

Utredning av kostnadsoptimal energieffektivisering i befintliga flerbostadshus



**Peter Filipsson
Catrin Heincke
Åsa Wahlström**

CIT Energy Management

Göteborg, februari 2013

Förord

Som ett tillägg till det omarbetade direktivet om byggnaders energiprestanda har en metod kring beräkning av kostnadsoptimala målnivåer på energianvändning tagits fram och presenterats av kommissionen. Föreliggande rapport är en konsekvensutredning av vilka målnivåer som är kostnadseffektiva vid ombyggnad av flerbostadshus. Rapporten är en fortsättning på EFFSYS+-projektet "Konsekvensanalys av NNE-krav för befintliga flerbostadshus".

CIT Energy Management har med Åsa Wahlström som projektledare utfört projektet tillsammans med Peter Filipsson och Catrin Heincke med en arbetsgrupp bestående av:

- Olav Öhmark och Anders Delarose, **Danfoss värmepumpar**
- Kent Karlsson, **Enertech**
- Bosse Wikensten och Jan Thorsson, **Fastighetsägarna**
- Johan Barth, **Geotec**
- Jim Fredin och Urban Kronström, **IVT**
- Holger Svensson och David Kroon, **Nibe**
- Martin Forsén, **SVEP**

Projektet har finansierats av EFFSYS+ (Energimyndighetens FOU-program för resurseffektiva kyl- och värmepumpssystem) och deltagarna i arbetsgruppen.

Åsa Wahlström
Göteborg i februari 2013

Sammanfattning

Som följd till det omskrivna direktivet om byggnaders energiprestanda, 2010/31/EU, föreslog Energimyndigheten 2010 en nationell strategi för att främja ett ökat antal av lågenergibygnader i Sverige. I strategin föreslås målnivåer för främjande av NNE (nära nollenergibyggnader) för större renoveringar. Vid årsskiftet 2013 träder Boverkets skärpta regler för ändring av byggnad i full kraft (BBR19). Reglerna preciserar att det i grunden är samma egenskapskrav som ska tillämpas såväl vid uppförande av en ny byggnad som vid ändring, vilket i praktiken innebär att energianvändningskrav vid nybyggnation även gäller vid omfattande renovering av en byggnad.

I ett tidigare Effsys+ projektet utreddes vilka åtgärdspaket tillsammans med olika uppvärmningssystem som krävdes för att nå de föreslagna NNE-kraven vid en större renovering av flerbostadshus. Vidare beräknades en livscykelkostnad för varje kombination av uppvärmningssystem och åtgärdspaket som klarade kraven. I föreliggande studie har det istället analyserats hur långt det går att energieffektivisera befintliga flerbostadshus med lönsamhet. Vilka kombinationer av uppvärmningssystem och åtgärdspaket är kostnadsoptimala?

Analysen har genomförts enligt den kostnadsmodell som den Europeiska Kommissionen föreslagit i samband med implementering av direktivet. Därmed beräknas en livscykelkostnad med en kalkyltid på 30 år och en kalkylränta på 3 %.

Drygt hälften av Sveriges flerbostadshus byggdes mellan 1950 och 1975 och de flesta av dessa har renoveringsbehov idag eller inom kort. För olika typbyggnader av flerbostadshus har fyra olika uppvärmningssystem undersökts:

- Att behålla den befintliga fjärrvärmen
- Konvertera till bergvärmepump
- Konvertera till luft-/vattenvärmepump
- Komplettera fjärrvärmen med en frånluftsvärmepump. Här har en storlek valts med en installerad eleffekt under 10 W/m^2 vilket innebär att krav för icke eluppvärmd byggnad gäller (dvs samma krav som för fjärrvärme).

Uppvärmningssystemen har kombinerats med sex olika energieffektiviseringsåtgärder: fastighetselåtgärder, tappvarmvattenåtgärder, vindisolering, fönsterbyte, fasadisolering och installation av värmeåtervinning mellan frånluft och tilluft så kallad FTX.

Från konsekvensanalysen kan det konstateras att det är tekniskt möjligt att nå kraven i BBR19 med samtliga uppvärmningsalternativ i kombination med en eller flera av de sex energieffektiviseringsåtgärderna. BBR19 skiljer på byggnader som har annat uppvärmningsätt än el och eluppvärmda byggnader.

Att behålla fjärrvärme och nå kraven kräver omfattande åtgärdspaket med fem till sex av de undersökta åtgärderna. För att nå kraven måste olönsamma åtgärder genomföras (dvs som

ökar livscykelkostnaden) och det kan innebära en slutlig livscykelkostnad som är högre än fallet att inte göra någonting alls.

Det är viktigt att observera att i denna analys ska den erhållna energibesparingen fullt ut bekosta åtgärderna. Ingen hänsyn tas till om en åtgärd, exempelvis tilläggsisolering, sker i samband med fasadrenovering. En beräkning där hänsyn tas till att byggnaden har underhållningsbehov av fasaden visar att det då går att nå kraven i BBR19 med lönsamhet.

Vid installation av bergvärmepump krävs endast någon enstaka åtgärd för att nå kraven i BBR19 och ytterligare någon åtgärd med luftvattenvärmepump. Installation av bergvärmepump är en lönsam installation i sig, dvs livscykelkostanden är lägre än att inte göra något alls medan installation av luftvattenvärmepump måste ske tillsammans med ett antal energieffektiviseringsåtgärder för att bli lönsamt.

Frånluftsvärmepumpen når kraven i BBR 19 för icke-eluppvärmda byggnader med lönsamhet utan någon ytterligare energieffektiviseringsåtgärd (dvs lägre livscykelkostnad än att inte göra något alls).

Ett optimalt åtgärds paket tillsammans med bergvärme ger det lägsta nuvärdet av totalkostnaden, samtidigt som krav i BBR19 uppfylls, i samtliga fall.

Val av uppvärmningssystem är dock inte självklart. Känslighetsanalyser för andra energikostnader, kalkylräntor, installationskostnader m.m. visar att marginalen mellan livscykelkostnader för de olika uppvärmningsalternativen tillsammans med optimala åtgärds paket är relativt liten. Beroende av vad man tror om real energiprisutveckling och vilket renoveringsbehov byggnaden har i övrigt så kan det ena eller andra alternativet vara bättre.

Livscykelkostnaden för bergvärmepumpen består till betydligt större del av investerings-, återinvesterings- och underhållskostnader än frånluftsvärmepumpen som har en större andel energikostnad. Detta gör att installation av bergvärmepumppaketet är mindre känsligt för energiprisökningar än installation av en frånluftsvärmepump.

Lönsamheten för de olika uppvärmningspaketen är också beroende av det fjärrvärmepris som råder på den aktuella orten. Dyrare fjärrvärme ger bättre lönsamhet för värmepumpar medan billigare fjärrvärme gör det svårt att ur ekonomisk synvinkel motivera vare sig värmepumpar eller energieffektiviseringsåtgärder.

Enligt det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda ska minimikrav uppfyllas avseende energiprestanda vid större renovering i den mån de är ekonomiskt genomförbara.

Summary

Pursuant to Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings, the Swedish Energy Agency proposed a national strategy to promote an increase in the number of low-energy buildings in Sweden. The strategy proposes goal levels for the promotion of NZEBs (nearly zero-energy buildings) for major renovations. On 1 January 2013, the National Board of Housing, Building and Planning's new, stricter rules for making changes in buildings (BBR19) go into full effect. These rules state that the same quality requirements that apply to the construction of a new building will apply to changes in buildings. This means, in actuality, that energy consumption requirements for new buildings will also apply to extensive renovations of an existing building.

In a earlier Effsys+ project it was investigated what kind of package of measures would be required for the various heating systems in order to reach the proposed NZEB requirements for major renovation of multi-family buildings. In addition, a life-cycle cost was estimated for every combination of heating system and package of measures that met the requirements. The present study, however, has instead analyzed how far increasing the energy efficiency of existing multi-family buildings can go and still remain profitable. Which combinations of heating systems and packages of measures can optimize costs?

The analysis has been performed in accordance with the cost model proposed by the European Commission in connection with the implementation of the Directive. In doing so, life cycle costs should be estimated based on a calculation period of 30 years, and an discount rate of 3%.

More than half of Swedish multi-family buildings were constructed between 1950 and 1975, and most of these are in need of renovation immediately or within a short time. In the case of different types of building, four different heating systems have been studied:

- Keeping the present district heating
- Convert to ground source heat pump
- Convert to air-to-water heat pump
- Supplement district heating with an exhaust air heat pump. The size chosen here has an installed output of 10 W/m^2 , which means that requirements for non-electrically heating buildings apply (i.e., the same requirements as for district heating).

The heating systems have been combined with six different measures that increase energy efficiency: measures addressing electricity use for shared services, hot tap water measures, attic or loft insulation, window replacement, facade insulation, and installation of heat recovery ventilation systems.

The impact analysis shows that it is technologically possible to fulfil the requirements of BBR19 with all the heating options in combination with one or more of the six measures to increase energy efficiency. BBR19 distinguishes between electrically-heated buildings and buildings heating other than by electricity.

Satisfying the requirements while keeping district heating requires an extensive package of measures with five or six of the six measures examined and must include unprofitable measures (i.e. those that increase the life cycle cost), resulting in a final life cycle cost that is higher than the cost of not doing anything at all.

It is important to note that in this analysis, the energy savings derived should fully cover the cost of the measures. The fact that a measure, such as additional insulation, is done in conjunction with a facade renovation is not taken into account. A calculation that takes into account the need of a building for upkeep of its facade shows that it is possible to meet the requirements of BBR19 in a profitable manner.

The installation of a ground source heat pump requires only one or two measures to satisfy the requirements of BBR19, while one or two more additional measures are required with an air-to-water heat pump. The installation of a ground source heat pump is a profitable investment in itself, which means that the life cycle costs is lower than the cost of not doing anything, while the installation an air-to-water heat pump requires a number of measures to increase energy efficiency to be profitable.

An exhaust air heat pump fulfils the requirements of BBR 19 for buildings not heated with electricity with profitability and without any additional measure to increase energy efficiency (i.e. lower life cycle cost than the cost of not doing anything at all).

An optimum package of measures combined with a ground source heat pump yield the lowest total present value cost, while fulfilling the requirements of BBR19 in all cases.

However, the choice of a heating system is not any obvious one. The margins between the various heating options together with the optimum package of actions are relatively small. Which option is better depending on one's opinions regarding energy price trends over time and the renovation needs of the building in question.

A larger share of the life cycle cost of a ground source heat pump system consists of capital investment, reinvestment, and maintenance costs than does an exhaust air heat pump for which energy costs constitute a larger percentage of the total cost. This makes the installation of a ground source heat pump system less sensitive to energy price increases than an exhaust air heat pump.

Profitability for the various heating packages is also dependent of the district heating price prevailing in the locality in question. More expensive district heating means better profitability for heat pumps, while cheaper district heating makes it more difficult to financially justify heat pumps or measures to increase energy efficiency.

According to the revised Directive on the energy performance of building, minimum requirements regarding energy performance must be fulfilled in the case of major renovations to the extent those are feasible.

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
1.1	Det reviderade direktivet och strategin för främjande av lågenergibyggnader	6
1.2	Boverkets byggregler BBR 19 vid ändring	6
1.3	Kommissionens kostnadsmodell vid renovering	7
1.4	Tidigare konsekvensanalys	8
1.5	Bruksvärdesystemet enligt Hyreslagen	9
1.6	Problemställning	9
1.7	Flerbostadshus i Sverige	9
1.8	Genomförande och syfte	11
2	Metodbeskrivning	12
2.1	Val av byggnader och energieffektiviseringsåtgärder	12
2.2	Typbyggnader	13
2.3	Uppvärmningssystem	13
2.4	Energieffektiviseringsåtgärder	15
2.5	Ekonomi	16
2.6	Redovisning av resultat	19
2.7	Känslighetsanalys	20
3	Resultat	21
3.1	Grundfall	21
3.2	Känslighetsanalys	29
3.2.1	Ändrade energipriser	29
3.2.2	Ändrade värmepumpskostnader	33
3.2.3	Ändrad kalkylränta	34
3.2.4	Hus med renoveringsbehov	35
3.3	Sammanfattning av resultat	36
4	Slutsatser och diskussion	37
4.1	Grundfall	37
4.2	Känslighetsanalys	38
4.3	Diskussion kring lämpliga energinivåer	39
5	Definitioner och förkortningar	40
6	Referenser	41
	Bilaga A	43

1 Inledning

1.1 Det reviderade direktivet och strategin för främjande av lågenergibygnader

Den 19 maj 2010 utkom det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda. I samband med att direktivet kom ut fick Energimyndigheten i uppdrag att ta fram en strategi för att främja ett ökat antal av lågenergibygnader i Sverige. Strategin överlämnades till näringsdepartementet 2010[1]. I strategin föreslogs målnivåer för NNE-byggnader (nära nollenergibygnader) vid nybyggnation och vid större renoveringar av byggnader.

1.2 Boverkets byggregler BBR 19 vid ändring

I Boverkets nya byggregler som trädde i kraft i januari 2012[1] görs gällande att nya byggregler även kommer gälla vid ändring av byggnad. Kraven som ställs är dels på komponentnivå och dels på hela byggnaden vid större renovering.

De nya reglerna preciserar att det i grunden är samma egenskapskrav som ska tillämpas såväl vid uppförande av en ny byggnad som vid ändring. Detta gäller alla egenskapskrav som tillgänglighet, brandföreskrifter, material, produkter m.m. och därmed även för energianvändning. Byggreglerna preciserar att: *Vid mycket omfattande ändringar finns ofta få eller inga kvarvarande befintliga förutsättningar som kan motivera en annorlunda tillämpning av ändringsreglerna än motsvarande föreskrifterna för uppförande av en ny byggnad. Motsvarande gäller vid större tillbyggnader, för den tillbyggda delen. Exempel på när ändringens omfattning kan föranleda en lägre kravnivå är när ändringen berör en så begränsad del av en byggnad att en tillämpning av kraven på den delen inte skulle medföra att byggnaden får nämnvärt förbättrade egenskaper.*

Om ändring sker på begränsade delar finns särskilda krav på komponentnivå för ändring av klimatskärm, ventilationssystem, värme- och kylinstallationer samt effektiv elanvändning om byggnaden inte efter ändring uppfyller angivna nybyggnadskrav. Tabell 1.1. visar dagens kravnivåer för nybyggda bostäder.

Tabell 1.1 Högsta tillåtna energiprestanda i nya bostäder enligt BBR 19 (kWh/m², år)

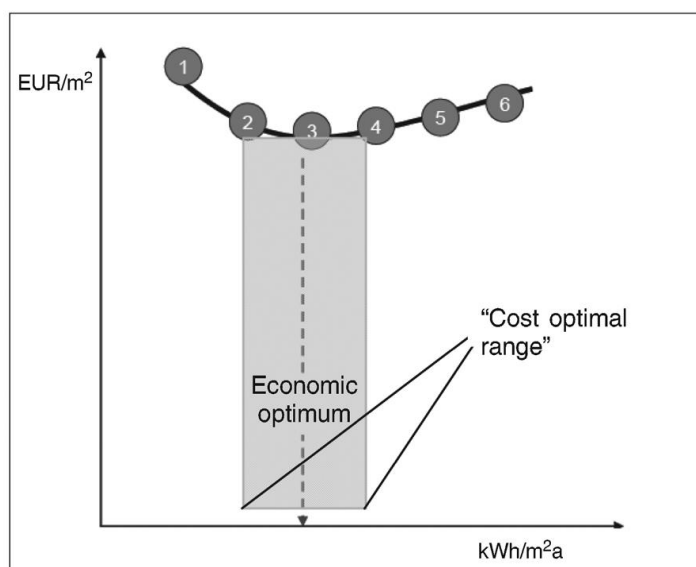
Byggnad	Årlig energianvändning för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi (kWh/m ²)		
	Klimatzon		
	1	2	3
Bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme	130	110	90
Bostäder med elvärme	95	75	55

1.3 Kommissionens kostnadsmodell vid renovering

I det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda[2] finns krav på att medlemsstaterna ska vidta nödvändiga åtgärder för att säkerställa att minimikrav på energiprestanda uppnås vid större renovering i den mån det är tekniskt, funktionellt och ekonomiskt genomförbart. För beräkning av kostnadsoptimala nivåer har kommissionen fastslagit en kostnadsmodell, 2012/C 115/01 [3].

Kostnadsmodellen ska hjälpa medlemsstaterna vid lagstiftning av energiprestandanivåer och är avsedd att användas vid rapportering till kommissionen. Den är därmed inte avsedd att användas för en enskild byggnad. Den antagna metoden ser ut enligt följande. Det totala nuvärdet av kostnaderna för ett paket av energieffektiviseringsåtgärder beräknas genom att summera investeringen (exklusive eventuella bidrag), nuvärdet av driftkostnader, nuvärdet av återinvestering och nuvärdet av restvärdet vid kalkylperiodens slut. Varje medlemsstat bestämmer själv den kalkylränta som skall användas vid makroekonomiska och finansiella beräkningar, efter det att en känslighetsanalys med minst två olika kalkylräntor använts, varav en av dessa föreslås vara 3 eller 4 %.

I figur 1.1 finns det förslag på redovisning av kostnadsoptimala nivåer som kommissionen presenterat. Varje siffra utgör ett paket av åtgärder, där paket 6 illustrerar det första paketet med högst energianvändning. Paket 1 är det som ger lägst energianvändning, men högst livscykelkostnad. Paket 3 är det som representerar den kostnadsoptimala nivån, då livscykelkostnad är lägst. Detta innebär dock inte att paket 2 inte är lönsamt, eftersom livscykelkostnaden här är lägre än utgångspunkten och energianvändningen dessutom är reducerad.



Figur 1.1 Olika varianter av paket samt det kostnadsoptimala spannet.

1.4 Tidigare konsekvensanalys

Energimyndigheten har föreslagit en nationell strategi för implementering av det omskriva direktivet om byggnaders energiprestanda [4] som överlämnades till näringsdepartementet 2010. I strategin föreslås målnivåer för främjande av NNE (nära nollenergibyggnader) för större renoveringar av byggnader enligt tabell 1.2. I ett tidigare Effsys+ projektet [5] analyserades vilka konsekvenser de föreslagna NNE-kraven skulle innebära vid en större renovering av flerbostadshus (dvs målnivåer för ombyggnation enligt tabell 1.2). Fyra olika kombinationer av uppvärmningssystem och paket av sex olika energieffektiviseringsåtgärder analyserades för 36 olika typbyggnader. För varje typbyggnad och varje uppvärmningssystem beräknades nuvärde av livscykelkostnaden för de paket som klarade målnivåerna. Kalkyltiden som användes i utredningen var 30 år med en kalkylränta på 3 % i grundfallet. Därefter genomfördes en känslighetsanalys med energiprisförändringar på både el och fjärrvärme samt ett fall med en kalkylränta på 6 %.

Resultatet visade att det tekniskt går att komma ned i de nivåer som föreslås för lamellhus, punkthus och skivhus, men att inte alla lösningar blir ekonomiskt lönsamma i jämförelse med att inte göra något alls (att fortsätta använda energi i 30 år utan åtgärder). Marginalen mellan livscykelkostnader för de fyra uppvärmningssystemen är liten vilket gör att de olika uppvärmningssystemen är konkurrerande med varandra. Omfattande åtgärdspaket med samtliga sex åtgärder krävs i fallen där fjärrvärme behålls.

För det lilla flerbostadshuset var det svårare att uppnå energikraven. Att behålla fjärrvärme och genomföra samtliga sex åtgärder var inte tillräckligt. Här krävdes någon form av värmepumpande teknik i kombination med ett antal åtgärder.

I det tidigare Effsys+ projektet beräknades livscykelkostnader för de åtgärdspaket som klarade kraven i tabell 1.2 och därmed beräknades inga livscykelkostnader för åtgärdspaket med en högre energianvändning men som kan ha lägre livscykelkostnad.

Tabell 1.2 Föreslagna nivåer för högsta tillåtna energiprestanda i renoverade bostäder, så kallade NNE-krav (kWh/m²år)[4]

Byggnad	Årlig energianvändning för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi (kWh/m ²)		
	Klimatzon		
	1	2	3
Bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme	105	90	75
Bostäder med elvärme	70	55	40

1.5 Bruksvärdesystemet enligt Hyreslagen

För fastighetsägare innebär bruksvärdesystemet enligt Hyreslagen att en investeringskostnad för energieffektiviserande åtgärder inte utan vidare kan tas ut genom hyreshöjningar. Således måste de investeringar fastighetsägare gör i princip ge tillräckligt hög besparing för att bära sig själva. I praktiken innebär detta att fastighetsägare inte kommer att ha ekonomisk möjlighet att alltid nå ned till de energianvändningsnivåer som föreslås i den nationella strategin. Då investeringarna enligt bakomliggande EU-direktiv skall vara lönsamma torde dilemmat inte utgöra något problem så länge fastighetsägaren enligt den nya lagen aldrig kommer åläggas att genomföra investeringar som inte är lönsamma.

1.6 Problemställning

I föregående konsekvensanalys utreddes vilka åtgärdspaket som krävdes för att nå målnivåerna i tabell 1.2. I många fall innebar detta att en kostnadsoptimal nivå inte kunde uppnås. Eftersom kommissionen tagit fram riktlinjer för hur varje nation skall ta fram kostnadsoptimala målnivåer och att BBR 19 säger att energikraven för ändring av en byggnad skall vara desamma som vid uppförande av en ny byggnad, krävs nya analyser på vilka nivåer som är kostnadsoptimala.

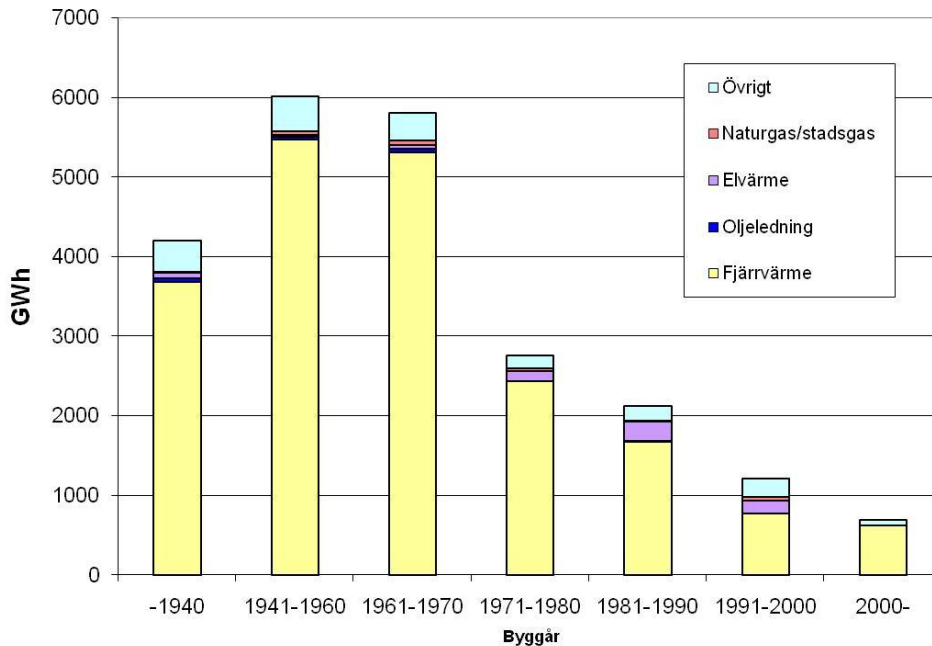
Kommissionens kostnadsmodell vid renovering avses främst till användning på nationell nivå vid framtagande av lagkrav och är inte avsedd att användas för en enskild byggnad. Bland annat kan kalkylräntor och kalkyltider skilja sig åt mellan makroekonomisk nivå och fastighetsmässig nivå. Den framtida utmaningen blir att hitta en nivå som är kostnadsoptimal på en nationell nivå, samtidigt som denna nivå är ekonomiskt rimlig för en fastighetsägare. Det är därför viktigt att fastighetsägare gör kostnadskalkyler där energibesparande åtgärder planeras tillsammans med att underhåll av byggnadstekniska åtgärder behöver genomföras.

1.7 Flerbostadshus i Sverige

Ungefär hälften av Sveriges befolkning bor i flerbostadshus som omfattar ca 2,4 miljoner lägenheter och totalt ca 180 miljoner kvadratmeter. År 2009 använde flerbostadshussektorn ca 26 TWh för uppvärmning och tappvarmvatten. Uppvärmningen domineras av fjärrvärme som står för ca 84 % av den totala uppvärmda arean. Av den totala energianvändningen för uppvärmning och tappvarmvatten är 91 % fjärrvärme, 5 % el, mindre än 2 % olja och resterande naturgas och biobränsle, se figur 1.2.

Drygt hälften av flerbostadshusen byggdes mellan 1950 och 1975 och de flesta av dessa har renoveringsbehov idag eller inom kort. Flerbostadshus kan vara väldigt olika avseende storlek, utformning, material, byggnadsteknik etc. De vanligaste formerna är lamellhus, skivhus och punkthus.

Lamellhusen är den dominerande byggnadstypen från 30-talet och framåt och har ofta 3 till 4 våningar och är uppförda som en friliggande byggnadslänga. Våningarna beträds från flera trapphus, ofta utan hiss.

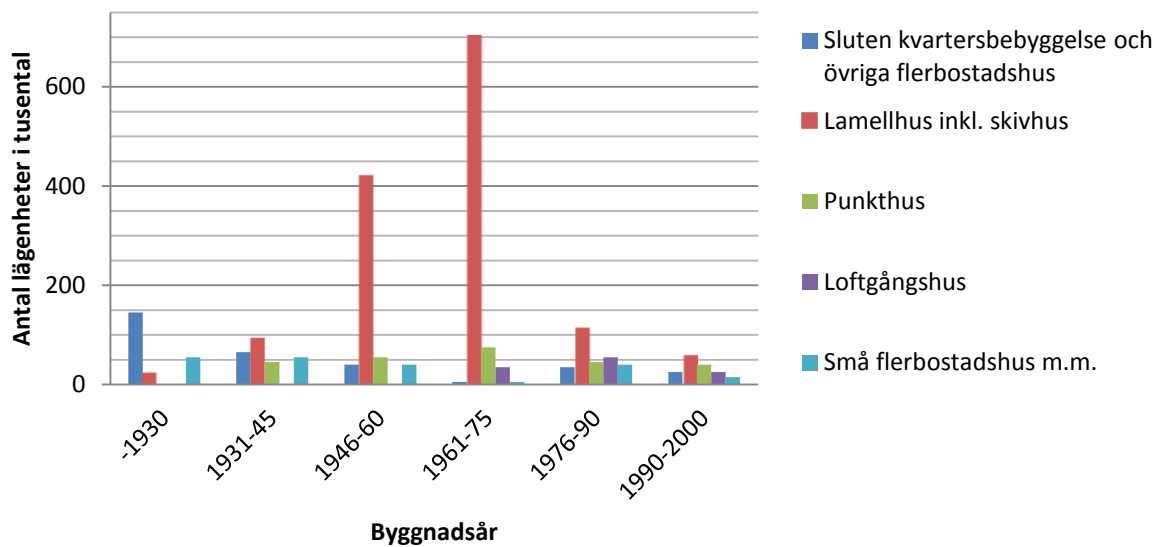


Figur 1.2 Total energianvändning år 2009 för flerbostadshus per byggår och energislag (SCB, 2011).

Under 60-talet och 70-talet blev skivhus mycket vanliga i och med miljonprogrammets industrialiserande byggande. Skivhuset är en typ av flervåningshus med avlång byggnadskropp, vanligen i en höjd av 8 – 9 våningar uppförd på rektangulär grundplan och försedd med hissar.

Punkthus är friliggande hus med ett trapphus beläget i husets kärna. Punkthusen började användas på 1930-talet och uppfördes i fyra till fem våningar men blev vanliga först på 40-talet. Från 1950-talet ökade byggnadshöjden till att ofta omfatta åtta till tio våningar.

I figur 1.3 presenteras Sveriges bestånd av lägenheter i flerbostadshus fördelat på typ och byggnadsår.



Figur 1.3 Antal lägenheter i Sverige år 2000 av olika typ och ålder (observera att perioden 1990 – 2000 omfattar endast 10 år)[6]

1.8 Genomförande och syfte

Projektet syftar till att analysera vilka de kostnadsoptimala energiprestandanivåerna är vid större renovering av flerbostadshus. Projektet är en fortsättning på den utredning som analyserade vilka konsekvenser de föreslagna NNE-kraven[4] skulle innebära vid större renoveringar av flerbostadshus. Föregående projekt såg därmed till vilka åtgärder som krävdes för att nå en viss specifik energianvändning. I detta projekt undersöks istället vilken energinivå som kan nås under satta förutsättningar med optimal lönsamhet (lägst livscykelkostnad).

I föreliggande konsekvensanalys har olika uppvärmningssystem kombinerats med olika paket av energieffektiviseringsåtgärder för ett antal typbyggnader. En LCC-analys för varje kombination har gjorts och för kostnadsoptimala åtgärdspaket har den specifika energinivå som erhållits jämförts dels med BBR 19 [1], men även med de föreslagna nivåerna i Energimyndighetens strategi[4]. Därefter har även en känslighetsanalys gjorts med olika förändringar med energipriser, investeringspriser, kalkylränta etc.

2 Metodbeskrivning

2.1 Val av byggnader och energieffektiviseringsåtgärder

Valet av byggnader att analysera har gjorts med hänsyn till hur Sveriges bestånd av flerbostadshus ser ut idag. Drygt 82 % av Sveriges invånare bor i klimatzon III, 11 % bor i klimatzon II och knappt 7 % bor i klimatzon I. Totalt omfattar utredningen tolv byggnader, dessa presenteras i tabell 2.1.

Tabell 2.1 Undersökta byggnader

	Byggt 1950 -1960	Byggt 1961-1975
Klimatzon I	Lamellhus	Lamellhus
Klimatzon II	Lamellhus	Lamellhus
Klimatzon III	Lamellhus Punkthus Skivhus Litet flerbostadshus	Lamellhus Punkthus Skivhus Litet flerbostadshus

Varje byggnad har kombinerats med följande fyra uppvärmningssystem

- Att behålla den befintliga fjärrvärmen
- Komplettera fjärrvärmen med en frånluftsvärmepump tillräckligt liten för att byggnaden fortfarande ska definieras som icke elvärmad (installerad eleffekt < 10 W/m²)
- Konvertera till bergvärmepump
- Konvertera till luft-/vattenvärmepump

Sex olika energieffektiviseringsåtgärder för att sänka byggnadernas energibehov har studerats. Dessa har kombinerats i åtgärdspaket där det första paketet innehåller den mest lönsamma åtgärden, det andra paketet innehåller de två mest lönsamma åtgärderna o.s.v. Här har åtgärderna rangordnats efter lönsamhet där den "mest lönsamma" definieras som den åtgärd som sänker byggnadens livscykelkostnad mest. Det innebär att åtgärder med lägre investering men högre procentuell avkastning ibland rangordnas lägre än större investeringar med lägre procentuell avkastning. En enskild fastighetsägare med begränsade finansieringsmöjligheter skulle kanske rangordnat åtgärderna annorlunda. Detta påverkar dock inte resultatet för den kostnadsoptimala nivån som inte beror på i vilken ordning de lönsamma åtgärderna genomförs.

Samtliga energiberäkningar har gjorts med energiberäkningsprogrammet BV² [7].

Därefter har energiprestanda och livscykelkostnad för alla kombinationer av byggnad, uppvärmningssystem och åtgärdspaket beräknats. Resultatet visar vilka energiprestandanivåer som är kostnadsoptimala (det vill säga har lägst livscykelkostnad) och vilka som är lönsamma (det vill säga har lägre livscykelkostnad än att inte genomföra några åtgärder alls).

2.2 Typbyggnader

Typbyggnadernas utseende har fastställts med hjälp av ritningar från några vanliga flerbostadshus. Viktiga parametrar redovisas i tabell 2.2.

Tabell 2.2 Parametrar för typbyggnaderna

Byggnadstyp	Lamellhus	Punkthus	Skivhus	Litet flerbostadshus
Antal plan	4	9	11	3
Antal trapphus	2	1	4	1
A_{temp} [m ²]	1800	3420	9526	378
A_{oms}/A_{temp}	1,13	0,88	0,74	1,71
$A_{fönster}/A_{temp}$	0,08	0,11	0,12	0,13
BOA/A_{temp}	0,68	0,74	0,84	0,60

U-värden (värmegenomgångskoefficienter) har antagits vara samma för samtliga byggnadstyper. Däremot har de antagits variera beroende på byggår och byggnadens geografiska läge. Detaljerad information om detta finns i Effsyrapporten Konsekvensanalys av NNE-krav för befintliga byggnader, 2011. Där jämförs även typbyggnadernas beräknade energibehov med statistik från Energimyndigheten och ett examensarbete rörande fastighetsel i flerbostadshus.

Följande antaganden är samma för samtliga byggnader, byggår och geografiska läge:

- Ventilation sker med ett frånluftssystem med flödet 0,35 l/sm².
- Årligt tappvattenvärmebehov är 25 kWh/m² [8].
- Lägsta inomhustemperatur är 22 °C [9] i lägenheter och 18 °C i källare och på vind.
- Vädring ökar det årliga värmebehovet med 4 kWh/m²[8].
- Värme från personer är i genomsnitt 1 W/m² (BOA) i lägenheter och 0,2 W/m² i allmänna utrymmen (A_{temp} -BOA).
- Värme genererad av hushållsel i lägenheterna motsvarar 3,9 W/m² vintertid och 2,1 W/m² sommartid (BOA)[8].
- Ofrivilligt luftläckage är 0,13 oms/h sommartid och 0,27 oms/h vintertid.
- 10° ovanför horisonten avskuggas av kringliggande byggnader och växtlighet.
- El till cirkulationspumpar motsvarar 1,2 kWh/m²år[10].
- Ventilationsfläktarnas specifika elförbrukning är 1,0 kW/(m³/s)[11].
- Belysning utomhus använder årligen 420 kWh/armatur[12] och varje trappuppgång har tre armaturer utomhus.
- Belysning i allmänna utrymmen förbrukar i genomsnitt 1 W/m² (A_{temp} -BOA).
- En hiss förbrukar 5,5 MWh/år[13].
- El för att motverka isbildning utanför byggnadsskalet motsvarar årligen 70 kWh per meter takfot[13].

2.3 Uppvärmningssystem

De fyra olika uppvärmningssystem som undersökts är att behålla fjärrvärmen, komplettera fjärrvärmen med en frånluftsvärmepump, konvertera till bergvärmepump och att konvertera till luft-/vattenvärmepump.

I BBR 19 [1] görs skillnad på energianvändningskrav för elvärmda respektive icke elvärmda byggnader där elvärmd byggnad definieras som "Uppvärmningssätt med elektrisk energi, där den installerade eleffekten för uppvärmning är större än $10 \text{ W/m}^2 (A_{\text{temp}})$ ".

Genom att dimensionera frånluftsvärmepumpens kompressoreffekt till 8 W/m^2 (därmed reserveras 2 W/m^2 för fläktar och pumpar) blir byggnaden "icke elvärmd" och dess energiprestanda jämförs med samma NNE-krav som ett hus uppvärmt av enbart fjärrvärme.

Ett femte uppvärmningsalternativ skulle kunna vara en frånluftsvärmepump som inte begränsas av definitionen för elvärmd byggnad. Om den istället dimensioneras efter hur mycket värme som finns i frånluften så skulle erforderlig kompressoreffekt bli ca $11,5 \text{ W/m}^2$ (en kondenserande frånluftsvärmepump som kyler frånluften till $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ med en värmefaktor på 2,65). Eftersom denna frånluftsvärmepump gör att huset klassas som elvärmt trots att den inte är mycket större än den lilla frånluftsvärmepumpen har den inte tagits med i undersökningen.

Vidare skulle en variant på frånluftsvärmepump kunna vara att använda ett frånluftsaggregat (t.ex placerad på vind) som kopplas till en köldbärarledning som går till en vätska-/vattenvärmepump (t.ex placerad i värmecentral). Ytterligare ett alternativ kan vara att ha en kombinerad värmepump för frånluft och bergvärme och på så sätt reducera antalet borrhål. Denna lösning kan göra det möjligt att ytterligare komma ned i investeringskostnad men har inte undersökts här.

Prestanda för de värmepumpar som ingår i studien redovisas i tabell 2.3.

Tabell 2.3 Antagna värmefaktorer för värmepumparna (Uppgifter från arbetsgruppen)

	Bergvärmepump	Luft-/vattenvärmepump	Frånluftsvärmepump	
	Årsvärmefaktor inkl. elspets	Årsvärmefaktor inkl. elspets	Årsvärmefaktor exkl. fjärrvärmespets	Värmefaktor under årets kallaste dag
Klimatzon I	3,1	2,2	2,9	2,65
Klimatzon II	3,2	2,4	2,9	2,65
Klimatzon III	3,3	2,6	2,9	2,65

Antagna investeringskostnader för uppvärmningssystemen inklusive installation och exklusive moms redovisas i tabell 2.4. Kostnader för bergvärmepump och luft-/vattenvärmepump anges per kilowatt topp effekt, alltså inklusive elspets.

Tabell 2.4 Investeringskostnader för uppvärmningssystem

Uppvärmningssystem	Investeringskostnad (SEK exkl. moms)
Bergvärmepump	8 500 kr/kW inklusive borrhål ¹ 5 000 kr/kW exklusive borrhål ¹
Luft-/vattenvärmepump	7 000 kr/kW ¹
Frånluftsvärmepump	37 500 kr/kW[14]
Fjärrvärmecentral	$6500 \cdot \sqrt{Q}$ kr (Q är värmeeffekten uttryckt i kW[15,16])

¹ Uppgifter från arbetsgruppen

I kostnaderna för värmepumparna ingår ackumulatortank. Byggnadernas effektbehov omfattar såväl beredning av tappvarmvatten som uppvärmning av byggnaden. Resultatet från simuleringsprogrammet BV² gäller då byggnaden inte har en ackumulatortank. För att inkludera fördelen med en ackumulatortank har tappvarmvattnets effektbehov reducerats med en faktor som beror på byggnadens storlek. Faktorn har erhållits genom att studera figur 7.17 i Aronsson (1996)[17] och presenteras i Tabell 2.5

Tabell 2.5 Antagen faktor för reduktion av tappvarmvatten-effektbehov vid dygnsackumulering istället för vid timackumulering

Lamellhus	3,4
Punkthus	3,1
Skivhus	2,5
Flerbostadsvilla	3,7

Investeringskostnaden per kW för frånluftsvärmepumpen är betydligt högre än för de andra uppvärmningssystemen. Detta beror på att dess effekt är mycket lägre och kostnaden för frånluftsvärmepumpen blir i många fall cirka hälften så hög som för bergvärmepumpen och luft-/vattenvärmepumpen.

2.4 Energieffektiviseringsåtgärder

För att analysera hur husens energiprestanda kan förbättras har följande sex energieffektiviseringsåtgärder studerats.

Fastighetselåtgärder

- Med effektivare styrning minskar elbehovet för att motverka isbildning med 70 %.[13]
- Elbehovet till belysning utomhus och i allmänna utrymmen minskar med 40 %.
- Årliga underhållskostnader antas minska med 24 kr/armatur p.g.a. att ny energieffektiv belysning har längre livslängd än den gamla. Detta inkluderar kostnad för ljuskälla och arbete.
- Kostnaden för åtgärden antas vara 14 000 kr[13] + 200 kr/m² (A_{temp}-BOA) (2000 kr/armatur och 0,1 armatur/m²).

Tappvarmvattenåtgärder

- Snålspolande armatur antas sänka behovet av tappvattenvärme från 25 till 18 kWh/m²år [12].
- Vattenbehovet antas sjunka med 0,34 m³/m²år A_{temp}.
- Kostnaden för åtgärden antas vara 37,5 kr/m² A_{temp}.

Vindisolering

- Tilläggsisolering antas innebära att U-värdet i taket ändras enligt tabell 2.6.
- Kostnaden för åtgärden antas vara 336 kr/m² (takyta)[18].

Tabell 2.6 U-värde i tak före/efter tilläggsisolering [W/m^2K]

	Byggt 1950 -1960	Byggt 1961-1975
Klimatzon I	0,27 / 0,16	0,16 / 0,11
Klimatzon II	0,27 / 0,16	0,16 / 0,11
Klimatzon III	0,34 / 0,18	0,20 / 0,13

Fönsterbyte

- Nya fönster antas ha ett U-värde på $1,2 W/m^2K$.
- Solinstrålningen antas minska 10 %.
- byggnadens luftläckage antas minska med 30 %.
- kostnaden för åtgärden antas vara $5\ 145 kr/m^2$ (fönsteryta)[18].

Fasadisolering

- Tilläggsisolering antas innebära att U-värdet i fasaden ändras enligt tabell 2.7.
- Kostnaden för åtgärden antas vara $1\ 401 kr/m^2$ (nettofasadyta)[18].

Tabell 2.7 U-värde i fasad före/efter tilläggsisolering [W/m^2K]

	Byggt 1950 -1960	Byggt 1961-1975
Klimatzon I	0,46 / 0,18	0,42 / 0,18
Klimatzon II	0,53 / 0,19	0,49 / 0,19
Klimatzon III	0,61 / 0,20	0,56 / 0,20

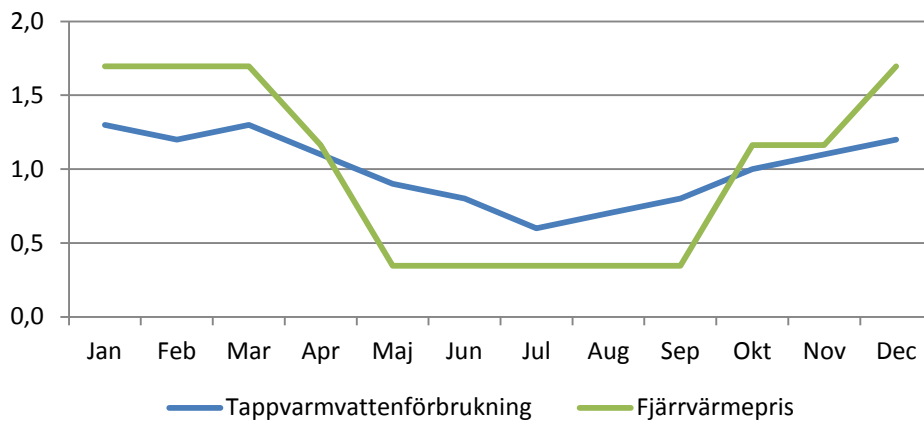
FTX

- Ett värmeåtervinningsaggregat återvinner värme i frånluften. Temperaturverkningsgraden antas vara 83 % då utomhustemperaturen överstiger - $2^{\circ}C$, är det kallare antas den vara 75 %.
- Fläktarbetet antas öka till $1,5 kW/(m^3/s)$. [19]
- Kostnaden för åtgärden antas vara $640 kr/m^2$ (BOA)[20].

2.5 Ekonomi

Observera att alla kostnader och priser som presenteras i rapporten är exklusive moms samt att kalkylräntor avser reala termer.

Många fjärrvärmeföretag har lägre energipris på sommaren än på vintern. På årsbasis innebär detta att kostnaden per kWh för tappvattenvärme är lägre än kostnaden per kWh för uppvärmning. I figur 2.1 visas relativ tappvarmvattenförbrukning enligt mätningar gjorda i flerbostadshus och relativt fjärrvärmepris hos ett av Sveriges största fjärrvärmeföretag. Detta har använts för att beräkna fjärrvärmepriset för tappvarmvatten.



Figur 2.1 Årliga variationer i fjärrvärmepris och tappvarmvattenförbrukning

I studien används följande priser för energi och vatten:

El	1,20 kr/kWh[21]
Fjärrvärme för uppvärmning	0,69 kr/kWh[21]
Årsmedelpris på fjärrvärme för tappvarmvatten	0,53 kr/kWh
Vatten	10 kr/m ³

Den modell som använts i beräkningarna är en LCC-analys enligt följande:

$$LCC = \text{Investering} + LCC_{\text{Energi+vatten}} + LCC_{\text{Underhåll}} + LCC_{\text{Återinvestering}} - LCC_{\text{Restvärde}}$$

där

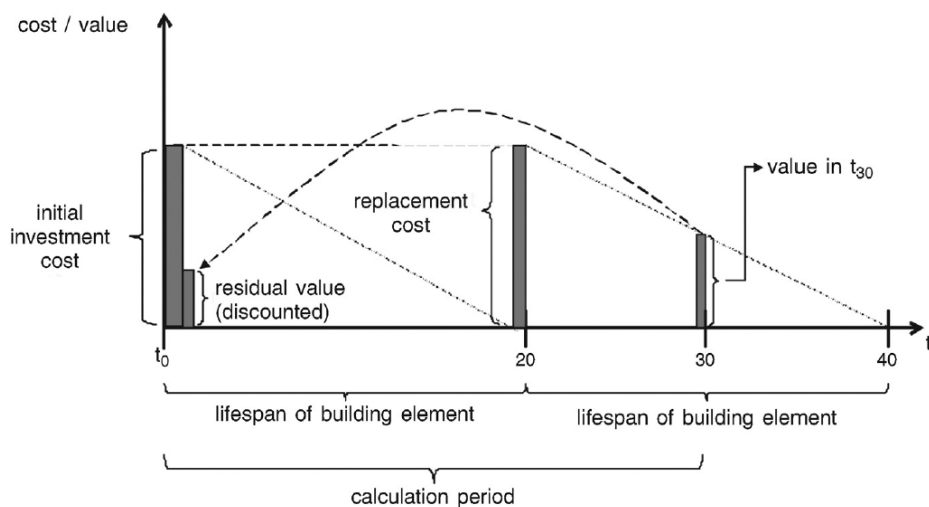
$$LCC_{\text{Energi+vatten}} = P_0 \cdot (\text{årlig energianvändning} \cdot \text{energi pris} + \text{årlig vattenanvändning} \cdot \text{vattenpris})$$

$$LCC_{\text{Underhåll}} = P_0 \cdot \text{investering} \cdot 1\%$$

$$LCC_{\text{Återinvestering}} = P_0 (\text{återinvestering}) \cdot \text{investering}$$

$$LCC_{\text{Restvärde}} = P_0 (\text{restvärde}) \cdot \text{investering} \cdot f$$

f är en faktor som tar hänsyn till hur mycket av investeringen som finns kvar. Om kalkyltiden är 30 år och livslängden på en värmepump sätts till 20 år innebär detta att värmepumpen måste återinvesteras efter 20 år. Vid kalkyltidens slut är den resterande livslängden 10 år på värmepumpen. Detta skulle innebära att restvärdet för värmepumpen sätts till hälften av investeringen eftersom halva värdet finns kvar vid kalkyltidens slut. Detta sätt att räkna illustreras i figur 2.2.



Figur 2.2 Illustration av hur återinvesteringar och restvärden hanteras[3]

Kalkyltiden 30 år och kalkylräntan 3 % har använts i enighet med den Europeiska Kommissionens kostnadsmodell [3]. I modellen föreslås en känslighetsanalys med minst två olika kalkylräntor varav en av dessa föreslås vara 3 eller 4 %. Nusummefaktorn P_0 redovisas nedan i tabell 2.8.

Tabell 2.8 Nusummefaktor vid kalkyltiden 30 år och kalkylräntan 3 %.

Årligen återkommande belopp	19,60
Återinvestering [10 år]	0,744
Återinvestering [15 år]	0,642
Återinvestering [20 år]	0,554
Restvärde [30 år]	0,412

Antaganden för livscykelkostnadsberäkningar

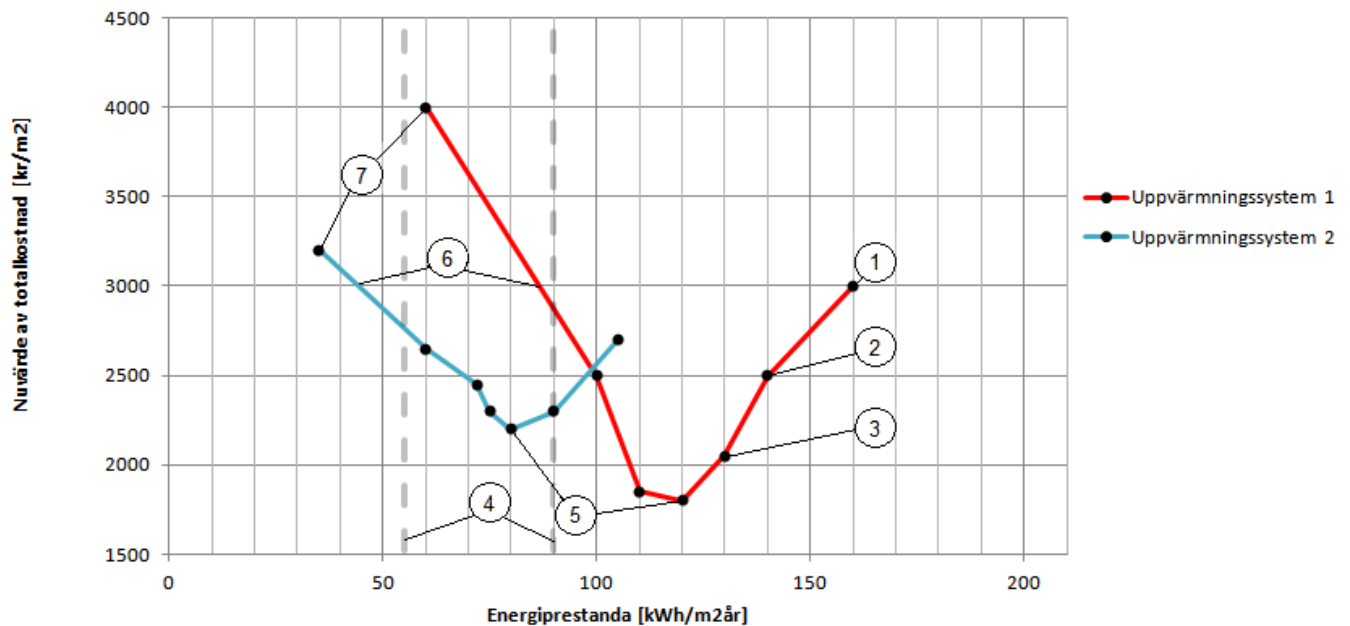
Följande antaganden har gjorts för beräkningarna:

- Den fjärrvärmecentral som sitter i den befintliga fastigheten från början antas vara 20 år gammal. Detta gäller för alla hustyper och årtal. För paketet med enbart fjärrvärme och med frånluftsvärmepump i kombination med fjärrvärme återinvesteras fjärrvärmecentralen efter 10 år.
- För alla värmepumpar finns en återinvestering efter 20 år (livslängden på värmepumparna antas vara 20 år). För bergvärmepump återinvesteras kostnaden för bergvärmepump utan borrhål.
- Alla värmepumpar och fjärrvärmecentraler antas ha en underhållskostnad på 1 % av sitt investeringsbelopp (bergvärmepump exklusive borrhål).
- Alla beräkningar är gjorda med hänsyn till vilken effekt som krävs i vart och ett av åtgärdspaketet och de olika byggnadstyperna och årtalen.
- Restvärdet på fjärrvärmecentralen efter kalkyltidens slut antas vara en tredjedel av investeringskostnaden, eftersom livslängden är 30 år.
- Restvärdet på värmepumparna efter kalkyltidens slut antas vara hälften av investeringskostnaden, eftersom livslängden antas till 20 år.

- För fjärrvärme och värmepumpar har underhållskostnader, återinvesteringar och restvärden beaktats, vilket inte har gjorts för övriga åtgärder.
- Ingen energiprisökning utöver inflationen har antagits i grundfallen för beräkningarna.

2.6 Redovisning av resultat

Resultaten av beräkningarna redovisas i diagram som visar byggnadens energiprestanda på x-axeln och livscykelkostnaden på y-axeln, se figur 2.3. Detta i enlighet med kommissionens riktlinjer för beräkning av kostnadsoptimala energiprestandanivåer[3]. Den redovisade livscykelkostnaden inkluderar nuvärdet av alla de kostnader som direkt beror på vilket uppvärmningssystem och åtgärdspaket som väljs. Kostnader för underhåll som är desamma oavsett uppvärmningssystem eller energieffektiviseringsåtgärd ingår alltså inte.



Figur 2.3

1. Byggnadens ursprungliga energiprestanda och livscykelkostnad
2. Energiprestanda och livscykelkostnad om den mest lönsamma åtgärden genomförs (den åtgärd som sänker LCC kostnaden mest)
3. Energiprestanda och livscykelkostnad om de två mest lönsamma åtgärderna genomförs, o.s.v.
4. Energiprestandakrav enligt BBR19 (för elvärm resp. icke elvärm byggnad)
5. Kostnadsoptimala nivåer
6. Lägsta lönsamma energiprestandanivåer
7. Tekniskt möjliga energiprestandanivåer (med de undersökta åtgärderna)

2.7 Känslighetsanalys

Utöver grundfallet som beskrivits ovan har en känslighetsanalys genomförts. Detta eftersom flera indata är osäkra och svåra att förutse, varav vissa dessutom har stor påverkan på resultatet. Känslighetsanalysen har genomförts för lamellhus och litet flerbostadshus placerade i klimatzon III byggda 1950-1960 och omfattar de tre parametrarna energipriser, värmepumpskostnader, kalkylränta samt en marginalkostnadsanalys. Anledningen till att lamellhuset valdes för känslighetsanalys beror på att denna byggnadstyp är vanligast i flerbostadshus från dessa tidsperioder. Det lilla flerbostadshuset valdes på grund av att detta skiljer sig mycket från övriga byggnadstyper och kan ge ett stort utslag på resultaten.

3 Resultat

3.1 Grundfall

I figur 3.1-3.12 visas resultat för olika byggnadskategorier i olika klimatzoner och olika byggår. En beskrivning av resultatdiagrammets struktur finns i figur 2.3. Punkten längst till höger för fjärrvärme visar nuvärdet av den kostnad som byggnaden kommer att ha under 30 år om ingen åtgärd genomförs. Punkten längst till höger för respektive värmepump visar nuvärdet av den kostnad som byggnaden kommer att ha under 30 år vid installation av respektive värmepump. Om denna punkt har ett lägre nuvärde av totalkostnad än punkten till höger för fjärrvärme, innebär det att installationen av värmepumpen är lönsam i förhållande till att inte göra något alls. Om denna punkt har ett högre nuvärde av totalkostnad än punkten till höger för fjärrvärme så är installation av värmepump inte lönsamt i jämförelse med att inte göra något alls. Tillsammans med ett antal energieffektiviseringsåtgärder kan en värmepumpsinstallation i många fall ge ett lägre nuvärde än för fallet att inte göra något alls och därmed bli lönsam.

Kostnadsoptimala nivåer för varje uppvärmningssystem är den punkt där nuvärde av totalkostnaden är den lägsta, vilket motsvarar ett visst antal åtgärder. Vid jämförelse av de olika uppvärmningssystemen är det varje systems optima som skall jämföras med varandra.

Streckade linjer i diagrammen visar dagens nybyggnadskrav (BBR19) för eluppvärmd respektive icke eluppvärmd byggnad.

Punkten längst till höger på respektive uppvärmningssystem visar nuvärde av kostnader för värmesystemet i sig självt. Nästa punkt till vänster visar nuvärde av kostnader för värmesystemet plus en energieffektiviseringsåtgärd. Punkten därefter till vänster visar nuvärde av kostnader för värmesystemet plus två energieffektiviseringsåtgärder osv. Eftersom resultatdiagrammen inte uttryckligen anger vilket streck som motsvarar vilken åtgärd presenteras detta istället i tabell 3.1.

Tabell 3.1 Åtgärdernas lönsamhetsordning

		Lönsamhetsordning							
Lamellhus	Klimatzon III	1950-1960	FJV	6	2	1	3	4	5
		BVP	2	1	6	3	4	5	
		LVVP	2	6	1	3	4	5	
		FVP	2	1	3	4	5		
		1961-1975	FJV	2	6	1	3	4	5
		BVP	2	1	6	3	4	5	
	LVVP	2	6	1	3	4	5		
	FVP	2	1	3	4	5			
	Klimatzon II	1950-1960	FJV	6	2	1	3	4	5
		BVP	2	6	1	3	4	5	
		LVVP	6	2	1	3	4	5	
		FVP	2	1	3	4	5		
1961-1975		FJV	6	2	1	3	4	5	
BVP		2	6	1	3	4	5		
LVVP	6	2	1	3	4	5			
FVP	2	1	3	4	5				
Klimatzon I	1950-1960	FJV	6	2	1	3	4	5	
	BVP	2	6	1	3	4	5		
	LVVP	6	2	1	3	4	5		
	FVP	2	1	3	4	5			
	1961-1975	FJV	6	2	1	3	4	5	
	BVP	2	6	1	3	4	5		
LVVP	6	2	1	3	4	5			
FVP	2	1	3	4	5				
Punkthus	Klimatzon III	1950-1960	FJV	2	6	3	1	4	5
		BVP	2	1	3	6	4	5	
		LVVP	2	6	1	3	4	5	
		FVP	2	1	3	4	5		
		1961-1975	FJV	2	6	1	3	4	5
		BVP	2	1	3	6	4	5	
LVVP	2	6	1	3	4	5			
FVP	2	1	3	4	5				
Skivhus	Klimatzon III	1950-1960	FJV	2	6	3	1	5	4
		BVP	2	1	3	6	5	4	
		LVVP	2	3	1	6	5	4	
		FVP	2	1	3	5	4		
		1961-1975	FJV	2	6	1	3	4	5
		BVP	2	1	3	6	5	4	
LVVP	2	1	3	6	5	4			
FVP	2	1	3	5	4				
Litet flerbostadshus	Klimatzon III	1950-1960	FJV	6	2	1	3	4	5
		BVP	3	2	1	6	4	5	
		LVVP	2	3	1	6	5	4	
		FVP	2	3	1	4	5		
		1961-1975	FJV	6	2	1	3	4	5
		BVP	2	1	6	3	4	5	
LVVP	2	1	3	6	5	4			
FVP	2	1	3	4	5				

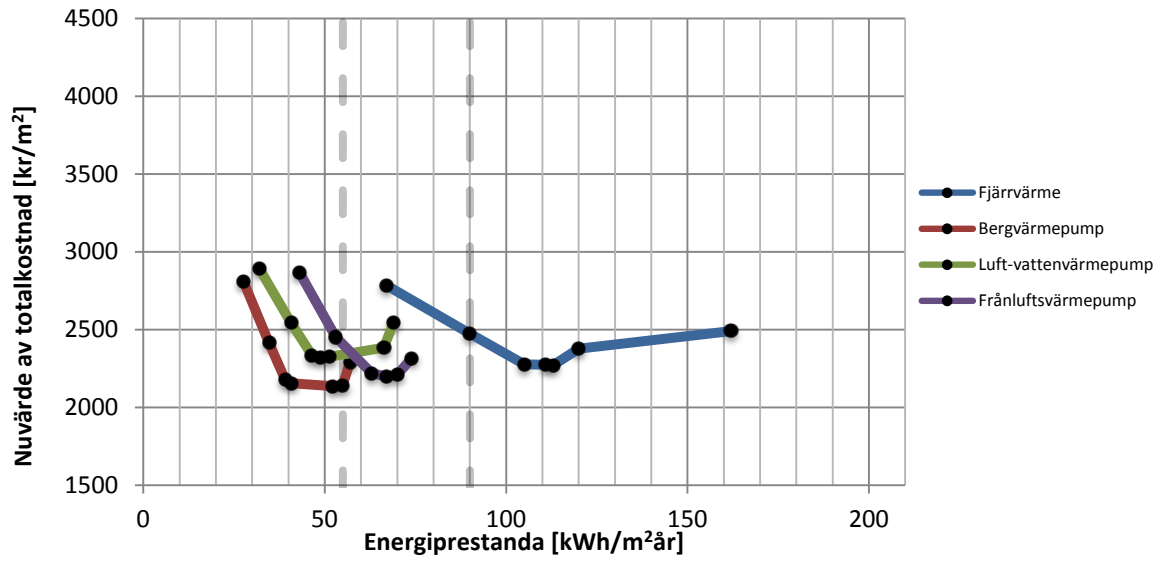
Numrering

1. Fastighetselåtgärder
2. Tappvarmvattenåtgärder
3. Vindisolering
4. Fönsterbyte
5. Fasadisolering
6. FTX

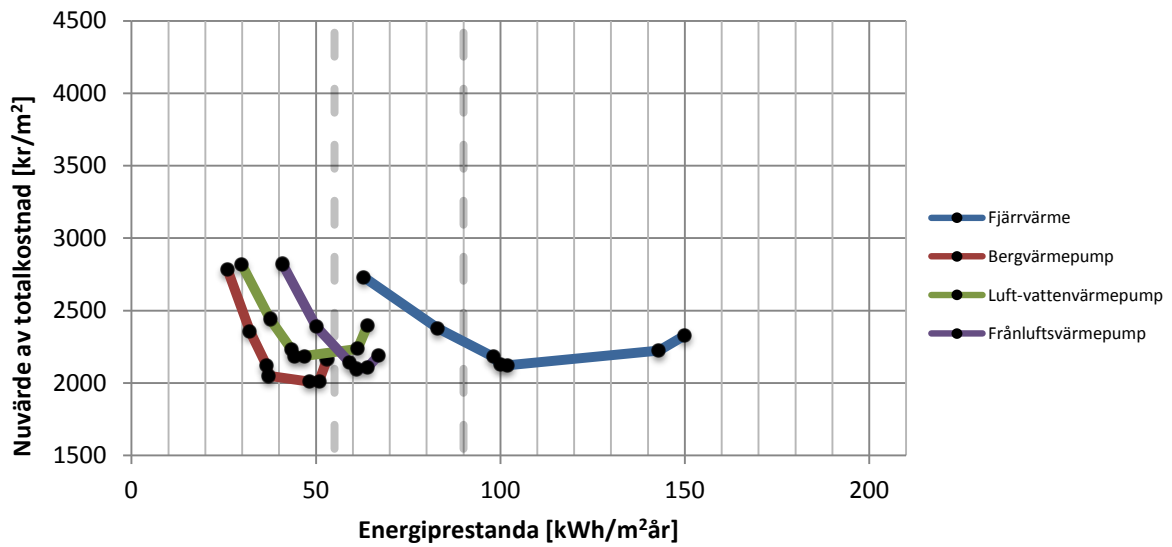
I Bilaga A återfinns en uppdelning av resultaten från figur 3.1, där det tydligt ses vilket som är investering och vilket som är driftkostnad.

I figur 2.3 förklaras hur resultatdiagrammen skall tolkas. Ytterligare vägledning ges här i form av en punktlista med information som kan utläsas ur figur 3.1 (ett lamellhus i klimatzon III byggt på 50-talet).

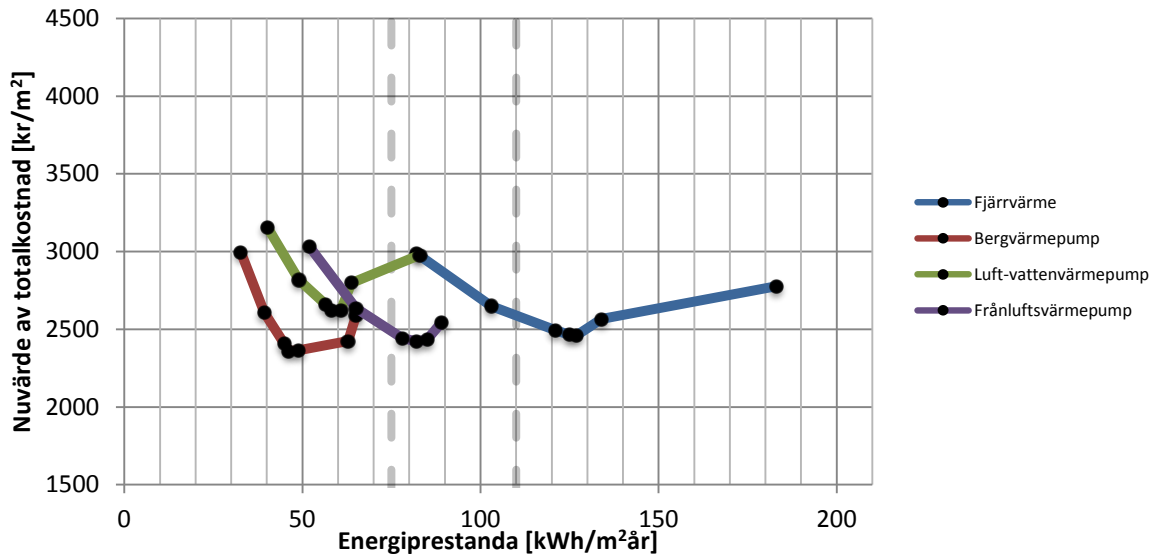
- Energiprestandakrav för elvärmda byggnader enligt BBR19 är 55 kWh/m²år (framgår av den vänstra streckade linjen).
- Energiprestandakrav för ej elvärmda byggnader enligt BBR19 är 90 kWh/m²år (framgår av den högra streckade linjen).
- Byggnadens ursprungliga energiprestanda är 162 kWh/m²år. Nuvärdet av energirelaterad livscykelkostnad är ca 2500 kr/m² om man inte genomför några åtgärder (framgår av punkten längst till höger på den blå linjen).
- Om man behåller fjärrvärmens och installerar FTX-ventilation så sjunker energibehovet till 120 kWh/m²år och nuvärdet av energirelaterad livscykelkostnad till knappt 2400 kr/m² (åtgärden framgår av tabell 3.1 och värdena framgår av punkten näst längst till höger på den blå linjen). Ytterligare åtgärder och medförd energiprestanda och livscykelkostnad utläses på samma sätt ur tabell 3.1 och längs den blå linjen i diagrammet.
- Om man väljer att installera en bergvärmepump sjunker energibehovet till 57 kWh/m²år och nuvärdet av energirelaterad livscykelkostnad till knappt 2 300 kr/m² (framgår av punkten längst till höger på den röda linjen).
- Om man förutom bergvärmepump även investerar i tappvarmvattenåtgärder sjunker energibehovet till 55 kWh/m²år och nuvärdet av energirelaterad livscykelkostnad till drygt 2 100 kr/m² (åtgärden framgår av tabell 3.1 och värdena framgår av punkten näst längst till höger på den röda linjen). Ytterligare åtgärder och medförd energiprestanda och livscykelkostnad utläses på samma sätt ur tabell 3.1 och längs den röda linjen i diagrammet.



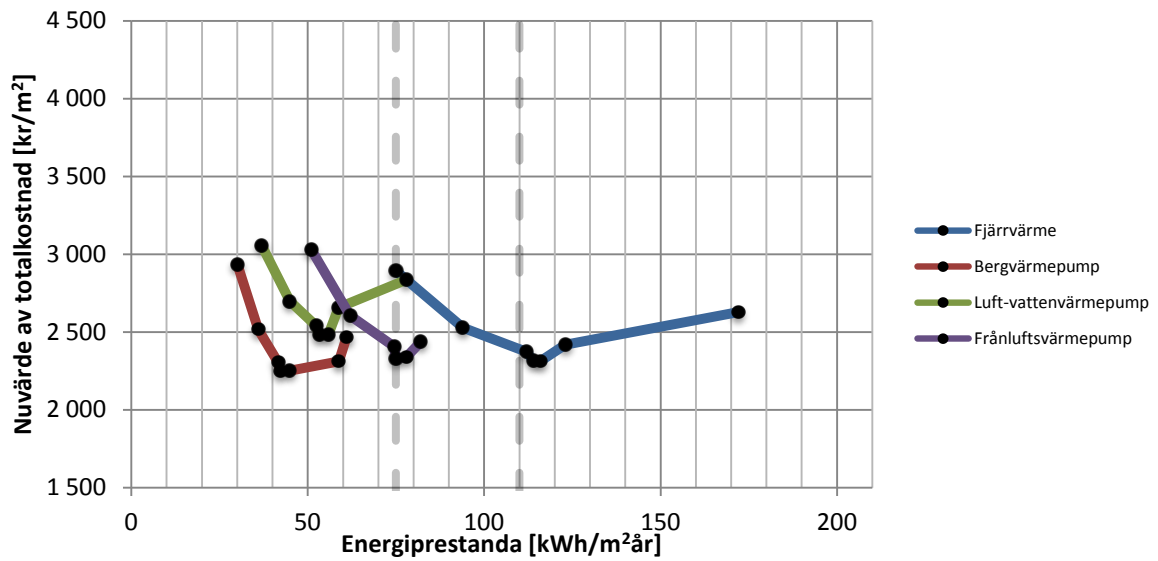
Figur 3.1 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960.



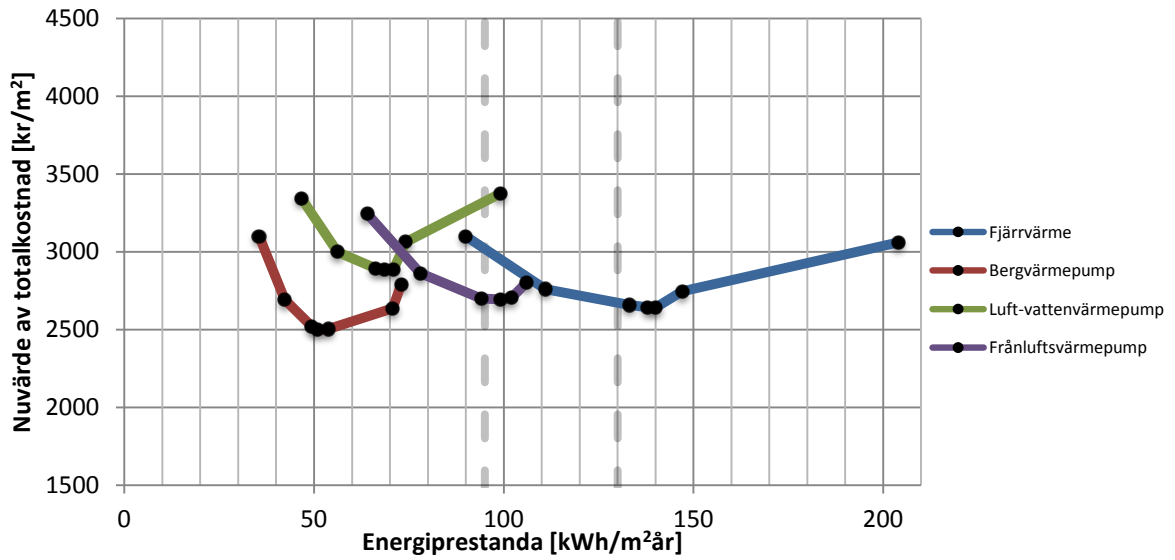
Figur 3.2 Lamellhus i klimatzon III byggt 1961 – 1975



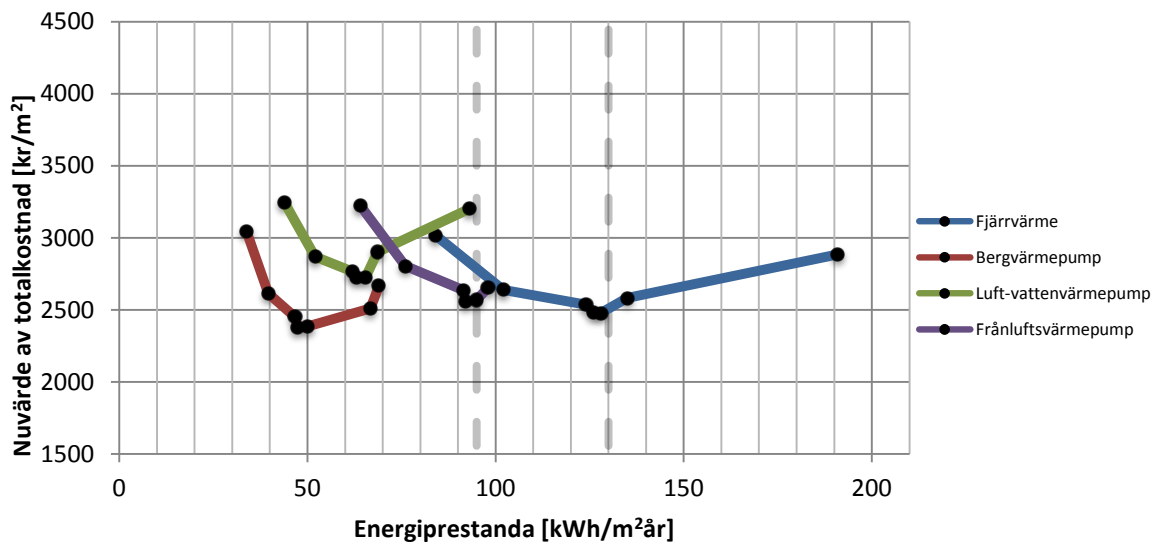
Figur 3.3 Lamellhus i klimatzon II byggt 1950 – 1960



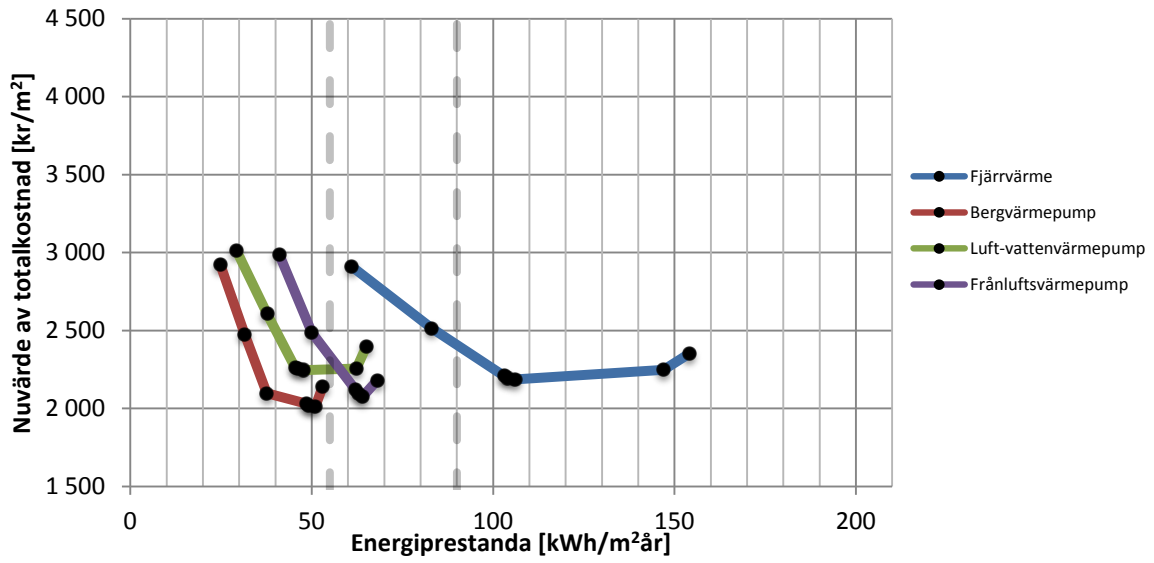
Figur 3.4 Lamellhus i klimatzon II byggt 1961 – 1975



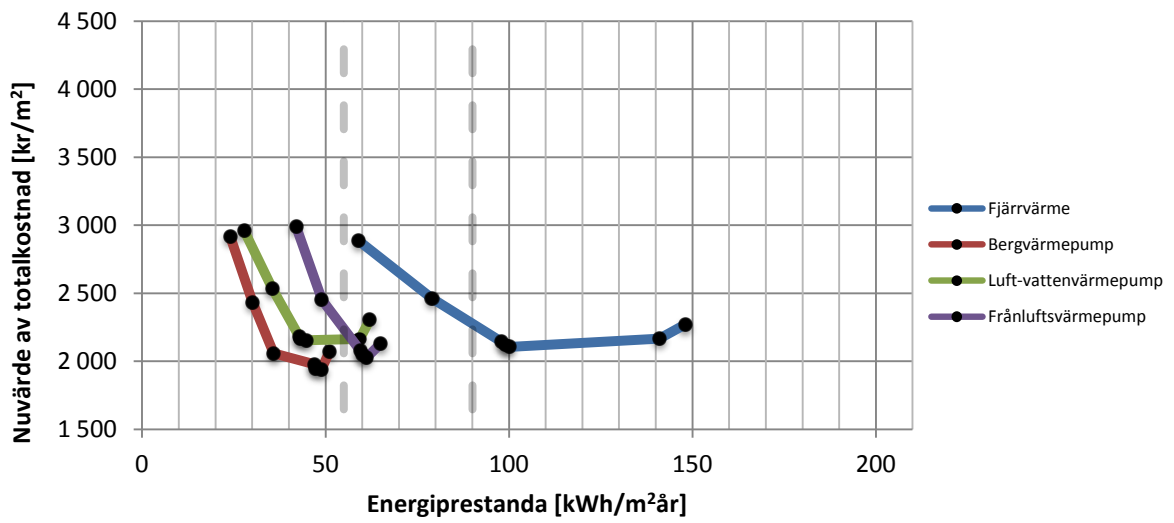
Figur 3.5 Lamellhus i klimatzon I byggt 1950 – 1960



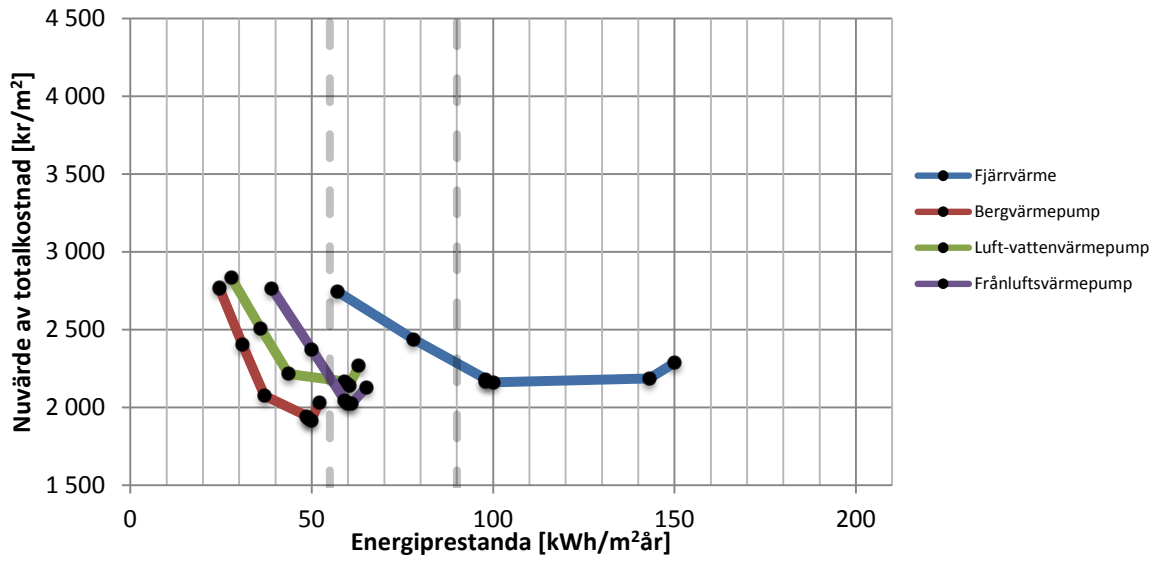
Figur 3.6 Lamellhus i klimatzon I byggt 1961 – 1975



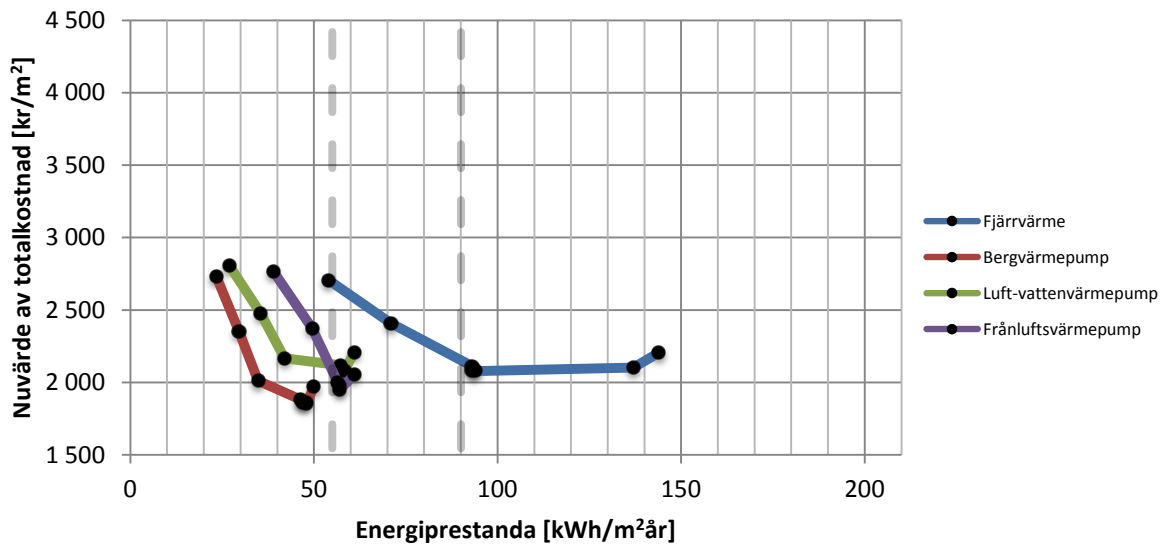
Figur 3.7 Punkthus i klimatzon III byggt 1950 – 1960



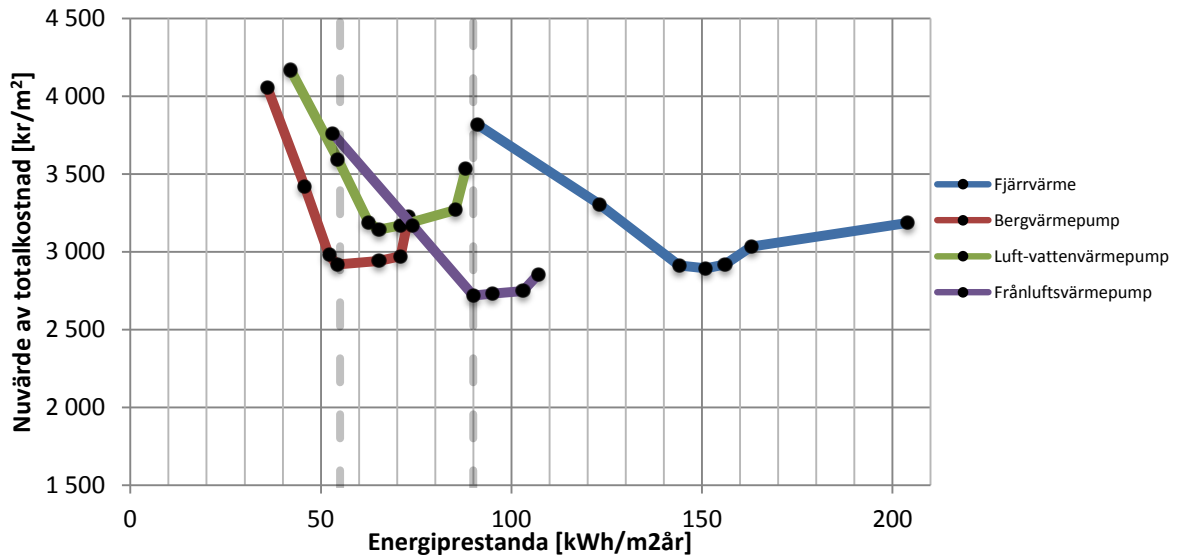
Figur 3.8 Punkthus i klimatzon III byggt 1961 – 1975



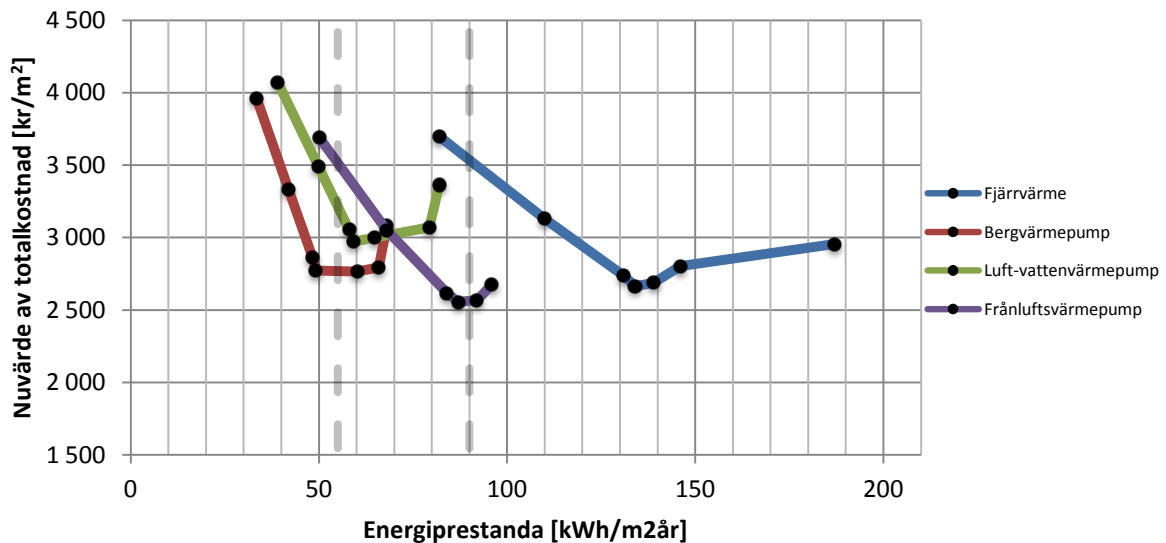
Figur 3.9 Skivhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960



Figur 3.10 Skivhus i klimatzon III byggt 1961 – 1975



Figur 3.11 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960



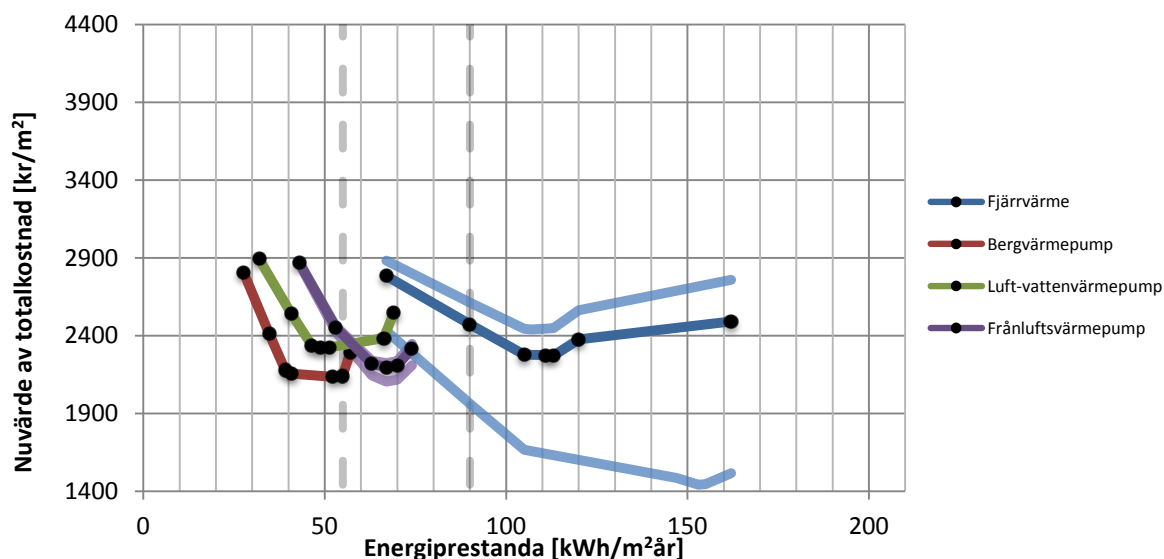
Figur 3.12 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1961 – 1975

3.2 Känslighetsanalys

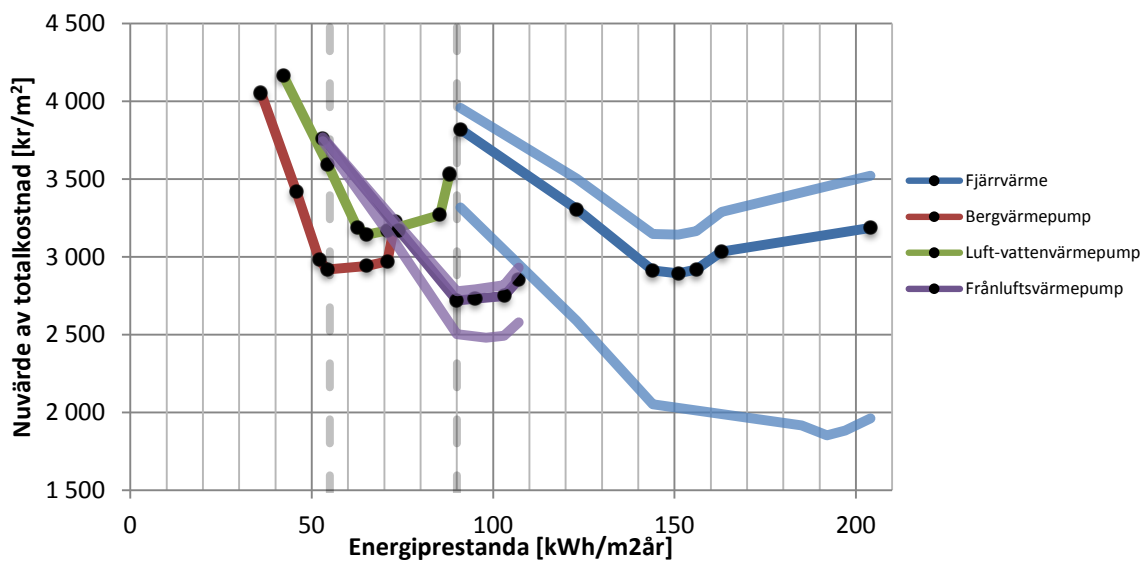
3.2.1 Ändrade energipriser

Elprisets och fjärrvärmeprisets påverkan på resultatet har undersökts dels var för sig och dels när bägge förändras. Priset för den dyraste fjärrvärmen till större flerbostadshus i Sverige är 78 öre/kWh exkl. moms (Aneby Miljö & Vatten AB [22]). Priset för den billigaste fjärrvärmen är 35 öre/kWh exkl. moms (Luleå Energi AB [22]). Dessa priser har använts för att visa hur fjärrvärmepriset påverkar resultatet. I grundfallet (de mörkare linjerna) är

fjärrvärmepriset 69 öre/kWh exkl. moms.

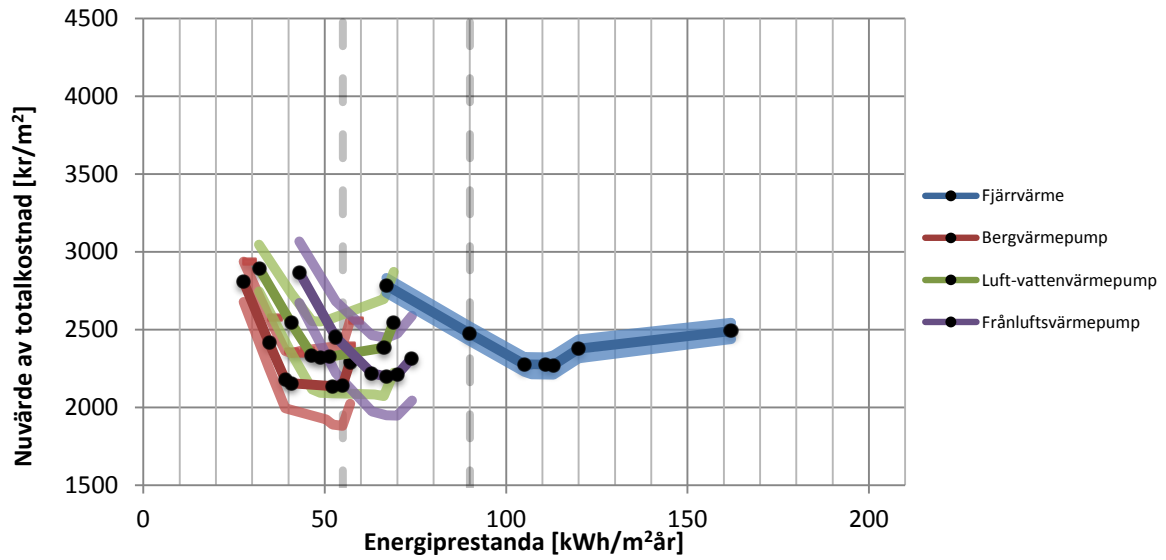


Figur 3.13 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar ett fjärrvärmepris på 78 respektive 35 öre/kWh exkl. moms.

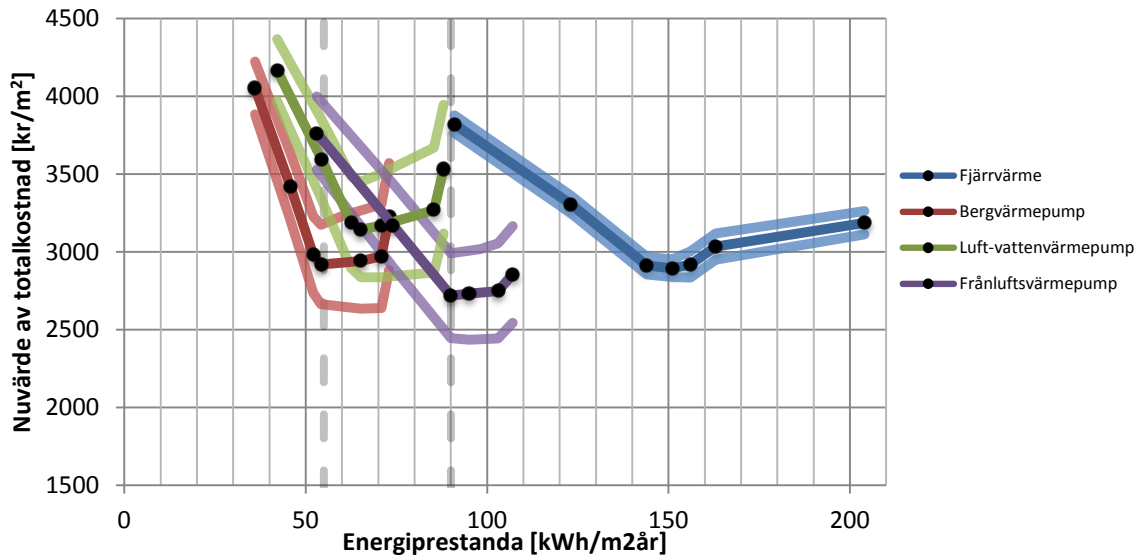


Figur 3.14 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar ett fjärrvärmepris på 78 respektive 35 öre/kWh exkl. moms.

För att se hur elprispförändringar påverkar resultatet har elpriset ändrats med 1,5 % per år utöver inflation medan fjärrvärmepriset inte har ökat.

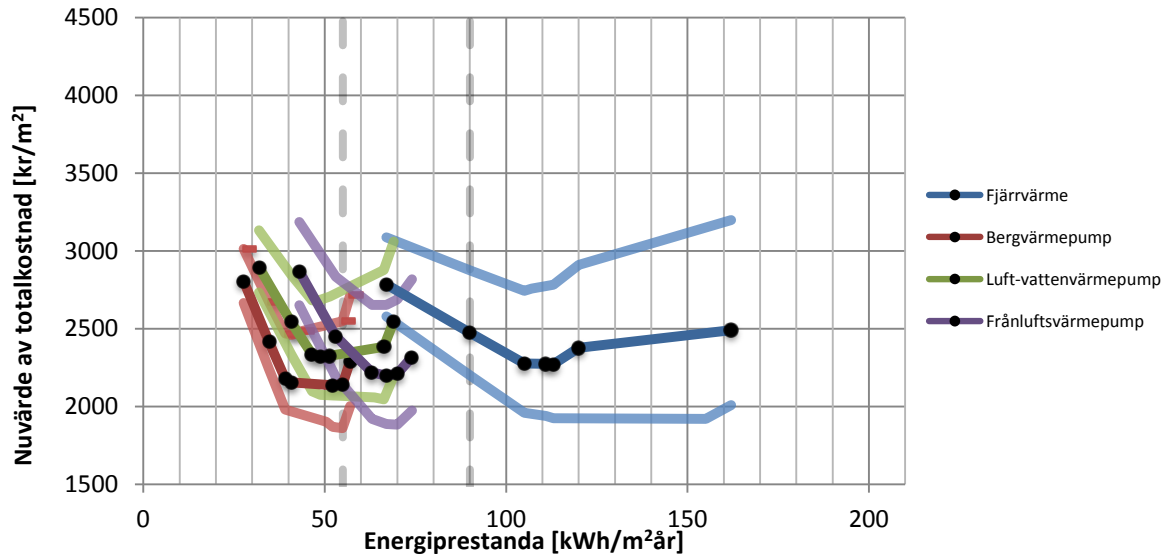


Figur 3.15 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar att elpriset stiger respektive sjunker med 1,5 % per år.

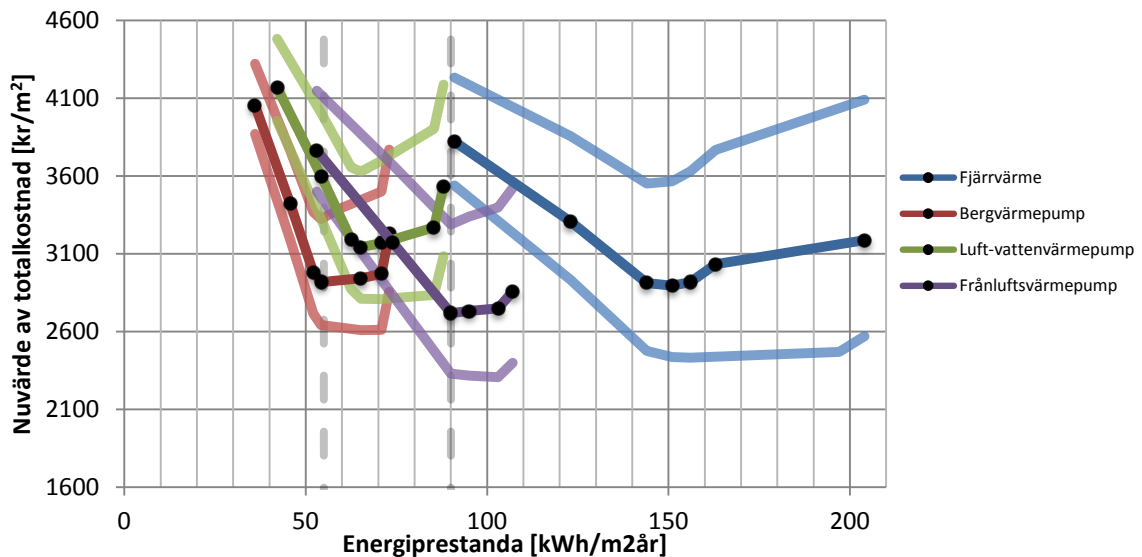


Figur 3.16 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar att elpriset stiger respektive sjunker med 1,5 % per år.

För att visa hur resultatet blir om både elpris och fjärrvärmepris förändras har dessa ändrats med 2 % per år.



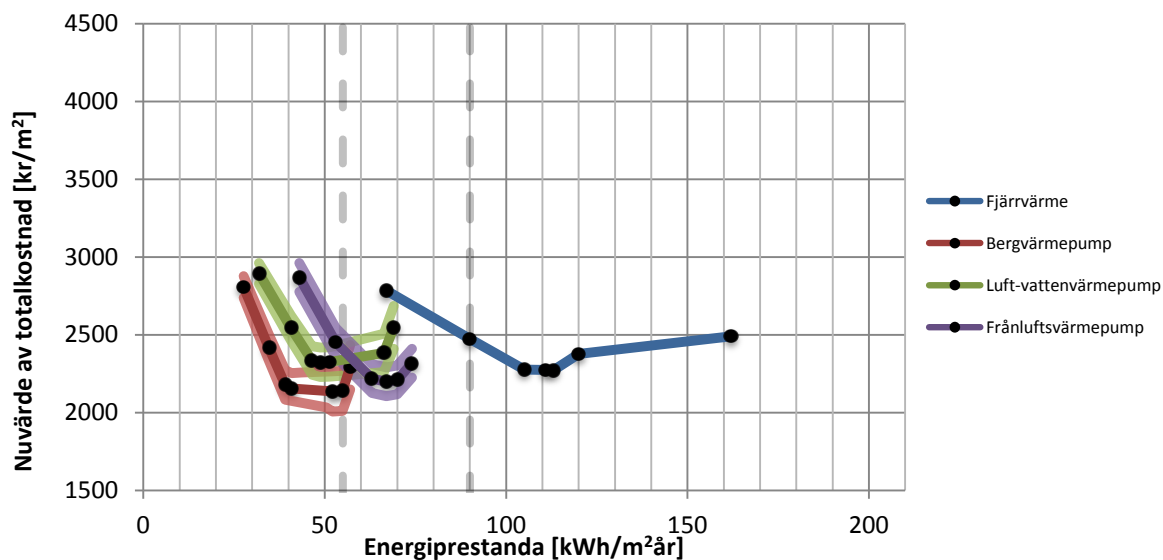
Figur 3.17 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar 2 % årlig ökning respektive sänkning av både elpris och fjärrvärmepris.



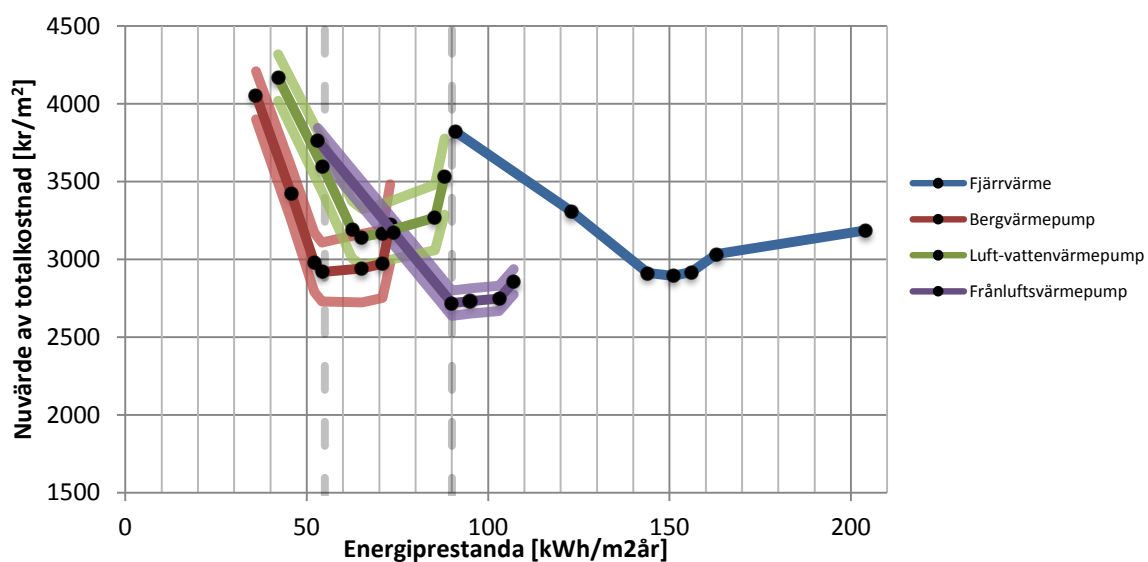
Figur 3.18 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar 2 % årlig ökning respektive sänkning av både elpris och fjärrvärmepris.

3.2.2 Ändrade värmepumpskostnader

För att undersöka hur resultatet påverkas av värmepumparnas kostnad har dessa justerats med $\pm 20\%$. Intervallet motsvarar ungefär det intervall arbetsgruppens exempelkostnader låg inom. Förutom ursprunglig investeringskostnad innefattar detta även återinvestering, restvärde och underhåll.



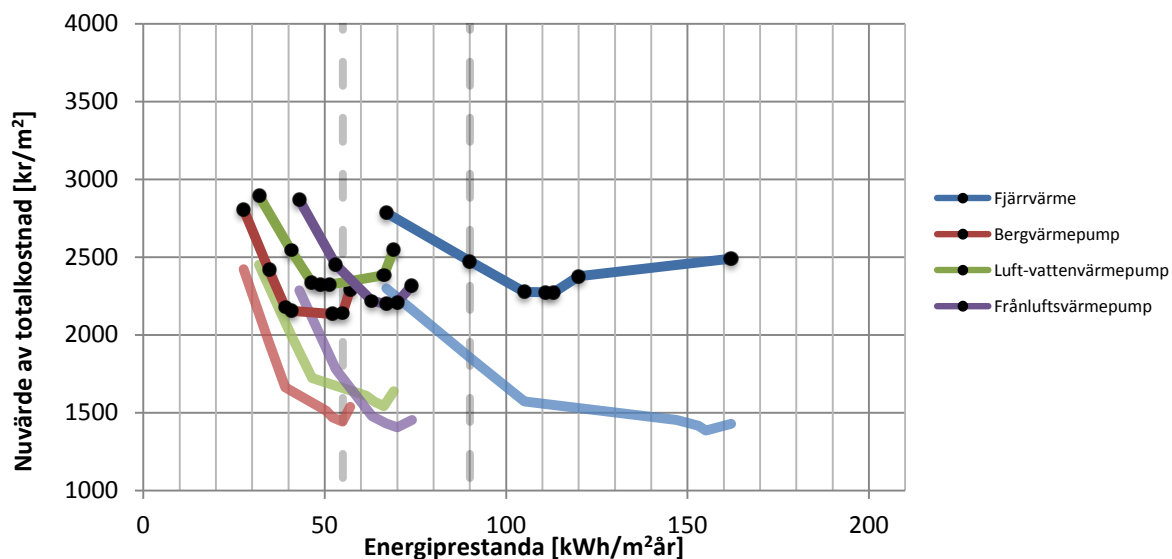
Figur 3.19 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar 20 % högre respektive 20 % lägre värmepumpskostnader.



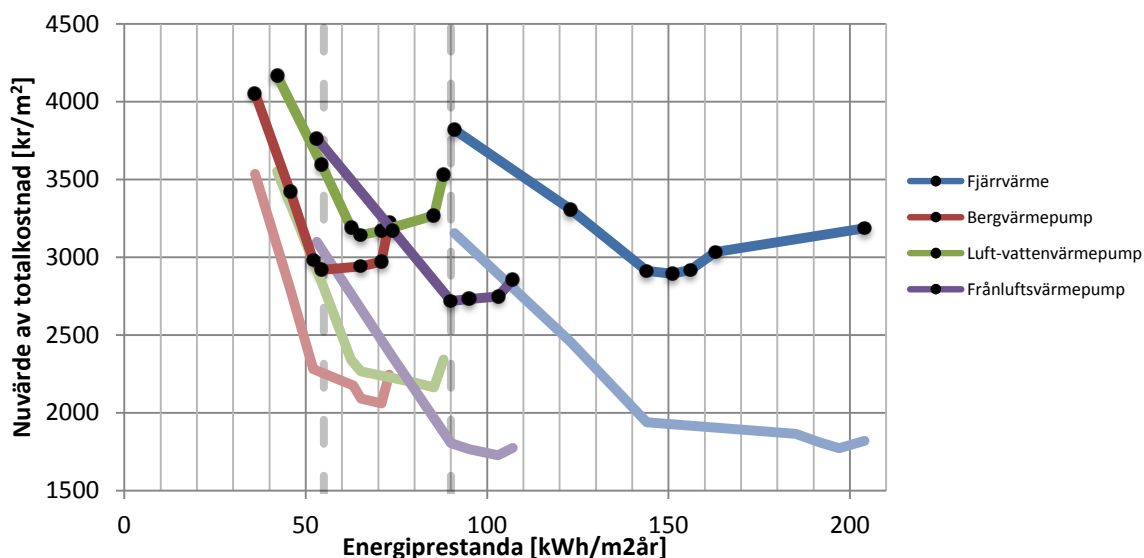
Figur 3.20 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar 20 % högre respektive 20 % lägre värmepumpskostnader.

3.2.3 Ändrad kalkylränta

Kalkylräntan är grundläggande för att kunna jämföra kostnader som sker idag med framtida kostnader. I grundfallet är kalkylräntan 3 %, vilket är lågt, men ändå försvarbart ur samhällsekonomisk synvinkel. Många fastighetsägare använder betydligt högre kalkylränta i sina investeringskalkyler. (I känslighetsanalysen används 8 % vilket i praktiken innebär att fastighetsägaren kräver att en investering med 20 års livslängd måste ha en pay-off tid på knappt 10 år.)



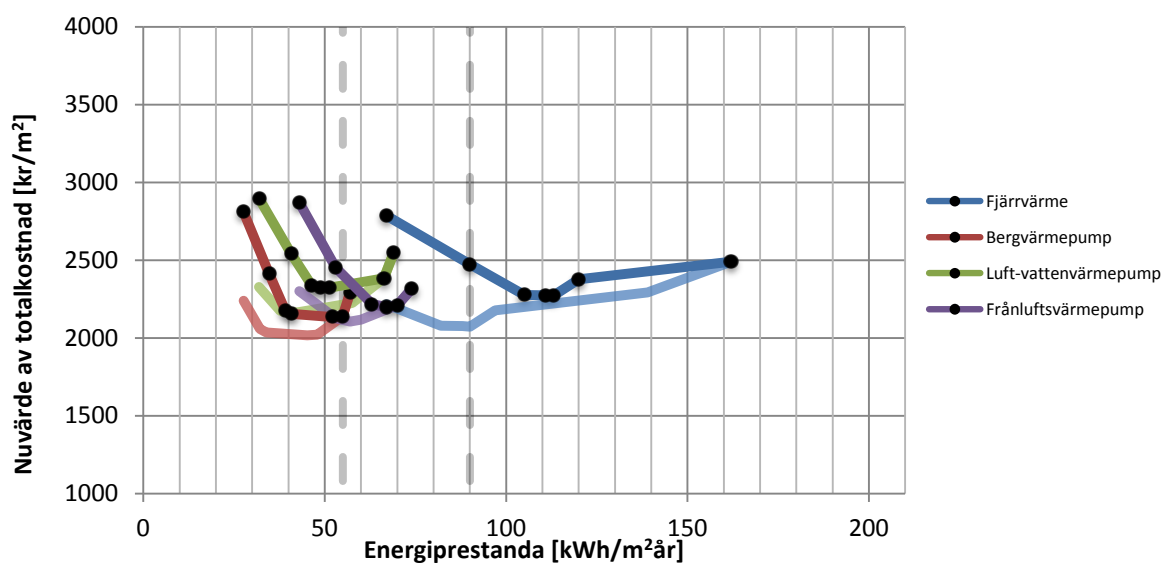
Figur 3.21 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Den tonade linjen motsvarar en kalkylränta på 8 % (observera att skalan på y-axeln skiljer sig från alla andra diagram i rapporten)



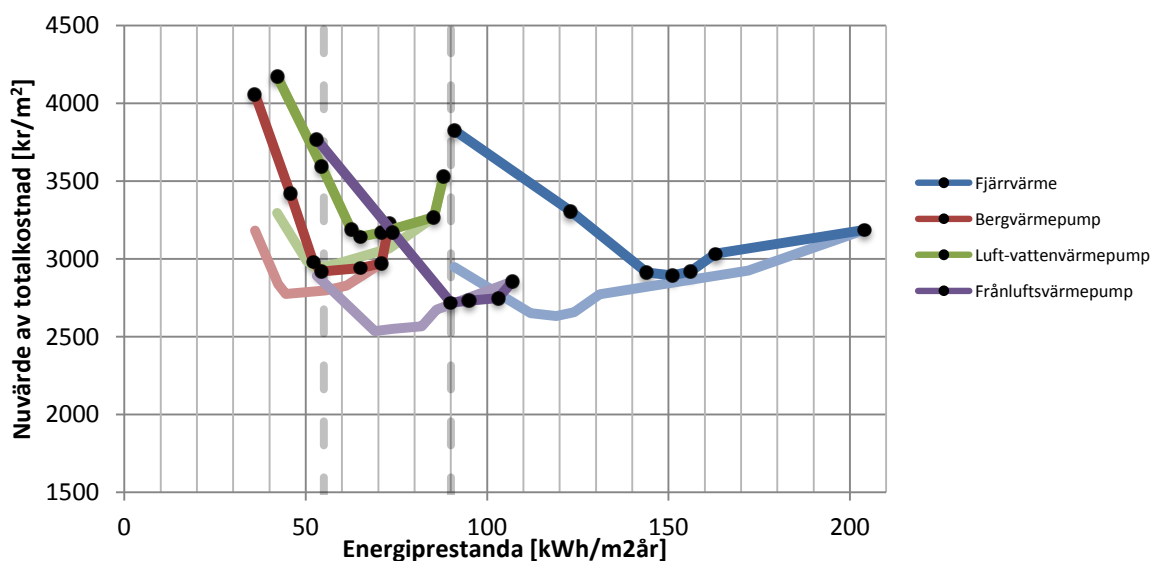
Figur 3.22 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Den tonade linjen motsvarar en kalkylränta på 8 %.

3.2.4 Hus med renoveringsbehov

Vissa energieffektiviseringsåtgärder innebär inte bara lägre energibehov utan stora förbättringar även i andra avseenden. I samtliga föregående beräkningar har åtgärdernas totala kostnad fullt ut belastat den erhållna energibesparingen. Om man istället enbart räknar med den delen av investeringen som bidrar till att sänka energibehovet så blir resultatet istället enligt figur 3.23 och 3.24. Kostnad för fasadisolering har reducerats med 82 % (detta motsvarar kostnaden för ny fasadputs). Kostnad för fönsterbyte har reducerats med 14 % (detta motsvarar kostnaden för målning och justering av fönster).



Figur 3.23 Lamellhus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar att för åtgärderna fasadisolering och fönsterbyte räknas endast marginalkostnaden.



Figur 3.24 Litet flerbostadshus i klimatzon III byggt 1950 – 1960. Tonade linjer motsvarar att för åtgärderna fasadisolering och fönsterbyte räknas endast marginalkostnaden.

3.3 Sammanfattning av resultat

För att få ett bättre helhetsgrepp över resultaten av diagram i kapitel 3.1 och 3.2, har resultatet sammanfattats i tabell 3.2. I tabellen visas de kostnadsoptimala nivåerna. Eftersom fjärrvärmens och luftvattenvärmepumpens ger de kritiska gränserna för icke eluppvärmda respektive eluppvärmda byggnader har endast dessa två beaktats i tabellen. Bergvärmepumpen visar de bästa och mest lönsamma resultaten i analysen jämfört med luftvattenvärmepumpen men praktiskt sett är det inte alltid möjligt att installera bergvärme.

Tabell 3.2 Sammanfattning av resultat i diagram

Fall	FJV	BBR 19	Föreslagna NNE-krav [4]	LVVP	BBR 19	Föreslagna NNE-krav [4]
Klimatzon III						
Lamellhus 1950-1960						
Grundfall	113	90	75	49	55	40
Högre fjv-pris	107	90	75	-	55	40
Lägre fjv-pris	153	90	75	-	55	40
Högre el-pris	111	90	75	49	55	40
Lägre el-pris	113	90	75	66	55	40
Högre vp-kostnad	-	90	75	49	55	40
Lägre vp-kostnad	-	90	75	49	55	40
8 % kalkylränta	155	90	75	66	55	40
Marginalkostnad	90	90	75	40	55	40
Lamellhus 1961-1975						
Grundfall	102	90	75	44	55	40
Punkthus 1950-1960						
Grundfall	106	90	75	48	55	40
Punkthus 1961-1975						
Grundfall	100	90	75	45	55	40
Skivhus 1950-1960						
Grundfall	100	90	75	60	55	40
Skivhus 1961-1975						
Grundfall	94	90	75	58	55	40
Litet Fbh 1950-1960						
Grundfall	151	90	75	65	55	40
Högre fjv-pris	151	90	75	-	55	40
Lägre fjv-pris	192	90	75	-	55	40
Högre el-pris	151	90	75	65	55	40
Lägre el-pris	156	90	75	65	55	40
Högre vp-kostnad	-	90	75	65	55	40
Lägre vp-kostnad	-	90	75	65	55	40
8 % kalkylränta	197	90	75	85	55	40
Marginalkostnad	119	90	75	53	55	40
Litet Fbh 1961-1975						
Grundfall	134	90	75	59	55	40
Sammanställning						
Lägsta energinivå	94	90	75	44	55	40
Högsta energinivå	197	90	75	85	55	40
Medel energinivå	133	90	75	59	55	40
Klimatzon II						
Lamellhus 1950-1960	127	110	90	58	75	55
Lamellhus 1961-1975	116	110	90	53	75	55
Klimatzon I						
Lamellhus 1950-1960	140	130	105	71	95	70
Lamellhus 1961-1975	128	130	105	63	95	70

4 Slutsatser och diskussion

4.1 Grundfall

Figur 3.1 till 3.12 visar att det är tekniskt möjligt att nå kraven i BBR19 med samtliga uppvärmningsalternativ i kombination med en eller flera av de sex energieffektiviseringsåtgärderna. Att behålla fjärrvärme kräver omfattande åtgärdspaket med minst fem och ofta samtliga sex undersökta åtgärder (fastighetselåtgärder, tappvarmvattenåtgärder, vindisolering, fönsterbyte och installation av FTX och i flera typbyggnader även fasadisolering). Vid installation av värmepumpar krävs endast någon enstaka åtgärder för att nå BBR 19 kraven i de större flerbostadshusen och ytterligare någon åtgärd i det lilla flerbostadshuset.

Lamellhus, punkthus och skivhus

Liksom i den tidigare konsekvensanalysen [5] är resultatet i stort sett detsamma för de större flerbostadshusen lamellhus, punkthus och skivhus. Figur 3.1 till 3.10 visar att olika åtgärdspaket tillsammans med de fyra uppvärmningsalternativen är konkurrerande med varandra (marginalen mellan livscykelkostnader är liten). Detta gäller främst i klimatzon III. I klimatzon II och I har åtgärdspaket tillsammans med luftvattenvärmepump svårare att konkurrera med de övriga.

I samtliga fall och zoner ger enbart installation av en bergvärmepump eller en frånluftsvärmepump ett lägre nuvärde av totalkostnaden än att inte göra någonting alls. Ett optimalt åtgärdspaket tillsammans med bergvärme ger det lägsta nuvärdet av totalkostnaden, samtidigt som krav i BBR19 uppfylls, i samtliga fall.

Diagrammen visar att det är svårt för ett fjärrvärmeuppvärmt flerbostadshus att nå kraven i BBR 19 med avseende på kostnadseffektivitet. I vissa fall krävs åtgärder med ett högre nuvärde av totalkostnad än i grundfallet där inget alls görs.

För åtgärdspaket tillsammans med bergvärmepump krävs endast någon enstaka åtgärder för att nå kraven i BBR 19 för eluppvärmda byggnader med lönsamhet (dvs lägre livscykelkostnad än att inte göra något alls). För luftvattenvärmepumpen krävs ett större antal åtgärder.

Frånluftsvärmepumpen når, i samtliga fall utan ytterligare åtgärd, kraven i BBR 19 för icke-eluppvärmda byggnader med lönsamhet (dvs lägre livscykelkostnad än att inte göra något alls).

Litet flerbostadshus

Resultatet för det lilla flerbostadshuset skiljer sig från övriga byggnadstyper (figur 3.11-3.12). Luftvattenvärmepumppaketet har svårt att konkurrera. Optimala bergvärme- eller fjärrvärmepaket är konkurrerande med varandra (bergvärmepumppaketet har dock lättare att uppfylla krav enligt BBR 19).

Ett ännu lägre nuvärde av totalkostnad har installationen av enbart en frånluftsvärmepump. Genomförs dessutom ett antal åtgärder kan även kraven enligt BBR 19 uppnås.

Klimatzon II och Klimatzon I

Konsekvensanalysen visar att kraven i BBR 19 blir enklare att uppnå i kallare klimatzoner. Detta gäller för såväl eluppvärmda som icke eluppvärmda bostäder där marginalen mellan kostnadsoptimal nivå och kravnivå minskar för varje klimatzon. För samtliga byggnadstyper är det svårt att klara föreslagen nivå i NNE-strategin även i klimatzon II och I.

4.2 Känslighetsanalys

Det dyraste fjärrvärmepriset på marknaden idag (78 öre/kWh) ger en lönsamhet i alla värmepumpar inklusive luftvattenvärmepumpen, förutsatt att elpriset hålls oförändrat. En jämförelse med det lägsta fjärrvärmepriset idag (35 öre/kWh) visar däremot att inga värmepumppaket är lönsamma. Det är också svårt att ur ekonomisk synvinkel motivera energieffektiviseringsåtgärder tillsammans med fjärrvärme under dessa förutsättningar (figur 3.13-3.14).

Med en årlig elprisökning på 1,5 % samtidigt som fjärrvärmepriset förblir oförändrat får värmepumparna svårt att konkurrera med fjärrvärmen (figur 3.15-3.16). Skulle elpriset däremot sjunka på liknande sätt skulle alla värmepumpar bli lönsamma.

En energiprisökning för både el och fjärrvärme på 2 % årligen eller en energiprisminskning på 2 % årligen ger ungefär samma slutsatser om konkurrensmässighet mellan de olika uppvärmningspaketen som för grundfallet (figur 3.17-3.18).

En lägre respektive högre investeringskostnad för värmepumparna på 20 % ger liten påverkan på resultatet för lamellhus (figur 3.19-3.20). Här råder ungefär samma slutsatser om konkurrensmässighet mellan de olika uppvärmningspaketen som för grundfallet. I det lilla flerbostadshuset är det endast frånluftsvärmepumpen som står sig mot fjärrvärmen vid en 20 % förhöjd värmepumpskostnad. Skulle värmepumpskostnad däremot minska med 20 % blir även bergvärmepumpen konkurrenskraftig.

En kalkylränta på 8 % försämrar den kostnadsoptimala nivån för alla uppvärmningsalternativ i lamellhuset och gör det svårmotiverat att genomföra några energieffektiviseringsåtgärder om man inte ser till att uppnå energikraven (figur 3.21-3.22). En bergvärmepump eller frånluftsvärmepump med en åtgärd utöver installationen gör att energikraven i BBR19 uppnås samtidigt som de är ungefär lika lönsamma som att inte göra något alls. En kalkylränta på 8 % skulle för det lilla flerbostadshuset innebära att frånluftsvärmepumpen får ett lägre nuvärde av totalkostnad än fjärrvärme eller att inte göra något alls. Övriga alternativ blir inte lönsamma.

Endast en del av kostnaden för fasadrenovering gäller tilläggsisolering medan en större del av kostnaden går till ny fasadputs. Om kostnadskalkylen baseras enbart på energieffektivisering vid tilläggsisolering av fasad blir nuvärde av den totala kostnaden för

fasadisolering betydligt fördelaktigare (figur 3.23-3.24). Åtgärden blir en av de mer lönsamma och tilläggsisolering bör alltid genomföras i samband med fasadrenovering. Kostnadsoptimum förbättras för samtliga uppvärmningspaket och ett fjärrvärmepaket kan under dessa förutsättningar nå krav enligt BBR 19 med lönsamhet.

I bilaga A redovisas grundfallet för lamellhuset i klimatzon III för åren 1950-1960 i stapeldiagram där andelen övriga kostnader (investerings-, återinvesterings- och underhållskostnader) visas i förhållandet till driftkostnader för energianvändning.

4.3 Diskussion kring lämpliga energinivåer

I tabell 3.2. visas de kostnadsoptimala nivåerna för åtgärdspaket tillsammans med fjärrvärme och luftvattenvärmepump. Dessa uppvärmningssystem har valts eftersom de ger de kritiska gränserna för icke eluppvärmda respektive eluppvärmda byggnader. Bergvärmepumppaketet har något bättre livscykelkostnad än luftvattenvärmepumppaketet men beroende av var byggnaden är placerad är inte bergvärme alltid möjligt att installera. Resultatet här kan vara en av flera konsekvensanalyser som kan ligga till grund för framtida målnivåer.

Enligt det reviderade direktivet om byggnaders energiprestanda ska minimikrav uppfyllas avseende energiprestanda vid större renovering i den mån de är ekonomiskt genomförbara. För att sätta en energinivå som gör det möjligt för alla byggnadstyper att klara kraven kan gränser grunda sig på alternativet där man uppnår en kostnadsoptimal nivå i ett lamellhus samtidigt som en lönsam nivå uppnås för det lilla flerbostadshuset. Det innebär alltså att den nivå som sätts för det lilla flerbostadshuset inte får ha ett nuvärde av totalkostnaden som är högre än det för fjärrvärmens utgångspunkt (dvs högre livscykelkostnad än att inte göra något alls).

Konsekvensanalysen visar att kallare klimatzoner har enklare att nå kraven i BBR 19 vilket indikerar att skillnad mellan krav i de olika klimatzonerna skulle kunna vara lägre än 20 kWh/m².

5 Definitioner och förkortningar

BVP	Bergvärmepump
FVP	Frånluftsvärmepump
LCC	Livscykelkostnad
LVVP	Luft-/vattenvärmepump
NNE	Nära-nollenergi
SFP	Specifik fläkteffekt (summan av eleffekten för samtliga fläktar som ingår i ventilationssystemet dividerat med det största av tilluftsflödet och frånluftsflödet).
Elvärmad byggnad	Installerad eleffekt för uppvärmning överskrider 10 W/m^2 . Detta innefattar den eleffekt som maximalt kan upptas av de elektriska apparater för uppvärmning som behövs för att kunna upprätthålla avsett inomhusklimat, tappvarmvattenproduktion och ventilation när byggnadens maximala effektbehov föreligger.
Energiprestanda	Den energi som byggnaden använder för uppvärmning, varmvatten, fastighetsel, och komfortkyla per kvadratmeter (A_{temp}) under ett normalår.
Fastighetsel	El för fastighetsdrift så att byggnadens installationer och gemensamma funktioner ska kunna drivas.
Flerbostadshus	Byggnad som till minst hälften innehåller utrymmen för bostadsändamål och som inrymmer tre eller flera bostadslägenheter.
A_{omsl}	Sammanlagd area för byggnadsdelar som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria eller mot mark.
A_{temp}	Den golvarea i temperaturreglerade utrymmen som är avsedd att värmas till mer än $10 \text{ }^\circ\text{C}$ och som är begränsad av omslutande väggars insidor.
BOA	Lägenheternas golvarea, avgränsad av omslutande väggars insidor.

6 Referenser

- [1] Boverkets föreskrifter om ändring i verkets byggregler (2011:6) – föreskrifter och allmänna råd, BFS 2011:26 BBR 19
- [2] Europaparlamentets och Rådets direktiv 2010/31/EU av den 19 maj 2012 om byggnaders energiprestanda (omarbetning)
- [3] Guidelines accompanying Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements (2012/C 115/01)
- [4] Uppdrag 13: Nationell strategi för lågenergibygnader ER 2010:39
- [5] Filipsson P., Heincke C., Wahlström Å. (2011) Konsekvensanalys av NNE-krav för befintliga flerbostadshus. Effsys+ rapport EP05, www.effsysplus.se/projekt/ep05/
- [6] C. Björk, P. Kallstenius & L. Reppen Så byggdes husen 1880 - 2000, femte upplagan (2003)
- [7] Ett beräkningsprogram för byggnadens värmebalans i varaktighetsdiagram, www.energy-management.se/bv2
- [8] Levin, P. (2009). Brukarindata för energiberäkningar i bostäder. Svebyprogrammet
- [9] Så mår våra hus, Redovisning av regeringsuppdrag beträffande byggnaders tekniska utformning m.m, Boverket 2009
- [10] Freiholtz, A. Fastighetsel och belysning i flerbostadshus – inventering, mätning och effektivisering. Uppsala
- [11] Isaksson, H. & Sandberg, E. Effektiv ventilation spar el. Byggforskningsrådet 1994.
- [12] Levin, Blomsterberg, Wahlström, Gräslund: Indata för energiberäkningar i kontor och småhus, ISBN: 978-91-85751-65-5, Diarienummer: 1271-2010/2006. Boverket, Karlskrona, 2007
- [13] Bångens, L. & Sandberg, E. Energideklarering av bostadsbyggnader. Delområde – Fastighetsel i flerbostadshus
- [14] Bebo (2010). Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus
- [15] Wikells byggberäkningar AB (2009) Sektionsfakta – VVS09/10

- [16] Repab Fakta 2012 Underhållskostnader ISSN 1404-6377
- [17] Aronsson S. (1996) Fjärrvärmekunders värme- och effektbehov
- [18] Wikells byggberäkningar AB (2009) Sektionsfakta – ROT 11/12
- [19] Sandberg, E. (2009). Energirelaterade godhetstal för flerbostadshus
- [20] Bebo (2010). Teknikupphandling av värmeåtervinningssystem i befintliga flerbostadshus, Bilaga B: Kravspecifikation
- [21] Energimyndighetens långtidsprognos 2010 ER 2011:03. Siffrorna från 2007 års nivå uppräknat till 2010 års nivå med KPI. Kostnaderna är tagna för 2020
- [22] Svensk Fjärrvärme 2012, <http://www.svenskfjarrvarme.se/statistik--pris/fjarrvarmepriser/>

Bilaga A

Bilaga A redovisar grundfallet för Lamellhuset i klimatzon III för åren 1950-1960. Först visas varje uppvärmningssystem för sig och därefter är det kostnadsoptimala nivåerna, de streckade i figurerna sammanfogade i en gemensam resultatfigur.

