dessutom innehåller elproduktionen en viss mängd kraftvärme, som skulle falla bort med fjärrvärmen. Det är även en grov uppskattning att värmeproduktion och elproduktion är lika arbetskrävande samt att verkningsgraden bränsle till värme är samma systemen emellan. De extra arbetstillfällen som tillkommer inom kommunen på grund av en ökad elproduktion är helt enkelt väldigt svårt att uppskatta, men det bedöms sannolikt att de blir väldigt få. Däremot är det troligt att en stor mängd arbetstillfällen tillkommer bland service och installation av värmepumpar. Här har en mycket förenklad uppskattning gjorts med hjälp av uppgifter från värmepumpsinstallatörer. Uppskattningen baseras på uppvärmningen av ett småhus, vilket blir en väldigt grov generalisering då det i själva verket skulle krävas värmepumpar av en mängd olika dimensioner, som i sin tur skulle kräva olika mycket arbetstid att installera. Det har antagits att arbetsinsatsen skalar linjärt mot värmepumpens effekt. Huruvida detta är ett rimligt antagande är osäkert.

Antal sysselsatta av fjärrvärmen har endast beräknats med antalet som är direkt sysselsatta med själva produktionen, vilket innebär att siffran är något låg då det dessutom arbetar människor inom t.ex. underhåll och konstruktion av fjärrvärmenätet och försäljning av fjärrvärme. Men på motsvarande sätt tillkommer arbetstillfällen med underhåll av elnät i värmepumpsscenariot. På grund av de grova förenklingarna bör detta resultat tas som en indikering snarare än absoluta siffror, och en specifik rAps-analys för Lunds kommun hade behövt utföras för att ge tydligare svar.

6.3.2 Övriga effekter

Metoden som använts för att bedöma de övriga sociala effekter som studerats bygger på kvalitativa bedömningar och är därmed delvis subjektiva. Det bör poängteras att fler områden än de studerade kan beröras.

De studerade områdena som talar för att fjärrvärme är det mer hållbara valet inom Lunds kommun är industriell spillvärme, kapacitet i elnät, flexibilitet i energisystem, leveranssäkerhet och användarvänlighet. Framförallt den industriella spillvärmen talar för fjärrvärmen eftersom det innebär en stor samhällsekonomisk nytta.

Det område som talar för att värmepumpar är det mer hållbara valet är tillgänglighet. Elnätet täcker i princip hela Lunds kommun och är således det enda av de studerade alternativen som är tillgängligt utanför Lunds tätort.

Fjärrvärmen är en viktig förutsättning för avfallsbranschen, men i den här studien görs bedömningen att ett minskat värmeunderlag i Lunds kommun inte påverkar avfallsbranschen

på regional eller nationell nivå eftersom det finns avsättning för kommunens avfall inom ett kort avstånd. Marknaden för biobränslen bedöms vara opåverkad från valet av uppvärmningssystem då det bedöms finnas alternativ avsättning, och detsamma gäller för torv. Fjärrkyla kan ersättas med alternativ kylteknik utan en ökad samhällsekonomisk kostnad och är således opåverkad från valet av uppvärmningssystem. De sociala effekterna i leverantörskedjan har inte kunnat värderas och därför bedöms inget uppvärmningssystem vara mer hållbart ur detta hänseende.

Utifrån studiens syfte, att ur ett hållbarhetsperspektiv ta fram underlag för en kund som står inför ett val av uppvärmningssystem, anses fjärrvärme vara det socioekonomiskt mest hållbara uppvärmningsalternativet ur ett regionalt perspektiv. Den dubbla nyttan som fjärrvärmen utgör vid omhändertagandet av industriellt spillvatten, att inte det redan hårt belastade elnätet i södra Sverige ytterligare belastas samt den flexibilitet och leveranssäkerhet som fjärrvärme som energisystem medför är de främsta fördelarna.

6.4 Förslag på fortsatt arbete

Den här studien visar på svårigheterna i att utföra den här typen av jämförande analys på en generell nivå och resultaten innehåller stora osäkerheter. För att få ett tydligare svar på frågan vad som är det mest hållbara uppvärmningsalternativet hade studien behövt utvecklas ytterligare. Under studiens gång har följande aspekter identifierats som intressanta för fortsatta studier:

- Bearbeta resultatet för att nå ut till byggherrar och fastighetsägare
- Utforma en överförbar och enkel metodik att ta fram marginaldata för fjärrvärmeproduktion
- Att studera verkliga investeringskostnader för uppvärmningssystem
- Utforma ett verktyg som andra fjärrvärmekommuner/bolag kan stoppa in egen indata i och få ut resultat motsvarande den här studien
- Utvidga analysen till att undersöka kombinationssystem av värmepumpar och fjärrvärme
- Undersöka luft/luft-värmepump i småhus
- Utföra en kvantitativ analys i rAps för Lunds kommun
- Analysera resultatet från studien mot ett lågtempererat fjärrvärmenät
- Koppla resultatet till Boverkets byggregler, BBR
- Göra kostnadsjämförelsen vid förlängd servisledning mer verklighetsförankrad samt visualisera den för fjärrvärmenätets utbredning i Lunds kommun
- Beräkna ett elpris innefattande andelar i ett vindkraftskooperativ som realistiskt kan antas ge en nybyggnation av vindkraft motsvarande kundens totala elanvändning, och gör en kostnadsanalys utifrån detta
- Utför miljöberäkningarna med hänsyn till primärenergins indelning i förnybara/icke förnybara källor
- Försök kvantifiera miljöfaktorer för marginalbränslen och utför konsekvensanalysen med dessa.
- Fördela primärenergin på förnybar och icke förnybar

7 Slutsatser

I den här studien har följande slutsatser kunnat dras:

- Bokföringsanalysen av miljöpåverkan, som visar det mest hållbara uppvärmningsalternativet sett till ett historiskt genomsnitt, visar att värmepumparna har lägre klimatpåverkan och att fjärrvärmen är mer resurseffektiv i Lunds kommun.
- Konsekvensanalysen av miljöpåverkan, som visar det mest hållbara valet av uppvärmningssystem över en prognosticerad 15-års period, visat att fjärrvärmen har minst klimatpåverkan och är mest resurseffektiv i Lunds kommun.
- Känslighetsanalysen av miljöfaktorer visar att miljövärderingen av marginalbränslen har stort utslag på resultatet, där bland annat fjärrvärmens resurseffektivitet varierar med en faktor 4. Vidare studier på detta hade behövts för ett säkrare resultat.
- Skillnaderna i annuitet för uppvärmning i ett småhus i Lunds kommun är små. Luft/vatten-värmepump har lägst årliga kostnader, följt av bergvärmepump och fjärrvärme. Känslighetsanalysen visar att resultatet kan variera för specifika fall
- För ett mindre flerbostadshus och större flerbostadshus är fjärrvärme det ekonomiskt mest hållbara alternativet i Lunds kommun, följt av bergvärmepump och luft/vatten-värmepump. Känslighetsanalysen visar att resultatet varierar för specifika fall.
- Ur ett socioekonomiskt perspektiv inom Lunds kommun bedöms fjärrvärme vara mer hållbart än värmepumpar. Främst på grund av dess synergieffekter med industriell spillvärme, dess bidrag till en ökad sysselsättning, den begränsade kapaciteten i elnätet samt fjärrvärmens flexibilitet och leveranssäkerhet som energisystem.

Referenser

Aronsson, S., 1996. *Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov. D35:1996,* Göteborg: Institutionen för installationsteknik, Chalmers Tekniska Högskola.

Avfall Sverige, 2008. *Energi från avfall ur ett internationellt perspektiv. Rapport 2008:13,* Malmö: Avfall Sverige.

Avfall Sverige, 2013. *Svensk avfallshantering 2013.*
Tillgänglig via:
http://www.avfallsverige.se/fileadmin/uploads/Rapporter/svensk_avfallshantering_2013.pdf
[Använd 16 05 2014].

Axelsson, E., 2014. *Mailkonversation angående indata till Värmeräknaren.* 003: 21.

Bioenergiportalen, 2008. *Halm.*
Tillgänglig via: http://www.bioenergiportalen.se/?p=1415&m=879
[Använd 03 03 2014].

Björk, E. o.a., 2013. *Bergvärme på djupet. Boken för dig som vill veta mer om bergvärmepumpar..* u.o.:KTH Energiteknik.

Blomqvist, P. o.a., 2008. *Vindkraft i framtiden - Möjlig utveckling i Sverige till 2020 Elforsk rapport 08:17,* u.o.: Elforsk.

Börjesson, P., Linda, T. & Lantz, M., 2010. *Livscykelanalys av svenska biodrivmedel,* Lund: Lunds Tekniska Högskola vid Lunds Universitet.

Bousted, I., 2005. *Eco-profiles of the European Plastics Industry - Natural gas,* u.o.: u.n.

Brander, M. o.a., 2011. *Electricity-specific emission factors for grid electricity,* u.o.: u.n.

Carlson, A., Lehtmets, M. & Andersson, S., 2008. *Alternativkostnad till fjärrvärme: En studie av verkliga kostnader på lokala värmemarknader. Rapport 2008:7.,* u.o.: Svensk Fjärrvärme.

Ekvall, T. & Weidema, B., 2004. *System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis. Int J LCA 9 (3), pp. 161–171.,* u.o.: u.n.

Ekvall, T. & Weidema, B. P., 2004. *System Boundaries and Input Data in Consequential Life Cycle Inventory Analysis,* u.o.: u.n.

Energigas Sverige, 2014. *Naturgas.*
Tillgänglig via: http://www.energigas.se/Energigaser/Naturgas
[Använd 12 03 2014].

Energimarknadsinspektionen, 2011. *Ursprungsmärkning av el. EI R2011:10.,* Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.

Energimarknadsinspektionen, 2012. *Uppvärmning i Sverige 2012. EI R2012:09.*, Eskilstuna: Energimarknadsinspektionen.

Energimarknadsinspektionen, 2014. *Residualmixen.*
Tillgänglig via: http://ei.se/sv/el/elmarknader-och-elhandel/ursprungsmarkning-av-el/ursprungsmarkning-information-framst-for-elhandelsforetag/residualmixen/
[Använd 20 02 2014].

Energimyndigheten, 2002. *Värme i villan. ET 17:2002.*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2007. *Villavärmepumpar. Energimyndighetens sammanställning av värmepumpar för småhus. ET 2006:25.*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2011. *Energiläget 2011*, u.o.: u.n.

Energimyndigheten, 2011. *Långsiktsprognos 2010, ER 2011:03*, u.o.: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2012. *Bergvärmepumpar November 2012.*
Tillgänglig via:
http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Bergvarmepumpar-november-2012/
[Använd 25 02 2014].

Energimyndigheten, 2012. *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2012. ES 2013:06*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2012. *Värmepump.*
Tillgänglig via: http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Din-uppvarmning/Varmepump/
[Använd 25 02 2014].

Energimyndigheten, 2013. *Energiindikatorer 2013 -Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål. ER 2013:05.*, Eskilstuna: Statens energimyndighet.

Energimyndigheten, 2013. *Energiläget 2013. ET 2013:22.*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2013. *Energistatistik för flerbostadshus 2012. ES 2013:03.*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2013. *Energistatistik för småhus 2012. ES 2013:05.*, Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2013. *Långsiktsprognos 2012. En konsekvensanalys av gällande styrmedel inom energi- och klimatområdet. ER 2013:03.*, u.o.: Statens Energimyndighet.

Energimyndigheten, 2014. *Test luftvattenvärmepumpar.*
Tillgänglig via:
http://www.energimyndigheten.se/Hushall/Testerresultat/Testresultat/Luftvattenvarmepumpar

1/?tab=2
[Använd 08 04 2014].

Energimyndigheten, 2014. *Uthållig kommun.*
Tillgänglig via: http://www.energimyndigheten.se/Offentlig-sektor/uthallig-kommun/Vad-ar-Uthallig-kommun/
[Använd 25 04 2014].

Energiutskottet, 2013. *Sveriges elpriser – En analys av den nordiska elmarknaden,* Stockholm: Kungl. Vetenskapsakademien.

Erlandsson, M., Ekvall, T., Lindfors, L.-G. & Jelse, K., 2014. *Robust LCA: Typologi över LCA-metodik - två kompletterande syner,* u.o.: u.n.

EU, 2013. *Riktlinjer för medlemsstaterna för beräkning av förnybar energi från värmepumpar som använder olika värmepumpteknik i enlighet med artikel 5 i direktiv 2009/28/EG. (2013/114/EU). ,* Bryssel: EU.

Gode, J., Byman, K., Persson, A. & Trygg, L., 2009. *Miljövärdering av el ur systemperspektiv. En vägledning för hållbar utveckling. B1882.,* u.o.: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Gode, J. o.a., 2012. *Primärenergi i avfall och restvärme. Fjärrsyn Rapport 2012:5.,* u.o.: Svensk Fjärrvärme AB.

Gode, J., Fredén, J., Adolfsson, I. & Ekvall, T., 2012. *Värdering av fjärrvärmens resurseffektivitet. Fjärrsyn Rapport 2013:3.,* u.o.: Svensk Fjärrvärme AB.

Gode, J. o.a., 2012. *Miljökommunikation med nyckeltal och indikatorer. Fjärrsyn Rapport 2012:4,* u.o.: Svensk Fjärrvärme AB.

Gode, J. o.a., 2011. *Miljöfaktaboken 2011. Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter.,* Stockholm: Värmeforsk Service AB.

Göteborg Energi AB, 2009. *Miljörapport 2009 Ryaverket,* u.o.: Göteborg Energi AB.

Hagberg, L. & Holmgren, K., 2008. *The climate impact of future energy peat production,* Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Hagberg, L. o.a., 2009. *LCA calculations on Swedish wood pellet production chains - according to the Renewable Energy Directive. IVL Rapport B1873.,* Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet.

IEA, 2014. *IEA - Statistics.*
Tillgänglig via: http://iea.org./stats.index.asp
[Använd 9 Maj 2014].

IPCC, 2006. *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2, Chapter 2, Table 2.2,* u.o.: u.n.

IPCC, 2014. *Peat Classification.*
Tillgänglig via: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/faq/faq.html
[Använd 03 03 2014].

Jamal, E., 2013. *Koldioxidsignal för svensk inhemsk elkonsumtion,* Stockholm: KTH.

Kraftringen AB, 2014. *Prislista Syd (Skåne).*
Tillgänglig via: http://www.kraftringen.se/Privat/El/Elnat/Elnatsavgifter/Elnatsavgifter-Skane/
[Använd 06 02 2014].

Kraftringen, 2014. *Bra Miljöval el - billigt och bra för miljön.*
Tillgänglig via: http://kraftringen.se/Privat/El/Avtalsformer/Vara-tillval/Bra-Miljoval/
[Använd 21 Maj 2014].

Kraftringen, 2014. *Elnätsavgifter för lågspänning.*
Tillgänglig via: http://www.kraftringen.se/Foretag/El/Elnat/Elnatsavgifter/Prislista-Syd/Elnatsavgifter-lagspanning-/
[Använd 25 03 2014].

Kraftringen, 2014. *Fjärrkyla.*
Tillgänglig via: http://insidan.kraftringen.se/Produkter/Fjarrkyla/
[Använd 16 05 2014].

Kraftringen, 2014. *Fjärrvärme för ditt företag.*
Tillgänglig via: http://www.kraftringen.se/Foretag/Fjarrvarme/Fjarrvarmepriser-2014/
[Använd 06 02 2014].

Kraftringen, 2014. *Fjärrvärmepriser för privatpersoner.*
Tillgänglig via: http://www.kraftringen.se/Privat/Fjarrvarme/Fjarrvarmepriser-2014/
[Använd 06 02 2014].

Kraftringen, 2014. *Förnybar el - billigt och bra.*
Tillgänglig via: http://kraftringen.se/Privat/El/Avtalsformer/Vara-tillval/Fornybar-el/
[Använd 21 Maj 2014].

Lindholm, E.-L., Berg, S. & Hansson, P.-A., 2010. *Skörd av skogsbränslen i ett livscykelperspektiv,* Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala.

Martinsson, F., Gode, J., Arnell, J. & Höglund, J., 2012. *Emissionsfaktor för Nordisk elproduktionsmix,* Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.

Martinsson, F., Gode, J. & Ekvall, T., 2012. *Kraftvärmeallokeringar - en översikt,* u.o.: Fjärrsyn.

Naturvårdsverket, 2003. *Modell för tillsyn styrd av miljökvalitetsmålen. TIM-projektet. Rapport 5347.,* Stockholm: Naturvårdsverket.

Naturvårdsverket, 2014. *Beräkna utsläpp av växthusgaser och luftföroreningar - vägledning.* Tillgänglig via: http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Luft-och-klimat/Berakna-utslapp-av-vaxthusgaser-och-luftfororeninga/
[Använd 8 Maj 2014].

Naturvårdsverket, 2014. *Sveriges klimatpolitik.*
Tillgänglig via: http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Klimat/Klimatpolitik/
[Använd 26 05 2014].

Nils Holgersson-gruppen, 2012. *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige - en avgiftsstudie för 2012.,* Stockholm: Nils Holgersson-gruppen.

Nils Holgersson-gruppen, 2013. *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige: En avgiftsstudie för 2013.,* Stockholm: Nils Holgersson-gruppen.

Nilsson, L.-G., 2014. *Investeringskostnader för fjärrvärme hos Kraftringen* [Intervju] (06 03 2014).

Nilsson, P., 2000. *EnergiLedning. Att hantera energirelaterade frågor i företag och organisationer. ER 11:2000,* Eskilstuna: Statens Energimyndighet.

NordPol Spot, 2014. *Exchange Information.*
Tillgänglig via: http://www.nordpoolspot.com/Message-center-container/Exchange-list/2014/02/No-052014---/?year=2014&quarter=1
[Använd 06 02 2014].

Öman, A., Hallberg, L. & Rydberg, T., 2011. *LCI för petroleumprodukter som används i Sverige,* u.o.: IVL.

Pädam, S., 2014. *Mailkonversation: Angående rAps i examensarbete* [Intervju] (28 April 2014).

Persson, A., Rydstrand, C. & Hedenskog, P., 2005. *Allt eller inget - Systemgränser för byggnaders uppvärmning,* Stockholm: ÅF - Energi & Miljö AB.

Profu, 2013. *Fjärrvärmens konkurrenskraft. Resultat-PM för Värmeräknaren Lund.,* u.o.: Profu.

Rådets direktiv 2004/8/EG, 2004. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2004/8/EG av den 11 februari 2004 om främjande av kraftvärme på grundval av efterfrågan på nyttiggjord värme på den inre marknaden för energi och om ändring av direktiv 92/42/EEG ,* u.o.: u.n.

Rådets direktiv 2009/28/EG, 2209. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2009/28/EG av den 23 april 2009 om främjande av användningen av energi från förnybara energikällor och om ändring och ett senare upphävande av direktiven 2001/77/EG och 2003/30/EG.,* u.o.: u.n.

RE-DISS, 2014. *RE-DISS II Data Results for residual Mix 2012 (Version 1.1) - 2013-05-08.* Tillgänglig via: http://www.reliable-disclosure.org/upload/34-RE-

DISS_2012_Residual_Mix_Results_v1_1.pdf
[Använd 8 Maj 2014].

SCB, 2014. *Kommunal och regional energistatistik.*
Tillgänglig via: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Energibalanser/Kommunal-och-regional-energistatistik/24625/24632/
[Använd 20 Maj 2014].

SCB, 2014. *Statistik: Priser och Konsumtion.*
Tillgänglig via:
http://www.ssd.scb.se/databaser/makro/MainTable.asp?yp=tansss&xu=C9233001&omradekod=PR&omradetext=Priser+och+konsumtion&lang=1&langdb=1
[Använd 20 03 2014].

Scholtz, O., 2014. *Mailväxling med EkoEnergi AB* [Intervju] (20 Maj 2014).

Scholtz, O., 2014. *Värmepumpsintervju* [Intervju] (03 03 2014).

Schulz, L., 2003. *Normalårskorrigering av energianvändningen i byggnader - en jämförelse av två metoder. 2003:01,* Göteborg: EFFEKTIV.

SGU, 2014. *SGU:s kartvisare brunnar.*
Tillgänglig via: http://www.sgu.se/kartvisare/kartvisare-brunnar-sv.html
[Använd 24 03 2014].

Sirje, P. o.a., 2013. *Samhällsekonomisk analys av fjärrvärme. Fjärrvärmens samhällsekonomiska nytta i energisystemet idag och i framtiden. Fjärrsyn Rapport 2013:5.,* u.o.: Svensk Fjärrvärme AB.

Skatteverket, 2013. *Ändrade skattesatser.*
Tillgänglig via:
http://www.skatteverket.se/download/18.2b543913a42158acf800016263/1354780124382/Skattesatser+2013+RA.pdf
[Använd 06 02 2014].

Skatteverket, 2014. *Momsbroschyren. SKV 552 utgåva 22.,* u.o.: Skatteverket.

Sköldberg, H. & Unger, T., 2008. *Effekter av förändrad elanvänding/elproduktion - Modellberäkningar. Elforsk Rapport 08:30.,* u.o.: Elforsk.

Sköldberg, H., Unger, T. & Olofsson, M., 2006. *Marginalel och miljövärdering av el. Elforsk Rapport 06:52.,* Stockholm: Elforsk.

SMHI, 2014. *Normalvärden för temperatur 1961-1990..*
Tillgänglig via: http://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/temperatur
[Använd 21 02 2014].

Sokka, L., Koskela, S. & J, S., 2005. *Life cycle inventory analysis of hard coal based electricity generation,* Helsinki: Finnish Environment Institute.

Statistiska Centralbyrån, 2014. *Priser på elenergi och överföring av el.*
Tillgänglig via: http://www.scb.se/sv_/Hitta-statistik/Statistik-efter-amne/Energi/Prisutvecklingen-inom-energiomradet/Priser-pa-elenergi-och-pa-overforing-av-el-nattariffer/Aktuell-Pong/6429/
[Använd 05 02 2014].

Svend, F. & Sven, W., 2013. *District heating and Cooling.* u.o.:Studentlitteratur AB.

Svensk Energi, 2012. *Vägledning angående ursprungsmärkning av el,* u.o.: Svensk Energi.

Svensk Energi, 2012. *Vägledning angående ursprungsmärkning av el (2012-07-10),* u.o.: Svensk Energi.

Svensk Energi, 2013. *Miljövärdering 2013 Guide för allokering i kraftvärmeverk och fjärrvärmens elanvändning,* u.o.: Svensk Energi.

Svensk Fjärrvärme, 2007. *Analys av uppvärmningsalternativens kostnadsposter. Rapport 2007:2,* u.o.: Svensk Fjärrvärme.

Svensk Fjärrvärme, 2007. *Kulvertkostnadskatalog: Rapport. Januari 2007:1,* u.o.: u.n.

Svensk Fjärrvärme, 2014. *Tillförd Energi.*
Tillgänglig via: http://www.svenskfjarrvarme.se/Statistik--Pris/Fjarrvarme/Energitillforsel/
[Använd 14 05 2014].

Svenska Kraftnät, 2012. *Perspektivplan 2025 - en utvecklingsplan för det svenska stamnätet.,* Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

Svenska Kraftnät, 2013. *Perspektivplan 2025 - En utvecklingsplan för det svenska stamnätet,* Sundbyberg: Svenska Kraftnät.

SVEP, 2014. *Tillverkare.*
Tillgänglig via: http://www.svepinfo.se/medlemmar/tillverkare/
[Använd 20 Maj 2014].

Tillväxtanalys, 2014. *rAps.*
Tillgänglig via: http://www.tillvaxtanalys.se/sv/analysplattformar/regional-analys---raps.html
[Använd 12 05 2014].

Torvutredningen, 2002. *Uthållig användning av torv. SOU 2002:100,* u.o.: u.n.

Tricorona, 2014. *Gold-Standard.*
Tillgänglig via: http://www.tricorona.com/sv/content/gold-standard
[Använd 16 05 2014].

Tricorona, 2014. *Handla Klimatkompensation.*
Tillgänglig via: http://www.tricorona.com/sv/content/handla-klimatkompenstation
[Använd 16 05 2014].

United Nations, 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.*, u.o.: UN.

Värmemarknadskommittén, 2012. *Miljövärdering 2012. Guide för beräkning av fjärrvärmens miljövärden.*, Stockholm: Svensk Fjärrvärme.

Värmemarknadskommittén, 2013. *Överenskommelse i Värmemarknadskommittén 2013. Om synen på bokförda miljövärden för fastigheter uppvärmda med fjärrvärme med värden för 2013.*, u.o.: Värmemarknadskommittén.

Vattenfall AB, 2010. *EPD Vattenfall wind power Certified Environmental Product Declaration EPD of electricity from Vattenfall's wind FARMs.*, u.o.: u.n.

Vattenfall, 2014. *Välj rätt huvudsäkring.*
Tillgänglig via: http://www.vattenfall.se/sv/foretag-valj-ratt-huvudsakring.htm
[Använd 06 02 2014].

W. Kates, R., M. Parris, T. & A. Leiserowitz, A., 2005. What is sustainable Development? Goals, indicators, values, and practice.. *Environment:Science and Policy for Sustainable Development*, April, 47(Nummer 3, sida 8-21.).

Bilaga A. Miljöberäkningar

Tabell 20. Anläggningsspecifika data.

Anläggning	Bränsle	Verkningsgrad
GBV Gasturbin	Naturgas	1,09
GBV Bioolja	Bioolja	0,91
Landskrona KVV	Returträ/Flis	1,30
Örtofta KVV	Blandade biobränslen	1,30
Godspanna	Halm/Flis	0,85
Västhamnsverket KVV	Pellets	1,30
Återbruket KVV	Returträ/Flis	1,15
Värmepumpar	El	3,00

Tabell 21. Fjärrvärmens marginalproduktionssammansättning.

Marginalanläggning	Andel
GBV Bioolja	0,17
Godspanna	0,05
Västhamnsverket KVV	0,21
Värmpepumpar	0,23
Återbruket KVV	0,06
Örtofta KVV	0,21
Landskrona KVV	0,02
GBV Gasturbin	0,05

Tabell 22. Bränslemix i Örtofta kraftvärmeverk.

Bränsle	Andel
Skogsflis	0,55
Returträ	0,35
Torv	0,15

Tabell 23. Resulterande emissionsfaktorer för koldioxidekvivalenter per uppvärmningssystem och elproduktion (kg CO_2-e/kWh).

	Fjärrvärme	Bergvärmepump	Luft/vatten-värmepump
Kompl ex marginalel (höga CO_2-priser)	0,047	0,054	0,063
Komplex marginalel (referensscenario)	0,092	0,226	0,266
Komplex marginalel (höga fossilbränsleplriser)	0,102	0,263	0,310
Kolkondens	0,110	0,294	0,346

Naturgaskombi	0,073	0,152	0,179
Nordisk elmix (IVL)	0,067	0,044	0,052
Europeisk medel	0,118	0,153	0,180
Nordisk residualmix (2012)	0,092	0,098	0,115
Ursprungsmärkt el (vindkraft)	0,048	0,004	0,005
Nordisk elmix (Svensk Energi)	0,060	0,029	0,035

Tabell 24. Resulterande primärenergifaktorer per uppvärmningssystem och elproduktion (kWh/kWh).

	Fjärrvärme	Bergvärmepump	Luft/vatten-värmepump
Kompl ex marginalel (höga CO_2-priser)	0,261	0,545	0,643
Komplex marginalel (referensscenario)	0,308	0,724	0,853
Komplex marginalel (höga fossilbränsleplriser)	0,308	0,724	0,853
Kolkondens	0,348	0,879	1,036
Naturgaskombi	0,293	0,667	0,786
Nordisk elmix (IVL)	0,476	0,586	0,690
Europeisk medel	0,614	0,879	1,036
Nordisk residualmix (2012)	0,558	0,761	0,897
Ursprungsmärkt el (vindkraft)	0,209	0,017	0,020
Nordisk elmix (Svensk Energi)	0,476	0,586	0,690

Tabell 25. Känslighetsanalys på PEF per uppvärmningssystem och elproduktionsscenario (kWh/kWh).

Elproduktionsscenarier	Komplex marginalel (höga CO_2-priser)	Komplex marginalel (referensscenario)	Komplex marginalel (höga fossilbränsleplriser)	Kolkondens	Naturgaskombi
Worst case FJV	1,16	1,30	1,30	1,42	1,25
Baseline FJV	0,26	0,31	0,31	0,35	0,29
BVP låg SPF	0,73	0,97	0,97	1,17	0,89
BVP baseline	0,55	0,72	0,72	0,88	0,67
BVP hög SPF	0,44	0,58	0,58	0,70	0,53
L/V-VP låg SPF	0,86	1,14	1,14	1,38	1,05
L/V-VP baseline	0,64	0,85	0,85	1,04	0,79
L/V-VP hög SPF	0,51	0,68	0,68	0,83	0,63

Tabell 26. Känslighetanalys på klimatpåverkan från uppvärmningssystem per elproduktionsscenario (kg CO_2-e/kWh).

Elproduktionsscenarier	Kompl ex marginalel (höga CO_2-priser)	Komplex marginalel (referensscenario)	Komplex marginalel (höga fossilbränsleplriser)	Kolkondens	Naturgaskombi

Worst case FJV	0,12	0,26	0,28	0,31	0,20
Baseline FJV	0,05	0,09	0,10	0,11	0,07
BVP låg SPF	0,07	0,30	0,35	0,39	0,20
BVP baseline	0,05	0,23	0,26	0,29	0,15
BVP hög SPF	0,04	0,18	0,21	0,23	0,12
L/V-VP låg SPF	0,08	0,35	0,41	0,46	0,24
L/V-VP baseline	0,06	0,27	0,31	0,35	0,18
L/V-VP hög SPF	0,05	0,21	0,25	0,28	0,14

Bilaga B. Ekonomiska beräkningar

Tabell 27. Rekomenderade säkringsstorlekar för maximalt effektuttag och årlig elförbrukning (Vattenfall, 2014).

Säkringsstorlek	Årlig elförbrukning
16 A	0-20 000 kWh
20 A	20 000-25 000 kWh
25 A	25 000-30 000 kWh
35 A	30 000-40 000 kWh
50 A	40 000-55 000 kWh
63 A	55 000-70 000 kWh

Tabell 28. Genomsnittlig avtalsfördelning för åren 2009-2013 (Statistiska Centralbyrån, 2014).

	2013	2012	2011	2010	2009	Genomsnittligt värde
Tillsvidarepris	0,189	0,212	0,242	0,267	0,313	0,244
Rörligt pris	0,390	0,323	0,306	0,323	0,289	0,326
Avtal med avtalslängd på 1 år	0,177	0,193	0,180	0,163	0,146	0,172
Avtal med avtalslängd på 2 år	0,064	0,073	0,065	0,052	0,040	0,059
Avtal med avtalslängd på 3 år	0,181	0,200	0,209	0,195	0,212	0,199

Tabell 29. Statistik över elenergipris för villa med elvärme beroende på avtalstyp år 2013 (Statistiska Centralbyrån, 2014).

	2013	2012	2011	2010	2009	Genomsnittligt värde	Viktat värde
Tillsvidarepris	72,95	75,56	85,33	77,65	72,32	76,76	18,75
Rörligt pris	47,09	41,02	55,89	67,61	52,60	52,84	17,22
Avtal med avtalslängd på 1 år	49,88	50,63	63,53	60,61	55,21	55,97	9,61
Avtal med avtalslängd på 2 år	49,41	52,00	62,11	59,15	55,94	55,72	3,27
Avtal med avtalslängd på 3 år	49,19	52,40	61,23	58,48	56,57	55,57	11,07
Summa							59,94

Tabell 30. Statistik över elenergipris för flerbostadshus (näringsverksamhet) beroende på avtalstyp år 2013 (Statistiska Centralbyrån, 2014).

	2013	2012	2011	2010	2009	Genomsnittligt värde	Viktat värde
Tillsvidarepris	67,58	69,17	79,59	73,11	67,39	71,37	17,44
Rörligt pris	42,00	35,95	50,94	63,02	47,93	47,97	15,64

Avtal med avtalslängd på 1 år	44,82	45,92	58,79	56,23	50,74	51,30	8,81
Avtal med avtalslängd på 2 år	44,82	47,28	57,57	54,86	51,43	51,19	3,01
Avtal med avtalslängd på 3 år	44,64	47,78	56,65	54,24	52,22	51,11	10,18
Summa							55,07

Tabell 31. Kraftringens fjärrvärmepriser för småhus respektive flerbostadshus (Kraftringen, 2014) (Kraftringen, 2014).

Fjärrvärmepris 2014, standardavtal – villor/småhus		
Energipris		
740 kr per MWh (74,00 öre per kWh)		
Fast avgift		
4 000 kr per år		
Fjärrvärmepris 2014, rörligt avtal – villor/småhus		
Energipris		
1 024 kr per MWh (102,40 öre per kWh)		
Fjärrvärmepriser 2014, prisgrupp företag, (flerbostadshus, lokaler, samfälligheter)		
Energipris		
Vinterpris för perioden december-februari		640 kr/MWh
Vårpris för perioden mars-april		475 kr/MWh
Sommarpris för perioden maj-september		350 kr/MWh
Höstpris för perioden oktober-november		475 kr/MWh
Effektavgift		
Prisgrupp 2	< D <= 100 kW	897 kr/kW
Prisgrupp 3	< D <= 650 kW	863 kr/kW
Prisgrupp 4	< D<= 1 000 kW	828 kr/kW
Prisgrupp 5	D >1000 kW	794 kr/kW

Tabell 32. Parametrar använda i den ekonomiska jämförelsen.

	Småhus	**Mindre Flerbostadshus**	**Större Flerbostadshus**
Indata			
Värmebehov (kWh/år)	17000	193000	1000000
Fjärrvärmepris	0,74	0,937	0,929
Elpris	1,116	1,055	1,055
Rörligt elnätspris	0,163	0,075	0,075
Kalkylränta	0,027	0,06	0,06
Bergvärmepump			

Investeringskostnad	150000	871810	4650000
Ekonomisk livslängd	15	15	15
DoU	1500	8718,1	46500
Nuvarande fast elnätskostnad	3323	6801	34080
Beräknad ny fast elnätskostnad	5200	69513	300650
Tillkommande fast elnätskostnad	1877	62712	266570
SPF	3,3	3,13	3,13
Fjärrvärme			
Investeringskostnad	75000	187500	937500
Ekonomisk livslängd	15	15	15
DoU	4375	937,5	4687,5
Verkningsgrad	0,99	0,99	0,99
Luft/vatten-värmepump			
Investeringskostnad	110000	436795	1970000
Ekonomisk livslängd	15	15	15
DoU	2200	8736	39400
Nuvarande fast elnätskostnad	3323	6801	34080
Beräknad ny fast elnätskostnad	6533	86425	413400
Tillkommande fast elnätsksotnad	3210	79624	379320
SPF	2,8	2	2
Resultat Bergvärmepump			
Kapital	12294	89764	478777
Fasta	3377	71430	313070
Rörliga	6589	69677	361022
Totalt per år	22260	230871	1152869
Resultat Fjärrvärme			
Kapital	6147	19306	96528
Fasta	4375	938	4688
Rörliga	12707	182668	938384
Totalt per år	23229	202911	1039599
Resultat Luft/vatten-värmepump			
Kapital	9016	44974	202837
Fasta	5410	88360	418720
Rörliga	7765	109045	565000
Totalt per år	22191	242379	1186557

Tabell 33. Uppsäkringskostnader för värmepumparna.

	Mindre flerbostadshus		**Större flerbostadshus**	
	BVP	L/V-VP	BVP	L/V-VP

Fast kostnad (kr/år)	69512,5	86425	300650	413400
Rörlig kostnad (öre/kWh)	7,5	7,5	7,5	7,5
Effektbehov (W)	110000	140000	520000	710000
Nuvarande säkringskostnad (kr/år)	6801	6801	34080	34080
Uppsäkringskostnad (kr/år)	62711,5	79624	266570	379320
Sänkt effektbehov till 2/3 (W)	70000	89000	360000	492000
Ny uppsäkringskostnad (kr/år)	46963	57674	210450	284865
Uppsäkringskostnad för känslighetsanalysen	40162	50873	176370	250785

Tabell 34. Ekonomisk värdering av miljöpåverkan för respektive uppvärmningssystem och fastighet.

	Utsläpp	Skillnad	Miljökostnad
Småhus			
Fjärrvärme	1,7	2,9	603
Bergvärmepump	3,8	0,7	1390
Luft/vatten-värmepump	4,5	0,0	1638
Mindre flerbostadshus			
Fjärrvärme	18,9	32,4	6842
Bergvärmepump	43,5	7,8	15783
Luft/vatten-värmepump	51,3	0,0	18601
Större flerbostadshus			
Fjärrvärme	97,8	168,1	35451
Bergvärmepump	225,6	40,3	81776
Luft/vatten-värmepump	265,9	0,0	96379

Tabell 35. Kostnad för uppvärmnigsssytemen i den ekonomiska känslighetsanalysen.

Småhus	Fjärrvärme	Bergvärmepump	Luft/vatten-värmepump
1 % lägre kalkylränta	22789	21379	21545
1 % högre kalkylränta	23687	23175	22862
5 års minskad ekonomisk livslängd	25740	27282	25874
5 års ökad ekonomisk livslängd	21984	19771	20366
Real energiprisökning 2.5 %	25516	23295	23411
Real elprisökning 5 %/ Real fjv-prisökning 2.5 %	25516	24559	24901
30 % billigare investeringskostnader	21272	18122	18826

30 % dyrare investeringskostnader	25186	26398	25556
25 % minskning av SPF	23229	24456	24779
25 % ökning av SPF	23229	20942	20638
20 % mindre uppvärmningsbehov	20688	20942	20638
20 % mer uppvärmningsbehov	25770	23577	23744

Mindre flerbostadshus	**Fjärrvärme**	**Bergvärmepump**	**Luft/vatten-värmepump**
1 % lägre kalkylränta	201669	225099	239487
1 % högre kalkylränta	204192	236827	245363
5 års minskad ekonomisk livslängd	209080	259558	256751
5 års ökad ekonomisk livslängd	199952	217115	235487
Real energiprisökning 2.5 %	233051	241605	259177
Real elprisökning 5 %/ Real fjv-prisökning 2.5 %	233051	254940	280047
30 % billigare investeringskostnader	196838	201326	226266
30 % dyrare investeringskostnader	208984	260416	258491
25 % minskning av SPF	202911	254097	278727
25 % ökning av SPF	202911	216935	220570
Sänkt uppsäkringskostnad med 1/3	202911	208321	213627
20 % mindre uppvärmningsbehov	166377	216935	220570
20 % mer uppvärmningsbehov	239444	244806	264188

Större flerbostadshus	**Fjärrvärme**	**Bergvärmepump**	**Luft/vatten-värmepump**
1 % lägre kalkylränta	1033392	1122084	1173514
1 % högre kalkylränta	1046004	1184637	1200015
5 års minskad ekonomisk livslängd	1070448	1305878	1251380
5 års ökad ekonomisk livslängd	1024807	1079501	1155474
Real energiprisökning 2.5 %	1194432	1208484	1273594
Real elprisökning 5 %/ Real fjv-prisökning 2.5 %	1194432	1277582	1381732
30 % billigare investeringskostnader	1009234	995286	1113886
30 % dyrare investeringskostnader	1069963	1310452	1259228
25 % minskning av SPF	1039599	1273210	1374890
25 % ökning av SPF	1039599	1080665	1073557

Sänkt uppsäkringskostnad med 1/3	1039599	1062669	1058022
20 % mindre uppvärmningsbehov	851922	1080665	1073557
20 % mer uppvärmningsbehov	1227276	1225074	1299557

Tabell 36. Kostnadsintervall för respektive uppvärmningssystem i de studerade fastigheterna.

Småhus	Fjärrvärme	Bergvärmepump	Luft/vatten-värmepump
Baseline	23229	22260	22191
Övre intervallsgräns	34323	41733	40199
Lägre intervallsgräns	17547	13381	14294
Mindre flerbostadshus			
Baseline	202911	230871	242379
Övre intervallsgräns	291293	378603	399768
Lägre intervallsgräns	157322	139827	151311
Större flerbostadshus			
Baseline	1039599	1152869	1186557
Övre intervallsgräns	1491477	1930788	1977369
Lägre intervallsgräns	806648	701164	750620

Tabell 37. Avståndskostnad för de studerade fastigheterna beroende på områdestyp.

Småhus	Innerstads-bebyggelse	Ytterstadsområden eller annan tätortsbebyggelse	Park- och grönområden	Utbyggnad i samband med nyexploatering
0	23229	23229	23229	23229
10	26112	25391	24876	24156
20	28995	27553	26524	25082
30	31878	29716	28171	26009
40	34761	31878	29819	26936
50	37644	34040	31466	27862
60	40527	36202	33113	28789
70	43410	38365	34761	29716
80	46293	40527	36408	30642
90	49176	42689	38056	31569
100	52059	44851	39703	32496
110	54942	47013	41350	33422

120	57825	49176	42998	34349

Mindre flerbostadshus	Innerstads-bebyggelse	Ytterstadsområden eller annan tätortsbebyggelse	Park- och grönområden	Utbyggnad i samband med nyexploatering
0	202911	202911	202911	202911
50	221444	217325	213722	209088
100	239977	231740	224533	215266
150	258511	246155	235344	221444
200	277044	260570	246155	227622
250	295577	274985	256966	233800
300	314110	289399	267777	239977
350	332644	303814	278588	246155
400	351177	318229	289399	252333
450	369710	332644	300211	258511
500	388244	347059	311022	264688

Större flerbostadshus	Innerstads-bebyggelse	Ytterstadsområden eller annan tätortsbebyggelse	Park- och grönområden	Utbyggnad i samband med nyexploatering
0	1039599	1039599	1039599	1039599
200	1152858	1121969	1099317	1078725
400	1266117	1204339	1159036	1117851
600	1379376	1286710	1218754	1156976
800	1492635	1369080	1278473	1196102
1000	1605894	1451450	1338191	1235228
1200	1719153	1533820	1397909	1274354
1400	1832412	1616190	1457628	1313480
1600	1945671	1698561	1517346	1352606
1800	2058930	1780931	1577065	1391732
2000	2172189	1863301	1636783	1430857