

Utformning av energieffektiva bostäder

Kostnadsjämförelser med hänsyn till
systemlösning, hustyp och klimat

Henrik Sundqvist
Stefan Allansson

Sökord

Energianvändning, energieffektivisering, flerbostadshus, villa, energisimulering, VIP+, livscykelkostnad, investeringskalkyl, hus utan värmesystem, passivhus.

© copyright Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Energi och ByggnadsDesign, Lunds tekniska högskola, Lund 2006.

Layout: Författarna.

Tryck av KFS AB, Lund 2006

Rapport EBD-R--06/11

Projekteringsstöd för utformning av energieffektiva byggnader

Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Lunds tekniska högskola, Lund

ISSN 1651-8128

ISBN 91-85147-16-8

Lunds tekniska högskola

Institutionen för arkitektur och byggd miljö

Energi och ByggnadsDesign

Box 118

221 00 LUND

Telefon: 046 - 222 73 52

Telefax: 046 - 222 47 19

E-post: ebd@ebd.lth.se

Hemsida: www.ebd.lth.se

Förord

Föreliggande rapport är ett examensarbete om 20p utfört vid avdelningen för Energi och Byggnadsdesign vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med Skanska Teknik i Malmö. Examensarbetet har genomförts mellan augusti och december 2005.

Vi vill rikta ett stort tack till våra handledare *Anders Almgren* på Skanska Teknik och *Helena Bülov-Hübe* på avdelningen för Energi och Byggnadsdesign, LTH. Ni har visat stort engagemang och varit till stor hjälp i vårt arbete. Våra möten har varit långa och detaljdiskussionerna har varit många.

Vidare så vill vi tacka:

Lars Sjöberg, Björn Andersson och Sonny Myrefelt för mycket hjälp angående tekniska installationer. *Henrik Grahn, Refik Salievski och Bertil Jönsson* för stor hjälp med att lära känna studiens tre hustyper på djupet. Ett stort tack till *Sune Häggbom* på Strusoft för support till programmet VIP+. Ett stort tack också till er utanför Skanska som haft tålamod med alla våra frågor om tekniska specifikationer och prisuppgifter, *Mikaela Gustafsson* på Domlux, *Per Billros* och *Gunnar Eklund* på IVT Värmepumpar, *Henrik Hellstenius* på Systemair och *Anna Magnusson* på Öresundskraft AB. Tack alla ni på Skanska Teknik för trevliga fikastunder och luncher. Sist men inte minst vill vi rikta ett tack till våra sambor, *Isabella* och *Kajsa* för stöd och uppmuntran!

Malmö december 2005

Stefan och Henrik

Sammanfattning

Titel	Utformning av energieffektiva bostäder - Kostnadsjämförelser med hänsyn till systemlösning, hustyp och klimat
Författare	Stefan Allansson, civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad, Lunds Tekniska Högskola. Henrik Sundqvist, civilingenjörsutbildningen i väg- och vattenbyggnad, Lunds Tekniska Högskola.
Handledare	Anders Almgren, Skanska Teknik i Malmö. Helena Bülow-Hübe, avdelningen för Energi- och Byggnadsdesign, Lunds Tekniska Högskola.
Examinator	Maria Wall, avdelningen för Energi och Byggnadsdesign, Lunds Tekniska Högskola.
Rapport	Examensarbete vid avdelningen för Energi och Byggnadsdesign vid Lunds Tekniska Högskola. Utfört i samarbete med Skanska Teknik under hösten 2005.
Syfte	Syftet är att utreda vilka energibesparande åtgärder i bostadshus som ger bäst ekonomi ur ett livscykelkostnadsperspektiv. Studien begränsas till nyproduktion för tre olika typer av bostadshus i Sverige. Syftet är vidare att genom livskostnadsanalys jämföra om det kan vara ekonomiskt hållbart att ta värmesystemet i ett hus och utforma det enligt passivhuskonceptet.
Metod	Studien baseras på tre olika hustyper, ett stort flerbostadshus, ett mindre flerbostadshus och en villa. För vart och ett av dessa hus definieras ett grundfall

som motsvarar nuvarande byggnadsteknik. Olika energieffektiviserande åtgärder införs enskilt och i kombination. Energiberäkningar genomförs i VIP+ före och efter energieffektiviserande åtgärder. Både de åtgärdade fallen och grundfallen LCC-beräknas och jämförs varefter en bedömning görs om åtgärderna är genomförbara till samma eller till en lägre livscykelkostnad. För varje hustyp görs bedömningar av samma åtgärder på orterna Malmö, Stockholm och Luleå.

Slutsats

De tre studerade bostadstyperna skiljer sig åt i energianvändning och LCC främst på grund av olika byggnadsstorlek. Studien tyder på att extra investeringar i mer energieffektiva installations-system och i bättre isolerade fönster lönar sig bäst på större hus medan satsningar på bättre isolering och solvärmesystem lönar sig bättre i mindre hus. Skillnaderna i både energianvändning och livscykelkostnad är marginella mellan Malmö och Stockholm, men betydande mellan södra och norra Sverige (Luleå). Studien visar också att FTX-system och bättre klimatskal är mer lönsamma i norra Sverige medan frånlufts- och uteluftsvärmepumpar är mer lönsamma i södra Sverige. Markvärme-pumpar är i stort sett lönsamma oavsett klimat och hustyp.

Nyckelord

Energianvändning, energieffektivisering, flerbostadshus, villa, energisimulering, köldbryggor, VIP+, HEAT2, HEAT3, livscykelkostnad, investeringskalkyl, hus utan värmesystem, passiv-hus.

Abstract

Title	Design of energy efficient housing - A cost comparison on the basis of building design and climate
Authors	Stefan Allansson, Civil Engineering, Lund Institute of Technology. Henrik Sundqvist, Civil Engineering, Lund Institute of Technology.
Supervisors	Anders Almgren, Skanska Teknik in Malmö. Helena Bülow-Hübe, Division of Energy and Building Design, Lund Institute of Technology.
Examiner	Maria Wall, Division of Energy and Building Design, Lund Institute of Technology.
Report	Master of Science Thesis at the Division of Energy and Building Design at Lund Institute of Technology in collaboration with Skanska Teknik. Written during the fall of 2005.
Aim	The aim of this study is to investigate which energy-efficient solutions in residential buildings that gives the best economy in a life cycle perspective. The study is limited to new production of three types of residential buildings in different Swedish climates. A further aim is to investigate, through life cycle cost analysis, if it is economically feasible to remove the buildings heating system and design it according to the passive house concept.
Method	The study is based on three different types of buildings, one large multi-family building, one smaller

multi-family building and one single-family building. For each building type, a base case is established which corresponds to current building practices. Measures which improve the energy-efficiency of the buildings are introduced individually and in combination. The energy use before and after energy-efficient measures are estimated through simulations with the software VIP+. The life cycle cost (LCC) for each case is then calculated based of the simulated energy use. A comparison of the life cycle costs before and after energy-efficient measures shows if the measure can be introduced at the same (or lower) cost as the base case. These assessments are made for each building type and in three different locations: Malmö, Stockholm and Luleå.

Conclusion The three studied building types have different energy use and LCC mainly because of their different sizes. The study indicates that higher investment in more efficient installation systems and windows are more profitable in multi-family buildings whilst better insulation and solar heating can be more profitable in single-family buildings. The differences in energy use and LCC between Malmö and Stockholm are marginal, but considerable between southern and northern Sweden (Luleå). The study also shows that recuperators and well-insulated building envelopes are more profitable in northern Sweden whilst exhaust and outdoor air heat pumps are more profitable in southern Sweden. Ground heat pumps are profitable almost irrespective of climate and house type.

Key words Energy use, energy-efficiency, multi-family building, single-family building, energy simulation, thermal bridges VIP+, HEAT2, HEAT3, life cycle cost, investment cost estimate, house without heating system, passive house.

Innehåll

Förord	3
Sammanfattning	5
Abstract	7
Innehåll	9
Terminologi	13
1 Inledning	17
1.1 Bakgrund	17
1.2 Syfte	18
1.3 Problemställning	18
1.4 Avgränsningar	19
2 Teori	21
2.1 Energi	21
2.1.1 Energianvändning	21
2.1.2 Energibalans i bostäder	24
2.1.3 Beräkningsmetoder	26
2.1.4 Beräkningsmodell	27
2.1.5 Värmebehovsberäkning	27
2.1.6 Klimat och klimatdata	32
2.1.7 Köldbryggor	34
2.1.8 Lufttäthet	35
2.1.9 Detaljernas betydelse för energianvändningen	36
2.1.10 Inomhustemperatur	41
2.1.11 Energiberäkningsprogram	43
2.1.12 Hus utan värmesystem	45
2.2 Ekonomi	50
2.2.1 Investeringskalkyl	51
2.2.2 Payoff-metoden	52
2.2.3 LCP, Life Cycle Profit	53
2.2.4 LCC, Life Cycle Cost	54

3	Metod	57
3.1	Allmänt	57
3.2	Litteraturstudie	57
3.3	Energianvändning i byggnader	58
3.3.1	Val av beräkningsmetod	58
3.3.2	Val av energiberäkningsprogram	59
3.3.3	Verifiering och känslighetsanalys	61
3.4	Ekonomi	61
3.4.1	Allmänt	61
3.4.2	Val av investeringskalkyl	62
3.4.3	Känslighetsanalys	63
3.5	Val av åtgärder	63
3.6	Metodik för "Hus utan värmesystem"	64
3.7	Diskussion av vald metod	65
4	Tidigare undersökningar	67
4.1	Flerbostadshus	67
4.1.1	Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda	67
4.1.2	Energioptimering av flerbostadshus – En LCC-studie av ett nybyggnadsprojekt i Sannegårdshamnen	69
4.1.3	Energioptimering av flerbostadshus i västra Eriksberg	71
4.1.4	Känslighetsanalyser för byggnader utan värmesystem	73
4.1.5	Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering	75
4.1.6	Kv. Jöns Ols i Lund - energisnålt och lönsamt flerbostadshus med konventionell teknik	77
4.2	Småhus	79
4.2.1	Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus	79
4.3	Sammanställning av tidigare undersökningar	80
5	Egna undersökningar	83
5.1	Objektsbeskrivning	83
5.1.1	Mindre flerbostadshus	83
5.1.2	Småhus	84
5.1.3	Större flerbostadshus	85
5.2	Modellering	86
5.2.1	Allmänt	86
5.2.2	Vinkelhuset	86
5.2.3	Villan	89
5.2.4	Lamellhuset	92
5.3	Parameterstudie	95
5.3.1	Ökad isolering	96
5.3.2	Lufttäthet	97
5.3.3	Fönster	97

5.3.4	Ventilationssystem	98
5.3.5	Solvärme	99
5.3.6	Värmepump	100
5.3.7	Kombinationer	102
5.3.8	Hus utan värmesystem	102
5.4	Investeringskalkyl	103
5.4.1	Antaganden i investeringskalkylerna	104
5.4.2	Vinkelhuset	107
5.4.3	Villan	110
5.4.4	Lamellhuset	112
6	Resultat och analys	117
6.1	Vinkelhuset	117
6.1.1	Energianvändning	117
6.1.2	Energi- och effektbehov för hus utan värmesystem	125
6.1.3	Investeringskalkyl	129
6.1.4	Investeringkalkyl för hus utan värmesystem	134
6.2	Villan	137
6.2.1	Energianvändning	137
6.2.2	Investeringskalkyl	143
6.3	Lamellhuset	150
6.3.1	Energianvändning	150
6.3.2	Investeringskalkyl	157
6.4	Sammanställning	162
6.4.1	Enskilda åtgärder	162
6.4.2	Kombinerade åtgärder	165
6.4.3	Tidigare undersökningar	166
6.5	Känslighetsanalys	168
6.5.1	Energiberäkning	168
6.5.2	Verifiering av energianvändning	174
6.5.3	Investeringskalkyl	176
7	Slutsatser	187
7.1	Åtgärdsförslag 1	190
7.2	Åtgärdsförslag 2	190
7.3	Åtgärdsförslag 3	191
7.4	Åtgärdsförslag 4	191
7.5	Åtgärdsförslag 5	192
7.6	Åtgärdsförslag 6	192
7.7	Åtgärdsförslag 7	193
7.8	Åtgärdsförslag 8	193
8	Diskussion	195

9	Fortsatta studier	199
	Referenser	201
	BILAGA A. Resultat från LCC-kalkyler	211
	BILAGA B. Beräkning av köldbryggor	215
B.1	Vinkelhuset	216
B.1.1	Vinkelhuset - grundfallet	216
B.1.2	Vinkelhuset +50mm cellplast	219
B.1.3	Vinkelhuset +100mm cellplast	220
B.1.4	Vinkelhuset +50mm cellplast med puts	221
B.1.5	Sammanställning vinkelhuset	222
B.2	Villan	222
B.2.1	Villan - Grundfallet	222
B.2.2	Villan +50mm mineralull	225
B.2.3	Sammanställning villan	225
B.3	Lamellhuset	226
B.3.1	Lamellhuset - grundfallet	226
B.3.2	Lamellhuset +50mm cellplast	228
B.3.3	Sammanställning lamellhuset	229

Terminologi

I detta kapitel presenteras och förklaras viktiga begrepp. De begrepp som presenteras här återkommer i den löpande texten, i många fall utan närmare förklaring. Kapitlet delas upp i energirelaterade och ekonomiska termer.

Energi

BBR	Boverkets Byggregler. Detaljerade föreskrifter utgivna av Boverket. BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19 är en samling föreskrifter och allmänna råd ¹ .
BOA	Boarea. Bruksarea för boutrymmen. Med detta menas de utrymmen av bruksarean som bebos. Gemensamma utrymmen som t.ex. trappuppgång räknas bort. Boarea beräknas enligt SS 02 10 53.
BRA	Bruksarea. Area av nyttjandeenhet eller annan grupp sammanhörande mätvärda utrymmen, begränsad av omslutande byggnadsdelars insida eller annan för mätvärdet angiven beskrivning. Beräknas enligt SS 02 10 53 ² .
BVP	Bergvärmepump. En värmepump som utvinnet värme ur berggrunden.
F-system	Ventilation: Frånluftssystem. Ett system med mekanisk frånluftsventilation där tilluften kommer in genom otätheter eller någon form av uteluftsdon.

¹ Boverket. *Boverkets Byggregler*.

² Hansson, Bengt. Olander, Stefan. *Begrepp vid bygg- och fastighetsutveckling*.

FTX-system	Ventilation: Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning. Ett system med mekanisk tilluft och frånluft. En värmeåtervinnare utvinnet värme ur frånluften och avger värmen till tilluften.
FVP	Frånluftsvärmepump. En värmepump utvinnet värme ur frånluften i ventilationssystemet. Värmen kan avges till antingen radiatorvatten, tappvarmvatten eller till båda (kombisystem).
Kombisystem	System för uppvärmning av både radiatorvatten och tappvarmvatten.
Ψ-värde	Psi-värde. Ett sätt att fysikaliskt ange en köldbryggas värmeisolerande förmåga. Psi-värdet anger hur mycket värme som transporteras ut genom köldbryggan per meter vid en grads temperaturskillnad mellan köldbryggans båda sidor. Köldbryggan ges en sträckning längs klimatskalet i antal meter. Därefter kan värme-förlusterna genom köldbryggan beräknas. Enhet W/mK. Beräknas enligt EN ISO 10211-2.
U-värde	En byggnadsdels värmeisolerande förmåga. U-värdet är ett mått på hur mycket värme som transporteras genom en byggnadsdel per kvadratmeter vid en grads temperaturskillnad mellan byggnadsdelens båda sidor. Enheten är W/m ² K ³

Ekonomi

Kalkylränta	Används som ett mått på avkastningskrav på investerade medel. Skall motsvara alternativ kostnad för kapital, d.v.s. vara lika stor som den bästa alternativa avkastningen. Kan för en specifik investering delas upp i reall avkastningskrav, inflation, adminis-
--------------------	---

³ Elmarsson, Bengt. Nevander, Lars-Erik. *Fukt - Handbok*.

	trationspålägg samt riskpålägg ⁴ . Kalkylräntan bestäms i praktiken till olika värden beroende på vilka avkastningskrav som ställs på investeringen.
LCC	Life Cycle Cost. Livscykelkostnad. Summan av alla kostnader kopplade till en produkt under hela dess livscykel omräknade till ett nuvärde ⁵ .
LCC_n	Livscykelkostnad beräknad på tidsperioden (livslängden) <i>n</i> år.
LCC_n	Förändring i livscykelkostnad jämfört med ett i förhand definierat grundfall för samma produkt. Förändringen beräknad på <i>n</i> år.
Livslängd	Den tidsperiod för vilken den avsedda komponenten behåller sin tekniska och ekonomiska funktion.
Real kalkylränta	Ett mått på avkastningskrav på investerade medel. Med real kalkylränta avses kalkylräntan utöver inflationen, administrationspålägg samt riskpålägg.
Underhåll	Åtgärder som syftar till att vidmakthålla funktionen hos ett förvaltningsobjekt. Underhållskostnaden är den kostnad som krävs för att vidmakthålla ursprunglig standard.
Återinvestering	En enstaka investering som krävs för att vidmakthålla funktionen hos ett förvaltningsobjekt. En återinvestering kan exempelvis innebära en reparationskostnad eller en kostnad för utbyte av ett objekt.

⁴ Hansson, Bengt. Olander, Stefan. *Begrepp vid bygg- och fastighetsutveckling*.

⁵ Bejrums, Håkan. *Livscykeleconomiska kalkyler för byggnader och fastigheter*.

1 Inledning

I detta kapitel presenteras bakgrunden till studien. Bakgrunden är viktig för att läsaren skall förstå varför studien har genomförts. Vidare så presenteras studiens syfte och problemställningar med tillhörande avgränsningar.

1.1 Bakgrund

Den 16:e december 2002 antog Europaparlamentet ett nytt EU-direktiv om byggnaders energiprestanda. Bakgrunden till det nya EU-direktivet ligger i EU:s ökande energianvändning. Ökningen kommer att innebära en ökad import av energi i framtiden samt ett ökat utsläpp av växthusgaser, vilket skulle göra det svårt att leva upp till de åtaganden som avtalats i Kyotoprotokollet. Att påverka energitillförseln till unionen skulle inte vara möjligt, men man har konstaterat att energianvändningen inom EU kan påverkas. EU-kommissionen har i sin strävan att minska energianvändningen i medlemsstaterna identifierat byggnadssektorn som ett av de områden där man har störst möjlighet att effektivisera användningen av energi^{6 7}.

I enlighet med EU-direktivet skall medlemsländerna inom EU fastställa krav på energiprestanda för byggnader. I nuläget ställs inga krav på energiprestanda, det finns dock indirekta krav på energianvändning genom BBR:s krav på klimatskalets isolerförmåga samt byggnadens ventilations- och uppvärmningssystem⁸. I och med EU-direktivet

⁶ Schultz, Linda. Effektiv. *Energicertifiering - Eu-direktiv om byggnaders energiprestanda*. 2003

⁷ EU:s officiella tidning. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/91/EG om byggnaders energiprestanda*. 2002-12-16

⁸ Boverket. *Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19*

kommer krav att ställas på en byggnads energiprestanda i form av en byggnads energimängd beräknad som faktisk förbrukning².

Med bakgrund av det nya EU-direktivet om energideklarering av byggnader ökar behovet av en tydligare arbetsgång när det gäller att ta hänsyn till en byggnads förväntade energianvändning i projekteringsstadiet. Kunskapen om vilka driftskostnader som kan minimeras redan under det tidiga projekteringsstadiet får idag anses som låg. En tydligare fokus på energieffektiviteten under projekteringen, med tydligare angreppspunkter, skulle kunna ge lägre kostnader för brukaren och ett kraftigare säljargument för byggaren.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbetet har varit att ta fram vilka energibesparande åtgärder som ger bäst ekonomi ur ett livscykelkostnadsperspektiv för olika typer av bostadshus vid nyproduktion. Vidare så har det studeras hur samma typer av energibesparande åtgärder varierar i livscykelkostnad för olika svenska klimat. Det har också genomförts en jämförande livscykelkostnadsanalys för att utreda om det är ekonomiskt hållbart att ta bort det vattenburna värmesystemet och utforma en byggnad enligt passivhuskonceptet.

Studierna som beskrivs ovan har sedan använts för att utarbeta råd och riktlinjer som kan användas vid nyprojektering av bostäder.

1.3 Problemställning

För att kunna projektera energieffektiva byggnader är det viktigt att man redan på ett tidigt stadium vet vilka lösningar som får störst genomslagskraft när det gäller investeringens storlek och byggnadens energiprestanda. Ska man kunna dra några slutsatser om vilka dessa lösningar kan vara så måste man först besvara en rad frågor:

- Vilka lösningar ger bäst energiprestanda?

- Vilka energibesparande åtgärder ger störst genomslagskraft rent ekonomiskt för den hustyp som ska byggas i det aktuella projektet?
- Kan man identifiera generella skillnader mellan olika hustyper och olika orter vad det gäller energieffektivitet och livscykelkostnad?

1.4 Avgränsningar

Detta examensarbete kommer att behandla energieffektivisering av bostäder i projekteringsstadiet. Således kommer andra byggnadstyper så som kontor, lokaler och industribyggnader inte att studeras. Det kommer därför inte heller att tas någon hänsyn till behov av komfortkyla till följd av övertemperaturer. Den kylning som kan behövas, antas kunna tillgodoses genom vädring. Inga förändringar av inomhusklimatet som syftar till energibesparing kommer att genomföras, det är av stor vikt att inomhusklimatet inte försämras vid införande av energieffektiviserande åtgärder.

Eftersom denna rapport koncentrerar sig på åtgärder som ska planeras in under projekteringen av nya bostäder så kommer det inte att tas upp något om energieffektivisering vid ombyggnad och renovering. Åtgärder som minskar energianvändningen men som är brukarberoende och inte går att simulera, som t.ex. individuell mätning av uppvärmning och varmvatten och snålspolande kranar faller utanför ramen för detta examensarbete. Dessa kommer endast att kommenteras kort i kapitel 2.1.9. Andra brukarvanor så som inomhustemperatur och användning av hushållsel kommer inte heller att studeras djupare.

Vad gäller uppvärmningssystem så är studien begränsad till användning av elvärme, fjärrvärme eller värmepump. I ett verkligt projekt kan alternativen vara flera, exempelvis uppvärmning med gas-, pellets-, ved- eller oljepanna. Dessa uppvärmningskällor kommer inte att studeras.

Arbetet inriktas på att finna energieffektiviserande åtgärder till samma eller till en lägre kostnad jämfört med husens ursprungliga utformning. Det finns även andra incitament för energieffektivisering, som t.ex. minskad energianvändning av miljöhänsyn. Man kan t.ex. räkna om all

använd energi till primärenergi och bedöma husets inverkan på den yttre miljön i form av CO₂-utsläpp. Detta görs inte i denna studie.

2 Teori

I detta kapitel presenteras de teoretiska grunder som är nödvändiga för förståelsen och genomförandet av denna studie. Kapitlet är indelat i två huvuddelar, energi och ekonomi som beskriver den nödvändiga teorin inom båda dessa områden.

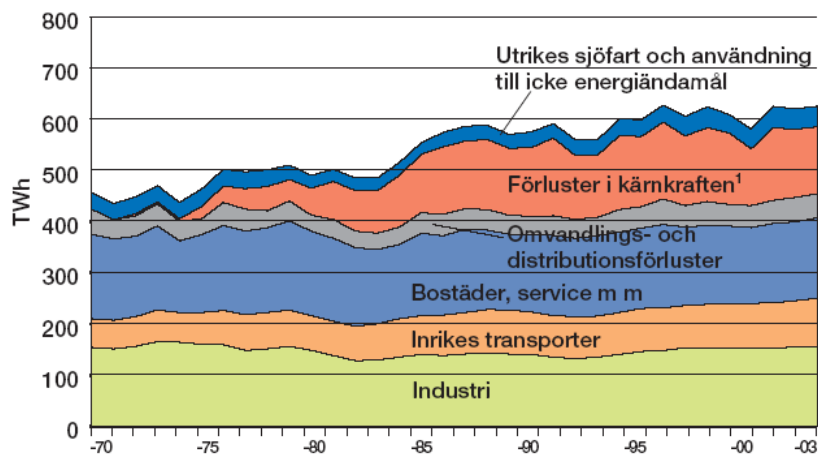
2.1 Energi

Under denna rubrik kommer den teori som varit nödvändig för att genomföra examensarbetet att presenteras. Detta kommer att innefatta avsnitt om en byggnads energibalans och dess ingående komponenter såsom värmeöverföring i klimatskalet, ventilationsförluster och tillskottsvärme. Vidare så presenteras teoretisk bakgrund till beräkningsmetoder, den använda beräkningsmodellen och värmebehovsberäkningar. Efter detta ett kort avsnitt om de studerade klimaten, inverkan av köldbryggor, lufttäthet och övriga detaljers betydelse för energianvändningen. En genomgång av de vanligaste energiberäkningsprogrammen kommer också att presenteras. Valet av energiberäkningsprogram i denna studie presenteras och motiveras i kapitel 3.3. Kapitel 2.1 avslutas med ett avsnitt som presenterar teorin bakom hus utan värmesystem.

2.1.1 Energianvändning

Den totala energianvändningen i Sverige uppgick 2003 till 624 TWh. Av detta är 177 TWh omvandlings- och distributionsförluster vilket gör att den slutgiltiga, totala energianvändningen uppgår till 406 TWh. Fördelningen av energianvändningen i samhället framgår av Figur 2.1. Som synes så är bostads- och servicesektorn en betydande användare av energi i Sverige. Den totala energianvändningen i svenska bostäder är idag omkring 90 TWh/år⁹.

⁹ Statistiska Centralbyrån. Statistikdatabasen. Internet



Figur 2.1 Sveriges totala energianvändning, exklusive nettoexport, under åren 1970-2003¹⁰

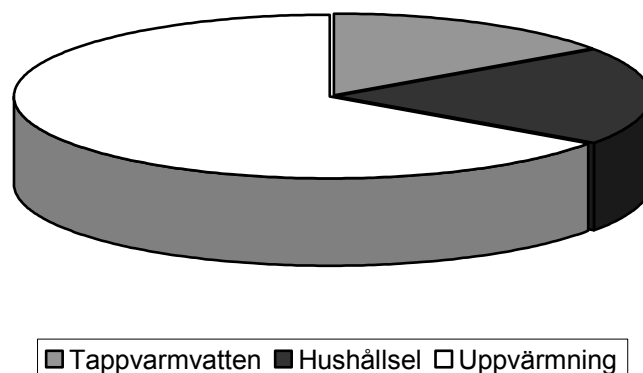
Man kan dela upp energianvändningen i bostäder på i stort sett fyra områden, uppvärmning av bostaden, uppvärmning av tappvarmvatten, hushållsel och fastighetsel. För småhus beräknas ofta fastighetselen ingå i hushållselen. Om man beräknar energianvändningen i bostäder utslaget per bostad och år skulle detta innebära följande fördelning¹¹:

- Tappvarmvatten, 2 000–5 000 kWh/bostad och år
- Hushållsel, 2 000–7 000 kWh/bostad och år
- Uppvärmning, 10 000–20 000 kWh/bostad och år

Fördelningen åskådliggörs även principiellt i Figur 2.2.

¹⁰ Statens energimyndighet, *Energiläget 2004*

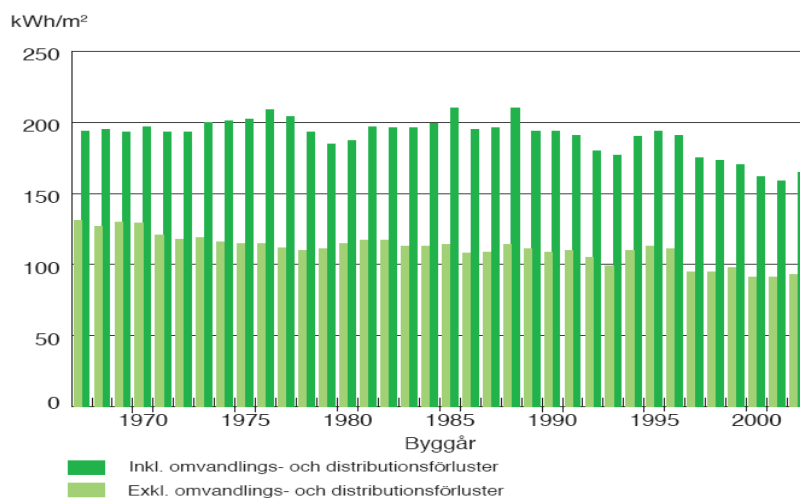
¹¹ Ruud, Svein H. *Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i bostäder*. 2003



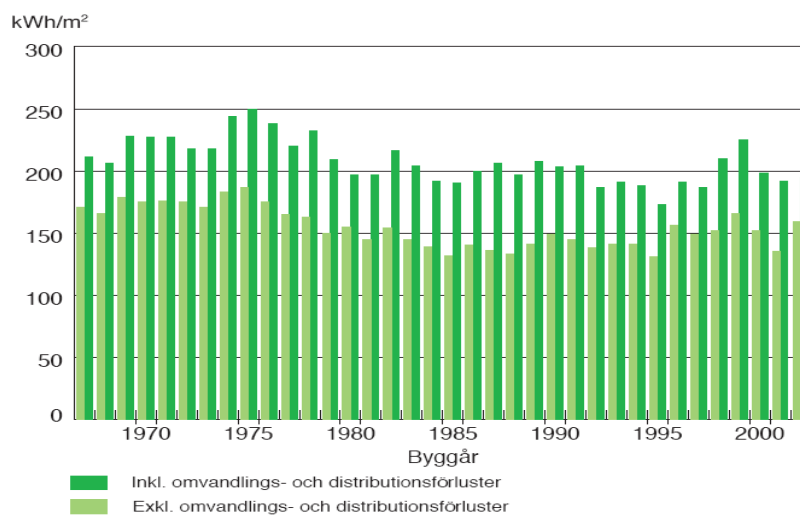
Figur 2.2 - Fördelning av energianvändning i svenska bostäder (villor och lägenheter)

Som man kan utläsa ur Figur 2.2 så är det uppvärmning av inomhusluften som tar de största energimängderna i anspråk och det är också här som man kan göra de största effektiviseringarna. Detta gäller för befintlig bebyggelse och täcker därmed både nya och gamla bostadsbyggnader. Figur 2.2 visar således uppdelningen av energianvändningen i medeltal för både gamla och nya bostadsbyggnader. Det kan mycket väl vara så att det inte är självklart att man skall satsa på energieffektivisering av uppvärmningsdelen i nya bostäder. I många fall kan det vara mer befogat att satsa på effektivisering av energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten och hushållsel då dessa kan utgöra större delar av den totala energianvändningen än vad som visas i Figur 2.2. Energiförbehovet för uppvärmning är generellt större i äldre byggnader. Ny teknik och högre energipriser har medfört att energianvändningen minskat för nybyggda bostäder. Detta kan utläsas ut Figur 2.3 och Figur 2.4 nedan. Anmärkningsvärt är att energianvändningen för flerbostadshus har visat en uppåtgående tendens de senaste åren. Förklaringen antas vara det slojade kravet på återvinning av ventilationsluften om byggnaden värms med fjärrvärme¹².

¹² STEM. *Energiindikatorn 2005*. Internet



Figur 2.3 *Energianvändning för uppvärmning per byggår för småhus¹²*

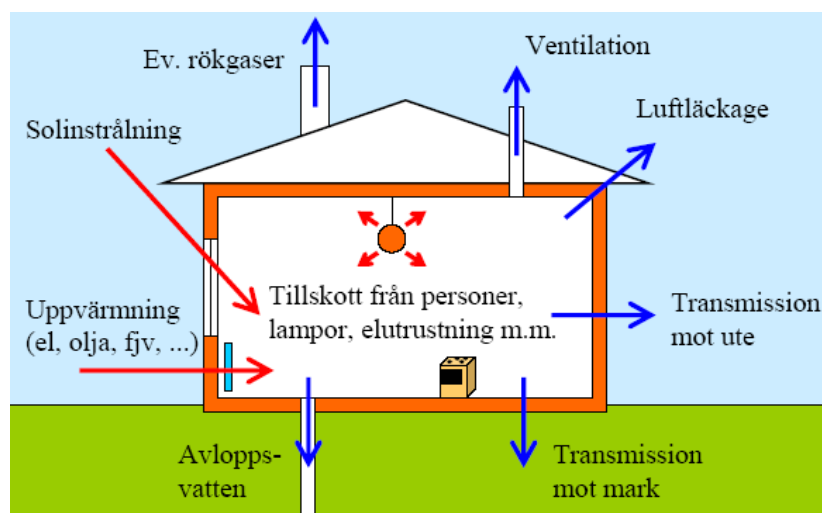


Figur 2.4 *Energianvändning för uppvärmning per byggår för flerbostadshus¹²*

2.1.2 Energibalans i bostäder

Energi kan inte förstöras eller försvinna, bara omvandlas till andra energiformer. Detta gäller allmänt och således även i bostäder. All energi som tillförs en bostad i form av hushållsel, uppvärmning, person-

värme och solinstrålning kommer att omvandlas i bostaden och lämna den i en takt som gör att en energibalans uppstår mellan inflöden och utflöden. För att bibehålla temperaturen i huset så påverkar man denna balans genom att tillföra eller föra bort energi. De olika energiflödena visas principiellt i Figur 2.5.



Figur 2.5 Energibalansen i en bostad¹³

En förändring i något av flödena kommer att innebära att temperaturen inne i bostaden påverkas på ett eller annat sätt. Energi lämnar i huvudsak byggnaden på tre sätt: Genom transmission, ventilation och genom att lämna byggnaden tillsammans med exempelvis avloppsvattnet. Förluster i form av spillvattenvärme brukar man ofta bortse ifrån eftersom förlusterna är relativt små i förhållande till exempelvis transmissionsförluster. Dessutom har det visat sig vara svårt att minska dessa förluster genom värmeåtervinning¹⁴. I Sverige, och norra Europa i allmänhet, så gör det kalla klimatet normalt sett att man måste tillföra energi i form av värme för att upprätthålla en god termiskt komfort.

¹³ Bülow-Hübe, Helena. *Föreläsningsanteckningar från kursen "Utformning av energieffektiva byggnader"*

¹⁴ Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund -energismålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.*

Från myndigheternas sida ställer man idag inget krav på hur hög temperatur som kan tillåtas i bostäder utan föreskriver endast att den riktade operativa temperaturen i vistelsezonen inte får understiga 18 °C¹⁵. Detta innebär i regel att bostäder utformas utan komfortkyla och att de övertemperaturer som kan uppstå på sommaren förutsätts kunna transporteras bort genom vädring. I varmare klimat kan energibalansen vara den omvända och man blir i stället tvungen att transportera ut värmeenergi ur byggnaden. Så är också ofta fallet för kontorslokaler i Sverige där man har en hög värmealstring inne i byggnaden på grund av all kontorsutrustning, belysning, personer etc.

2.1.3 Beräkningsmetoder

Energianvändningen i en byggnad kan studeras på flera sätt. Till de enklaste sätten hör beräkningar som utförs genom antaganden om en specifik energianvändning per kvadratmeter bostadsyta. Metoden kallas kvadratmetermetoden alternativt nyckeltalsmetoden. Modellen kan tänkas fungera för fastighetsbestånd som har en tydligt definierad energianvändning och med likartade driftförhållanden. Beräkningarna kan däremot inte användas för att simulera energianvändningen för bebyggelse där förutsättningarna ändrats eftersom risken att energianvändningen missbedöms får anses vara mycket stor¹⁶.

En annan metod som får anses som välbeprövad som handräkningsmodell är graddagsmetoden eller gradtimmesmetoden. Man utgår då ifrån framräknade graddagar eller gradtimmar för att med hjälp av en specifik gränstemperatur för byggnaden beräkna den förväntade energianvändningen. Gränstemperaturen beräknas med fysikaliska samband utifrån en statisk modell. Med statisk modell menas att beräkningen görs utan hänsyn till värmelagring förhållanden. Metoden ger generellt sett bättre utfall än kvadratmetermetoden, men kan behöva kompletteras med beräkningar för värmelagring i husstommen¹⁷.

Den metod som får anses ha störst möjlighet att med viss precision förutbestämma energibehovet för en byggnad är en fysikalisk modell

¹⁵ Boverket, BFS 2002:19 kap. 6.41. 2002

¹⁶ Strusoft, Internet

¹⁷ Jensen, Lars. Warfvinge, Catarina. *Värmebehovsberäkning - Kursmaterial Installationsteknik FK*. LTH 2001

där man utför beräkningen dynamiskt och tar hänsyn till byggnadens värmetröghet. För att simuleringen ska bli trovärdig bör man ta hänsyn till internlast, solinstrålning, vindbelastning, intern termik o.s.v. Metoden är den mest omfattande av de beskrivna och lämpar sig främst för beräkningar med datorverktyg. Med rätt programvara kan hänsyn tas till en stor del av de fysikaliska sambanden för byggnaden och beräkningen kan genomföras med klimatdata för den aktuella orten för att uppnå hög precision.

2.1.4 Beräkningsmodell

Innan beräkningar av byggnadens energiegenskaper kan göras måste vissa approximationer av byggnadsskalets egenskaper göras. Detta kan göras på några principiellt olika sätt. I BBR föreskrivs en metod där byggnadsdelarnas U-värde bestäms enligt vedertagna fysikaliska samband. Eventuella brister i arbetsutförandet, t.ex springor, kompenseras genom tillägg av ett schablonvärde. De byggnadsdelar som anses tillhöra klimatskärmen är de delar som utgör gräns mellan uppvärmd inomhusluft och uteluft. Här ingår även byggnadsdelar som genom mark gränsar mot uteklimatet. Den area som anses gränsa mot uteklimatet bestäms av rumshöjden och innermått som motsvarar den uppvärmda arean.

För att inte överskatta isolerförmågan hos klimatskalet så måste köldbryggor studeras på ett eller annat sätt. Ofta görs detta genom att använda sig av linjeköldbryggor där köldbryggan beskrivs med ett linjärt värmegenomgångsmotstånd (W/mK istället för W/m^2K). Samband och diagram för att beräkna linjeköldbryggor hos vanliga byggnadskonstruktioner finns bl.a. i *Isolerguiden 2004*. Ett alternativ till detta är att detaljstudera köldbryggorna i ett två- eller tredimensionellt värmeledningsprogram som bygger på en differens- eller finita-element-metod och utifrån beräknade värmeflöden bestämma ett ekvivalent U-värde för detaljen.¹⁸

2.1.5 Värmebehovsberäkning

Som beskrevs i Avsnitt 2.1.2 beror energianvändningen i en bostad till stor del av behovet av tillförd värmeenergi. Detta beror sedan till stor del av de värmeförluster och värmetillskott som sker genom:

- Transmission

¹⁸ Swedisol, *Isolerguiden 2004*

-
- Ventilation och läckflöden
 - Gratisvärmertilskott

Med gratisvärmertilskott menas den effekt som tillförs byggnaden genom solinstrålning och värmeavgivning från apparater, personer, belysning och dylikt. Termen *gratisvärmertilskott* syftar inte på att värmen tillförs utan kostnad utan syftar snarare på värme som normalt tillförs byggnaden vare sig man vill eller inte. Eldrivna apparater och belysning kostar självklart pengar, men det är utrustning som används i vilket fall som helst vilket gör att värmen från dem oftast benämns som ”gratis” eftersom utrustningen primärt är till för att tillhandahålla en annan tjänst. Det momentana värmeeffektbehovet för en byggnad kan beskrivas med en värmeeffektsförlust som beror av skillnaden mellan ute- och innetemperatur samt ett effekttillskott från gratisvärmen. Eller i ekvationsform¹⁹:

$$P = Q_{tot} (T_{inne} - T_{ute}) - P_{gratis} \quad (\text{W})$$

där: P = Värmeeffektbehov (W)

Q_{tot} = Totala specifika värmeeffektbehovet (W/°C)

T_{inne} = Inomhustemperaturen (°C)

T_{ute} = Utomhustemperaturen (°C)

P_{gratis} = Gratisvärmeeffekt (W)

Det totala specifika värmebehovet kallas också förlustfaktor och bestäms av transmissions-, ventilations- och luftläckageförlusterna. Från och med nu kommer uttrycket förlustfaktor att användas.

$$Q_{tot} = Q_t + Q_v \quad (\text{W/°C})$$

¹⁹ Jensen, Lars. Warfvinge, Catarina. *Värmebehovsberäkning - Kursmaterial Installationsteknik FK*. LTH 2001

där: Q_t = Förlustfaktor för transmissionsförluster

Q_v = Förlustfaktor för ventilations- och luftläckageförluster

Dessa bestäms då i sin tur av fysikaliska egenskaper hos klimatskalet och ventilationens funktion och flöden. För att beräkna förlustfaktorn för transmissionsförlusterna kan följande samband användas:

$$Q_t = \sum Q_{\text{köldbryggor}} + \sum_i A_i \cdot U_i$$

där: $Q_{\text{köldbryggor}}$ = Förlustfaktor för köldbryggor (W/°C)

A_i = Area för yta med beteckning i (m²)

U_i = U-värde för byggnadsdel i (W/°Cm²)

Förlustfaktorn för köldbryggor bestäms genom detaljstudier och kan beräknas antingen med handberäkningsmetoder eller med olika typer av beräkningsprogram.

För att beräkna förlustfaktorn för ventilations- och luftläckageförluster används följande samband²⁰:

$$Q_v = \rho \cdot c \cdot q_{\text{ventilation}} \cdot (1 - v) \cdot d + \rho \cdot c \cdot q_{\text{luftläckage}}$$

där: ρ = Luftens densitet, normalt omkring 1,2 (kg/m³)

c = Luftens värmekapacitet, normalt 1000 (J/kg°C)

$q_{\text{ventilation}}$ = Uteluftsflöde (m³/s)

²⁰ Jensen, Lars. Warfvinge, Catarina. Värmebehovsberäkning - Kursmaterial Installationsteknik FK. LTH 2001

v = Verkningsgrad på återvinnare (-)

d = Relativ driftstid (-)

$q_{\text{luftläckage}}$ = Luftläckageflöde (m^3/s)

Svårigheten i ovanstående beräkningar ligger i att uppskatta vid vilken utomhustemperatur som huset kräver uppvärmning för att bibehålla önskad inomhustemperatur. Den utomhustemperatur som medför att byggnaden får ett uppvärmningsbehov benämns vanligtvis som gränstemperaturen, T_g . Gränstemperaturen kan beräknas med följande uttryck:

$$T_g = T_{\text{inne}} - \frac{P_{\text{gratis}}}{Q_{\text{tot}}}$$

Beteckningar enligt ovan.

Vid beräkning av gränstemperaturen ligger de stora svårigheterna att dels bestämma en inomhustemperatur som är representativt för det klimat som faktiskt kommer att gälla i huset. Dels måste gratisvärmestillskottet uppskattas på ett trovärdigt sätt. Båda parametrarna är starkt brukarberoende och kan variera mellan olika hus. Gratisvärmestillskottet från personer och apparatur i huset kan uppskattas till 5 W/m^2 .²¹ Alternativt kan tillskottet beräknas utifrån utrustning och aktivitet i huset. Solvärmestillskottet kan beräknas på flera sätt, som inte kommer att beskrivas närmare här, och de flesta energiberäkningsprogram tar i dag hänsyn till effekten av solinstrålningen.

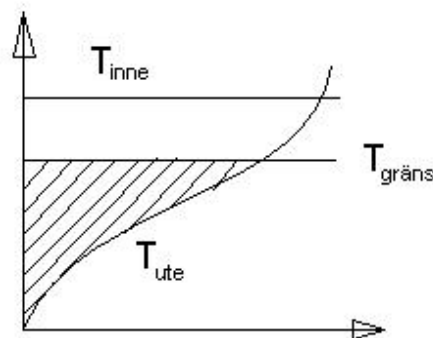
När gränstemperaturen är bestämd kan värmeeffektbehovet för en viss utetemperatur beräknas utifrån följande formel:

$$P = Q_{\text{tot}} \cdot (T_g - T_{\text{ute}})$$

²¹ Bülow-Hübe, Helena. *Föreläsningsanteckningar från kursen "Utformning av energieffektiva byggnader"*, Lund 2005

Beteckningar enligt ovan.

Nästa steg blir att summera de enskilda värmeeffektbehoven utifrån rådande utomhusklimat. Detta kan approximativt göras utifrån årsmedeltemperaturen genom att sätta $T_{ute} = T_{årsmedel}$, men resultaten kan då bli missvisande. Resultatet blir mest korrekt om man utgår från temperaturfördelningen för den aktuella orten över året. Energiförbehovet beräknas då i intervall på timmar, dagar eller månader och summeras sedan över året. Principen visas i Figur 2.6.



Figur 2.6 Inne-, gräns- och utetemperatur som funktion av tiden under ett års tid. Det streckade området markerat den tid som det aktuella huset har ett uppvärmningsbehov.

Det streckade området i figuren motsvarar det man brukar kalla för gradtimmar eller graddagar och finns tabellerat för olika gränstemperaturer och klimat.²²

Vill man att beräkningen ska bli noggrannare måste man även börja ta hänsyn till värmelagring i stomme och klimatskal. För att genomföra sådana beräkningar använder man sig med fördel av ett beräkningsprogram. Se även Avsnitt 2.1.3 där olika principiella beräkningsmetoder beskrivs.

²² Jensen, Lars. Warfvinge, Catarina. Värmebehovsberäkning - Kursmaterial Installationsteknik FK. LTH 2001

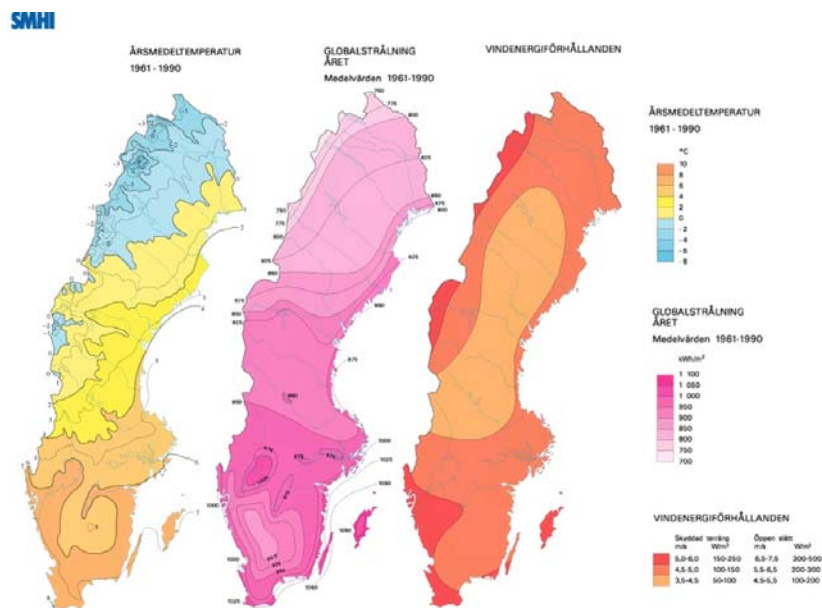
Det är viktigt att inse att det man beräknar med ovanstående uttryck endast ger den värmeeffekt som måste tillföras lokalt i byggnaden, exkl. omvandlingsförluster. För att beräkna behovet av köpt värmeenergi måste man även ta hänsyn till exempelvis ledningsförluster och omvandlingsförluster i t.ex. fjärrvärmeväxlaren. Den effekt eller energi som man måste köpa för att hålla ett bra inneklimat inkluderar även elenergi till fläktar, återvinnare och ev. värmepumpar. Total energianvändning i en byggnad inkluderar även fastighets- och hushållsel.

2.1.6 Klimat och klimatdata

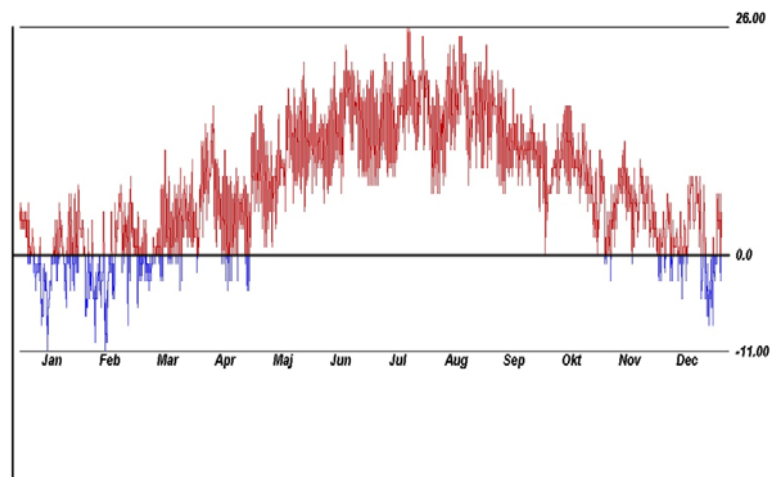
Sveriges geografi gör att klimatet varierar relativt kraftigt inom landet jämfört med andra länder pga. utbredningen i nord/sydlig riktning. Årsmedeltemperaturen varierar från -3°C i norr till 8°C i söder. Även solinstrålningen och antalet soltimmar per år varierar över landet vilket tillsammans med temperaturen bidrar till att påverka uppvärmnings-säsongens längd. Även Sveriges topografi och kust gör att klimatet varierar kraftigt mellan olika orter. Medelvindhastigheten över året varierar t.ex. mellan omkring 4 m/s i inlandet och uppåt 6-7 m/s i fjäll- och kustområdena. Exempel på klimatdata för Sverige visas i Figur 2.7.

För att hantera dessa klimatskillnader i beräkningar och simuleringar måste man använda sig av klimatdata för den aktuella orten. Klimatdata kan fås av olika meteorologiska institut med varierande noggrannhet. I Sverige är det företrädesvis SMHI som tillhandahåller dessa typer av klimatdata. En detaljeringsgrad ner på timvärden kan fås för flera orter, men sådana data är dyra. Ett alternativ till dessa klimatdata kan vara framräknade timvärden utifrån medelvärden och interpolering mellan orter. Exakt hur dessa beräkningar görs kommer inte att beskrivas här, men det finns idag beräkningsprogram som kan tillhandahålla syntetiska timvärden med olika klimatdata. Ett av dessa är Meteororm som tillhandahålls av det schweiziska företaget Meteotest. Jämförelser med uppmätta klimatdata har visat att differensen är ca. 1% över året. Studerar man beräknade timvärden mot uppmätta timvärden för en specifik period så är däremot skillnaden för stor för att bortse ifrån.²³ I Figur 2.8 redovisas en graf med syntetiska utomhustemperaturer för Malmö från Meteororm.

²³ Häggblom, Sune. Strusoft. *Personlig kommunikation*



Figur 2.7 Sveriges klimat med årsmedeltemperatur, globalstrålning och vindenergiförhållande.²⁴



Figur 2.8 Utomhustemperaturen genererade av dataprogrammet Meteonorm för Malmö

²⁴ SMHI. Internet.

2.1.7 Köldbryggor

En köldbrygga är en försvagning i värmeisoleringen i klimatskalet som leder till en ökad värmetransport jämfört med den övriga konstruktionen. Ytemperaturen på klimatskalets insida blir lägre i ett område med köldbryggor, det finns då en ökad risk för ökade fukttillstånd och kondens²⁵. Förutom den ökade risken för fuktproblem gör den ökade värmetransporten att byggnadens uppvärmningsbehov ökar. Köldbryggor förekommer i huvudsak i anslutningar mellan olika byggnadsdelar. Ett vanligt förekommande exempel på en köldbrygga är otillräcklig isolering vid anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag. Här är det vanligt att kraven på bärförmåga och klimatskalets isolerande förmåga hamnar i konflikt, d.v.s. isoleringen blir tunnare för att tillgodose utrymmeskravet för mellanbjälklagets upplag. Sådana detaljer måste noggrant tänkas igenom innan bygghandlingar upprättas. Köldbryggor kan också utgöras av avvikelser under byggtiden, d.v.s. skillnader mellan ritningar och verkligheten på grund av avsiktliga eller oavsiktliga ändringar i produktionen.

Då transmissionsförluster beräknas (se Avsnitt 2.1.5) tas hänsyn till köldbryggor genom addition av $Q_{\text{Köldbryggor}}$ som är den extra värmeförlust som orsakas av försvagningar i klimatskalet. För att undvika köldbryggor bör isoleringen utföras obruten i klimatskalet. Detta är dock inte möjligt i alla delar av byggnaden, vid t.ex. fönsteranslutningar måste isoleringen avslutas. Köldbryggor kan ändå minimeras genom exempelvis djupa fönsternischer vilket motverkar värmetransporten²⁶. Om huset har djupa fönsternischer är det viktigt att fönstret monteras i liv med väggens isolerskikt.

I genomförda undersökningar av två småhus på Bo01-området i Västra Hamnen i Malmö har köldbryggor beräknats utgöra ca 10 % av transmissionsförlusterna²⁷. En undersökning av flerbostadshus visar att köldbryggornas betydelse varierar kraftigt. I tre undersökta flerbostadshus

²⁵ Elmarsson, Bengt. Nevander, Lars-Erik. *FUKT-handbok*.

²⁶ Warfvinge, Catarina. Kv. Jöns Ols i Lund -energismålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.

²⁷ Bagge, Hans. Elmroth, Arne. Lindström, Lotti. *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

utgör köldbryggorna mellan 5 % och 39 % av de totala transmissionsförlusterna²⁸.

2.1.8 Lufttäthet

Det finns en gammal myt som säger att en byggnad inte mår bra av att vara helt tät. Sanningen är dock att en byggnads klimatskal bör utföras så tät som möjligt under förutsättning att byggnadens innerutrymmen ventileras samt att byggfukt tillåts torka ut innan byggnaden färdigställs²⁹. Det finns flera anledningar till att byggnaden bör utföras så tät som möjligt, bl.a. att minskad oavsiktlig ventilation leder till ett minskat uppvärmningsbehov. Det minskade uppvärmningsbehovet beror på att uppvärmd luft inte läcker ut genom konstruktionen samtidigt som kall luft inte kommer in och behöver värmas för att bibehålla inomhustemperaturen. Ett minskat uppvärmningsbehov leder till att byggnadens energibehov minskas. En annan anledning till att byggnaden bör vara så tät som möjligt är att undvika obehag hos brukaren till följd av att kall luft läcker in. Ökad lufttäthet ger alltså ökad termisk komfort. Utöver detta så blir det lättare att projektera och injustera byggnadens ventilationssystem om byggnaden är tät. Det finns utvärderingar som visar att byggnadens täthet har stor inverkan på energibehovet. Se t.ex. Solbyn i Dalby³⁰ som visar att om det oavsiktliga luftläckaget ökas från 0,1 oms/h till 0,2 oms/h så ökar energibehovet med ca 10 % för en undersökt lägenhet.

En byggnads lufttäthet mäts genom tryckprovning. Tryckprovningen genomförs med hjälp av en fläkt som skapar en tryckskillnad på 50 Pa mellan utomhus- och inomhusluften, vid denna tryckskillnad mäts flödet varefter läckluftflödet kan beräknas med enheten l/sm². Vid tryckprovningen är det viktigt att alla avsiktliga öppningar som t.ex. friskluftsventiler tätas. Läckluftflödet i bostäder får maximalt uppgå till 0,8 l/sm² enligt BBR³¹.

²⁸ Goufeng, Mao m fl *The Importance of Thermal Bridges in new Swedish Multi-Family Buildings*

²⁹ Elmarsson, Bengt. Nevander, Lars-Erik. *FUKT - Handbok*.

³⁰ Blomsterberg, Åke. Bülow-Hübe, Helena. *Solbyn i Dalby. Utvärdering av energisnål radhuslägenhet med glasrum*.

³¹ Boverket, BFS 2002:19 kap. 9.212. 2002

2.1.9 Detaljernas betydelse för energianvändningen

Ventilationssystem och klimatskalets isolerande förmåga har stor betydelse för en byggnads energianvändning. Men det är också viktigt att man tänker igenom en byggnads detaljutformning tidigt i projekteringen. Det finns förutom ventilationssystemet och klimatskalet många detaljer som har stor betydelse för energianvändningen och som ofta får för lite uppmärksamhet eller glöms bort i projekteringen. Nedan följer en kort redogörelse för sådana detaljer.

Placering av fönster

Fönster bör placeras så att byggnaden kan tillvarata värmen ur solstrålningen samtidigt som förluster genom värmeutstrålning från fönster undviks. Det stora problemet när det gäller att tillvarata solenergi är att under sommaren då solinstrålningen är betydligt större föreligger inget uppvärmningsbehov. Under vintern då byggnaden har ett uppvärmningsbehov är det svårare att tillgodogöra sig solinstrålningen i form av värme på grund av att en stor del av solinstrålningen absorberas i atmosfären samtidigt som dagarna är betydligt kortare än under sommarmånaderna. Fönster har alltid en negativ energibalans under uppvärmningssäsongen, med detta menas att fönstren släpper ut mer värme än vad de tar in i form av solinstrålning³². Det är under hösten och våren som solinstrålningen kan vara till mest nytta som gratisenergi på grund av att solstrålningen då är större än under vintern samt att det under höst och vår föreligger ett uppvärmningsbehov. Att utnyttja solinstrålningen under vår och höst innebär i praktiken att uppvärmningssäsongen förkortas³³. För att tillgodogöra sig maximalt med solenergi skall byggnadens fönster vara orienterade mot söder. Tidigare genomförda datorberäkningar visar att ganska stor avvikelse från söderläget, upp till $\pm 20^\circ$ kan tillåtas utan att speciellt mycket energi förloras. Vid 30° avvikelse från söderläget är instrålningen ca 80 % av den instrålade energin jämfört med söderläget³⁴.

³² Blomsterberg, Åke. Eek, Hans. *Tillämpad passiv solvärme. Resurssnål bebyggelse i Karlstad.*

³³ Bülow-Hübe, Helena. Lunds Tekniska Högskola. Personlig Kommunikation.

³⁴ Blomsterberg, Åke. Eek, Hans. *Tillämpad passiv solvärme. Resurssnål bebyggelse i Karlstad.*

För att undvika alltför höga inomhustemperaturer under sommar-månaderna på grund av solinstrålningen bör solavskärmning användas. Detta är synnerligen viktigt vid välisolerade hus. Solavskärmning kan utgöras av exempelvis persienner eller horisontella skärmar i form av taksprång, balkonger eller markiser.

Byggnadens orientering

Byggnaden bör placeras så att den största fönsterarean vetter mot söder för att tillgodogöra sig maximal solinstrålning, se föregående avsnitt. Om flera byggnader står tillsammans bör de placeras på tillräckligt stora inbördes avstånd för att inte skugga varandra alltför mycket. Om husen inte alls skall skugga varandra krävs en mycket stor tomtyta. Hur stora avstånd som krävs för att husen inte skall skugga varandra beror av omgivningen och husens yttre geometri och kan beräknas genom en solstudie.

Byggnadens värmelagringsförmåga

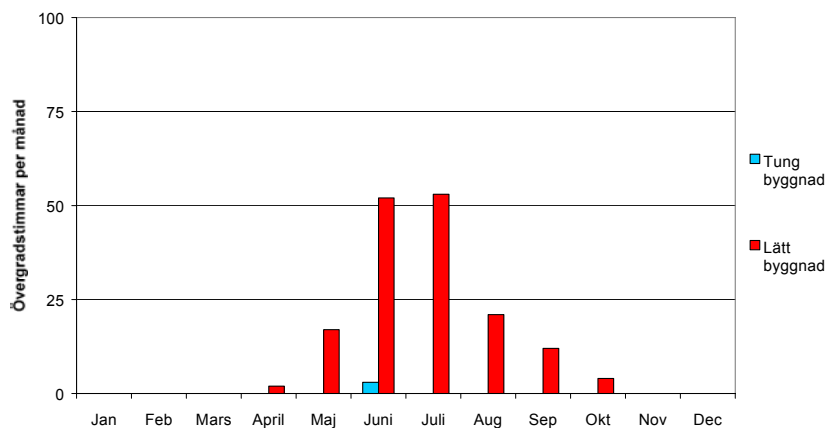
Värmelagringen hos en byggnad påverkar huset på i huvudsak tre sätt.

- Inomhustemperaturen kommer att variera mindre över dygnet med en högre värmelagringsförmåga
- Värme kan lagras i byggnadens stomme då man har ett värmeöverskott vilket gör att byggnadens värmeöverskott kan göras till en del av husets uppvärmning
- Värmelagringen gör att det maximala effektbehovet blir något lägre.

Hur mycket energi som kan lagras i byggnadsstommen beror på de ingående materialens värmekapacitet och ytmaterialens (exempelvis golvbeläggning, skivmaterial) värmeledningsförmåga. Ett högt värmegenomgångsmotstånd hos skivmaterial och ytbeklädnad gör att mängden värme som når byggnadsstommens värmelagrande delar minskar. Samtidigt måste man tillåta att inomhustemperaturen varierar, annars kan den lagrade värmen i stommen inte tillgodogöras. Om temperaturen är samma i vägg och luft finns ingen drivkraft för att föra över energi.

Carl-Eric Hagentoft, vid institutionen för byggnadsfysik vid Chalmers tekniska högskola, har simulerat ett radhus med tung respektive lätt

byggnadsstomme. Resultaten visar att uppvärmningsbehovet i ett hus med tung stomme är ca 2 % mindre jämfört med ett likadant hus med en lätt stomme. Den stora vinsten med tyngre stomme är således inte energibesparingen. Däremot visar det sig i simuleringen att komforten kan ökas avsevärt vilket visar sig som ett färre antal övergradstimmar per år, se Figur 2.9.



Figur 2.9 Antal timmar med övertemperaturer (temperaturen överstiger 26°C) i radhus för det tunga och det lätta basfallet.³⁵

Slutsatserna från undersökningen visade följande:

- Lågt U-värde och låga ventiationsflöden i kombination med stora interna värmelaster är förutsättningarna för att en tung byggnad ska vara energieffektivare.
- I en bostad är vinsten med tyngre stomme främst bättre termisk komfort
- Kontor och skolor ges fördelar med tung stomme, både när det gäller termisk komfort och energianvändning

³⁵ Hagentoft, Carl-Eric. *Energieffektivt och god termisk komfort genom värmelagring i byggnaden.*

- Bäst utnyttjande av värmelagringen får man vid materialtjocklekar på 10-15 cm för lättbetong, tegel och betong.
- Ökas den exponerade arean på väggar och golv så ökar värmelagringen.
- Värmeövergångsmotstånd hos exempelvis skivmaterial och golvmattor reducerar värmelagringsförmågan hos byggnaden.

Snålspolande kranar

Genom att begränsa flödet i armaturer för vatten som vattenkranar och duschhandtag kan stora besparingar i vattenanvändning göras. Även snålspolande WC-stolar kan med fördel användas för att spara vatten. Energianvändningen i fastigheten kan på detta vis minskas genom att tappvarmvattenanvändningen minskas vid varje tappställe. När det gäller WC-stolar så är det kallt vatten som sparas, det är dock så att vatten i WC-stolens cistern som används till spolning fylls på med kallt vatten efter en spolning. På grund av att WC-stolarnas cisterner inte är isolerade så värms detta vatten av inomhusluften varvid energianvändningen i toalettutrymmet ökar något. Minskad användning av spolvatten i WC-stolar kan därmed genom snålspolning minska energianvändningen. Enligt Konsumentverket kan ett snålspolande duschmunstycke spara ca 4 % av elanvändningen i en villa med eluppvärmt tappvarmvatten³⁶. Om snålspolande kranar i kök, tvättställ och dusch installeras kan en energibesparing på upp till 40 % uppnås för värmning av tappvarmvatten³⁷.

Individuell mätning

Det traditionella sättet för fastighetsägare att ta betalt för uppvärmning och varmvattenanvändning i flerbostadshus är att fördela fastighetens kostnader för uppvärmning och varmvatten jämnt på fastighetens golvarea. Hyresgästerna debiteras sedan beroende på hur stor golvarea de hyr. Om fastighetsägaren istället tar betalt av respektive hyresgäst för deras faktiska förbrukning så måste varje hyresgästs energianvändning mätas. Detta kallas för individuell mätning och kan innefatta mätning av energi för enbart uppvärmning eller för både uppvärmning och

³⁶ Konsumentverket. *Elspartips*. Internet.

³⁷ Statens Energimyndighet. *Energieffektiva kranar*. Internet.

varmvatten. Att som hyresgäst kunna se på sin hyresavi hur stor del av hyran som består av kostnader för uppvärmning och/eller varmvatten ger ett tydligt incitament för att försöka dra ner på sin energianvändning. En minskad energianvändning leder till en minskad hyreskostnad. För att minska sina hyreskostnader kan man antingen försöka minska sin varmvattenförbrukning eller sänka sitt energibehov för uppvärmning. Hyresgästen kan minska sitt energibehov för uppvärmning genom att minska sina värmeförluster eller genom att sänka inomhustemperaturen. En minskning av värmeförlusterna kan t.ex. uppnås genom att man är försiktigare med att vädra ut varm inomhusluft.³⁸

Undersökningar visar att flerbostadshus där man tillämpar individuell mätning av tappvarmvatten och uppvärmning har ett lägre energibehov jämfört med flerbostadshus utan individuell mätning. Typiska siffror på energibesparing är 10–20 % för uppvärmning och 15–30 % för tappvarmvatten³⁹. Det bör påpekas att studier har visat att individuell mätning ger vissa rättviseproblem om intilliggande lägenheter håller olika rumstemperaturer⁴⁰.

Enligt Statens Energimyndighet bör man inte betrakta individuell mätning som en energibesparingsåtgärd. Individuell mätning bör snarare ses som något som skapar ett mervärde för hyresgästerna genom att dessa ges ett ökat inflytande över sina egna hyreskostnader.

Energiklassning av vitvaror

I ett normalt hushåll på fyra personer används varje år ca 5000 kWh till hushållsel. Hushållsel innefattar all el i hushållet som inte har med ventilation, uppvärmning eller tappvarmvatten att göra. Vid byte till ett nytt kylskåp kan man minska årsförbrukningen med upp till 500 kWh⁴¹. Det är alltså av stor vikt att man använder energieffektiva vitvaror då dessa utgör stora poster i energianvändningen avseende hushållsel. Idag skall alla vitvaror vara EU-märkta ur effektivitetssynpunkt.

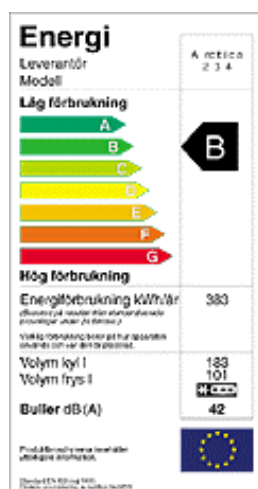
³⁸ Bergsten, Bengt. *Individuell värmemätning i flerbostadshus*

³⁹ Berndtsson, Lennart. *Individuell mätning i Svenska flerbostadshus - en lägesrapport.*

⁴⁰ Blohm A, Hedlund M. *En jämförelse av värmebehov mellan lägenheter med olika rumstemperatur*

⁴¹ Statens Energimyndighet. *Vitvaror och hemelektronik*. Internet.

Märkningen består av en energiklassning A-G där A är mest effektiv och G är minst effektiv. För kylar och frysar har det tillkommit ytterligare två klasser, A+ och A++, där A++ är mest effektiv. Energimärkningen innehåller förutom energiklassningen också uppgifter årlig energi-användning samt andra viktiga egenskaper som volym och hur bra maskinerna torkar, tvättar eller diskar. Kraven på energimärkning omfattar kylar, frysar, tvättmaskiner, torktumlare, diskmaskiner och ugnar.⁴²



Figur 2.10 Energimärkning av vitvaror⁴²

2.1.10 Inomhustemperatur

Innetemperaturen är en av de viktigaste parametrarna man måste uppskatta vid beräkning av uppvärmningsbehovet för en byggnad. Det föreslås t.o.m. i vissa rapporter att en mätning av innetemperaturen skulle ge bättre resultat på värmebehovsberäkningen än vad en mätning av utetemperaturen runt huset skulle göra⁴³. I Figur 2.11 så visas hur den operativa temperaturen påverkar andelen otillfredsställda i en population⁴⁴. Följande beteckningar används i figuren:

⁴² Konsumentverket. *Energimärkning*. Internet.

⁴³ Schulz, Linda. Effektiv, *Normalårskorregering av energibehovet i en byggnader - en jämförelse av två metoder*. 2003

⁴⁴ Jagemar, Lennart. Effektiv. *Individuell reglering av rumsklimat*. 2001

M = Metabolism

1,2 met = Aktiviteten vid kontorsarbete

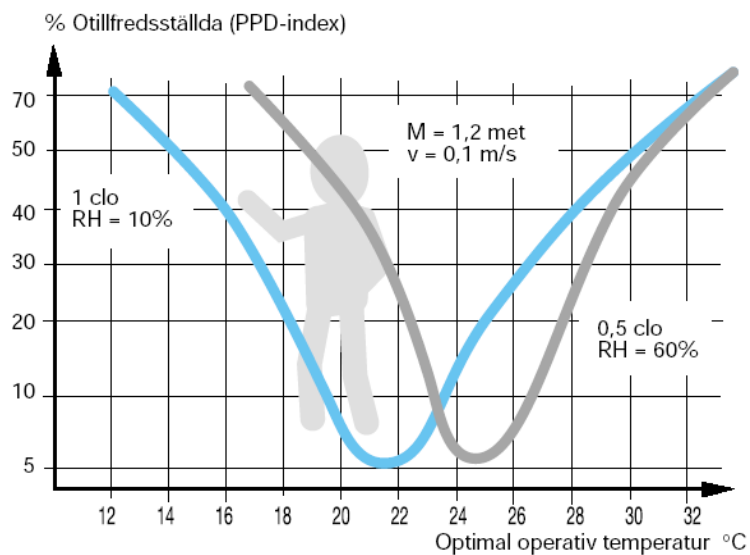
RH = Relativ fuktighet

v = Vindhastighet (drag)

clo = Klädsel

1,0 clo = Normal klädsel

0,5 clo = Lätt sommarklädsel



Figur 2.11 Relation mellan optimal operativ temperatur och andel otillfredsställda i en population.

Andelen otillfredsställda kallas också PPD-index. En viktig observation är att det är omöjligt att komma under ett PPD-index på 5 % i en population.⁴⁵

⁴⁵ Svensson, Anders. *Ventilationsteknik - Del av kursmaterial för Installationsteknik FK*.

2.1.11 Energiberäkningsprogram

Det finns ett antal olika beräkningsprogram för energiberäkningar på den nordiska marknaden. Som vägledning i valet av energiberäkningsprogram användes Bengt Bergstens rapport *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Nedan följer en kort redogörelse för de olika programmen baserad på ovan nämnda rapport.

Bsim2000

Utvecklat av Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark och färdigställt år 2000. Programmet arbetar i Windowsmiljö och innehåller förutom beräkningsmoduler för energianvändning och effektbehov även beräkningsmoduler för simulering av dagsljus och belysning. Bsim2000 är ett så kallat flerzonsprogram vilket innebär att det klarar av att utföra beräkningar av värmetransport mellan flera angränsande rum i en byggnad.

BV² (Byggnadens Värmebalans i Varaktighetsdiagram)

Utvecklat av CIT Energy Management i Sverige och färdigställt 1996. Programmet simulerar energianvändning och effektbehov och utgår till stor del ifrån utomhustemperaturens varaktighet. Beräkningsmodellen är mindre komplex och man kan inte få resultatet timvis över året. Resultatet ges i form av varaktighetsdiagram för byggnadens värme- och kylbehov.

DEROB-LTH

Programmet Dynamic Energy Respons of Buildings (DEROB) är ursprungligen utvecklat vid School of Architecture, University of Texas, USA. Programmet är sedan vidareutvecklat vid Institutionen för Byggnade och Arkitektur vid LTH. DEROB simulerar energianvändning, effektbehov samt luft- och yttemperaturer timvis över året. Programmet kan användas till både bostäder och lokaler, vid både nyproduktion och ombyggnad. DEROB är speciellt inriktat på studier av solinstrålning, solskydd och avskärmning. Detta gör att programmet är särskilt lämpligt för byggnader med mycket glas i fasaden. Flera zoner kan simuleras. Resultatet ges i form av textfiler som exporteras till Excel. Termiskt inomhusklimat kan beräknas via en postprocessor, COMFORT.

EiB (Energi i byggninger)

Utvecklat av Programbyggerne i Norge och färdigställt 1994. Programmet kan simulera energi- och effektbehov för både bostäder och lokaler. Det finns även möjligheter att inkludera lönsamhetsberäkningar. Programmet används vid både nybyggnad och ombyggnad. EiB är tänkt som ett hjälpmedel för att undersöka hur energianvändningen och därmed lönsamheten påverkas av olika val avseende byggnaden och dess installationssystem.

Energikiosken

Utvecklat i ett samarbete mellan ett antal europeiska länder och färdigställt i slutet av 90-talet. Energikiosken är ett internetbaserat energiberäkningsprogram för befintliga enfamiljshus. Programmet är gratis att använda och ger som resultat råd till energibesparande åtgärder.

ENORM 1000

Utvecklat i Sverige av Equa, första versionen introducerades 1988. ENORM 1000 är ett energiberäkningsprogram som jämför det aktuella huset med ett referenshus som precis uppfyller kraven på energihushållning enligt BBR 94. Programmet är i första hand tänkt att användas på befintliga bostadshus (enfamiljs- och flerfamiljshus). I beräkningarna används ett fast beräkningssteg på ett dygn. ENORM 1000 är det mest förekommande energiberäkningsprogrammet i Sverige.

IDA ICE Indoor Climate and Energy

Utvecklat i Sverige av Brisdata (numera Equa) och färdigställt 1998. IDA ICE är ett energiberäkningsprogram för att simulera energianvändning och effektbehov, men även koldioxidhalter och termiskt inomhusklimat. På samma sätt som Bsim2000 (se ovan) är även IDA ICE ett flerzonsprogram. Programmet är mycket komplext och kräver därför en erfaren användare. Olika vvs-tekniska komponenter kan modelleras relativt noggrant och även styr- och reglerfunktioner kan simuleras.

Huset

Utvecklat av Vattenfall och introducerat 1997. Huset är tillgängligt för användning gratis över internet och riktar sig främst till småhusägare

som vill få råd om energieffektivisering. Programmet är helt inriktat på enfamiljshus och beräknar och redovisar den årliga energianvändningen.

OPERA

Utvecklat vid Linköpings Tekniska Högskola och introducerades 1989. Programmet syftar till att kunna optimera energibesparande åtgärder vid ombyggnad och renovering av flerbostadshus. Optimeringen av åtgärderna fokuserar på livscykelkostnaden (LCC). Byggnadens energianvändning fås endast som ett delresultat i LCC-beräkningen.

Villaenergi

Utvecklat av Energivision Stockholm AB och introducerat 1996. Programmet arbetar i MS Excel genom förinspelade makron som styrs via ett menysystem. Villaenergi är helt och hållet inriktat på att beräkna energianvändningen i enfamiljshus.

VIP+

Utvecklat av Skanska och introducerat 1990. VIP+ beräknar energibehovet för bostadshus och jämför det mot ett referenshus som precis uppfyller kraven på energihushållning enligt BBR 94. Programmet är inte utformat för att beräkna effektbehov och bör således inte användas för dimensionering av värme- eller kylsystem. Beräkningsmodellen bygger på timvisa beräkningar av byggnadens energibalans. Klimatdata följer med programmet för ett flertal orter och har genererats i Meteonorm, se Avsnitt 2.1.6. Man kan även infoga egna klimatfiler.

Värmeenergi

Utvecklat av Energivision Stockholm AB och introducerat 2000. Programmet är en vidareutveckling av Villaenergi (se ovan) med skillnaden att Värmeenergi kan användas även för att beräkna energianvändningen i flerbostadshus.

2.1.12 Hus utan värmesystem

Ett hus utan värmesystem definieras som ett hus med så bra klimatskal och så pass effektiv återvinning av frånluften att inget separat värmedistributionssystem krävs. Den värme som måste tillföras byggnaden tillgodoses av internlast, solinstrålning och eftervärmare i tilluften. Behovet av tillskottsvärme skall kunna täckas genom

eftervärmning av tilluften utan att luften recirkuleras och utan att tilluftstemperaturen höjs oacceptabelt mycket. Den värmeeffekt som måste tillföras under kallare perioder ska vara mindre än 10-12 W/m²BRA. Vissa skillnader mellan bostadstyper kan tillåtas. Följande riktvärden gäller för olika bostadstyper⁴⁶:

- 10 W/m²BRA för flerbostadshus
- 11 W/m²BRA för radhus och parhus
- 12 W/m²BRA för småhus

Hela konceptet bygger på idén att man genom att minska effektbehovet minimerar energianvändningen. En bostad på 100 W/m²BRA skulle med ovanstående värden endast behöva 1 kW för att täcka uppvärmningsbehovet under årets kallaste dagar. Detta motsvarar ett uppvärmningsbehov på omkring 15 kWh/m²år.⁴⁷

En viss förvirring förekommer då man talar om hus utan värmesystem och passivhus. Ett passivhus är en byggnad utan värmesystem som uppfyller vissa rekommendationer enligt det tyska passivhaus-konceptet⁴⁸. De rekommendationer som ställs på en byggnad för att det skall kunna bli certifierat som ett "kvalitetskontrollerat passivhus" skiljer sig från ovanstående definition av hus utan värmesystem. Nedan listas de krav som ställs på en byggnad enligt "passivhus-standard"⁴⁹.

- Värmeisolering: U-värden under 0,15 W/m²K, för friliggande enfamiljshus under 0,10 W/m²K.
- Utförande utan köldbryggor med hänsyn till utvändigt mått.
- Genom tryckprovning verifierat mycket god lufttätethet. Luftväxling vid tryckprovning vid 50 Pa tryckdifferens mindre än 0,6 oms/h.

⁴⁶ Sandberg, Eje. *Hus utan värmesystem*.

⁴⁷ Wall, Maria. Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. Energy and Buildings. (in press).

⁴⁸ Passivhaus Institut. Internet

⁴⁹ Passivhaus Institut. *Passive House Checklist*. Internet.

- Fönster med U_g -värden under $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Fönsterkarmar med U_f -värden under $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Högeffektiv värmeåtervinning från ventilationen ($\eta \geq 75 \%$).
- Mycket låga värmeförluster vid uppvärmning och distribution av varmvatten.
- Högeffektivt utnyttjande av elektrisk hushållsström.

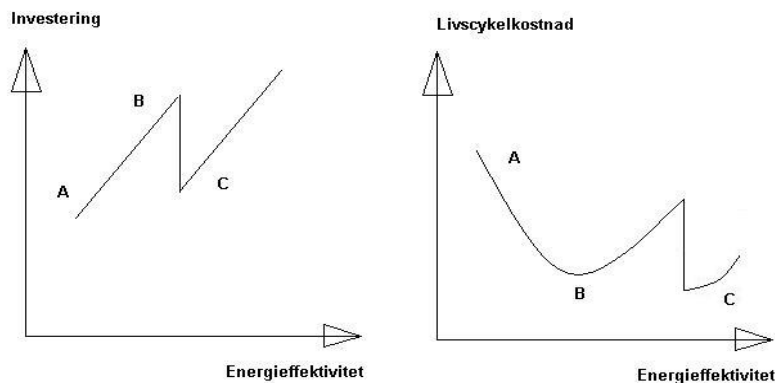
Det räcker dock inte med att uppfylla dessa krav för att göra en byggnad till ett passivhus. Samverkan mellan komponenterna i huset gör det nödvändigt med en integrerad planering och först därigenom kan "passivhus-standarden" uppnås. När man räknemässigt kan bevisa att följande gränsvärden är uppfyllda så kan huset bli ett kvalitetskontrollerat passivhus.

Tabell 2.1 Gränsvärden för kvalitetskontrollerat passivhus.

<i>Karakteristiskt energivärde uppvärmning</i>	$< 15 \text{ kWh/m}^2\text{år}$
<i>Luftväxling vid tryckprovning n_{50}</i>	$< 0,6 \text{ h}^{-1}$
<i>Karakteristiskt energivärde primärenergi</i>	$< 120 \text{ kWh/m}^2\text{år}$

Då dessa gränsvärden är uppfyllda är det oftast möjligt att garantera uppvärmningen av huset genom uppvärmning via ventiationsanläggningen på samma sätt som för hus utan värmesystem.

Investeringsmässigt innebär koncepten att kostnaden för ett traditionellt uppvärmningssystem kan strykas ut kalkylen. Det intressanta i detta är att man genom att investera mer i klimatskal och värmeåtervinning kan komma till en brytpunkt då investeringskostnaderna sjunker eftersom man inte längre behöver något värmesystem⁴⁶. Principen för detta åskådliggörs i Figur 2.12.



Figur 2.12 *Principiell beskrivning av investeringen och livscykelkostnadens variation med energieffektiviteten. A motsvarar konventionellt bygge, B motsvarar "låg-energi hus" och C motsvara ett hus utan värmesystem.*

En handfull projekt av typen "hus utan värmesystem" har idag (2005) byggts i Sverige. Flera projekt är i projekterings- eller uppförande-stadiet. I Tyskland har passivhuskonceptet funnits en längre tid och har ett starkt fäste. Där har i dagsläget omkring 9000 bostäder byggts. Det projekt som fungerat som pilotprojekt för hus utan värmesystem i Sverige är området med 20 energisnåla radhus som byggts i Lindås, 20 km söder om Göteborg.

Radhusen är byggda med ett extremt välisolerat och lufttätt klimatskal samt med värmeåtervinning på frånluften. Även solvärme är installerat för att minska behovet av köpt energi för värmning av tappvarmvatten. Ett urval av data på de tekniska specifikationerna för huset presenteras i Tabell 2.2.⁵⁰

Mätningar på energianvändningen för Lindås-husen visar på en betydligt lägre energianvändning än vad som anses normalt för bostäder. I genomsnitt har husen en total energianvändning på 68 kWh/m²år inkl. hushållsel. Fördelningen av energianvändningen och en jämförelse med energianvändningen för befintlig bebyggelse enligt Energimyndigheten presenteras i Figur 2.14.

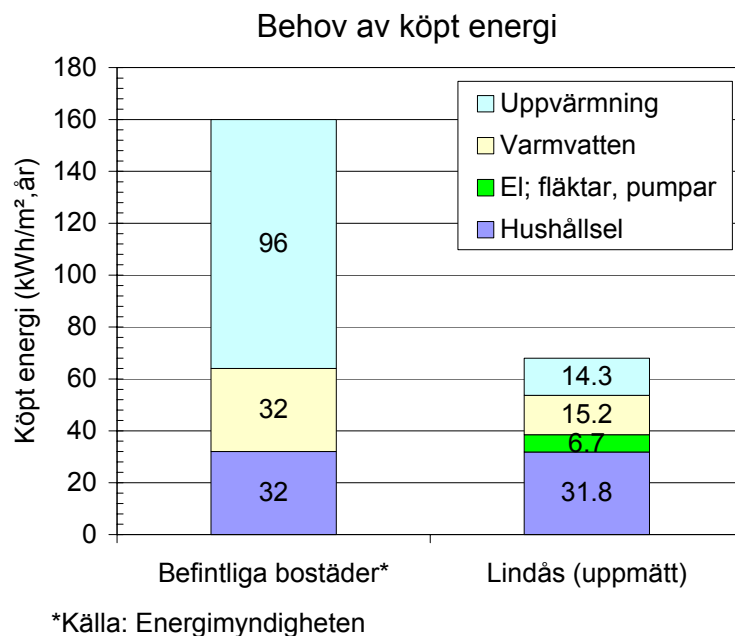
⁵⁰ Formas, EFEM arkitektkontor m.fl. *Hus utan värmesystem - 20 energisnåla radhus i Göteborg*



Figur 2.13 Bostadsområdet med energieffektiva radhus i Lindås

Tabell 2.2 Ett urval av de tekniska specifikationerna för radhusen i Lindås⁵⁰

	<i>Specifikation</i>
Yttervägg	Regelvägg med 43 cm isolering. U-värde: 0,1 W/m ² K
Yttertak	Masonitebalkar med 48 cm isolering. U-värde: 0,08 W/m ² K
Golv	Betongplatta med 25 cm underliggande isolering. U-värde: 0,09 W/m ² K
Fönster	Treglasfönster med två lågmissionsskikt och kryptonfyllning. U-värde: 0,85 W/m ² K
Ytterdörr	U-värde 0,80 W/m ² K
Återvinningsaggregat	Motströmsvärmväxlare med uppmätt värmeåtervinning på 75–80 %
Solvärme	5 m ² solpanel och ackumulatortank på 500 l per lägenhet
Lufttäthet	Uppmätt lufttäthet på 0,3 l/sm ² vid 50 Pa
Uppvärmning	Värmebatteri i tilluften på 900 W i varje lägenhet
Ventilation	0,5 oms/h



Figur 2.14 Fördelning av energianvändning och en jämförelse mot befintlig bebyggelse för radhusen i Lindås.⁵¹

2.2 Ekonomi

I detta kapitel ska den teoretiska bakgrunden till de kalkyler som genomförts i examensarbetet presenteras. Flera metoder för att bestämma och bedöma kostnader under en byggnads livslängd kommer att presenteras. Vid energieffektiviserande åtgärder i en byggnad kan man komma ner i mycket låg energianvändning genom införande av exempelvis avancerade installationssystem, mycket isolering i väggar, tak och golv och extremt bra fönster. Genom användning av avancerad teknik kan man i princip eliminera energibehovet för uppvärmning. Avancerad teknik som denna är ofta dyrare än konventionell teknik och grundinvesteringarna i byggnaden blir högre än normalt. Man måste på något vis bedöma om en hög grundinvestering kan vara lönsam genom framtida besparingar i energianvändning.

⁵¹ Wall, Maria. Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. Energy and Buildings. (in press).

2.2.1 Investeringskalkyl

En investeringskalkyl genomförs av flera skäl inom byggbranschen. Den används idag framförallt för att ge ett beslutsunderlag åt förvaltaren när det gäller att uppskatta framtida kostnader. Investeringskalkylen används för att bedöma vilka ekonomiska konsekvenser en investering kommer att få på lång sikt. En investeringskalkyl kan användas på olika sätt beroende på vem som gör kalkylen. Vissa aktörer är t.ex. intresserade av att hålla nere investeringskostnaderna medan andra aktörer är intresserade av ett mer långsiktigt ägande och därmed av att minimera drifts- och underhållskostnaderna. Exempel på detta kan vara en beställare som bygger för att sälja, där vill man hålla nere investeringskostnaderna för att kunna bygga till låg kostnad och sälja med vinst. Ett annat exempel är en fastighetsägare som ofta har ett annat perspektiv om denne siktar på ett långsiktigt ägande och hellre köper en dyrare byggnad om den är billigare med avseende på drifts- och underhållskostnader.

För att jämföra en dyrare byggnad med lägre drifts- och underhållskostnader mot en billigare byggnad med högre drifts- och underhållskostnader kan man studera byggnadens totalkostnad eller totalvinst under en längre tidsperiod. Om denna tidsperiod är lika med byggnadens livslängd så talar man om livscykelkalkylering. Vid nybyggnad kan det vara aktuellt att öka grundinvesteringen för att på så sätt minska drifts- och underhållskostnaderna under byggnadens livslängd. En investeringskalkyl i form av en livscykeleconomisk bedömning kan då vara aktuell för att bedöma vilken investering som ger de lägsta kostnaderna på sikt. Ur energisynpunkt kan det t.ex. handla om hur stora investeringar som är motiverade att lägga ner i form av förbättringar av klimatskalet för att dra ner driftskostnaderna i form av el- eller fjärrvärmekostnader. Denna analys kan i huvudsak göras på två olika sätt. Antingen maximeras lönsamheten eller så minimeras kostnaderna⁵². Ett enklare alternativ till dessa analyser kallas payoff-metoden⁵³ och beskrivs också nedan. När man minimerar kostnaderna är det självklart att man måste bestämma inom vilka ramar som minimeringen får ske. Det är annars lätt att hamna i en situation där kostnaderna minimeras till nackdel för byggnadens kvalitet, vilket

⁵² Bejrum, Håkan. *Livscykeleconomiska kalkyler för byggnader och fastigheter* 1991

⁵³ Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund -energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.*

inte alltid är önskvärt. När det handlar om energieffektivisering kan en gränsdragning t.ex. vara att man inte accepterar några åtgärder som påverkar den termiska komforten i byggnaden.

Inom livscykelkalkylering används en hel del termer som är viktiga att känna till. Kalkyler för att beräkna vinst benämns *LCP*, eller *Life Cycle Profit* och kalkyler för att beräkna kostnader benämns *LCC*, eller *Life Cycle Cost*. Sammantaget kallas dessa kalkyler för *LCE*, eller *Life Cycle Economics*. Motsvarande svenska beteckningar är *livscykelvinst*, *livscykelkostnad* respektive *livscykelekonomi*. Hädanefter kommer företrädesvis de engelska beteckningarna att användas.

2.2.2 Payoff-metoden

Metoden kallas även paybackmetoden vilket torde vara ett mer passande namn med hänsyn till hur metoden är tänkt att fungera. Payoffmetoden ger som resultat hur lång tid det tar för investeringen att betala sig själv.

För att använda metoden krävs kännedom om följande parametrar

- Merkostnad för investering i energibesparande åtgärd (kr)
- Energibesparing (kWh)
- Energipris (kr/kWh)

Återbetalningstiden beräknas enligt följande:

$$\text{Återbetalningstid} = \frac{\text{Kostnad för investering}}{\text{Energibesparing}}$$

Metoden är väldigt enkel att använda och används i huvudsak som en första grovsållningsmetod när det gäller att bedöma olika investeringars lönsamhet. En tumregel som man brukar använda vid grovsållning av energieffektiviserande investeringar är att återbetalningstiden skall vara kortare än hälften av investeringens livslängd. En nackdel med metoden är att den inte tar hänsyn till den energibesparing som investeringen

genererar efter återbetalningstiden. På det sättet underskattar man investeringens eventuella lönsamhet på lång sikt⁵⁴.

2.2.3 LCP, Life Cycle Profit

En LCP utgör summan av alla framtida driftsnetton, eller med andra ord lönsamheten för en investering under hela dess livslängd. En viktig faktor för att kunna göra en bedömning om framtida kostnader är att kunna översätta denna kostnad till dagens värde. Den investering man gör i byggnaden idag skulle man lika gärna kunna placera på ett bankkonto, där detta belopp kommer att öka i och med ränteutdelningen. För att komma runt problematiken med inflationen använder man sig av det så kallade *nuvärdet* som beskriver beloppen med ett fast prisläge utifrån uppskattade räntesatser. En inkomst om ett år på 100 kronor skulle således, med en räntesats på 10 % få ett nuvärde på $100/1,1 = 90,91$ kronor. Nuvärdet för en LCP kan beräknas med följande formel⁵⁵:

$$P = \sum_{t=0}^n \frac{I_t - U_t}{(1+r)^t} - A + \frac{R_n}{(1+r)^n}$$

där: P = livscykelvinst

t = tidsvariabel

I_t = intäkter år t

U_t = utgifter år t (drift och underhåll)

$I_t - U_t$ = driftnetto år t

A = anskaffningskostnad

n = ekonomisk livslängd

R_n = restvärde efter n år

r = real kalkylränta

⁵⁴ Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund -energismålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.*

⁵⁵ Bejrum, Håkan. M.fl. *Det levande husets ekonomi - livscykeleconomiska perspektiv på drift och förnyelse* 1996

Kalkylen tar i denna form inte hänsyn till skatter, subventioner och liknande incitament, men beroende på hur noggrann beräkningen behöver vara kan modellen kompletteras i dessa avseenden. Formeln kan också anpassas för att gälla mer specifikt för byggnader och fastigheter⁵⁶:

$$P = \sum_{t=0}^n \underbrace{(H_t - D_t - U_t) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}}_{\text{Nuvärde av driftnetto}} + \underbrace{R_n \cdot \frac{1}{(1+r)^n}}_{\text{Nuvärde av restvärde}} - \underbrace{I_0}_{\text{Grundinvestering}}$$

där: H_t = årlig hyresintäkt

D_t = årlig driftkostnad

U_t = årlig underhållskostnad

I_0 = grundinvestering

I övrigt beteckningar enligt ovan.

2.2.4 LCC, Life Cycle Cost

Livscykelkostnaden för en byggnadsdel innebär summan av alla kostnader kopplade till produkten under hela dess livscykel. Kostnaderna som ingår kan vara t.ex. kostnader för tillverkning, drift, underhåll och deponering. Kostnader som antas inträffa i framtiden räknas om till ett nuvärde med hjälp av den reala kalkylräntan. Uppskattningen av de framtida kostnaderna och kalkylräntans inverkan medför att en LCC-kalkyl alltid innehåller ett visst mått av osäkerhet.⁵⁷ Med reala parametrar, som t.ex. den reala kalkylräntan, menas att kalkylräntan anges utöver inflationen⁵⁸.

⁵⁶ Bejrum, Håkan. *Livscykeleconomiska kalkyler för byggnader och fastigheter* 1991

⁵⁷ Johansson, Dennis. *Modelling LCC for Different Indoor Climate Systems*. 2005

⁵⁸ Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund -energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik*.

LCC-kalkylen kan användas när man inte känner till eller inte kan uppskatta framtida intäkter. Någon lönsamhet kan då givetvis inte beräknas. När man räknar på enbart kostnader så kommer heller inte något restvärde att ingå i kalkylen eftersom brukstiden sammanfaller med livslängden. Med livslängd avses den tid som en produkt bibehåller sin tekniska och ekonomiska funktion medan brukstid är produktens praktiska användningstid⁵⁹.

För att bedöma om en energieffektiviserande åtgärd är lönsam genom LCC-analys krävs kännedom om följande parametrar.

- Merkostnad för investering
- Investeringens energibesparing
- Investeringens livslängd
- Reala kalkylräntan
- Energipris
- Real energiprisökning
- Underhållskostnader

LCC kan beräknas med följande formel⁶⁰:

$$K_n = \sum_{t=0}^n \frac{U_t}{(1+r)^t} + A$$

där: A = anskaffningskostnad

K_n = livscykelkostnad under tiden n år

U_t = kostnad år t (drift, underhåll)

r = real kalkylränta

⁵⁹ Bejrum, Håkan. *Livscykeleekonomiska kalkyler för byggnader och fastigheter* 1991

⁶⁰ Bejrum, Håkan. M.fl. *Det levande husets ekonomi - livscykeleekonomiska perspektiv på drift och förnyelse* 1996

På samma sätt som för LCP-kalkylen kan formeln förtydligas för att gälla mer specifikt för byggnader och fastigheter:

$$K_n = \sum_{t=0}^n \underbrace{(D_t + U_t) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}}_{\substack{\text{Nuvärde} \\ \text{drift+underhåll}}} + \underbrace{I_0}_{\text{Grundinvestering}}$$

Beteckningar enligt föregående avsnitt.

För att ta med inverkan av energiprisökningen i livscykelkostnadsberäkningen så måste variabeln D_t i ovanstående ekvation utvecklas enligt nedanstående ekvation.

$$D_t = E \cdot \alpha (1 + \beta)^t$$

där: D_t = Driftskostnad

E = Årligt energibehov

= Energipris

= Energiprisökning

Med hänsyn tagen till energiprisökningen fås följande ekvation.

$$K_n = \sum_{t=0}^n \underbrace{(E \cdot \alpha (1 + \beta)^t + U_t) \cdot \frac{1}{(1+r)^t}}_{\substack{\text{Nuvärde} \\ \text{drift+underhåll}}} + \underbrace{I_0}_{\text{Grundinvestering}}$$

3 Metod

I detta kapitel presenteras den metodik som har använts i studien. Kapitlet inleds med en allmän beskrivning av tillvägagångssättet och sedan en kort metodbeskrivning av litteraturstudien i föregående kapitel. Efter det presenteras och motiveras vilka beräkningsmetoder som använts för att beräkna byggnadens energianvändning och dess ekonomiska konsekvenser. Kapitlet avslutas med en kort diskussion kring valet av metoder.

3.1 Allmänt

I studien utreds om det finns några generella skillnader eller likheter mellan olika hustyper i olika svenska klimat vad gäller införande av energieffektiviserande åtgärder. Studien avser bostäder vid nyproduktion. För att utreda detta studeras tre principiellt olika hustyper som valts ut för att ingå i studien. Alla dessa tre hustyper är aktuella projekt hos Skanska. De tre hustyperna listas nedan.

- Ett småhus.
- Ett mindre flerbostadshus i vinkel med sex lägenheter.
- Ett större flerbostadshus med 56 lägenheter.

Utöver studierna av de tre hustyperna ovan så genomförs en sökning efter tidigare studier inom samma område för att ge den egna studien en ökad bredd.

3.2 Litteraturstudie

Som en del i examensarbetet har en omfattande litteraturstudie genomförts. Studien har genomförts i huvudsak i två delar. Dels en studie där fördjupande kunskaper inom de berörda områdena så som energiberäkningar och ekonomiska kalkyler har inhämtats och dels en genomsökning av de arbeten och studier som genomförts tidigare inom

samma område. Stor vikt har lagts vid att studera de arbeten som genomförts tidigare i syfte att ta tillvara på de resultat som presenterats där och sedan använda dessa som komplement till vår undersökning. Framförallt är detta viktigt för att kunna identifiera skillnader mellan olika hustyper vad gäller energianvändning och energieffektivisering utan att repetera simuleringar som redan är genomförda.

De kunskaper som inhämtats inom områdena energi och ekonomi presenteras i kapitel 2. Resultaten från sökningarna efter tidigare genomförda undersökningar och studierna av dessa presenteras och värderas i kapitel 4.

3.3 Energianvändning i byggnader

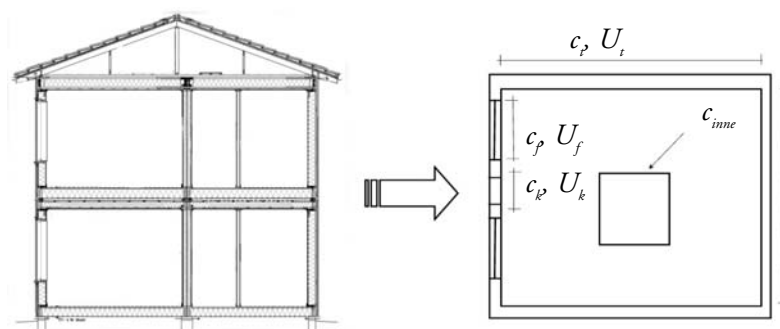
3.3.1 Val av beräkningsmetod

Av de beräkningsmodeller som beskrivs i Avsnitt 2.1.3 så används här en dynamisk modell där hänsyn tas till byggnadens värmelagring. Internlaster har beräknats utifrån antaganden om specifika brukarvanor hos de boende. Solinstrålning och intern termik tas hänsyn till med hjälp av ett beräkningsprogram som för samman dessa parametrar med de övriga egenskaperna hos byggnaden.

Modelleringen av klimatskalet har genomförts på det sätt som principiellt visas i Figur 3.1. Värmekapaciteten hos de olika inre byggnadsdelarna läggs in i beräkningsmodellen som en summa för att ge en mer rättvis bild av byggnadens faktiska värmekapacitet. Ytterväggs U-värde har beräknats enligt metoden föreskriven i BBR och dess area bestäms av husets "innerhöjd", inklusive ev. mellanbjälklag, samt av innermått på den uppvärmda arean på golv och tak. Byggnadsdelar som har lägre värmegenomgångsmotstånd än övrig vägg tas inte med i ytterväggsarean, utan beräknas med ett separat U-värde och en separat area. Till dessa byggnadsdelar hör dörrar och fönster. Bestämningar av U-värden görs antingen ur katalogdata från tillverkare eller med hjälp av inbyggda funktioner hos energiberäkningsprogrammet. Varje byggnadsdel förses också med en representativ värmekapacitet.

Vid energiberäkningar av byggnader är det vanligt att man inte tar hänsyn till försvagningar i klimatskalets värmeisolerande förmåga i form

av köldbryggor⁶¹. I denna studie tas dock noggrann hänsyn till försvagningar i klimatskalet. Detta görs genom att ritningarna för de olika hustyperna i studien detaljstuderats i syfte att identifiera köldbryggor. Detaljer som misstänks kunna utgöra köldbryggor studeras sedan i datorprogrammen HEAT2⁶² och HEAT3. Utifrån resultaten av dessa detaljstudier bestäms ett medel U-värde för köldbryggorna med en tillhörande representativ area för varje hustyp. Köldbryggornas medel U-värde med tillhörande area används sedan som indata till datorsimuleringar av energibehovet. Köldbryggornas inverkan beräknas för olika simuleringsfall för de olika hustyperna beroende på att husens ytterväggar har förändrats genom tilläggsisolering. Resultaten från studierna av köldbryggorna i de olika hustyperna redovisas i BILAGA B.



Figur 3.1 Principiell beräkningsmodell. Beteckningen c motsvarar värmekapaciteten och U motsvarar värmeledningsförmågan (U-värdet). Index t , f , k och v representerar tak, fönster, köldbrygga och vägg.

3.3.2 Val av energiberäkningsprogram

De energiberäkningar som har genomförts inom ramen för detta examensarbete syftar till att undersöka hur olika val i byggnadens utformning påverkar dess energianvändning. För att hitta det energi-

⁶¹ Almgren, Anders. Skanska Teknik. Personlig kommunikation.

⁶² Datorprogrammen HEAT2, ver. 6.0 och HEAT3, ver. 4.0 är utvecklade av Thomas Blomberg. Avdelningen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola. www.blocon.se

beräkningsprogram som tjänade examensarbetets syfte på bästa sätt upprättades följande kravspecifikation.

- Då många simuleringar skall genomföras är det ett krav att tiden för en körning är kort.
- Det måste vara enkelt att ändra indata, exempelvis fönster måste gå att byta utan att hela modellen måste göras om.
- Resultatet måste kunna exporteras till Excel för redovisning i diagram och vidare analys i LCC-studier.
- Programmet får inte ta alltför lång tid att lära sig. Dessutom måste det finnas tillgång till support och användarmanual.
- För att erhålla hög noggrannhet i resultatet är det viktigt att energianvändningen beräknas med hög upplösning, ju högre desto bättre, dock inte på bekostnad av tiden för en simulering.
- Programmet måste vara verifierat med gott resultat.
- Både enfamiljshus och flerfamiljshus måste kunna behandlas i programmet.
- Programmet skall ta hänsyn till värmelagring i stomme och solinstrålning.
- Det måste finnas tillgång till klimatdata för tre orter i Sverige, en i söder, en i mellersta Sverige och en i norra Sverige.

Av de listade programmen i Avsnitt 2.1.11 så är Energikiosken, Huset och Villaenergi endast anpassade för enfamiljshus. OPERA är främst inriktat på LCC-studier vid ombyggnad och renovering. Bsim2000 och IDA ICE verkar vara onödigt komplicerade och komplexa då många simuleringar skall genomföras. ENORM 1000 har ett fast beräkningssteg på ett dygn vilket bedöms vara för låg upplösning. Dessutom finns det undersökningar som tyder på att ENORM 1000 underskattar energibehovet över året, se exempelvis *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö (Nilsson 2003)*. EiB innehåller inga klimatdata för Sverige, dessa måste skrivas in för hand, vilket är mycket tidskrävande. Värmeenergi är främst inriktat på energi-

effektiviserande åtgärder i befintlig bebyggelse och lämpar sig därför inte vid nyproduktion. BV² ger som resultat byggnadens värme- och kylbehov i varaktighetsdiagram, vilket kräver ytterligare beräkningar för att visa byggnadens energibehov. Det innebär mycket extra arbete som kan undvikas vid val av ett mer lämpat program. De program som återstår att välja bland är således VIP+ och DEROB. Av dessa två är VIP+ mer användarvänligt, dessutom är det lättare att simulera olika typer av installationssystem i VIP+. Då olika typer av installations-system skall simuleras faller valet av energiberäkningsprogram på VIP+.

3.3.3 Verifiering och känslighetsanalys

I detta examensarbete har olika projekt som är byggda, under produktion eller under projektering i Skanskas regi studeras genom energisimuleringar. För att säkerhetsställa att grundmodellen varit korrekt har en verifierande jämförelse gjorts mot byggda projekt och olika känslighetsanalyser har genomförts. Dessa har i huvudsak genomförts på ett av de studerade objekten för att säkerhetsställa att den simulerade energianvändningen verkar rimlig.

Känslighetsanalysen genomfördes som en parameterstudie där utvalda egenskaper och förutsättningar varierades för att se vilken betydelse dessa har för energianvändningen.

3.4 Ekonomi

3.4.1 Allmänt

Som beskrivs i avsnitt 2.2 så är det viktigt att man ser på byggnadens ekonomi ur ett långsiktigt perspektiv där hänsyn tas till framtida energikostnader. I denna studie har detta gjorts genom analys av betalningsflöden för de effektiviserande åtgärder som studeras. I analysen tas hänsyn till åtgärdens investeringskostnad, drift- och underhållskostnad samt dess sparpotential med avseende på minskade kostnader för energianvändning. Det är denna analys som ligger till grund för studiens resultat i form av vilka energieffektiviserande åtgärder man bör satsa på i projekteringsstadiet för att uppnå energieffektiva och ekonomiskt hållbara lösningar.

3.4.2 Val av investeringskalkyl

Avsikten med denna studie är att bedöma lönsamheten i olika energieffektiviserande åtgärder. Payoffmetoden bedöms vara alltför osäker då den inte tar hänsyn till åtgärdernas besparing efter återbetalningstiden. LCC- och LCP-analyser ger ett mer rättvisande resultat eftersom dessa metoder tar hänsyn till åtgärdernas livslängd, avkastningskrav och prisökningar⁶³. Att beräkna hur mycket inkomsterna för en fastighetsägare kommer att öka genom energieffektiviserande åtgärder med en LCP-analys är onödigt komplicerat och tjänar inte studiens syfte. Syftet med studien är ju som tidigare beskrivits att finna ekonomiskt hållbara lösningar för energieffektivisering, inte att öka fastighetens ekonomiska avkastning. För att bedöma om en energieffektiviserande åtgärd är ekonomiskt hållbar räcker det med att studera om byggnadens LCC efter genomförd åtgärd är lägre än byggnadens LCC före genomförd åtgärd. Detta görs enklast genom att beräkna skillnaden i LCC för byggnaden före och efter att en energieffektiviserande åtgärd genomförs. För att detta skall vara möjligt så definieras ett grundfall där byggnadens tekniska utformning innan genomförande av åtgärd beskrivs. Hur de olika byggnaderna i studien är utformade i grundfallen beskrivs i kapitel 5.2. För varje energieffektiviserande åtgärd som studerats beräknas byggnadens LCC under den studerade åtgärdens livslängd med hänsyn tagen till åtgärdens merkostnader avseende investering och ökade eller minskade drifts- och underhållskostnader. Därefter subtraheras LCC för byggnaden i grundfallet under samma tidsperiod. Resultatet av detta blir skillnaden i LCC under den studerade åtgärdens förväntade livslängd jämfört med byggnadens LCC utan genomförd åtgärd. Ett negativt resultat innebär då en minskad totalkostnad för byggnaden under åtgärdens livslängd. Att jämföra skillnaden i LCC innebär att grundinvesteringen i byggnaden inte behöver tas med i beräkningen, det enda som behövs för beräkningens skull är investeringens merkostnad, dess energibesparing och eventuella förändringar i underhållskostnader.

Då livscykelkostnadsanalyser används behöver ingen hänsyn tas till framtida inkomster. Dessutom är det alltför tidskrävande att genomföra LCP-analyser då många olika åtgärder studeras. Metoden som används är således livscykelkostnadsmetoden.

⁶³ Warfvinge, C. Kv. Jöns Ols i Lund -energismålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.

3.4.3 Känslighetsanalys

Vid uppskattning av framtida kostnader tillkommer alltid vissa osäkerheter. För LCC-kalkyler är det framförallt osäkerheten i bedömningen av energiprisökningen som är av stor betydelse. För att ta hänsyn till denna osäkerhet genomförs en känslighetsanalys. Detta innebär att energiprisökningen varieras varefter en bedömning görs om lönsamheten är stabil eller om den helt försvinner och ger en ökad kostnad.

I detta arbete studeras även vad övriga inparametrar har för inverkan på resultatet från LCC-kalkylen. Resultatet i en LCC-kalkyl studeras efter förändringar av kalkylräntan, investeringskostnaden och energianvändningen. Detta för att belysa vilken inverkan ändringar i dessa inparametrar har på resultatet.

3.5 Val av åtgärder

Vid valet av åtgärder som simulerats så har följande urvalskriterier används för att uppfylla studiens syfte:

- Åtgärderna skall vara applicerbara på de studerade objekten.
- De simulerade åtgärderna skall verifiera och komplettera tidigare undersökningar.
- Åtgärder på både klimatskal och installationer skall simuleras.
- Både åtgärder som påverkar behovet av köpt energi och effektbehovet skall simuleras.
- Åtgärderna skall vara tekniskt beprövade.
- Åtgärder av både teknisk och planeringsmässig karaktär skall studeras.
- Åtgärderna får inte påverka inomhusklimatet och boendemiljön på ett sådant sätt att kvaliteten på byggnaden försämras.

Åtgärderna har simulerats dels enskilt och dels som kombinationer. De enskilda åtgärderna har simulerats först varpå de kombinerade åtgärderna valts ut efter följande kriterier:

Kombinationer av:

- Åtgärder på klimatskalet
- Åtgärder på installationerna
- Åtgärder på klimatskal och installationer

Vilka enskilda åtgärder som kombinerats är fastlagt utifrån de enskilda åtgärdernas potential, både ur energi- och kostnadsbesparingssynpunkt.

3.6 Metodik för "Hus utan värmesystem"

För att inte utesluta några metoder för att minimera driftkostnaderna så har konceptet "Hus utan värmesystem"/ Passivhus tagits med som en del i denna studie. Den metodik som använts för de övriga energieffektiviserande åtgärderna är inte direkt tillämpbar på denna hustyp eftersom de investeringar som krävs är svåra att beräkna som tilläggskostnader utifrån ett grundfall. Dels för att åtgärderna är många till antalet och dels för att byggkostnaderna för varje enskild byggnadsdel är svår att uppskatta då hus utan värmesystem inte har byggts i någon större skala. Av denna anledning kommer "Hus utan värmesystem" att behandlas annorlunda och därför också diskuteras parallellt med de övriga åtgärderna.

Metodiken som används för att komma runt ovan nämnda problem innebär i princip att beräkningen utförs baklänges. I stället för att beräkna investeringar utöver grundfallet så beräknas driftskostnaden för passivhuset. Skillnaden i driftskostnad mellan grundfallet och passivhuset (för en viss beräkningsperiod) kan då tolkas som den tilläggskostnad som är acceptabel för ett passivhus om livscykelkostnaden inte får bli högre än i grundfallet. Denna tilläggskostnad kan sedan studeras för att se om det är rimligt att utföra de nödvändiga energieffektiva åtgärderna. Med andra ord skall energibesparingen finansiera merkostnaderna för passivhuset.

För att studien av passivhuskonceptet inte skulle bli för spekulativ så studerades endast ett mindre flerbostadshus, eftersom de hus utan värmesystem som byggs är av den typen (Lindås, Glumslöv). I övrigt sker beräkningarna enligt de principer som beskrivs i Avsnitt 3.3.1.

3.7 Diskussion av vald metod

För att studera ekonomiska konsekvenser av energieffektiviserande åtgärder används livscykelkostnadsmetoden. Egentligen så innebär LCC att man studerar t.ex. ett hus med tillhörande investeringskostnader samt drifts- och underhållskostnader under hela dess livslängd. I denna studie används en begränsad form av LCC-kalkylering där hänsyn tas till investeringskostnad i en enstaka energieffektiviserande åtgärd (t.ex. en frånluftsvärmepump) medan hela byggnadens energianvändning inkluderas i kalkylen. Detta innebär att man egentligen genomför en jämförelse av husets energikostnader i ett grundfall och husets energikostnader inklusive en merinvestering med tillhörande drifts- och underhållskostnader som sänker energikostnaden. Kalkylperioden som används är då merinvesteringens livslängd. Alla framtida kostnader räknas om till en nusumma. Totalt sett innebär detta beräkningsförfarande att man egentligen inte genomför en LCC-analys i dess traditionella bemärkelse som beskrivs i avsnitt 2.2.4, utan en slags begränsad kostnadsjämförelse. I följande rapport kommer ändå begreppet livscykelkostnad (LCC) att användas.

4 Tidigare undersökningar

I detta kapitel presenteras resultaten av sökningarna efter tidigare genomförda undersökningar samt studierna av dessa. Endast de undersökningar som är av stor relevans för vår studie har tagits med och sammanställts i detta kapitel. Kapitlet avslutas med en sammanställning av de energieffektiviserande åtgärder som visat sig vara mest lönsamma för de olika hustyperna. Undersökningarna delas upp efter hustyp och rubriken för respektive undersökning återger studiens titel eller en del av studiens titel.

4.1 Flerbostadshus

4.1.1 Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda

Undersökningen utgörs av ett examensarbete⁶⁴ (20p) utfört vid Avdelningen för Byggnadsekonomi och Avdelningen för Energi och Byggnadsdesign vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Skanska Teknik i Malmö. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del har plockats ut.

Examensarbetet syftade till att studera hur en investeringsbedömning kunde förbättras med avseende på driftskostnader. Driftskostnaderna beräknades genom energisimuleringar istället för användning av schablonvärden för att avgöra om energieffektiva byggkomponenter kunde utgöra ett konkurrenskraftigt alternativ till standardlösningar.

Objektet som studerades var ett åttavånings punkthus på 2476 m²BRA med 32 lägenheter. Byggnaden har en stomme av prefabricerade betongelement med bärande ytterväggar av sandwichelement. Bjälklagen är av HDF-typ och grunden är platta på mark. Taket är ett

⁶⁴ Andersson, Sara. Nordström, Johanna. *Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda*.

prefabricerat sadeltak med stomme av stål och täckning av plåt. Husets balkonger är fristående från stommen för att undvika köldbryggor. Fönsterarean utgör ca 21 % av den totala omslutningsarean och fönstren har ett U-värde på 1,3 W/m²K. Husets ventilationssystem utgörs av ett frånluftssystem med frånluftsvärmepump för återvinning av värme till radiatorkretsen. Vid energiberäkningarna användes klimatdata från Karlstad.

Simuleringar genomfördes för att få fram behovet av köpt energi för byggnaden med utformning enligt bygghandlingar. Därefter identifierades ett antal åtgärder för energieffektivisering. Dessa åtgärder simulerades sedan i energiberäkningsprogrammet VIP+. De åtgärder som undersöktes framgår av nedanstående lista.

- Utökad isolering i ytterväggar, utökad från 200 mm till 300 mm mineralull
- Bättre fönster med U-värde 1,0 W/m²K samt 0,8 W/m²K
- Utbyte av betong i ytterväggar mot lättballastbetong
- Individuell mätning av värme och tappvarmvatten
- Ventilation av FTX-typ

De energieffektiviserande åtgärderna har först simulerats var för sig, därefter har olika kombinationer av åtgärder simulerats.

Energianvändningen för de olika studerade åtgärderna ger upphov till en driftskostnad som sätts in i en investeringskalkyl. Därefter jämförs de olika åtgärderna i fråga om lönsamhet.

Resultaten visar att individuell mätning av energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten är den åtgärd som enskilt ger den bästa lönsamheten. Även byte av fönster till fönster med både U-värde 1,0 och 0,8 W/m²K visar sig vara lönsamt.

4.1.2 Energioptimering av flerbostadshus – En LCC-studie av ett nybyggnadsprojekt i Sannegårdshamnen

Undersökningen utgörs av ett examensarbete⁶⁵ (11p) utfört vid Institutionen för Byggt teknik vid Chalmers Lindholmen i Göteborg. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del har plockats ut.

Examensarbetet syftade till att optimera en planerad byggnad med avseende på energi och livscykelekonomi. Arbetet utfördes efter en förfrågan av Norra Älvstranden Utveckling AB. Tyngdpunkten i undersökningen var att försöka hitta det klimatskal som integrerat med installationssystemen blev mest lönsamt att bygga med hänsyn till energi- och byggkostnader. Man ville även undersöka vilken mängd samt vilken typ av fönster som var optimalt.

Den undersökta byggnaden är ett punkthus på 13 våningar i Östra Eriksberg i Göteborg. Byggnaden har en stomme av betong, utfackningsväggar av betong i öster och väster och lätta utfackningsväggar av trä i norr och söder. Byggnaden har ett vattenburet värmesystem. Placering av fönster har antagits utifrån planskisser från arkitektkontoret som ritat byggnaden och det samma gäller för areor och volymer för huset.

För att avgöra vilken utformning av byggnaden som var optimal så användes energisimuleringsprogrammet BV² och livscykelkostnadsberäkningar (LCC). Förutsättningarna för LCC-beräkningarna är följande:

- | | |
|------------------------|------------|
| • Kalkylränta | 5 % |
| • Kalkylperiod | 50 år |
| • Elprisökning | 2 % |
| • Fjärrvärmeprisökning | 1,5 % |
| • Elpris | 58 öre/kWh |
| • Fjärrvärmepris | 43 öre/kWh |

⁶⁵ Lindahl, Maria. Utbult, Magnus. Wärmsjö, Per. *Energioptimering av flerbostadshus - En LCC-studie av ett nybyggnadsprojekt i Sannegårdshamnen.*

Datorprogrammet TeknoSim har använts för att kontrollera att de åtgärder som tas fram ger ett rimligt inomhusklimat. I examensarbetet ingick att undersöka följande olika åtgärder på klimatskalet:

- Ökad isolering
- Bättre U-värden på fönster
- Placering av fönster
- Förändrad fönsterarea

De ventilationssystem som undersökts är:

- Frånluftssystem
- FTX-system

Man har även undersökt olika värmesystem:

- Fjärrvärme
- Bergvärmepump
- Kombination av fjärrvärme och frånluftsvärmepump

Vid simuleringarna med ökad isolering i väggarna finner man att inga åtgärder är lönsamma om detaljplanen eller liknande låser byggnadens yttermått, eftersom väggen då inkräktar på den uthyrningsbara arean. Bortser man från detta kan man tillgodoräkna sig en lägre kostnad om man tilläggsisolerar betongväggarna något. En tilläggsisolering på utfackningsväggarna skulle dock inte bli lönsam. Det alternativ som skulle få lägst LCC skulle i så fall vara utfackningsväggar med 145 mm regler och 50 mm putsskiva och betongväggar med 200 mm betong och 180 mm cellplast.

När det gäller fönster finner man att fönster med $U\text{-värde} = 1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$, ~20 % total fönsterarea och ~10 % fönsterarea mot norr ger den lägsta livscykelkostnaden.

Jämförelsen mellan de olika ventilationssystemen visar att skillnaden i LCC på 50 år är marginell mellan ett F- och ett FTX-system. F-systemet visar sig vara något billigare och då har ingen hänsyn tagits till ökade underhållskostnader för FTX-systemet. Skillnaden mellan de olika värmesystemen är tydligare där bergvärmepumpen har en livscykelkostnad som är 15 % lägre än fjärrvärmen på 50 år. Frånluftsvärmepumpen i kombination med fjärrvärme visar sig vara 9 % billigare än enbart fjärrvärme.

4.1.3 Energioptimering av flerbostadshus i västra Eriksberg

Denna undersökning är ett examensarbete⁶⁶ om 11p utfört av tre studenter vid byggnadsingenjörsutbildningen vid Chalmers Lindholmen i Göteborg. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del har plockats ut.

Examensarbetet syftar till att optimera ett bostadsområde i Västra Eriksberg i Göteborg med hänsyn till energianvändning och livscykelkostnad. Tyngdpunkten ligger på att uppnå låg LCC i tre utvalda typhus i området. Arbetet är i likhet med ovanstående undersökning utfört efter en förfrågan av Norra Älvstrandens Utveckling AB.

Husen som studerats är av tre olika typer: 9 våningars skivhus/lamellhus, 13 våningars punkthus och ett lägre U-format gårdshus på tre våningar. Alla husen är flerbostadshus i storleksordningen 40-50 lägenheter. Ytmässigt är husen i princip lika stora på omkring 4500 m²BRA. Energiberäkningarna har genomförts med beräkningsprogrammet BV² och LCC-studien har gjorts utifrån kostnader i Wikells Sektionsdata ver. 3.6. Följande ekonomiska förutsättningar har använts vid LCC-studien:

- Kalkylränta 5 %
- Kalkylperiod 50 år
- Elprisökning 2 %
- Fjärrvärmeprisökning 2 %
- Elpris exkl. moms 0,72 SEK
- Fjärrvärmepris exkl. moms 0,50 SEK
- Moms 25 %

I examensarbetet har man utnyttjat arbetet som presenterats i Avsnitt 4.1.2 när det gäller fönster, fönsterarea och isolering i grundläggning. De parametrar som studerats är:

- Isolering i väggarna (utfackningsväggarna)

⁶⁶ Andersson, Marco. Nilsson, Peter. Vätz, Jonas. *Energioptimering av flerbostadshus i Västra Eriksberg. Hållbart byggande i ett livscykelkostnadsperspektiv.*

-
- Ventilationssystem av F- och FTX-typ. FTX-systemet har simulerats både som ett centralt system och som ett lägenhetssystem.
 - Värmesystem i form av fjärr-, berg- och älvsvarme

Indirekt studeras även skillnaden mellan olika byggnadsutformning eftersom tre principiellt olika hustyper använts. Man har även studerat en variant där klimatskalet varit så välisolerat att värmebehovet kan tillgodoses via ett värmebatteri i tilluften. I övrigt är värmesystemet ett vattenburet radiatorsystem.

För samtliga hustyper så är det framförallt två olika systemlösningar som ger de bästa resultaten. Lägst LCC ger i samtliga fall en utformning med kraftigt isolerade väggar (dubbla stålreglar med 440 mm isolering) och ett centralt FTX-system och uppvärmning via tilluften. Uppvärmningsbehov tillgodoses genom älvsvarme. Författarna hävdar dock att detta alternativ är tveksamt ur komfortsynpunkt eftersom inga simuleringar av inomhusklimatet genomförts. I stället lyfter man fram en mer måttligt isolerad yttervägg (dubbla stålreglar med 335 mm isolering) med ett centralt FTX-system och ett traditionellt radiator-system som värms via älvsvarme.

Lägst LCC har det U-formade gårdshuset när man jämför de olika hustyperna trots att det är punkthuset som har lägst energianvändning. Detta förklarar man med att punkthuset har störst volym i förhållande till fasaden, men att gårdshuset har lägre kostnader för väggar och fönster. Det bör påpekas att det då är LCC för drift, underhåll och investering som summerats för de ingående komponenterna (vägg, ventilation och värmesystem) och att det inte handlar om total byggkostnad. Man påpekar också i rapporten att det inte är den extra isoleringen i väggarna som ger de största energibesparingarna utan dessa står ventilations- och värmesystemet för.

I slutsatsen konstaterar man även följande:

- Punkthus är energisnålast, men ett lägre gårdshus blir billigare.
- En låg energianvändning är säkrare när det gäller prisutvecklingen för el och fjärrvärme.
- Mark- och sjövärmepumpar är generellt sett bättre än fjärrvärme.

- Ett FTX-system sänker energibehovet vilket kan göra installationer av värmepumpar mer lönsam samtidigt som inneklimatet blir bättre.
- Man föreslår att flerbostadshusen bör byggas utan radiatorsystem enligt den lägsta LCC-kalkylen, men el-radiatorer och lägenhetsbaserade FTX-system bör installeras av komfortskäl.

4.1.4 Känslighetsanalyser för byggnader utan värmesystem

Denna undersökning är en bred snabbanalys över konceptet hus utan värmesystem och har genomförts av Eje Sandberg vid ATON Teknik konsult AB⁶⁷. Tyngdpunkten i undersökningen ligger i att visa på tillämpbarheten av de definitioner som redovisats i Avsnitt 2.1.12. Det har även genomförts ekonomiska analyser där livscykelkostnaden för hus utan värmesystem har beräknats för olika hustyper.

Alla beräkningar är gjorda under förutsättningen att huset skall klara sig utan värmesystem. Det som studerats är:

- Lägenheter på olika positioner i 4 olika hustyper:
 - Flerbostadshus, 24 lägenheter på ~80 m² i 4 plan
 - Tvåplans radhus, 4 bostäder i rad om 2 plan
 - Tvåplans småhus
 - Enplans småhus
- Olika fönsterareor
- I ekonomianalysen jämförs även husen mot ett standard flerbostadshus med fjärrvärme och ett småhus med frånluftsvärmepump.

Följande data har använts i ekonomistudien:

- Kalkylränta 5 %

⁶⁷ Sandberg, Eje. *Känslighetsanalyser för byggnader utan värmesystem. Möjliga definitioner och ekonomiska analyser.*

-
- Avskrivningsperioder:
 - 40 år för värmesystem och klimatskal
 - 25 år för FTX-aggregat
 - 15 år för frånluftsvärmepump och varmvattenberedare
 - Elpris 70 öre/kWh och 340 kr/kW
 - Fjärrvärmepris 40 öre/kWh för normalt årsuttag, 35 öre/kWh för hus utan värmesystem. Effektpris: 200 kr/kW
 - Energifrisökningen ingår inte i studien

Egenskaperna för klimatskal och återvinning i de studerade fallen bestämmer man utifrån data från Lindås-husen, se Avsnitt 2.1.12. Vilket/vilka beräkningsprogram som använts är oklart i rapporten.

Lägst energibehov finner man att en mittlägenhet i ett flerbostadshus har (6 W/m^2 BRA). Högst behov har ett småhus med 18 W/m^2 BRA. När det gäller fönsterarea så finner man att en liten fönsterarea (10 % av BRA) ger den lägsta eftervärmareffekten.

Studien visar att ett flerbostadshus utan värmesystem får de lägsta kostnaderna, även jämfört med ett standardsmåhus med FVP (som är det sämsta alternativet i rapporten). Ett småhus utan värmesystem har svårt att löna sig enligt studien. Kostnaderna för en sådan lösning ligger i nivå med kostnaderna för ett radhus med fjärrvärme.

Som en kommentar kan nämnas att NCC tillsammans med White arkitekter gjort en liknande undersökning fast med fokus på endast större flerfamiljshus⁶⁸. Denna studie visar att merkostnaderna för att utforma ett stort flerfamiljshus (4–8 våningar) som passivhus kan betalas tillbaka med sänkta uppvärmningskostnader (enligt LCC-beräkning). Återbetalningstiden beräknas i rapporten till 8–15 år.

⁶⁸ Byfors, Jan. Borglund, Magnus. "Flerbostadshus utan värmesystem" - Passivhus i flera våningar

4.1.5 Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering

Undersökningen utgörs av ett examensarbete⁶⁹ (20p) utfört vid Avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Prolog Bygglogistik AB. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del har plockats ut.

Syftet med examensarbetet var att utreda hur ett långsiktigt perspektiv i projekteringsskedet kan påverka fastighetens utformning. Problemformuleringen var: "Kan energieffektiviseringsåtgärder vid nyproduktion löna sig på lång sikt?"

Två objekt studerades, HSB Nibelugnen samt MKB Rönnen, båda i Malmö.

Nibelugnen är ett åttavånings punkthus uppfört 1998 med 46 lägenheter och 2830 m²BRA. Stommen består av prefabricerade betongelement och huset har ett vattenburet radiatorsystem med fjärrvärme. Huset ventileras med ett frånluftssystem och har ett lyftutbyte på 0,9 oms/h.

Rönnen består av tre sexvånings punkthus med totalt 87 lägenheter och ca 2475 m²BRA/hus. Byggnaden har en betongstomme och ventileras med ett frånluftssystem. Huset har loggior med tvåglasrutor.

Energianvändningen i de två fastigheterna modellerades med energiberäkningsprogrammet VIP+. Därefter genomfördes energiberäkningar med alternativa utformningar av klimatskal och återvinningssystem, resultaten jämfördes sedan med resultaten för de befintliga fastigheterna. Åtgärdernas lönsamhet på lång sikt beräknades med kapitalvärdesmetoden (även kallad nuvärdesmetoden) där kalkylränta och energipriser varierades.

De studerade åtgärderna var något olika för de två fastigheterna.

⁶⁹ Anger, Ylva. Ohlsson, Håkan. *Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering*.

Nibelugnen

- Frånluftsvärmepump för värmning av tappvarmvatten och radiatorvatten
- Fördubblad isolertjocklek i ytterväggar och skalmurar
- Bättre fönster (U-värde $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ istället för grundfallets $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$) samt bättre balkongdörrar (U-värde $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ istället för grundfallets $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- Säsongsstyrd ventilation, under oktober - mars $0,5 \text{ oms/h}$ istället för $0,9 \text{ oms/h}$ som under resten av året

Rönnen

- Frånluftsvärmepump för uppvärmning av tappvarmvatten och radiatorvatten
- Utökad isolering i ytterväggar, tak och grund i två nivåer, "låg" samt "hög" där "hög" innebär en fördubbling gentemot grundfallet och "låg" innebär en ökning med 50-100 mm för de olika byggnadsdelarna gentemot grundfallet
- Bättre fönster (U-värde $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ istället för grundfallets $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$) samt förbättring av inglasning av loggior (U-värde $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ istället för grundfallets $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Resultaten för Nibelugnen visar att

- Isoleringsökning kan vara lönsam om prisnivå och ränteutveckling håller i sig
- Fönsterbytet är lönsamt vid nybyggnad
- Frånluftsvärmepumpen är lönsam vid nybyggnad och klarar ensam att täcka hela varmvattenbehovet
- Säsongsstyrd ventilation har stor besparingspotential beroende på det höga ursprungsflödet

Resultaten för Rönnen visar att:

- Utökad isolering är lönsamt. Bäst är att isolera enligt alternativet "hög" i ett långsiktigt perspektiv

- Byte av fönster är lönsamt
- Tveksamt om det är lönsamt att byta fönster i loggior
- Frånluftsvärmepumpen är den enskilda åtgärd som spar mest energi och klarar att täcka hela behovet av tappvarmvatten

Slutsatsen av denna undersökning blir att frånluftsvärmepumpen är den bästa åtgärden om byggnaden har ett frånluftssystem utan återvinning. Om byggnaden har höga ventilationsflöden finns det också mycket att vinna på att införa säsongsstyrning av ventilationen.

4.1.6 Kv. Jöns Ols i Lund - energisnålt och lönsamt flerbostadshus med konventionell teknik

Denna undersökning⁷⁰ utgörs av en rapport från ett projekt finansierat av Statens Energimyndighet. Projektet var en dokumentation av en uppföljning och utvärdering av det energieffektiva flerfamiljshuset Kv Jöns Ols i Lund. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del har plockats ut.

Projektet syftade till att utvärdera om de uppställda målen för energi- och inneklimat hade uppfyllts. Målen ställdes upp vid projekteringen och bestod i stort av att energianvändningen skulle halveras jämfört med beställarens befintliga fastighetsbestånd. Då beställaren i detta fall var en långsiktig förvaltare fanns det goda förutsättningar för att skapa ett energisnålt hus. Beställaren ställde också krav på att inga avkall fick göras i fråga om t.ex. inomhusmiljö, robusthet och enkelhet.

Huset är ett fyra vånings flerbostadshus i vinkel med 34 lägenheter på 2877 m²BRA. Huset stod klart för inflyttning under år 2000.

För att nå målet med en halverad energianvändningen bestämdes följande under projekteringen.

- Huset skulle ha en stomme av betong med väl isolerade utfackningsväggar.
- Köldbryggor skulle elimineras.

⁷⁰ Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund -energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.*

-
- Höga krav ställdes på lufttätheten.
 - Ventilationssystemet skulle bestå av ett F-system med tilluftsventiler bakom radiatorer.
 - Huset skulle ha en kombinerad frånlufts-/uteluftsvärmepump. Denna skulle återvinna värme ur frånluften/uteluften och avge värme till radiatorvattnet.
 - Huset skulle ha en solfångaranläggning för uppvärmning av tappvarmvatten.
 - Förvärmning av tappvarmvatten med hjälp av spillvattenvärmeväxlare.
 - Värme och varmvatten skulle debiteras individuellt.
 - Fönster med U-värde 1,15 W/m²K.

Utvärderingen och uppföljningen visade att målet med att halvera energianvändningen nåddes. Behovet av köpt energi i Kv Jöns Ols var 84 kWh/m²BRA år. Detta innebar en halvering jämfört med beställarens befintliga bestånd. I utvärderingen genomfördes livscykelkostnadsanalyser med följande resultat.

- Installationen av utelufts-/frånluftsvärmepumpen var lönsam. Om man hade anslutit utelufts-/frånluftsvärmepumpen även till varmvattenberedningen så hade behovet av köpt energi för varmvatten kunna minskats ytterligare.
- Solfångaranläggningen var inte lönsam. Anledningen till detta var att solfångarpanelerna inte var optimalt orienterade på grund av estetiska krav från arkitekten.
- Spillvattenvärmeväxlaren var knappt lönsam (de boende använde för lite varmvatten för att återvinningen skulle vara lönsam).
- Individuell mätning var inte lönsamt, systemet i Jöns Ols var för avancerat, om de boende inte gavs möjligheten att följa sin förbrukning skulle systemet dock bli billigare.
- De energieffektiviserande åtgärder som genomfördes i klimatskalet (mycket isolering i utfackningsväggar, eliminering av köldbryggor, höga krav på lufttäthet och fönster med låga U-värden) var sammantaget lönsamma.

Lönsamhetsanalyserna gäller för Lund, åtgärderna skulle troligtvis vara ännu mer lönsamma om huset uppfördes längre norrut i Sverige.

Studien visar att det är fullt möjligt att utforma och bygga energisnåla hus med konventionella metoder. Det är fullt möjligt att göra husen lönsamma, robusta och enkla att underhålla och samtidigt få ett bra inomhusklimat. I rapporten menar man att energifrågorna bör göras till en egen punkt på projekteringsmötena för att ägnas tillräcklig uppmärksamhet.

4.2 Småhus

4.2.1 Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus

Undersökningen utgörs av ett examensarbete⁷¹ (20p) utfört vid avdelningen för installationsteknik, under institutionen för bygg- och miljöteknologi vid Lunds tekniska högskola. Uppdragsgivaren för examensarbetet är Lindab. Studenten som genomfört arbetet har gjort det som en avslutande del i sin civilingenjörsutbildning inom Maskinteknik med inriktning mot energiteknik. Nedanstående text är en sammanfattning av undersökningen där de delar som är intressanta för vår del plockats ut.

Syftet med arbetet var att utreda vilket ventilationssystem med återvinning som är mest lönsamt i småhus med avseende på energi och ekonomi.

De ventilationssystem som undersöktes och jämfördes var frånluftsventilation med frånluftsvärmepump (FVP) samt från- och tilluftsventilation med återvinning (FTX). Jämförelsen tog förutom energi och ekonomi även hänsyn till komfort, inomhusmiljö och ventilationskrav.

⁷¹ Torssell, Richard. *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus*.

Ett typiskt småhus valdes som referensobjekt, en 1 ½-plans villa med en golvyta på 120 m². För detta hus genomfördes energiberäkningar i VIP+. Simuleringar genomfördes för tre olika orter i Sverige, Malmö, Stockholm och Haparanda. Detta för att undersöka hur energibehovet varierar med olika klimat. För att jämföra ventilationssystemen ekonomiskt genomfördes analyser av systemens livscykelkostnader.

Resultaten från energiberäkningarna visar att FVP-systemet medger störst energibesparing jämfört med ett frånluftssystem utan återvinning, framförallt i södra Sverige. Även FTX-systemet minskar energianvändningen på samtliga orter, dock inte lika mycket som FVP-systemet. Skillnaden i energibesparing mellan FVP- och FTX-systemet minskar dock ju längre norrut i landet man kommer. I Haparanda är skillnaden i energibesparing mellan de olika systemen liten. Anledningen till detta är att FTX-systemet lönar sig mer i ett kallare klimat eftersom värmeväxlaren kan återvinna mer värme ju kallare tilluften är. Frånluftsvärmepumpens återvunna mängd värme är i princip konstant om frånluftstemperaturen och frånluftsförlödet är konstanta.

Den livscykeleconomiska analysen visar att LCC är lägst för frånluftsvärmepumpen på samtliga orter. Skillnaden i LCC mellan FTX-systemet och FVP-systemet minskar dock ju längre norrut i landet man kommer. Båda ventilationssystemen, FTX och FVP, får större lönsamhet i ett kallare klimat jämfört med ett frånluftssystem utan återvinning.

Av undersökningen dras slutsatsen att FVP-ventilation är den ventilationstyp som spar mest energi, framförallt i södra Sverige. FVP-systemet är bäst både ur energi- och ekonomisynpunkt på samtliga studerade orter. FTX-systemet har dock andra fördelar i form av bättre komfort.

4.3 Sammanställning av tidigare undersökningar

I Tabell 4.1 nedan presenteras en sammanställning av resultaten från tidigare genomförda undersökningar när det gäller energibesparande åtgärder ur ett ekonomiskt perspektiv.

Tabell 4.1 Sammanställning av resultaten för de undersökningar som presenteras i Avsnitt 4.1 och 4.2

<i>Hustyp</i>	<i>Lönsamma åtgärder</i>	<i>Kommentar</i>
Punkthus, 8 våningar, 32 lägenheter	• Individuell mätning uppvärmning/tappvarmvatten • Fönsterbyte från $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ till 1,0 och $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$	Lönsamt i Karlstad enligt LCP-beräkning.
Punkthus, 13 våningar,	• Fönster med $U=1,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ • Bergvärme är mest lönsamt på 50 år. Även frånluftsvärmepump är lönsamt på 50 år. • Lägst LCC fås med 180-200 mm cellplastisolering på betongväggar. Utfackningsväggar 195mm mineralull.	Lönsamhet i Göteborg enligt LCC-beräkning. Ingen hänsyn har tagits till kostnader för underhåll.
Lamellhus, 9 våningar, 46 lägenheter, ca 4500 m^2	• Lägst LCC med 450mm isolering i utfackningsväggarna samt FTX-system med uppvärmning av huset genom eftervärmning av tilluft.	Göteborg
Punkthus, 13 våningar, 39 lägenheter, ca 4500 m^2	• Lägst LCC med 450mm i utfackningsväggarna isolering samt FTX-system med uppvärmning av huset genom eftervärmning av tilluft.	Göteborg
U-format hus, 3 våningar, ca 4500 m^2	• Lägst LCC med 450mm isolering i utfackningsväggarna samt FTX-system med uppvärmning av huset genom eftervärmning av tilluft.	Göteborg
Hus utan värmesystem	• Ett hus utan värmesystem är mer ekonomiskt än ett hus med traditionellt uppvärmningssystem. • Flerbostadshus är bäst lämpat att bygga utan värmesystem jämfört med radhus och småhus.	
Punkthus, 8 vån, 48 lgh, ca $2830 \text{ m}^2\text{BRA}$	• Fönsterbyte från $U=1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ till $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ • Fördubbling av isolering i ytterväggar • Frånluftsvärmepump kombisystem	Lönsamt i Malmö enligt kapitalvärdesmetoden*.
Punkthus, 6 vån, 87 lgh, ca	• Fördubbling av isolering i ytterväggar • Fönsterbyte från $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ till	Lönsamt i Malmö enligt

2475m ² BRA	$U=0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ • Frånluftsvärmepump kombisystem	kapitalvärdesmetoden*.
Lamellhus, 4 vån, 34 lgh, ca 2880 m ² BRA	• Åtgärder i klimatskal: tilläggsisolering i utfackningsväggar, eliminering av köldbryggor, god lufttäthet och fönster med $U=1,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ • Kombinerad utelufts-/frånluftsvärmepump	Lönsamhet i Malmö enligt LCC-beräkning. Åtgärderna skulle troligtvis vara ännu mer lönsamma längre norrut.
1 ½-plans villa, ca 120 m ² BRA	• FVP-system mer lönsamt än FTX-system på samtliga studerade orter. FTX närmar sig FVP i fråga om lönsamhet ju längre norrut i landet man kommer.	Jämförelse av FVP- och FTX-system i Malmö, Stockholm och Haparanda.

* Kapitalvärdesmetoden kallas även nuvärdesmetoden, se Avsnitt 2.2.

5 Egna undersökningar

I detta kapitel presenteras de egna undersökningarna och de byggnader som studeras. I avsnitt 5.1 beskrivs hur husen ser ut i verkligheten, i avsnitt 5.2 beskrivs hur husen ser ut i grundfallen. I avsnitten 5.3 och 5.4 beskrivs vilka energieffektiviserande åtgärder som kommer att simuleras respektive vilka kostnader dessa åtgärder för med sig. Vidare så presenteras i det sista avsnittet vilka antaganden som gjorts om energipriser, energiprisutveckling, kalkylränta och livslängder.

5.1 Objektsbeskrivning

5.1.1 Mindre flerbostadshus

Detta hus är ett flerbostadshus med 6 lägenheter på totalt 378,2 BRA. Lägenheterna är 2st 4:or på ~76 m², 2st 3:or på ~63 m² och 2st 2:or på ~50 m². Huset har 2 våningar och ligger i vinkel. Takhöjden är ~2,6 m och den totala ventilationsvolymen uppgår till 947 m³. Huset har inga gemensamma uppvärmda utrymmen och tvättmaskin finns i varje lägenhet. Entré till lägenheterna sker direkt från mark eller via en loftgång på den övre våningen. Huset har byggts i stor skala i olika utföranden, men alltid i någon form av gruppbebyggelse.

Huset byggs i två olika utföranden när det gäller klimatskalet. Antingen med en stående träfasad på spikreglar eller med tunnputs på en 50 mm putsskiva. Den bärande delen består i båda fallen av 195 mm reglar på c/c 600 mm. Taket består av ett oisolerat yttertak av typen sadeltak (22° lutning) och ett isolerat vindsbjälklag bestående av 70x300 mm masonitebalk och 70 mm reglar på c/c 1200 med mellanliggande mineralull på 380 mm. Grunden är en uteluftsventilerad krypgrund där bottenbjälklaget består av 45x220 balkar på c/c 600 mm med 220 mm mellanliggande isolering. Innerväggarna består av 45x70 mm reglar med gipsskivor. Mellanbjälklag och lägenhetsskiljande väggar är isolerade med mineralull.

Även ventilations- och uppvärmningssystemet finns i princip i två olika utföranden. Antingen med frånluftsventilation (F) och fjärrvärme eller med värmeåtervinning (FTX) och elpanna. I bägge fallen är uppvärmningssystemet vattenburet och distribuerat via en undercentral placerad i en förrådsbyggnad i husets närhet. I fallet med FTX-system så är varje lägenhet utrustad med en plattvärmeväxlare placerad över spisen.

Fördelningen och storleken på fönstren är densamma i bägge fallen. Även placering och storlek på dörrarna är densamma. Fönsterna är av 3-glastyp med tråkarm och ett U-värde på $\sim 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dörrarna antas ha samma U-värde.

De detaljer som är potentiella köldbryggor är fönsteranlutningen, anslutningen mellan grund och vägg, balkong- och loftgångsinfästningen, ytterhörn (vertikala) samt anslutningen mellan bjälklag och yttervägg.

5.1.2 Småhus

Småhuset i denna studie är ett 1½-plans enfamiljshus på 149 m^2 BRA. Bottenplanet är på 92 m^2 och ovanvåningen är på 57 m^2 . Takhöjden är $2,6 \text{ m}$ på bottenvåningen. På ovanvåningen är det snedtak med en takhöjd på upp till $3,5 \text{ m}$. Totalt är ventilationsvolymen $\sim 404 \text{ m}^3$. Huset är tänkt att byggas i bostadsområden med flera hus.

Huset byggs i olika utföranden, men byggnadstekniskt är skillnaderna små. Fasaden består av en målad träpanel. Bakom denna ligger sedan 50 mm mineralull, en vindsyddande skiva och sedan ett isolerat regelverk med $45 \times 170 \text{ mm}$ regler på $c/c 600 \text{ mm}$. Invändigt är väggen klädd med 13 mm gips. Taket är täckt med takpannor som bärs upp av limträbalkar på 35×315 på $c/c 1200 \text{ mm}$. Taket är av typen sadeltak med en lutning på 45° . Grunden är en prefabricerad platta på mark med cellplastisolering. Plattans bärande delar består av sockelelement som är isolerade undertill med 50 mm cellplast. Utrymmet mellan sockelelementen är fyllt med cellplast och golvbeläggningen bärs upp av regler upplagda mellan socklarna. Innerväggarna är vanliga träregelväggar med gips.

Ventilationssystemet består av ett frånluftssystem. Uppvärmningssystemet av huset utformas på två sätt. Antingen med enbart fjärrvärme

som distribueras i huset via en fjärrvärmeväxlare placerad i anslutning till badrummet, eller med en frånluftsvärmepump kombinerad med en elpanna på samma plats. I fjärrvärmefallet sker ingen återvinning av frånluften.

Fönsterna på huset är koncentrerade till långsidorna och består av 3-glasfönster med trækarm. Det totala U-värdet för glas och karm är $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dörrarna antas ha samma U-värde.

De detaljer i huset som är potentiella köldbryggor är anslutningen mellan vägg och fönster, anslutningen mellan vägg och grund, anslutningen vid takfoten och vertikala vägghörn.

5.1.3 Större flerbostadshus

Det största huset som simuleras i denna studie är ett flerbostadshus med 56 lägenheter. Boarean är på totalt 4074 m^2 och bruksarean är på 4742 m^2 . Huset av lamellhustyp och ligger i vinkel. Lägenhetsfördelningen är 25st 2:or, 24st 3:or och 7st 4:or fördelade på 7 våningar. Takhöjden är på $\sim 2,5 \text{ m}$ vilket ger en total ventilationsvolym på 11855 m^3 . Både förråd och tvättutrustning är placerade i varje lägenhet.

Byggnadstekniskt består huset av ytterväggar uppbyggda av sandwichelement utifrån sett bestående av 70 mm betong, 200 mm cellplast och 150 mm betong. De bärande innerväggarna är uppbyggda av 200 mm betong och övriga innerväggar består av stålregelväggar med gipsbeklädnad. Vinds- och mellanbjälklagen är uppbyggda av 265 mm HDF-bjälklag. På taket är huset isolerat med 450 mm lösull och lutningen på yttertaket är 22° . Grunden är av typen platta på mark och består av 200 mm betong och 100 mm cellplast. Fönstren har U-värdet $\sim 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ och dörrarna antas ha samma U-värde.

Ventilationssystemet består av ett frånluftssystem där återvinningen sköts av en frånluftsvärmepump kopplad till radiatorsystemet. Allting styrs via en undercentral placerad på vinden.

Potentiella köldbryggor i byggnaden är fönsteranslutningar, anslutningar mellan mellanbjälklag och väggar, anslutningar mellan väggar och grund samt ytterhörnen.

5.2 Modellering

5.2.1 Allmänt

För att beräkna ett uppvärmningsbehov så måste lufttemperaturen inomhus uppskattas. Godtagbara lufttemperaturer i bostäder ligger i området 18-24°C⁷², men för simuleringarna krävs ett absolut värde. En tolkning av Figur 2.11 i Avsnitt 2.1.10 är att den förväntade inomhustemperaturen i en bostad borde vara 21°C vintertid (Klädsel motsvarande 1,0 clo och RH=10%). Lufttemperaturen är dock inte direkt jämförbar med den operativa temperaturen, eftersom denna även tar hänsyn till inverkan av strålning från omgivande ytor⁷³. I grundmodellerna så har lufttemperaturen inomhus uppskattats till 21°C, vilket ändå bör spegla den temperatur som flest personer i byggnaden väljer att ha inomhus.

I samtliga grundfall så sker uppvärmningen med fjärrvärme.

Byggnadernas lufttäthet uppskattas alltid i grundfallen till BBR:s krav på 0,8 l/s och m² vid 50 Pa tryckskillnad⁷⁴.

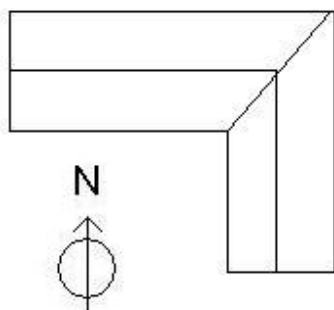
5.2.2 Vinkelhuset

Det utförande av det mindre flerbostadshuset som kommer att användas som grundfall i energisimuleringarna är med stående träpanel och F-ventilation utan återvinning. Denna typ kommer i fortsättningen att benämnas som Vinkelhuset - grundfallet. I grundfallet förutsätts huset ligga i en något skyddad omgivning. Vidare så förutsätts huset vara vridet mot söder enligt Figur 5.1.

⁷² Warfinge, Catarina. *Installationsteknik AK för V*. 2003

⁷³ Claesson, Johan. Nevander, Lars-Erik. Sandin, Kenneth. *Utdrag ur värme*. 1984

⁷⁴ Boverket, *Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19*



Figur 5.1 Orientering av vinkelhuset i grundfallet

U-värdena för de olika byggnadsdelarna presenteras i Tabell 5.1. Där redovisas även en parameterstudie av de olika byggnadsdelarnas inverkan på transmissionsförlusterna. Köldbryggorna är här behandlade som ett ytterväggsparti med lägre värmeisoleringsförmåga. För att det ska bli tydligt hur stor del påslaget av köldbryggan innebär för transmissionsförlusterna så har köldbryggan presenterats som en linjeköldbrygga. En eliminering av köldbryggorna skulle då innebära att posten *Köldbrygga* stryks i Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Byggnadsdelarnas U-värden och deras inverkan på den totala transmissionsförlusten för vinkelhuset - grundfallet. *Köldbrygga är beräknad som ett viktat medelvärde av samtliga linjeköldbryggor.

<i>Byggsdel</i>	<i>U-värde</i> (W/m ² K)	<i>Area</i>		<i>Förlustfaktor</i> (W/K)	<i>Andel</i> (%)
		(m ²)	(%)		
Vägg	0,207	330	42	68,2	31
Tak	0,116	189	24	21,9	10
Grund	0,112	189	24	21,1	9,5
Fönster	1,2	51,2	6,5	61,4	28
Dörr	1,3	26,1	3,3	33,9	15
Totalt		784			
	<i>Ψ-värde</i> (W/mK)	<i>Längd</i> (m)			
Köldbrygga*	0,0346	439		15,2	6,8
Total förlustfaktor, $\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L$				222	
U_m , $(\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L) / A_{tot}$				0,28	

Hur värmeförlusterna är fördelade mellan läckflödet, tappvarmvattnet, ventilationen och transmissionsförlusterna är viktigt för att kunna skapa sig en uppfattning om vilka energieffektiviserade åtgärder som har bäst chans att visa sig lönsamma. Hur fördelningen ser ut efter en simulering av grundfallet presenteras i Tabell 5.2.

Tabell 5.2 Fördelning av de totala värmeförlusterna för Vinkelhuset - grundfallet i Malmö

	<i>Luft-läckage</i>	<i>Tapp-varmvatten</i>	<i>Ventilation</i>	<i>Transmission</i>
<i>År (kWh/m²BRA)</i>	11	39	67	65
<i>Andel</i>	6,0%	22%	37%	36%

I de simuleringar som gjorts för vinkelhuset så antas varje byggnad bebos av 15 personer som förbrukar 50 l varmvatten/dygn. Varmvattenanvändningen motsvarar då ca 4,5 W/m². Tillskottet av personvärme har satts till 1,5 W/m². Processenergin, alltså värmetillskottet från utrustning i byggnaden, har uppskattats till 3 W/m² vilket motsvarar användning av modern energiklassad el-utrustning. Beräkningen är gjord för en familj på 2 vuxna och 2 barn som delar på 150 m².⁷⁵ Detsamma gäller för beräkningen av personvärme. I Tabell 5.3 så redovisas en sammanställning av de antagna värdena.

Tabell 5.3 Interlaster och varmvattenförbrukning för Vinkelhuset - grundfallet

<i>Processenergi (W/m²)</i>	<i>Personenergi (W/m²)</i>	<i>VV-förbrukning (W/m²)</i>
3	1,5	4,5

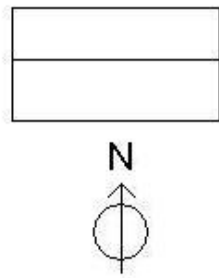
Ventilationen drivs i grundfallet av 2 frånluftsaggregat placerade på taket. Ventilationen är bestämd utifrån ritning och uppgår till 0,6 oms/h för hela huset.

5.2.3 Villan

Av de olika kombinationsmöjligheterna av småhuset som presenteras i Avsnitt 5.1.2. så kommer varianten med enbart fjärrvärme utan

⁷⁵ Smeds, Johan. & Wall, Maria. (2001). IEA Task 28/ Annex 38. Sustainable Solar Housing, Subtask B: Internal Gains, Assumptions for simulations, Working document, Sep 2001.

återvinning av frånluften att användas som grundfall. Denna typ kommer i fortsättningen att benämnas som Villan - grundfallet. I Villan - grundfallet förutsätts huset ligga i en något skyddad omgivning. Vidare så förutsätts orienteringen av huset motsvara den i Figur 5.2.



Figur 5.2 Orientering av villan i grundfallet

U-värden för de olika byggnadsdelarna i Villan - grundfallet presenteras i Tabell 5.4. Här presenteras även en parameterstudie av de olika byggnadsdelarnas inverkan på den totala transmissionsförlusten. Hur köldbryggorna behandlas kan utläsas i motsvarande avsnitt för Vinkelhuset - grundfallet, Avsnitt 5.1.1.

Tabell 5.4 Byggnadsdelarnas U-värden och deras inverkan på den totala transmissionsförlusten för villan - grundfallet.

*Köldbryggan är beräknad som ett viktat medelvärde av samtliga linjeköldbryggor

<i>Byggsdel</i>	<i>U-värde</i> (W/m ² K)	<i>Area</i>		<i>Förlustfaktor</i> (W/K)	<i>Andel</i> (%)
		(m ²)	(%)		
Vägg	0,18	84,8	25	15,5	16,
Tak	0,15	130	38	19,7	21
Grund	0,13	91,9	27	12,2	13
Fönster	1,30	24,6	7,3	32,0	34
Dörr	1,30	7,61	2,2	9,90	10
Totalt		339			
	<i>ψ-värde</i> (W/mK)	<i>Längd</i> (m)			
Köldbrygga*	0,03	166	5,57	5,57	5,9
Total förlustfaktor, $\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L$				94,9	
$U_m,$ $(\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L) / A_{tot}$				0,28	

Hur värmeförlusterna är fördelade mellan luftläckage, tappvarmvattnet, ventilationen och transmissionsförluster för Villan - grundfallet presenteras i Tabell 5.5.

Tabell 5.5 Fördelning av de totala värmeförlusterna för Villan - grundfallet i Malmö

	<i>Luft-läckage</i>	<i>Tapp-varmvatten</i>	<i>Ventilation</i>	<i>Transmission</i>
<i>År (kWh/m²BRA)</i>	16	26	57	72
<i>Andel</i>	9,5%	15,3%	33,2%	42,1%

I de simuleringar som gjorts för villan så antas varje byggnad bebos av 4 personer som förbrukar 50 l varmvatten/dygn var. Varmvattenanvändningen motsvarar då ca 3,0 W/m². Tillskottet av personvärme har satts till 1,5 W/m². Processenergin, alltså värmetillskottet från utrustning i byggnaden, har uppskattats till 3 W/m² vilket motsvarar användning av modern energiklassad el-utrustning⁷⁶. De antagna värdena redovisas även i Tabell 5.6.

Tabell 5.6 Interlaster och varmvattenförbrukning för Villan - grundfallet

<i>Processenergi (W/m²)</i>	<i>Personenergi (W/m²)</i>	<i>VV-förbrukning (W/m²)</i>
3	1,5	3,0

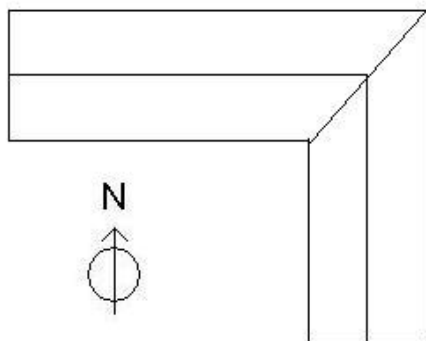
Ventilationen drivs i grundfallet av en frånluftsfläkt placerad på taket. Ventilationen i huset är bestämt utifrån ritning och uppgår till 0,46 oms/h.

5.2.4 Lamellhuset

Det större flerbostadshuset som beskrivs i Avsnitt 5.1.3 kommer i stort sätt att modelleras exakt så som det är beskrivet. Den enda skillnaden i den simulerade grundmodellen är att frånluftsvärmepumpen lyfts ut till att vara en energieffektiviserande åtgärd. Detta är genomfört för att få grundfallen för de olika hustyperna så lika som möjligt. Denna variant

⁷⁶ Smeds, Johan. & Wall, Maria. (2001). IEA Task 28/ Annex 38. Sustainable Solar Housing, Subtask B: Internal Gains, Assumptions for simulations, Working document, Sep 2001.

kommer i fortsättningen att benämnas Lamellhuset - grundfallet. Uppvärmningen sker i grundfallet med fjärrvärme. I Figur 5.3 så visas hur lamellhuset är orienterat i grundfallet.



Figur 5.3 Orientering av lamellhuset i grundfallet

I Tabell 5.7 nedan så redovisas U-värdena och dess inverkan på transmissionsförlusterna för lamellhuset i grundfallet. Köldbryggorna beskrivs här som en linjeköldbrygga.

Tabell 5.7 Byggnadsdelarnas U-värden och deras inverkan på den totala transmissionsförlusten för villan - grundfallet.

*Köldbryggan är beräknad som ett viktat medelvärde av samtliga linjeköldbryggor

<i>Byggsdel</i>	<i>U-värde</i> (W/m ² K)	<i>Area</i>		<i>Förlust-faktor</i> (W/K)	<i>Andel</i> (%)
		(m ²)	(%)		
Vägg	0,216	2903	58,4	627,0	34,1
Tak	0,091	678	13,6	61,6	3,4
Grund	0,154	678	13,6	104,3	5,7
Fönster	1,3	580	11,7	754,0	41,1
Dörr	1,3	135	2,7	175,3	9,5
Totalt	-	4972		-	-
	<i>Ψ-värde</i> (W/mK)	<i>Längd</i> (m)			
Köldbrygga*	0,0402	2844	-	114,2	6,2
Total förlustfaktor, $\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L$				1837	
U_m , $(\sum (U \cdot A) + \Psi \cdot L) / A_{tot}$				0,37	

I Tabell 5.8 redovisas förlusterna för lamellhuset så som de ser ut i grundfallet. Förlusterna är här uppdelade i luftläckage, tappvarmvatten, ventilation och transmission. Förlusten under tappvarmvatten motsvarar varmvattenförbrukningen för lamellhuset.

Tabell 5.8 Fördelning av de totala värmeförlusterna för lamellhuset - grundfallet i Malmö

	<i>Luft-läckage</i>	<i>Tapp-varmvatten</i>	<i>Ventilation</i>	<i>Transmission</i>
<i>År (kWh/m²BRA)</i>	7	27	54	47
<i>Andel</i>	5,0%	20,3%	39,9%	34,8%

I de simuleringar som gjorts för lamellhuset så antas byggnaden bebos av 130 personer som förbrukar 50 l varmvatten/dygn var. Varmvattenanvändningen motsvarar då ca 3,1 W/m². Tillskottets av personvärme har satts till 1,5 W/m². Processenergin, alltså värmetillskottet från utrustning i byggnaden, har uppskattats till 3 W/m² vilket motsvarar användning av energiklassad el-utrustning⁷⁷. De antagna värdena redovisas även i Tabell 5.9.

Tabell 5.9 Interlaster och varmvattenförbrukning för lamellhuset - grundfallet

<i>Processenergi (W/m²)</i>	<i>Personenergi (W/m²)</i>	<i>VV-förbrukning (W/m²)</i>
3	1,5	3,1

Ventilationen styrs i grundfallet av en frånluftsfläkt på taket och uppgår till 0,5 oms/h.

5.3 Parameterstudie

De variationer i systemuppbyggnad och byggnadskonstruktion som studerats kan delas upp i två kategorier: planeringsmässiga och investeringsmässiga. De planeringsmässiga åtgärderna/variationerna är sådana åtgärder som egentligen inte påverkar investeringen i byggnaden. De simuleringar som har gjorts är:

- Vridning av huset

⁷⁷ Bülow-Hübe, Helena. *Föreläsningsmaterial från kursen "Utformning av energieffektiva byggnader"* 2005

-
- Ökad lufttäthet
 - Klimatets inverkan. Samtliga energieffektiviserande åtgärder simuleras på 3 orter: Malmö, Stockholm och Luleå. Dessutom kommer grundfallen att simuleras på ytterligare 2 orter: Sundsvall och Kiruna

När det gäller åtgärder som påverkar byggkostnaden så har följande simuleringar genomförts:

- Ökad isolering
- Ventilation av typ F, FTX och FVP
- Fönster med lägre U-värde
- Solvärme, enbart till varmvatten alternativt som kombisystem
- Olika typer av värmepumpar

Dessutom har vinkelhuset simulerats enligt de krav och riktlinjer som ställs för ett hus utan värmesystem enligt Avsnitt 2.1.12.

5.3.1 Ökad isolering

Simuleringar som är gjorda där isoleringsmängden ökats är i möjligaste mån gjorda så att isoleringen är placerad utanför byggnadsdelens bärande delar. För vinkelhuset har två simuleringar gjorts med ökad isolering i väggarna och en simulering med ökad isolering på taket. I väggarna har isoleringen ökats genom att 50 alt. 100 mm cellplast har placerats utanpå väggens regler. 100 mm isolering får anses vara den mängd som kan placeras utanpå en vägg utan att en extra regelstomme behöver byggas upp. Taket har isolerats med 100 mm lösull.

På villan finns det redan i grundfallet en isolering utanpå reglarna bestående av 50 mm mineralull. En simulering är gjord där denna isolering ökats till 100 mm mineralull. Takkonstruktionen på villan öppnar inte för möjligheten att isolera med lösull. Takstolarna har därför byggts på med 50 mm för att möjliggöra en simulering med 50 mm extra mineralull.

Lamellhusets väggar är uppbyggda av sandwichelement i betong och cellplast. I grundfallet är väggen isolerad med 200 mm cellplast vilket får anses vara nära den maximala mängd som kan rymmas i väggen. Den isoleringsmängd som simulerats är därför +50 mm cellplast. Om isoleringen ökas ytterligare så ökar bryggorna som håller ihop betongelementen så mycket att det påverkar isolerförmågan⁷⁸.

Köldbryggorna har modellerats på nytt för samtliga tilläggsisoleringar för att ta hänsyn till minskad värmetransport genom köldbryggor vid tilläggsisolering. Resultaten visas i BILAGA B.

5.3.2 Lufttäthet

Ökad lufttäthet kan uppnås på flera sätt. I kvarteret Nornan i Glumslöv byggdes hus utan värmesystem där man ställde höga krav på lufttäthet. Där monterades plastfolien i väggen med överlapp och butylgummi-remsa i skarvarna. Man lyckades därigenom komma ner i ett luftläckage på 0,1–0,2 l/sm² vid 50 Pa tryckskillnad⁷⁹. När det gäller lufttäthet är det även viktigt att tänka igenom hur genomföringar genom plastfolien görs. Se vidare i Avsnitt 2.1.9. I de simuleringar som gjorts här har inget förslag till hur lufttätheten ska uppnås tagits fram annat än de generella råd som ges i Avsnitt 2.1.8.

Kostnaden för att öka lufttätheten är svår att uppskatta. Dels för att lufttätheten kan förbättras genom att man är uppmärksam och noggrann under byggtiden och dels för att lufttätheten är förknippad med planering under projekteringen. I de LCC-beräkningar som genomförts där ökad lufttäthet ingår så har åtgärden inte medfört någon ökad investeringskostnad.

5.3.3 Fönster

U-värdet för fönster kan minskas på flera sätt. Generellt så är det t.ex. lättare att uppnå ett lågt totalt U-värde för glas och karm på fönster med kopplade bågar än med enkelbåge. Detta beroende dels på att luftspalten blir större vilket ger ett lägre U-värde. Dessutom minskas

⁷⁸ Jönsson, Bertil. Skanska Teknik. Personlig kommunikation.

⁷⁹ Karin Adalberth. Prime Project AB. Personlig kommunikation.

köldbryggan i karmen. Köldbryggan som karmen utgör kan minskas genom att göra karmen djupare.

För själva glasdelen kan U-värdet sänkas genom att ett lågmissionsskikt appliceras på fönstrets insida. Man kan även sänka U-värdet genom att ersätta luften i luftspalten mellan glasen med en gas som har en lägre värmeledningsförmåga.⁸⁰

Vid simuleringarna som gjorts här har U-värden på 0,9; 1,0; 1,1; 1,2 och 1,7 W/m²K använts. I praktiken kommer fönster av olika storlek att få olika U-värden⁸¹. Ett litet fönster med isolerruta får t.ex. högre U-värde än ett stort fönster med samma ruta pga. att karmen utgör en större del av arean på det mindre fönstret. Denna skillnad är inte inkluderad i följande simuleringar utan alla fönster antas ha samma U-värde. De fönster som använts i LCC-beräkningarna kommer från tillverkarna Elitfönster och Domlux.

5.3.4 Ventilationssystem

I simuleringarna av olika lösningar för ventilationssystemet har olika typer av återvinningsaggregat används. Dessa kan delas upp i centrala aggregat och lägenhetsaggregat. De kan också delas upp efter vilken teknisk lösning som används för att återvinna luften. Detta görs antingen genom kors-, mot-, medströmsvärmeväxlare eller roterande värmeväxlare. Skillnaderna mellan centralt- och lägenhetsaggregat är egentligen endast kostnadsmässiga, även om verkningsgrader och fläkt-effekt kan skilja mellan aggregaten.

En roterande värmeväxlare har generellt sätt bättre temperatur-verkningsgrad (η) än en korsströmsvärmeväxlare. Nackdelen med den roterande värmeväxlaren är att den inte kan ta hand om frånluft från köket pga. risken att återföra förorenad luft (matos) i tilluften. Denna luft passerar därför systemet utan återvinning.⁸² Ingen hänsyn till hur detta påverkar den totala värmeåtervinningsgraden för ventilations-luften har tagits med i simuleringarna. Däremot har de centrala

⁸⁰ Magnusson, Mia. Nilsson, Markus. *Fönstermanualen - Ett beslutsunderlag vid fönsterinvesterings*.

⁸¹ Elitfönster.

⁸² Sjöberg, Lars. Skanska Teknik. Personlig kommunikation.

systemen, så långt det är möjligt, valts så att köksluften kan återvinnas för att undvika onödiga kanaldragningar.

När verkningsgrader och fläkteffekter valts för simuleringarna så utgår dessa från system som finns tillgängliga på marknaden. De olika aggregaten har valts utifrån målsättningen att simulera följande system:

- Korsströms- alt. motströmsvärmeväxlare i lägenhetsaggregat
- Roterande värmeväxlare i lägenhetsaggregat (alt. motströmsvärmeväxlare med verkningsgrad motsvarande en roterande värmeväxlare)
- Passande värmeväxlare som centralt aggregat.

Vilken värmeväxlare som använts i simuleringarna och vilken verkningsgrad den har framgår av resultattabellerna.

5.3.5 Solvärme

Ett solvärmesystem kan utformas på två principiellt olika sätt. Antingen som ett solvärmesystem kopplat endast till värmning av varmvatten eller som ett system kopplat både till varmvattnet och radiatorvattnet (s.k. kombisystem). För att simulera dessa system krävs en enklare dimensionering. För följande simuleringar har en tumregel ur Byggeforskningsrådets broschyr "Solvärme för bostäder" används. Storlekarna på systemen är beräknade utifrån tumregeln och redovisas i Tabell 5.10. Lutningen på själva solfångarpanelen påverkar i hög grad hur mycket värme som kan utvinnas. I samtliga simuleringar har lutningen på solpanelen satts till 40-45°. Om taklutningen varit lägre än detta så antas solpanelen byggas upp till en lutning på 40°. Solfångarna är riktade rakt mot söder i samtliga fall.^{83 84}

⁸³ Andrén, Lars. *Solenergi - praktiska tillämpningar i bebyggelse*. Halmstad 2001

⁸⁴ Byggeforskningsrådet, *Solvärme i bostäder*. Stockholm 2000

Tabell 5.10 Solfångararea och storlek på ackumulatortank för de olika hustyperna

<i>Hustyp</i>	<i>Solfångararea (m²)</i>		<i>Ackumulatortank (l)</i>	
	<i>Varmvatten</i>	<i>Kombi</i>	<i>Varmvatten</i>	<i>Kombi</i>
<i>Vinkelhuset</i>	22	37,5	1250	2800
<i>Villan</i>	6	10	450	750
<i>Lamellhuset</i>	196	-	14000	-

5.3.6 Värmepump

Hur stor energibesparing och hur stor installationskostnaden är för en värmepump beror till stor del på varifrån värmepumpen ska hämta värme. Värmen kan hämtas från en rad olika medier:

- Frånluften
- Marken. Berg-, yttjord- eller sjövärmepump kan användas
- Uteluften

Värmepumpen kan sedan kopplas in så att den med hjälp av en elpatron värmer hela huset. Det kan även tänkas att värmepumpen kombineras med fjärrvärme.

Frånluftsvärmepumpen utvinner värme ur frånluften och kommer därmed att ha ett någorlunda konstant luftflöde med en relativt konstant temperatur att arbeta vid. Detta gör att frånluftsvärmepumpen blir mindre beroende av utomhustemperaturen än vad exempelvis en uteluftsvärmepump är. Ingen av dessa värmepumpar kräver några ökade markarbeten vilket markvärmepumpen gör. Markarbetena leder till ökade kostnader, men en markvärmepump kan generellt leverera en högre effekt än luftvärmepumparna.

När det gäller bestämning av verkningsgrader (η) och kondensoreffekter (P_k) så har dessa valts enligt tillverkarnas anvisningar. Om verkningsgraden angivits i ett intervall från tillverkaren så har det lägre värdet antagits gälla under hela driften för att inte underskatta behovet av köpt energi. Undantaget är uteluftsvärmepumpen där verkningsgrad och kondensoreffekt beräknats i förhållande till utomhustemperaturen.

Valda system med systemdata presenteras i Tabell 5.11, Tabell 5.12 och Tabell 5.13

Tabell 5.11 Värmepumpsdata för vinkelhuset

Värmepump		Malmö		Stockholm		Luleå	
		N	P_k (W)	n	P_k (W)	n	P_k (W)
Frånluft		3,0	12000	3,0	12000	3,0	12000
Berg		3,5	14000	3,5	14000	3,5	21000
Uteluft	- 10°C	2,2	5000	2,2	5000	2,3	7000
	20°C	4,2	13800	4,2	13800	3,8	16800

Tabell 5.12 Värmepumpsdata för villan

Värmepump	Malmö		Stockholm		Luleå	
	N	P_k (W)	n	P_k (W)	n	P_k (W)
Frånluft	3,0	1650	3,0	1650	3,0	1650
Berg	3,3	6900	3,3	6900	3,3	8400
Berg + Frånluft	3,1	4000	3,1	4000	3,1	6000

Tabell 5.13 Värmepumpsdata för lamellhuset

Värmepump	Malmö		Stockholm		Luleå	
	N	P_k (W)	n	P_k (W)	n	P_k (W)
Frånluft	2,9	40000	3,0	1650	3,0	1650
Berg	3,0	80000	3,1	110000	3,1	165000
Berg + Frånluft	3,4	55000	3,4	70000	3,4	110000

I vinkelhuset kopplas uteluftsvärmepumpen in vid undercentralen och kompletteras då med fjärrvärme alt. el. I övriga fall så antas resten av värmebehovet (vid exempelvis effekttoppar på vintern) täckas av en elpatron. Till vinkelhuset är frånluftsvärmepumpen egentligen 6 mindre frånluftsvärmepumpar som placeras i varje lägenhet. Anledningen till detta ligger i storlekarna som värmepumparna kan levereras i. Ingen av de större leverantörerna (IVT, NIBE) har idag en värmepump som kan arbeta vid de luftflöden som man har i vinkelhuset. Det finns lösningar

där en frånluftsvärmepump kombineras med en markvärmepump. Skillnaden mellan ett sådant system och system med enbart markvärme är inte skillnader i verkningsgrad och kondensoreffekt. Skillnaden ligger snarare i investeringskostnaden. I simuleringarna för vinkelhuset antas en kombination av bergvärme och frånluftsvärmepump få samma energibehov som enbart bergvärmens eftersom värmepumpen är densamma. I villan krävs det ett annorlunda system varvid värmepumpsegenskaperna ändras något. Detsamma gäller för lamellhuset.

Majoriteten av värmepumparna i denna studie kommer från IVT och är dimensionerade med programvara från tillverkaren. Vissa systemlösningar har även diskuterats med tillverkarens supportavdelning.⁸⁵ Undantaget är frånluftsvärmepumpen i villan som kommer från NIBE och som finns dimensionerad på ritning för huset.

5.3.7 Kombinationer

De kombinationer som simulerats är utvalda efter kriterierna beskrivna i Avsnitt 3.5. I regel har inga förändringar gjorts av egenskaperna hos respektive åtgärd, så som de är beskrivna i föregående avsnitt, när kombinationerna simulerats. Undantaget är kombinationen bergvärme och frånluftsvärmepump som beskrivs i Avsnitt 0. När det gäller dimensionerande värmeeffektbehov så har grundfallets värden antagits även om åtgärderna i vissa fall medför ett något minskat effektbehov.

5.3.8 Hus utan värmesystem

Vid simuleringarna av "hus utan värmesystem"/ Passivhus så har antalet hustyper begränsats till endast vinkelhuset. För att få ner effektbehovet så har erfarenheterna från Lindås och kriterierna från det tyska Passivhaus institutet i Avsnitt 2.1.12 använts. Klimatskal och ventilation har byggts upp på samma sätt som för Lindås-husen, med vissa modifikationer för att klara kraven i den tyska passivhusstandarden. För att minska antalet installationer så har inget solvärmesystem installerats till skillnad från Lindås-husen. ITabell 5.14 redovisas de tekniska indata som använts vid simuleringarna.

⁸⁵ Billros, Per. Eklund, Gunnar. IVT Värmepumpar. Personlig kommunikation.

Tabell 5.14 Specifikation över de tekniska egenskaperna för klimatskal och ventilation för vinkelhuset som passivhus.

<i>Yttervägg</i>	$U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Tak</i>	$U = 0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Grund</i>	$U = 0,1-0,125 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Fönster</i>	$U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Dörr</i>	$U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
<i>Ventilation</i>	0,5 oms/h, $n = 85\%$

Utöver de data som ges i Tabell 5.14 så har även huset i simuleringarna orienterats så att energianvändningen minimerats. I övrigt är driftsdata och internlasters desamma som i grundfallet. Värme kapaciteter för klimatskalet är beräknade för de nya byggnadsdelarna medan den inre värme kapaciteten är samma som i grundfallet.

5.4 Investeringskalkyl

I detta kapitel presenteras vilka antaganden som gjorts om kalkylränta, energipriser och energiprisökningar i investeringskalkylerna. Dessutom presenteras merkostnader och uppskattade livslängder för de investeringar som studerats med avseende på LCC. Merkostnader för investeringar visas i tabeller och är uppdelade efter respektive hustyp; vinkelhus, villa och lamellhus. För varje hustyp har två tabeller med merkostnader upprättats, en tabell för merkostnader vid införande av enskilda energieffektiviserande åtgärder och en tabell för merkostnader vid kombinerade åtgärder.

Med merkostnad avses skillnaden i investerings- respektive underhållskostnad för ett hus med genomförd åtgärd jämfört med samma hustyp utformat enligt det tidigare beskrivna grundfallet. Merkostnaderna för hustyperna i grundfallen sätts till noll. I verkligheten är kostnaderna för de olika hustyperna i grundfallen inte noll, men det har ingen betydelse i beräkningarna då det enda som behandlas är skillnaderna gentemot respektive grundfall.

Arbetskostnad för genomförande av åtgärd i samband med nybyggnad är inkluderad i samtliga fall.

5.4.1 Antaganden i investeringskalkylerna

För att kunna genomföra en livscykelkostnadsberäkning krävs kännedom om en del indata. Antaganden måste göras om real energiprisutveckling och real kalkylränta. Hur energiprisutvecklingen kommer att se ut i framtiden är mycket svårt att förutse. Man kan dock anta att priserna kommer att öka. Förutom tillgång och efterfrågan så styrs energipriserna till viss del av politiska beslut som t.ex. beslut om kärnkraftsavveckling och olika miljöhänsyn. Energipriset kan också användas som ekonomiskt styrmedel för att minska energianvändningen. Kalkylräntan beror egentligen på vilka avkastningskrav man ställer på sina investeringar. Ett högt avkastningskrav ger en hög kalkylränta och omvänt. Olika företag räknar med olika kalkylränta. De antaganden som gjorts om energiprisutveckling och kalkylränta i denna rapport framgår av Tabell 5.15. Antaganden om energiprisutveckling och kalkylränta är gjorda i reala värden, d.v.s. utöver inflationen. Ingen hänsyn har tagits till inflationen i LCC-beräkningarna. Samtliga kostnader i investeringskalkylerna har beräknats exklusive moms.

Antaganden om kalkylränta och energiprisutveckling är konstanta i samtliga livscykelkostnadsberäkningar oberoende av hustyp och placering.

Tabell 5.15 Antaganden om real kalkylränta och real energiprisutveckling

<i>Indata</i>	<i>Värde</i>
Kalkylränta	4 %
Energiprisökning el*	2 %
Energiprisökning fjärrvärme*	2 %

* Energiprisökningen påverkar endast energipriset för fjärrvärme respektive energipriset och priset för elcertifikat för el.

Energipriser

För att möjliggöra bedömningen om de energieffektiviserande åtgärderna har olika inverkan på olika orter i Sverige har energipriserna hållits konstanta oberoende av husens placering i landet. Energipriserna som valts kommer från Öresundskraft AB⁸⁶ och ligger nära medelvärdet för både el- och fjärrvärmepriser i Sverige. Det enda undantaget är nät-

⁸⁶ Magnusson, Anna. Öresundskraft AB. Personlig kommunikation.

avgiften för el som i denna studie utgörs av medelvärdet för nätavgifter i Sverige.

Energipriserna varierar egentligen beroende på var i landet huset placeras samt beroende på vilken fjärrvärme- respektive elleverantör som levererar energi till byggnaden. Det som framförallt avgör fjärrvärmepriset är hur väl utbyggd och etablerad fjärrvärmen är i den aktuella kommunen. Generellt kan man säga att fjärrvärmen är billigast i de kommuner som har byggt ut sina fjärrvärmenät under lång tid och där det är små avstånd mellan kunderna⁸⁷. I denna studie antas att husen placeras i kommuner där det finns tillgång till fjärrvärme och på tomter där fjärrvärme finns i närheten.

Fjärrvärmepriserna är olika beroende på hur stor effekt byggnaden kräver, se Tabell 5.16.

Tabell 5.16 Fjärrvärmepriser 2005 hos Öresundskraft AB

<i>Indata</i>	<i>Pris (exkl. moms)</i>			
	<i>0-19kW</i>	<i>20-44kW</i>	<i>45-119kW</i>	<i>120-999kW</i>
Energipris (kr/kWh)	0,418	0,418	0,34	0,34
Effektpris (kr/kW)	Ingen avgift	57,60	114,60	103,60
Fast avgift (kr/år)	2080	1120	2844	6060
Flödespris (kr/m ³)	Ingen avgift	Ingen avgift	2,12	2,12

Då fjärrvärme kopplas in till en fastighet tillkommer en anslutningsavgift. Anslutningsavgiften varierar beroende på om det är ett enskilt hus som skall kopplas in till fjärrvärmenätet eller om det är flera hus som skall anslutas samtidigt, avgifter enligt Tabell 5.17. I denna studie antas villan anslutas till fjärrvärmenätet samtidigt med flera villor, vilket ger en lägre anslutningskostnad. För vinkelhuset och lamellhuset antas anslutningen till fjärrvärmenätet ske enskilt, vilket ger en högre anslutningsavgift än i fallet med villan.

⁸⁷ Avgiftsgruppen. *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige. En avgiftsstudie för år 2004.*

Tabell 5.17 Anslutningsavgifter fjärrvärme 2005 hos Öresundskraft AB

<i>Nyanslutningsavgift</i>	<i>Exkl. moms</i>
Gruppanslutning*	15000 kr
Enstaka hus	29000 kr

* Gäller vid samtidig anslutning av minst tre hushåll inom samma område.

Elpriset består av följande delar.

- energipris
- pris för elcertifikat
- elskatt
- abonnemangsavgift

Till detta kommer en nätavgift som bestäms av det företag som tillhandahåller nätet.

Tabell 5.18 Elpris enligt prislista 2005 hos Öresundskraft AB, undantaget elskatt samt nätavgiften som utgörs av medelvärdet för nätavgifter i Sverige.

<i>Indata</i>	<i>Pris (exkl. moms)</i>
Energipris	36,0 öre/kWh
Elcertifikat	2,50 öre/kWh
Abonnemangsavgift	232 kr/år
Elskatt ⁸⁸	25,4 öre/kWh
Nätavgift ⁸⁹	0,40 öre/kWh

Med antaganden om elpris enligt Tabell 5.18 blir totalkostnaden för en kilowattimme el i huset 1,04 kr exkl. moms och abonnemangsavgift.

I verkligheten är elskatten lägre i Luleå på grund av att samtliga kommuner i Norrbottens län har en elskatt på 19,4 öre/kWh. I studien var syftet att jämföra samma åtgärder i byggnaderna i olika klimat i

⁸⁸ Skatteverket. Internet

⁸⁹ Avgiftsgruppen. *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige. En avgiftsstudie för år 2004.*

Sverige vilket medförde att den lägre elskatten i Luleå inte togs med i studien då detta skulle ge ett missvisande resultat.

Livslängder

För att kunna genomföra en livscykelkostnadsberäkning så måste investeringens tekniska livslängd uppskattas. Vid LCC-beräkningar av enskilda åtgärder så har åtgärdens livslängd använts. Vid LCC-beräkningar av kombinerade åtgärder så har livslängden satts till den tid som är lika med livslängden för den åtgärd i kombinationen som har kortast livslängd. Tabell 5.19 visar vilka antaganden som gjorts om livslängder i LCC-kalkylerna i denna studie. Under de livslängder som antagits för de olika komponenterna antas inga återinvesteringar vara nödvändiga. Av denna anledning har inga återinvesteringar inkluderats i beräkningarna.

Tabell 5.19 Antagna livslängder i LCC-kalkylerna.

<i>Typ av åtgärd</i>	<i>Livslängd</i>
Tekniska installationer, t.ex. värmepumpar, FTX-system, solvärmesystem	20 år ⁹⁰
Fönster	30 år ⁹¹
Tilläggsisolering	60 år ⁹²

5.4.2 Vinkelhuset

I flera av de effektiviserande åtgärder som genomförts bedöms det inte vara rimligt att ansluta huset till fjärrvärmenätet då behovet av köpt energi blir litet och det krävs komplicerade system för att kombinera den valda åtgärden med fjärrvärme. Energibehovet tillgodoses då med el. I de fall huset ej är fjärrvärmeanslutet markeras detta med "El" i kostnadstabeller.

Vinkelhuset har i grundfallet ett maximalt effektbehov på ca 25 kW, detta ger ett effektpriis för fjärrvärme på 1440 kr/år. För att förenkla har

⁹⁰ Bejrum, Håkan m.fl. *Det levande husets ekonomi*

⁹¹ Bülow-Hübe, Helena. Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

⁹² Almgren, Anders. Skanska Teknik. Personlig kommunikation.

denna maxeffekt använts i samtliga fall, trots att maxeffekten torde vara lägre i vissa fall, t.ex. då huset har tilläggsisolerats.

Numreringen av de olika fallen för enskilda åtgärder är densamma som i Tabell 6.4, och för kombinerade åtgärder är numreringen av fallen densamma som i Tabell 6.5.

Tabell 5.20 Merkostnader för enskilda energieffektiviserande åtgärder i det vinkelhuset med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärd		Merkostnad investering (kr exkl. moms)	Merkostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
I. Tilläggsisolering 50mm vägg		21 900	0
II. Tilläggsisolering 100mm vägg		28 500	0
III. FTX-system 66% El		147 300	3000
IV. FTX-system 83% El		171 300	3000
V. FTX-system 83%		154 000	3000
VI. FTX-system 67% Gemensamt aggregat		105 700	1000
VII. Fönster $U=1,0W/m^2K$		39 000	0
VIII. Solvärme varmvatten		96 800	0
IX. Solvärme Kombisystem		165 000	0
X. Frånluftsvärmepump Kombisystem El		88 500	0
XI. Bergvärme* El	Malmö	60 500	0
	Stockholm	60 500	0
	Luleå	147 100	0
XII. Utelufts- Värmepump	Malmö	47 500	0
	Stockholm	47 500	0
	Luleå	49 900	0

* Bergvärme blir dyrare i Luleå då det krävs ett kraftigare system med fler borrhål för att klara det större effektbehovet jämfört med Malmö och Stockholm.

Tabell 5.21 Merkostnader för kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i vinkelhuset med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärd		Mer- kostnad Investering (kr exkl. moms)	Mer- kostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
XIII. Tilläggsisolering 100mm vägg, Fönster U=1,0 W/m ² K		67 500	0
XIV. Tilläggsisolering 100mm vägg, Fönster U=1,0 W/m ² K, Lufttäthet 0,5 l/sm ²		67 500*	0
XV. Tilläggsisolering 100mm vägg, Solvärme Kombi		193 500	0
XVI. Tilläggsisolering 100mm vägg, Solvärme Kombi, Fönster U=1,0 W/m ² K		232 500	0
XVII. Tilläggsisolering 100mm vägg, Solvärme Kombi, Fönster U=1,0 W/m ² K, Lufttäthet 0,5 l/sm ²		232 500*	0
XVIII. Frånluftsvärmepump, Bergvärme, El	Malmö	41 000	0
	Stockholm	43 500	0
	Luleå	77 600	0
XIX. Tilläggsisolering 100mm vägg, Frånluftsvärmepump, Bergvärme, El	Malmö	69 500	0
	Stockholm	72 000	0
	Luleå	106 100	0
XX. Tilläggsisolering 100mm vägg, Frånluftsvärmepump, Bergvärme, Fönster U=1,0 W/m ² K, El	Malmö	108 500	0
	Stockholm	111 000	0
	Luleå	145 100	0
XXI. Tilläggsisolering 100mm vägg, Frånluftsvärmepump, Bergvärme, Fönster U=1,0 W/m ² K, lufttäthet 0,5l/sm ² , El	Malmö	108 500*	0
	Stockholm	111 000*	0
	Luleå	145 100*	0

* Ingen extra kostnad för ökad lufttäthet. En lufttäthet på 0,5 l/sm² bedöms vara möjlig att uppnå utan extra kostnader.

5.4.3 Villan

På samma sätt som i vinkelhuset sänker vissa åtgärder energibehovet så pass mycket att det inte bedöms vara rimligt att vara ansluten till fjärrvärmenätet då det i dessa fall innebär att man måste installera ett onödigt dyrt och komplicerat system. Energiförbehovet tillgodoses då med el. I de fall huset ej är fjärrvärmeanslutet markeras detta med ”El” i kostnadstabeller. Villan har i grundfallet ett maximalt effektbehov som ligger under 19kW, detta gör att man inte behöver betala något effektpolis för fjärrvärme. Ingen energieffektiviserande åtgärd i villan leder till ett ökat effektbehov vilket gör att effektpolis inte behöver betalas i något fall. Numreringen av de olika fallen för enskilda åtgärder är densamma som i Tabell 6.7, och för kombinerade åtgärder är numreringen av fallen densamma som i Tabell 6.8.

Tabell 5.22 Merkostnader för enskilda energieffektiviserande åtgärder i villan med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärd		Merkostnad Investering (kr exkl. moms)	Merkostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
I. Tilläggsisolering 50mm ytterväggar*		1 300	0
II. Tilläggsisolering 50mm tak*		1 300	0
III. FTX 58%		15 600	500
IV. FTX 81%		19 600	500
V. FTX 88%		21 500	500
VI. Fönster U=1,0 W/m ² K		8 800	0
VII. Solvärme Varmvatten		26 400	0
VIII. Solvärme Kombisystem		44 000	0
IX. Frånluftsvärmepump El		-4 200**	0
X. Frånluftsvärmepump		19 800	0
XI. Bergvärme*** El	Malmö	51 100	0
	Stockholm	51 100	0
	Luleå	71 100	0

* Denna kostnad avser endast material då arbetet med denna typ av isolering ändå skall genomföras i grundfallet.

** En negativ merkostnad innebär att åtgärden ger en lägre investeringskostnad är grundfallet.

*** Bergvärme blir dyrare i Luleå då det krävs ett kraftigare system med fler borrhål för att klara det större effektbehovet jämfört med Malmö och Stockholm.

Tabell 5.23 Merkostnader för kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i villan med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärder		Mer- kostnad Investering (kr exkl. moms)	Mer- kostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
XII. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak		2 600	0
XIII. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, fönster U=1,0 W/m²K		11 400	0
XIV. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, fönster U=1,0 W/m²K, lufttätet 0,5l/sm²		11 400*	0
XV. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, frånluftsvärmepump, El		-1 600**	
XVI. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, frånluftsvärmepump, fönster U=1,0 W/m²K, El		7 200	0
XVII. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, FTX 81%		22 200	500
XVIII. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, FTX 81%, fönster U=1,0 W/m²K		31 000	500
XIX. Tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, FTX 81%, fönster U=1,0 W/m²K, lufttätet 0,5l/sm²		31 000*	500
XX. Frånluftsvärmepump, bergvärme, El	Malmö	25 000	
	Stockholm	25 000	
	Luleå	53 100	
XXI. Frånluftsvärmepump, bergvärme, lufttätet 0,5l/sm², El	Malmö	25 000*	
	Stockholm	25 000*	
	Luleå	53 100*	
XXII. Frånluftsvärmepump, bergvärme, lufttätet 0,5l/sm², tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak , El	Malmö	27 600	
	Stockholm	27 600	
	Luleå	55 700	
XXIII. Frånluftsvärmepump,	Malmö	36 400	0

bergvärme, lufttätet 0,5l/sm ² , tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, fönster U=1,0 W/m ² K, El	Stockholm	36 400	0
	Luleå	64 500	0
XXIV. Bergvärme, FTX 81%, El	Malmö	70 600	500
	Stockholm	70 600	500
	Luleå	91 100	500
XXV. Bergvärme, FTX 81%, tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, El	Malmö	73 200	500
	Stockholm	73 200	500
	Luleå	93 700	500
XXVI. Bergvärme, FTX 81%, tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, lufttätet 0,5l/sm ² , El	Malmö	73 200*	500
	Stockholm	73 200*	500
	Luleå	93 700*	500
XXVII. Bergvärme, FTX 81%, tilläggsisolering 50mm väggar, 50mm tak, lufttätet 0,5l/sm ² , fönster U=1,0 W/m ² K, El	Malmö	82 000	500
	Stockholm	82 000	500
	Luleå	102 500	500

* Ingen extra kostnad för ökad lufttätet. En lufttätet på 0,5 l/sm² bedöms vara möjlig att uppnå utan extra kostnader.

** En negativ merkostnad innebär att åtgärden ger en lägre investeringskostnad är grundfallet.

5.4.4 Lamellhuset

På samma sätt som i vinkelhuset och i villan sänker vissa åtgärder energibehovet så pass mycket att det inte bedöms vara rimligt att ansluta huset till fjärrvärmenätet då det i dessa fall innebär att man måste installera ett onödigt dyrt och komplicerat system. Energiförbehovet tillgodoses då med el. I de fall huset ej är fjärrvärmeanslutet markeras detta med "El" i kostnadstabeller.

I LCC-kalkylerna för lamellhuset har hänsyn tagits till det maximala effektförbehovet, detta för att den årliga fasta fjärrvärmekostnaden i större byggnader till stor del beror av husets maximala effektförbehov och fjärrvärmefflöde. Den årliga avgiften är uppbyggd av tre delar enligt Tabell 5.16, effektpolis, fast avgift och flödespris. Effektpolis fås genom att multiplicera det maximala effektförbehovet med effektpolis. Den fasta avgiften beror av inom vilket intervall det maximala effektförbehovet ligger, priset är 6060 kr exkl. moms för lamellhuset i samtliga fall då maxeffektförbehovet hela tiden ligger inom intervallet 120–999 kW.

Flödespriset beräknas med kännedom om flödespriset och följande ekvation⁹³ som används för att beräkna det totala fjärrvärmefflödet per år (q).

$$q = \frac{E \cdot 3600}{\Delta T \cdot \rho_{\text{fjärrvärme}} \cdot C_{p, \text{fjärrvärme}}} \left[m^3 / \text{år} \right]$$

där: E = Fjärrvärmeanvändning (kWh/år)

ΔT = Avsvalning av fjärrvärmevatten, här används 40 (°C)

$\rho_{\text{fjärrvärme}}$ = Fjärrvärmevattnets densitet, här används 1000 (kg/m³)

$C_{p, \text{fjärrvärme}}$ = Fjärrvärmevattnets specifika värmekapacitet, här används 4,18 (kJ/kgK)

Lamellhuset har i grundfallet ett maximalt effektbehov på 159-260 kW beroende på ort. I de simuleringar som genomförts för olika energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset varierar maxeffektbehovet mellan 140 och 260 kW. Dessa siffror gäller de fall då huset är anslutet till fjärrvärmenätet. Detta innebär att beräkningen av den fasta årliga kostnaden för fjärrvärme beräknas på samma sätt i samtliga simulerade fall eftersom maxeffektbehovet i samtliga fall ligger inom intervallet 120 till 999 kW, se Tabell 5.16. Numreringen av de olika fallen för enskilda åtgärder är densamma som i Tabell 6.10, och för kombinerade åtgärder är numreringen av fallen densamma som i Tabell 6.11.

⁹³ Magnusson, Anna. Öresundskraft AB. Personlig kommunikation.

Tabell 5.24 Merkostnader för enskilda energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärd		Merkostnad Investering (kr exkl. moms)	Merkostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
I. Tilläggsisolering 50mm yttervägg		118 400	0
II. Fönster U=1,2 W/m ² K		4 200	0
III. Fönster U=1,0 W/m ² K		12 900	0
IV. Solvärme varmvatten		862 400	0
V. Bergvärme, EL	Malmö	485 900	0
	Stockholm	708 800	0
	Luleå	1 368 000	0
VI. Frånluftsvärmepump Kombisystem		139 000	0
VII. FTX 61% centralt aggregat		511 800	3000
VIII. FTX 76% centralt aggregat		513 400	3000
IX. FTX 82% lägenhetsaggregat		303 500	28000

Tabell 5.25 Merkostnader för kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset med tillhörande underhållskostnader.

Fall. Åtgärder		Merkostnad Investering (kr exkl. moms)	Merkostnad Underhåll (kr/år exkl. moms)
X. Tilläggsisolering 50mm väggar, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		131 300	0
XI. Tilläggsisolering 50mm väggar, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, lufttäthet $0,5 \text{ l/sm}^2$		131 300*	0
XII. Bergvärme, frånluftsvärmepump	Malmö	286 300	0
	Stock- holm	346 300	0
	Luleå	638 300	0
XIII. Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	Malmö	299 200	0
	Stock- holm	359 200	0
	Luleå	651 200	0
XIV. Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, Tilläggsisolering 50mm väggar	Malmö	417 600	0
	Stock- holm	477 600	0
	Luleå	769 600	0
XV. Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, Tilläggsisolering 50mm väggar, lufttäthet $0,5 \text{ l/sm}^2$	Malmö	417 600*	0
	Stock- holm	477 600*	0
	Luleå	769 600*	0
XVI. FTX 82% lägenhetsaggregat, lufttäthet $0,5 \text{ l/sm}^2$		513 400*	3000
XVII. FTX 82% lägenhetsaggregat, lufttäthet $0,5 \text{ l/sm}^2$, Tilläggsisolering 50mm väggar		631 900	3000
XVIII. FTX 82% lägenhetsaggregat, lufttäthet $0,5 \text{ l/sm}^2$, Tilläggsisolering 50mm väggar, fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		644 700	3000

* Ingen extra kostnad för ökad lufttäthet. En lufttäthet på $0,5 \text{ l/sm}^2$ bedöms vara möjlig att uppnå utan extra kostnader.

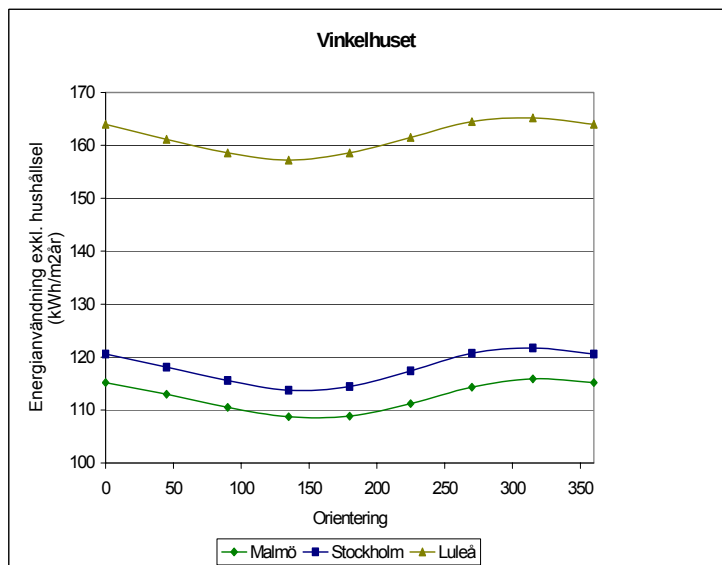
6 Resultat och analys

I detta kapitel redovisas resultaten från simuleringarna av energianvändning och investeringskalkylerna för respektive hustyp i de egna undersökningar samt resultaten från de tidigare undersökningar. Kapitlet innehåller en sammanställning av resultaten från investeringskalkylerna där de tre hustyperna jämförs sinsemellan, denna sammanställning ligger tillsammans med de tidigare undersökningarna till grund för slutsatserna i denna studie. Kapitlet avslutas med en känslighetsanalys av energiberäkningarna och investeringskalkylerna.

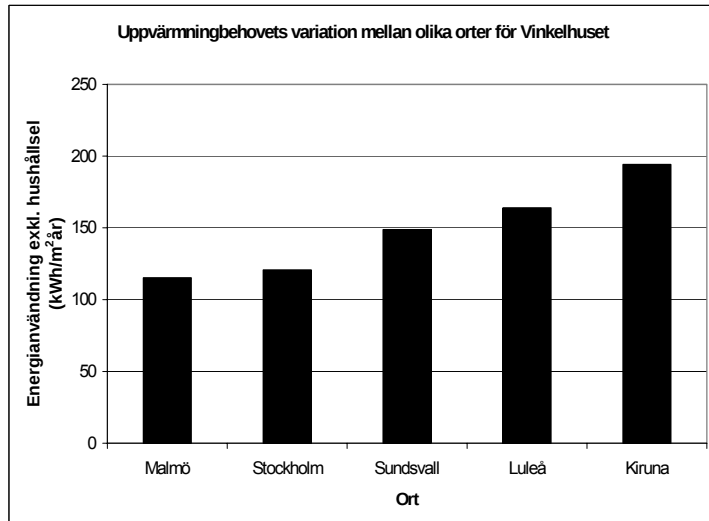
6.1 Vinkelhuset

6.1.1 Energianvändning

I detta avsnitt redovisas resultaten från de simuleringar som gjorts för vinkelhuset. Resultaten presenteras som energianvändning exklusive hushållsel utslaget på bruksarean. Hur husets energianvändning påverkas av mer planeringsmässiga/geografiska skillnader, så som vridning och geografisk placering, redovisas i Figur 6.1 och Figur 6.2. Resultaten för de tekniska åtgärderna redovisas i Tabell 6.1 och Figur 6.4. En beräkning av den procentuella energibesparingen jämfört med grundfallen redovisas i Figur 6.5.

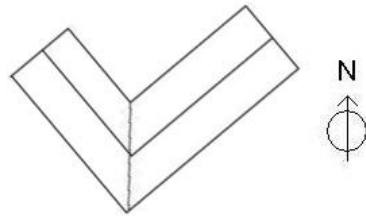


Figur 6.1 Energianvändningen exkl. hushållsel för Vinkelhuset - grundfallet placerat i Malmö , Stockholm och Luleå med olika vridning mot söderriktningen.



Figur 6.2 Energianvändningen exkl. hushållsel för Vinkelhuset - grundfallet placerat i Malmö , Stockholm, Sundsvall, Luleå och Kiruna

Simuleringar som är gjorda över energianvändningens beroende av husets orientering tyder på att 8 kWh/m²BRA kan skilja mellan hus som är orienterade på det bästa sättet (sydost) och det sämsta (norr). Detta oberoende av vilken ort huset är placerat på. Den optimala vridningen av vinkelhuset ligger i området 135-150 graders vridning medsols från norriktningen, se Figur 6.3. Detta innebär i princip att fasaderna med mycket fönster är vridna mot söder. Att det inte blir någon uppenbar skillnad mellan de olika orterna när det gäller vridning beror sannolikt av det sätt som beräkningsprogrammet hanterar solinstrålning. Hur vinkelhuset är vridet i grundfallet (0° vridning) visas i Figur 5.1.



Figur 6.3 Vinkelhuset när det är orienterat för minimal energianvändning

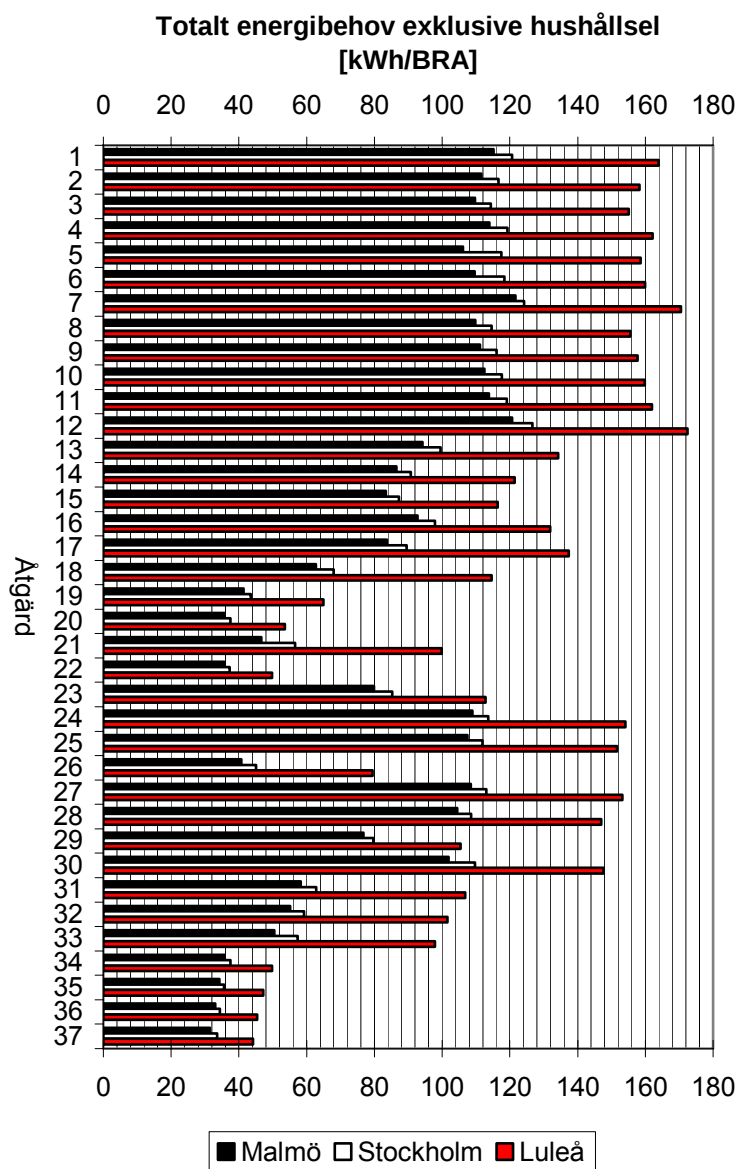
Skillnaderna mellan olika orter i Sverige kan för vinkelhuset uppgå till 79 kWh/m²BRA (Malmö/Kiruna). Mellan de orter som vinkelhuset simulerats för när det gäller tekniska åtgärder kan skillnaden i energianvändning för grundfallet uppgå till 49 kWh/m²BRA. Det är värt att notera att skillnaden mellan Malmö och Stockholm endast är 6 kWh/m²BRA. Förklaringen till detta kan utläsas i Figur 2.7 och beror på att årsmedeltemperaturen endast skiljer sig med 2°C mellan Malmö och Stockholm.

Tabell 6.1 Sammanställning över resultat från energisimuleringar för Vinkelhuset. Åtgärderna är beskrivna som tilläggs-åtgärder utifrån grundfallet. Grundfallet beskrivs närmare i Avsnitt 5.2.2. Energianvändningen anges i kWh/m²BRA och motsvarar total energianvändning exklusive hushållsel.

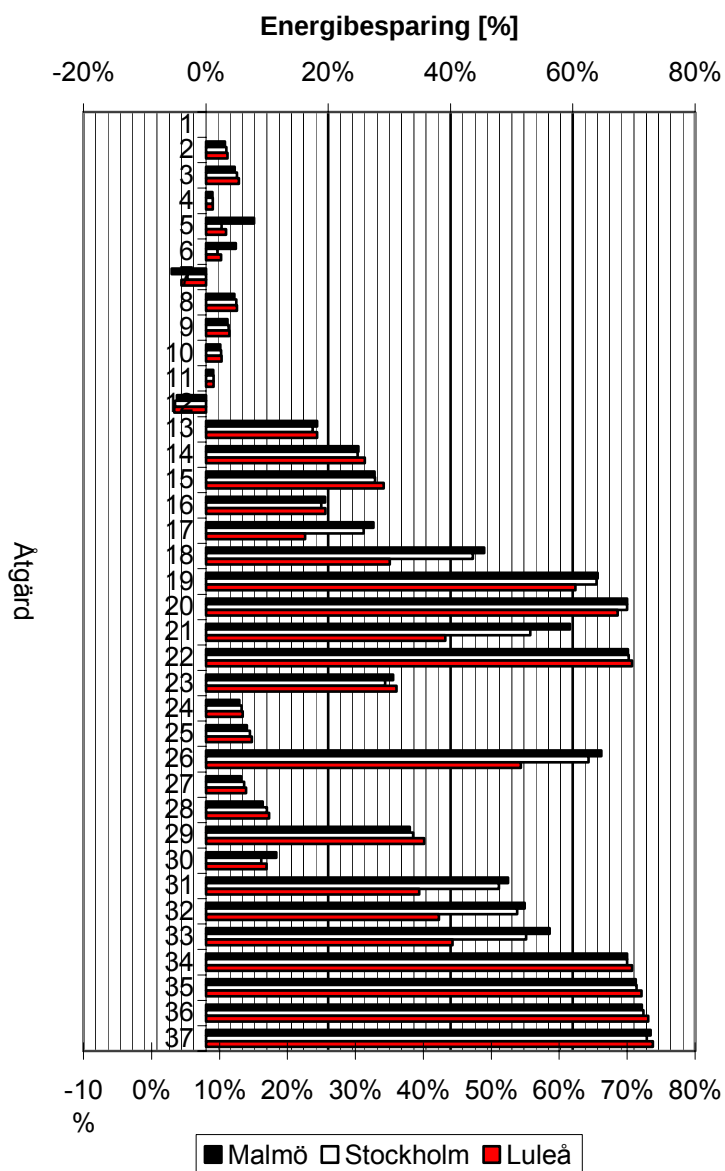
<i>Fall</i>	<i>Åtgärd</i>	<i>Malmö</i>	<i>Stockholm</i>	<i>Luleå</i>
	Enskilda åtgärder			
1	Grundfall	115,2	120,6	164,0
2	+50 mm cellplast	111,6	116,6	158,2
3	+100 mm cellplast	109,7	114,4	155,1
4	+100 mm tak	114,0	119,2	162,1
5	Lufttäthet 0,2 l/sm2 vid 50 Pa	106,1	117,5	158,6
6	Lufttäthet 0,5 l/sm2 vid 50 Pa	109,6	118,3	159,9
7	Lufttäthet 1,1 l/sm2 vid 50 Pa	121,7	124,2	170,5
8	Fönster U=0,9 W/m2K	109,8	114,6	155,6
9	Fönster U=1,0 W/m2K	111,1	116,1	157,7
10	Fönster U=1,1 W/m2K	112,5	117,6	159,8
11	Fönster U=1,2 W/m2K	113,8	119,1	161,9
12	Fönster U=1,7 W/m2K	120,6	126,7	172,5
13	Lägenhets-FTX-system (n=0,66), korsströmsvux	94,2	99,5	134,2
14	Lägenhets-FTX-system (n=0,83), roterande vvx	86,5	90,7	121,4
15	Lägenhets-FTX-system (n=0,9), roterade vvx	83,4	87,2	116,4
16	Centralt FTX-system (n=0,67)	92,7	97,9	131,9
17	Solvärme varmvatten	83,7	89,4	137,4
18	Solvärme kombi	62,8	68,0	114,6
19	Frånluftsvärmepump	41,4	43,6	64,9
20	Bergvärme (14 kW)	35,8	37,5	53,6
21	Uteluftsvärmepump	46,6	56,6	99,8
22	Bergvärme (21 kW)	35,7	37,3	49,8
	Kombinerade åtgärder			
23	FTX (n=83%), lufttäthet 0,5	80,0	85,2	112,9
24	+50 cellplast, fönster U=1,0	108,9	113,6	154,1
25	+100 cellplast, fönster U=1,0	107,5	111,9	151,7
26	FTX (n=83%), solvärme kombi, lufttäthet 0,5	40,7	45,1	79,5
27	+100 mm isolering i väggar och tak	108,5	113,1	153,2
28	+100 mm isolering i väggar och tak, Fönster U=1,0	104,5	108,6	147,0
29	+100 mm isolering i väggar och tak, Fönster U=1,0, FTX (n=0,83)	76,8	79,7	105,5

Resultat och analys

30	+100 mm vägg, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	101,9	109,7	147,7
31	+100 mm vägg, Solvärme kombi	58,3	62,8	106,8
32	+100 mm vägg, Solvärme kombi, Fönster U=1,0	55,1	59,2	101,5
33	+100 mm vägg, Solvärme kombi, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	50,5	57,4	97,8
34	FVP + BVP	35,8	37,5	49,8
35	+100 mm vägg, BVP + FVP	34,2	35,6	47,2
36	+100 mm vägg, BVP + FVP, Fönster U=1,0	33,1	34,3	45,4
37	+100 mm vägg, BVP + FVP, Fönster U=1,0 + Lufttäthet 0,5	31,4	33,6	44,2



Figur 6.4 Resultat från energisimuleringar för Vinkelhuset. Åtgärderna beskrivs i Tabell 6.1. Energiförbehovet är angivet i kWh/m²BRA och motsvarar det totala energiförbehovet exklusive hushållsel.



Figur 6.5 Resultat från energisimuleringar för Vinkelhuset redovisat som energibesparing jämfört med grundfallet. Den procentuella skillnaden kan alltså ses som en förändring av behovet av köpt energi.

Resultaten visar att det är åtgärder som rör installationerna i huset som ger störst genomslagskraft på husets energibehov. Den enskilda åtgärd som ger det lägsta energibehovet är installation av bergvärmepump. Här antyder simuleringarna en energibesparing på uppåt 70 %. Det bör påpekas att bergvärmepumpen på 14 kW framförallt är tänkt att placeras i södra Sverige och att bergvärmepumpen på 21 kW är överdimensionerad för södra Sverige.

Rent allmänt så sänker värmepumpar energibehovet avsevärt oavsett ort. Undantaget är uteluftvärmepumpen som ger en sänkning av energibehovet med 60 % i Malmö, men endast en sänkning med 40 % i Luleå. Besparingen i kWh/m²BRA är dock i samma storlek. Även solvärmesystemet fungerar energimässigt sämre i norra Sverige än i södra. I Malmö kan ett kombisystem ge en årlig besparing på uppåt 35 % medan det i Luleå bara ger en besparing på ~21 %. Det bör återigen påpekas att besparingen motsvarar skillnaden i behov av köpt energi.

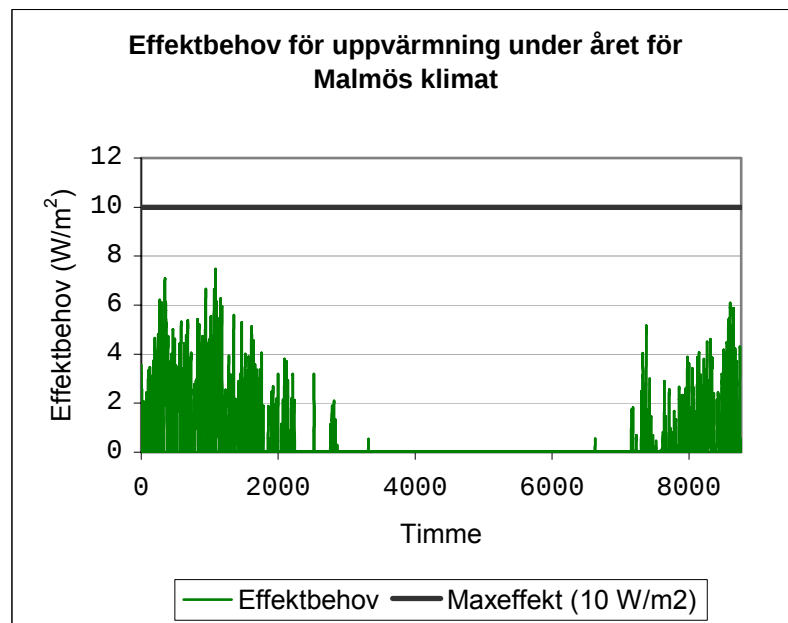
Åtgärder på klimatskalet har betydligt mindre inverkan på energibehovet, mellan 1 och 8 %. Man kan konstatera att dessa åtgärder har större genomslagskraft i norra Sverige än i södra. Besparingen uppgår till ~5 kWh/m²BRA i södra Sverige och uppåt 8 kWh/m²BRA i norra.

När det gäller de kombinerade åtgärderna så är det inte helt oväntat kombinationerna med många åtgärder som ger låg energianvändning. När det gäller åtgärder på klimatskalet kan energibehovet minskas med omkring 10 % på samtliga orter (fall 33). Kombineras detta med ett solvärmesystem (fall 36) så kan energibehovet halveras i södra Sverige. Absolut lägst energianvändning får man om man kombinerar en bergvärmepump med en frånluftsvärmepump och genomför effektiviserande åtgärder på klimatskalet (fall 40). Enerigibehovet kan då minska med uppåt 72 % på samtliga orter.

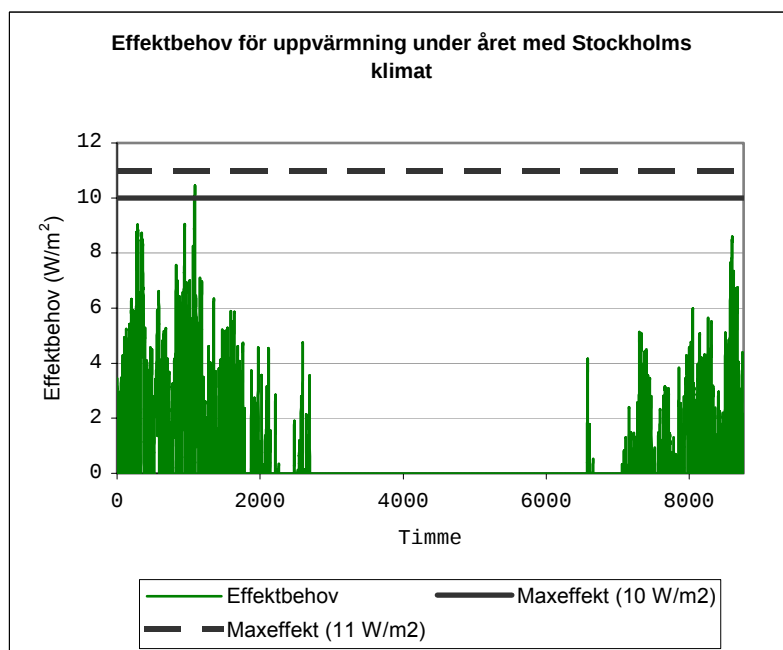
En intressant iakttagelse är att en ökad lufttäthet ger en större besparing om den görs när ventilationen är av typ FTX än när den är av typ F. En ökad lufttäthet från 0,8 l/sm² till 0,5 l/sm² vid 50 Pa tryckskillnad ger en sänkning av energianvändningen med 4,9 % när huset ventileras med frånluft. Motsvarande värde för ett hus ventilerat med FTX är 7,5 %.

6.1.2 Energi- och effektbehov för hus utan värmesystem

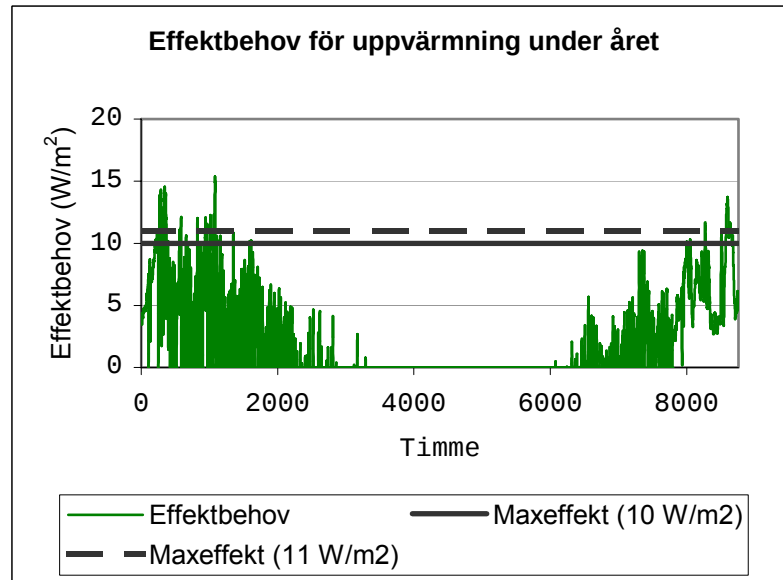
I detta avsnitt redovisas resultaten från simuleringar där vinkelhusets systemlösningar anpassats till passivhuskonceptet enligt Avsnitt 0. Husets orientering har optimerats enligt 6.1.1. I Figur 6.6 - Figur 6.8 redovisas effektbehovet över året där timme 1 motsvarar den 1:a januari klockan 0.00-1.00.



Figur 6.6 Effektbehovet för uppvärmning av inomhusluften. Resultatet är från en simulering där riktlinjerna för värmegenomgångsmotstånd och systemlösningar från Lindås-husen från Avsnitt 2.1.12 använts på vinkelhuset. Beräkningen är genomförd med Malmös klimat.



Figur 6.7 *Effektbehovet för uppvärmning av inomhusluften. Resultatet är från en simulering där riktlinjerna för värmegenomgångsmotstånd och systemlösningar från Lindås-husen från Avsnitt 2.1.12 använts på vinkelhuset. Beräkningen är genomförd med Stockholms klimat.*



Figur 6.8 Effektbehovet för uppvärmning av inomhusluften. Resultatet är från en simulering där riktlinjerna för värmegenomgångsmotstånd och systemlösningar från Lindås-husen från Avsnitt 2.1.12 använts på vinkelhuset. Beräkningen är genomförd med Luleås klimat.

Maxeffektbehovet för ett hus utan värmesystem ska enligt passivhausinstitutet inte överstiga 10 W/m^2 . Det har diskuterats om detta krav skall var något mildare för radhus och parhus⁹⁴. Kravet för radhus skulle i så fall vara 11 W/m^2 . Tillåten maxeffekt redovisas som horisontella linjer i figurerna. I

Tabell 6.2 redovisas effekt- och energibehov för de simulerade passivhusen när inomhustemperaturen ska hållas på 21°C hela året.

⁹⁴ Sandberg, Eje. *Hus utan värmesystem*.

Tabell 6.2 Sammanställning av effekt- och energibehov för vinkelhuset när byggnadsdelar och ventilationssystem är anpassade till passivhuskonceptet.

	<i>Malmö</i>	<i>Stockholm</i>	<i>Luleå</i>
<i>Uppvärmning (kWh/år)</i>	2110	2890	7350
<i>Varmvatten (kWh/år)</i>	14910	14910	14910
<i>Fläktel (kWh/år)</i>	3610	3610	3610
<i>Energibehov exkl. hushållsel (kWh/år)</i>	20600	21400	25900
<i>Maxeffekt (kW)</i>	2,8	3,9	5,8
<i>Maxeffekt (W/m²)</i>	7,5	10,4	15,4

Ur Tabell 6.2 ovan kan man utläsa att husen skulle klara kraven för att klassas som passivhus i Malmö och ev. även i Stockholm. I Luleå är det mer tveksamt. Om man studerar tanken bakom passivhus konceptet så begränsas egentligen maxeffekten av temperaturen på tilluften. Hur mycket temperaturen på tilluften måste höjas för att klara de effektbehov som redovisas i Tabell 6.2 kan beräknas med följande formel:

$$P = q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta T$$

där: P = Effekt (W)

ρ = Luftens densitet, normalt ca. 1,2 kg/m³

c_p = Luftens värmekapacitet, normalt ca. 1000 J/kg°C

ΔT = Temperaturdifferens (°C)

Tänker man sig att tilluftflödet är 25 l/s och att tilluftstemperaturen måste höjas med ΔT över 20 °C så erhålls tilluftstemperaturer enligt Tabell 6.3 nedan.

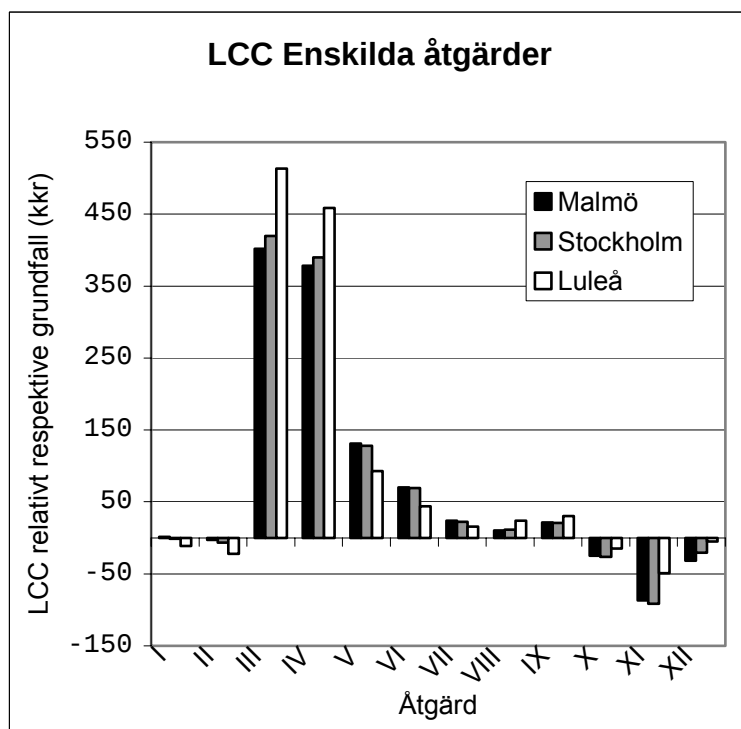
Tabell 6.3 Maximal tilluftstemperatur över året för vinkelhuset som passivhus i Malmö, Stockholm och Luleå

	Malmö	Stockholm	Luleå
Maxeffekt (W/lgh)	472	657	970
Tilluftstemperatur (°C)	35,7	41,9	52,3

Utifrån Tabell 6.2 och Tabell 6.3 kan man utläsa att det är fullt möjligt att omvandla vinkelhuset till ett passivhus i Malmö med de systemlösningar som användes på Lindås-husen. Detta även om uppvärmningsbehovet underskattats i simuleringarna. För Stockholm och Luleå är det däremot mer tveksamt om man kan klara kraven. Hur vinkelhuset klarar sig ekonomiskt som passivhus diskuteras i Avsnitt 6.1.4.

6.1.3 Investeringskalkyl

Resultaten från livscykelkostnadsberäkningarna visas här som livscykelkostnad för respektive åtgärd under dess livslängd relativt grundfallets livscykelkostnad för samma tidsperiod. I livscykelkostnaden för grundfallet ingår endast driftskostnader i form av kostnader för el och fjärrvärme. Grundfallets investeringskostnader och underhållskostnader har ej tagits med i beräkningen då dessa kostnader ej påverkar resultaten av de åtgärdade fallens livscykelkostnader relativt grundfallet. Att de åtgärdade fallens livscykelkostnader beräknats relativt grundfallets livscykelkostnad innebär att ett negativt resultat i Figur 6.9 visar att åtgärden ger en lägre livscykelkostnad under dess uppskattade livslängd. Numreringen av de olika fallen i Figur 6.9 framgår av Tabell 6.4.



Figur 6.9 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika enskilda energieffektiviserande åtgärder i vinkelhuset. Vilka åtgärder som genomförts framgår av Tabell 5.1.

Tabell 6.4 Enskilda energieffektiviserande åtgärder i vinkelhuset.

<i>Fall</i>	<i>Tidsperiod</i>	<i>Fjärrvärme-anslutning</i>
I. +50mm cellplast ytterväggar	60 år	JA
II. +100mm cellplast ytterväggar	60 år	JA
III. FTX-system 66%	20 år	NEJ
IV. FTX-system 83%	20 år	NEJ
V. FTX-system 83%	20 år	JA
VI. Centralt FTX-system 67%	20 år	JA
VII. Fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	30 år	JA
VIII. Solvärme varmvatten	20 år	JA
IX. Solvärme kombisystem	20 år	JA
X. Frånluftsvärmepump	20 år	NEJ
XI. Bergvärme	20 år	NEJ
XII. Uteluftsvärmepump	20 år	JA

Resultaten visar att tilläggsisolering med 100 mm cellplast är lönsamt på samtliga orter till skillnad från tilläggsisolering 50mm som bara är lönsamt i Stockholm och Luleå. Detta gäller för tidsperioden 60 år. Att tilläggsisolera är mest lönsamt i Luleå och minst lönsamt i Malmö.

Att FTX-systemen inte är lönsamma beror på att merkostnaderna för att investera i ett FTX-system blir höga. Anledningen till att FTX-systemen i fall III och IV är sämre än fall V och VI är att de representerar fall då byggnaden inte är fjärrvärmeansluten. Det innebär att all köpt energi består av el som är dyrare än fjärrvärmen vilken täcker större delen av behovet av köpt energi i grundfallen. Om byggnaden med FTX-system istället ansluts till fjärrvärmenätet ser det bättre ut, det är dock ändå inte lönsamt på grund av höga investeringskostnader i FTX-systemen. Om ett centralt FTX-system med ett större gemensamt aggregat används istället för flera mindre lägenhetsaggregat så ser det ännu bättre ut, livscykelkostnaden är dock fortfarande högre än för grundfallen på samtliga orter.

Ett fönsterbyte sänker inte LCC_{30} . Om merkostnaden i investeringar för byte av fönster skulle pressas till under 15 000 kr skulle ett fönsterbyte vara lönsamt på samtliga orter.

Solvärmesystem sänker inte LCC_{20} , varken som system för uppvärmning av tappvarmvatten eller som kombisystem. Solvärme ser dock ut att kunna vara lönsamt om kostnaderna för systemen kan pressas något. Om solvärme skall användas bör kombisystemet användas eftersom den årliga besparingen är större med detta system.

Frånluftsvärmepumpen är lönsam på samtliga orter. Den ger lägst livscykelkostnad i Stockholm, detta beror troligtvis på att uppvärmningssäsongen är något längre i Stockholm än i Malmö och att den relativa besparingen därmed blir större i Stockholm än i Malmö. Anledningen till att frånluftsvärmepumpen är sämst ur LCC-synpunkt i Luleå är att den relativt sett täcker en mindre del av värmebehovet i Luleå jämfört med Malmö och Stockholm. Den del av värmebehovet som inte klaras av värmepumpen täcks av elvärme vilket är dyrare än den fjärrvärme som används i grundfallet. I Luleå blir det värmebehov som måste täckas av elvärme relativt stort vilket gör att besparingen i energikostnad inte blir lika stor som i Malmö eller Stockholm.

Bergvärme är bäst i Stockholm ur LCC-synpunkt, detta beror på att systemen som krävs för att utvinna bergvärme är lika stora i Stockholm och Malmö (lika investeringskostnad) medan uppvärmningssäsongen är längre i Stockholm. Den längre uppvärmningssäsongen i Stockholm gör att besparingen jämfört med grundfallet blir större än i Malmö. I Luleå krävs ett kraftigare system för att utvinna bergvärmens vilket gör att investeringskostnaden blir högre än på de andra orterna. Detta slår igenom och gör att den relativa livscykelkostnaden för åtgärden i Luleå blir sämre än i Stockholm och Malmö. Bergvärme är trots detta lönsamt på samtliga orter.

Uteluftsvärmepumpen är som åtgärd bäst i Malmö och sämst i Luleå. Detta beror på att uteluftsvärmepumpen kan utvinna mer värme ur utomhusluften i Malmö än i Luleå på grund av Luleås kallare klimat. Uteluftsvärmepumpen är dock lönsam på samtliga orter.

För att avgöra vilka kombinationsåtgärder som skulle analyseras ur LCC-synpunkt användes resultaten från LCC-kalkylen av de enskilda åtgärderna. Följande tabell upprättades för vilka kombinationsåtgärder som skulle studeras.

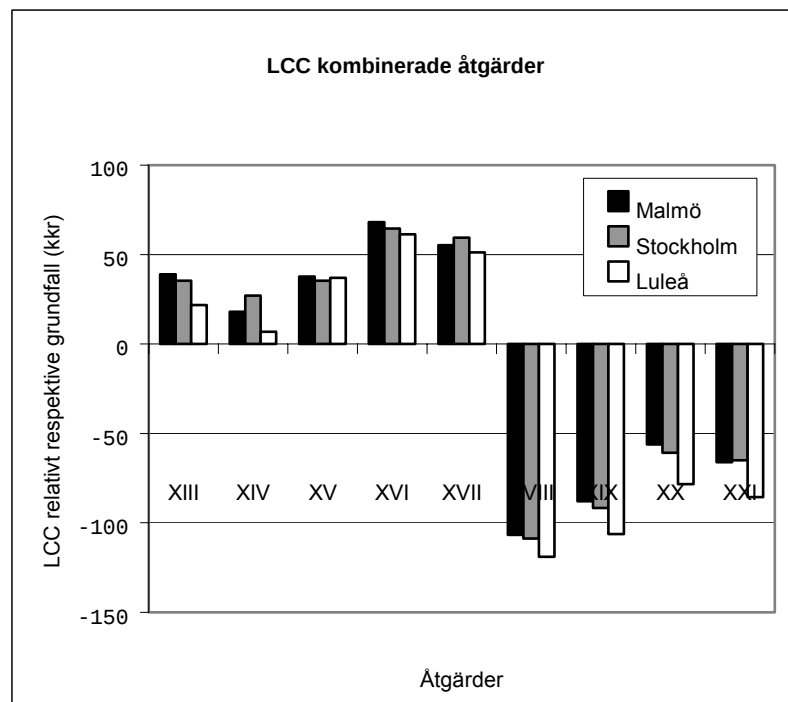
Tabell 6.5 Kombinerade energieffektiviserande åtgärder i vinkelhuset. Tabellen visar också om huset är anslutet till fjärrvärmenätet samt för vilken tidsperiod LCC-beräkningen har utförts.

<i>Fall</i>	<i>Tids-period</i>	<i>FJV-Anslut-ning</i>	<i>+100 Vägg</i>	<i>Sol Kombi</i>	<i>FVP</i>	<i>Berg-värme</i>	<i>Föns-ter</i>	<i>Luft-täthet</i>
XIII	30 år	JA	X				X	
XIV	30 år	JA	X				X	X
XV	20 år	JA	X	X				
XVI	20 år	JA	X	X			X	
XVII	20 år	JA	X	X			X	X
XVIII	20 år	NEJ			X	X		
XIX	20 år	NEJ	X		X	X		
XX	20 år	NEJ	X		X	X	X	
XXI	20 år	NEJ	X		X	X	X	X

Med lufttäthet avses en förbättring av lufttätheten från 0,8 l/sm² i grundfallet till 0,5 l/sm². Denna förbättring av lufttätheten bedöms kunna uppnås utan extra investeringar.

Anledningen till att åtgärder som ej är lönsamma på 20 år tagits med är att dessa åtgärder ändå bedöms ha potential för att kunna ge en sänkning av LCC tillsammans med andra mer lönsamma åtgärder. Detta kan uppnås genom att den ej lönsamma åtgärdens investeringskostnad täcks av den mer lönsamma åtgärdens energibesparing under en viss tidsperiod. Sammantaget borde man på det sättet kunna erhålla en lägre livscykelkostnad än för grundfallet.

Uteluftsvärmepumpen har ej tagits med i studien av kombinerade åtgärder. Anledningen till det är att uteluftsvärmepumpen har tillkommit till studien av enskilda åtgärder i efterhand.



Figur 6.10 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i vinkelhuset. Vilka åtgärder som genomförts framgår av Tabell 6.5.

Resultaten från LCC-beräkningarna av kombinerade åtgärder visar att enskilda åtgärder som inte var lönsamma enskilt inte heller blir lönsamma om de kombineras med åtgärder som var lönsamma enskilt. Detta beror till stor del på att samma tidsperioder inte kan användas vid

LCC-beräkning av kombinerade åtgärder. När det gäller åtgärder i klimatskalet så kan inte tidsperioden 60 år användas, t.ex. då tilläggsisolering kombineras med byte till bättre fönster eftersom ett fönster inte kan förväntas ha en livslängd på 60 år. Då används den livslängd som är kortast av de kombinerade åtgärdernas uppskattade livslängder, i fallet med kombinationen tilläggsisolering och bättre fönster så beräknas LCC på 30 år, d.v.s. under fönstrens uppskattade livslängd. Då åtgärder i klimatskalet kombineras med solvärmesystem beräknas LCC på 20 år, vilket är solvärmesystemets uppskattade livslängd.

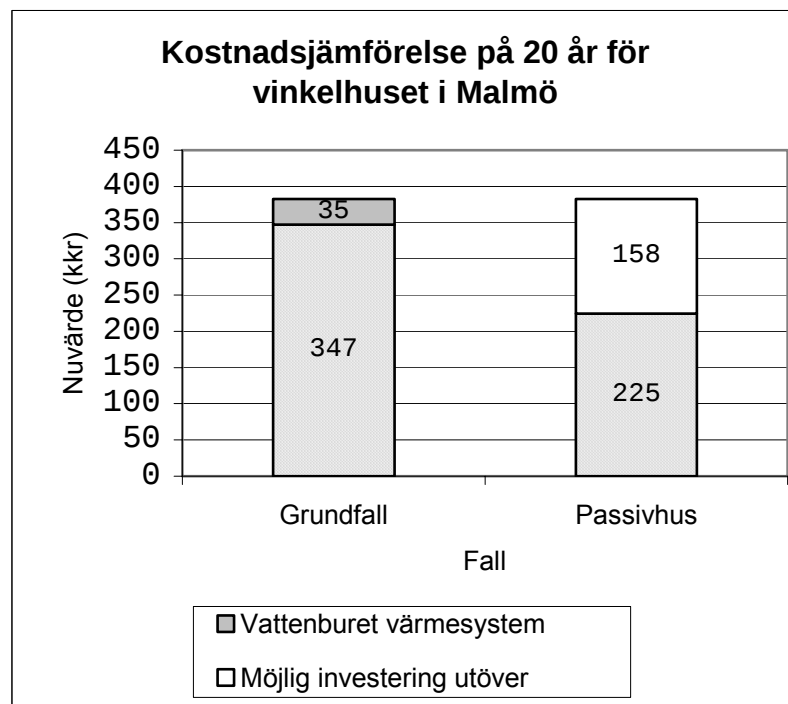
Av resultaten framgår att det finns stora vinster att göra då bergvärmesystem kombineras med en frånluftsvärmepump. Detta beror till stor del på att det finns kombinerade system som tillsammans innebär en lägre investeringskostnad än summan av kostnaderna för ett separat bergvärmesystem och en separat frånluftsvärmepump. Om denna kombination sedan kombineras med åtgärder i klimatskalet så kan behovet av köpt energi minskas, dock på bekostnad av en försämring av LCC_{20} .

I BILAGA A visas resultaten från LCC-kalkylen för vinkelhuset som livscykelkostnader i absoluta tal för grundfallet och för de olika åtgärdade fallen. Tabellen innehåller både enskilda och kombinerade åtgärder. Tabellen i BILAGA A visar vad LCC blir för de olika åtgärderna på de olika orterna på den tidsperiod som anges i tabellen. För grundfallet redovisas LCC för olika tidsperioder eftersom dessa används till att beräkna LCC för de olika åtgärderna relativt grundfallet i Figur 6.9 och Figur 6.10.

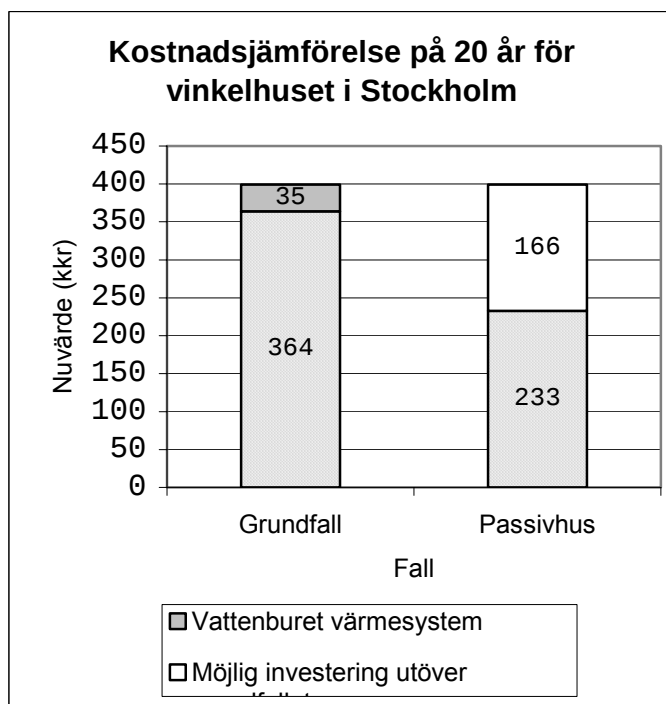
6.1.4 Investeringkalkyl för hus utan värmesystem

Att beräkna vilka kostnader som är förknippade med att uppnå de kriterier som ställs i Avsnitt 2.1.12 för att det vattenburna värmesystemet i vinkelhuset ska kunna avlägsnas är en mycket arbetsam uppgift. Att utreda vad de extra kostnaderna jämfört med grundfallet skulle bli är inte möjligt med den metodik som tillämpats i detta arbete. Vad som är möjligt att beräkna är den extra investering som kan tillåtas om driftskostnaderna minskas. Således kan en tillåten investering beräknas om villkoret är att den extra investeringen jämfört med grundfallet genererar samma livscykelkostnad som grundfallet på exempelvis 20 år. Resultatet från en sådan beräkning för vinkelhuset placerat i Malmö och Stockholm redovisas i Figur 6.11 resp. Figur

6.12. Luleåfallet har inte simulerats eftersom energisimuleringarna i Avsnitt 6.1.2 visar att vinkelhuset simulerat med kriterierna för passivhus inte lever upp till de krav man ställer på ett passivhus/hus utan värmesystem. Vad som redovisas i tabellerna är nuvärdet av driftskostnaderna vilka inkluderar energianvändning exkl. hushållsel och kostnader för underhåll av FTX-systemet i passivhusfallet. Dessutom redovisas kostnaden för det vattenburna värmesystemet i grundfallet eftersom detta inte behövs i passivhus-utförandet. Det som då redovisas som "möjlig investering utöver grundfallet" är helt enkelt den investering man lägga på att installera FTX-system, bygga ett tätare och mer välisolerat klimatskal, montera in bättre fönster och dylika åtgärder. Investeringen skall med andra ord täcka de kostnader som krävs för att göra om vinkelhuset till ett passivhus. Beräkningen är genomförd med förutsättningen att båda fallen får varmvatten och uppvärmning via fjärrvärme.



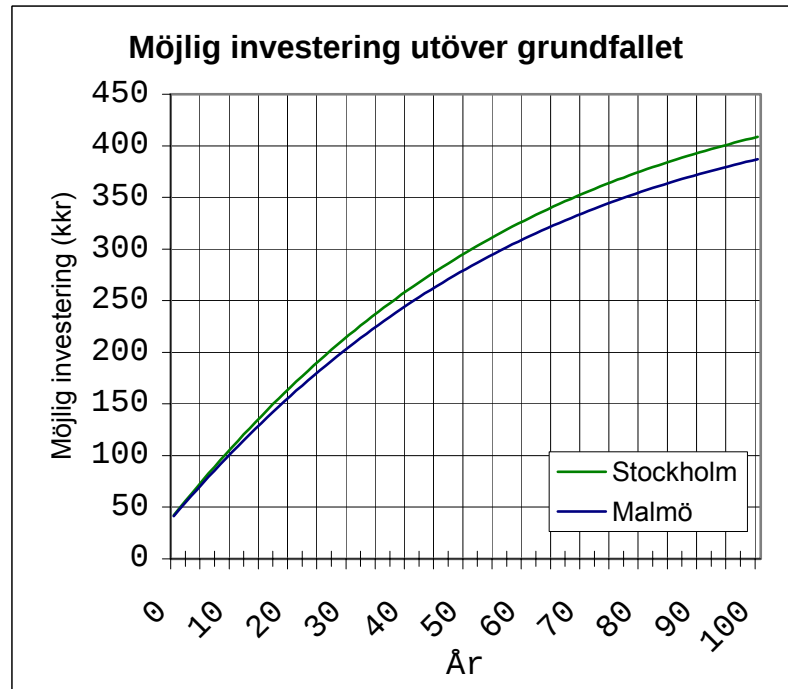
Figur 6.11 Kostnadsjämförelse på 20 år för vinkelhuset i Malmö



Figur 6.12 Kostnadsjämförelse på 20 år för vinkelhuset i Stockholm

Med erfarenheter om kostnader från Avsnitt 0 så verkar det svårt att få ett passivhus att löna sig på 20 år. Investeringen på ~160 000 kronor utöver grundinvesteringen skall täcka kraftfulla åtgärder på klimatskalet och ventilationssystemet. Detta kan jämföras med den åtgärd som enligt Avsnitt 6.1.3 ger lägst livscykelkostnad, nämligen en bergvärmepump med ett frånluftsaggregat. Denna systemlösning har en livscykelkostnad som är ~110 000 kronor lägre än grundfallet på 20 år då investeringskostnaden för systemet är inräknad. Detta kan tolkas som att ett passivhus inte är det alternativ som är mest kostnadseffektivt på 20 års sikt.

En byggnads livslängd är i de flesta fall betydligt längre än 20 år vilket gör att även längre beräkningsperioder kan vara intressanta att studera. I Figur 6.13 redovisas hur posten "Möjlig investering utöver grundfallet" från Figur 6.11 beror av beräkningsperiodens längd. Det bör påpekas att inga återinvesteringar är medräknade i kalkylen vilket medför att även dessa kostnader måste täckas av extrainvesteringen för passivhuset.

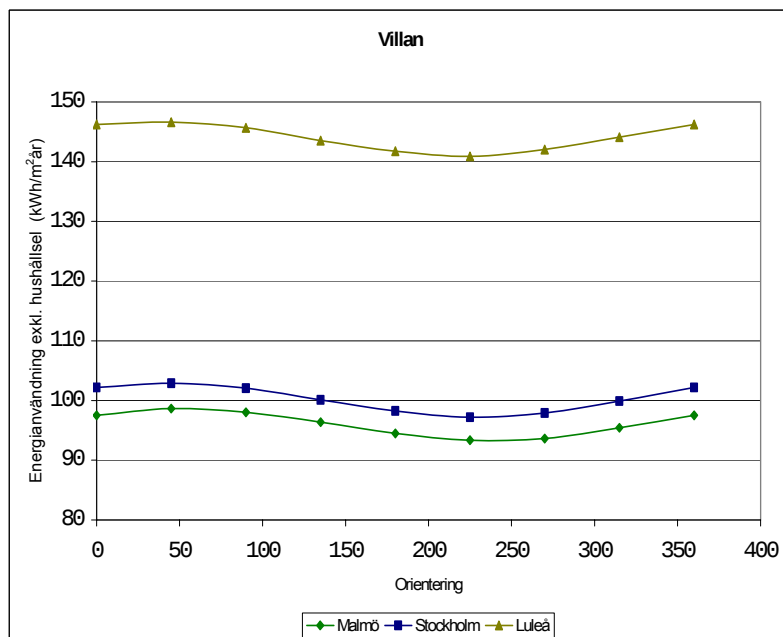


Figur 6.13 Möjlig investering utöver grundfallet som funktion av beräkningsperiodens längd under förutsättningen att livscykelkostnaderna för grundfallet och passivhuset skall var lika vid beräkningsperiodens slut.

6.2 Villan

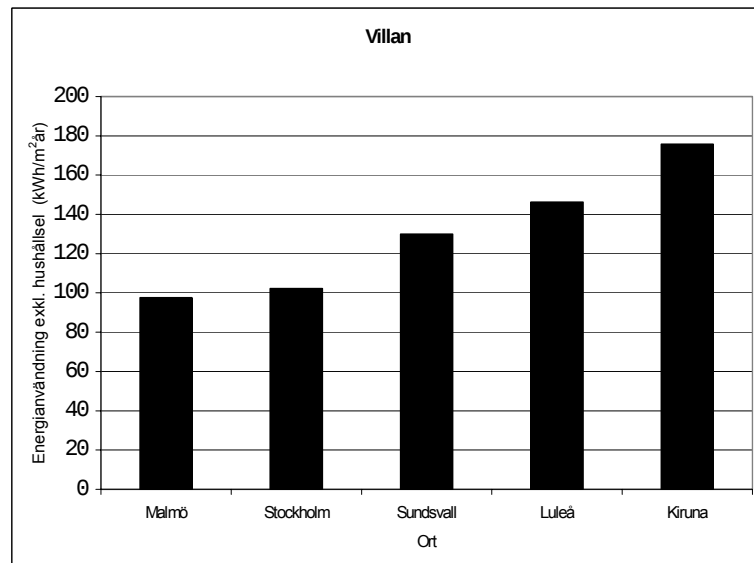
6.2.1 Energianvändning

I detta avsnitt redovisas resultaten från de simuleringar som gjorts för villan. Resultaten presenteras som energianvändning exklusive hushållsel utslaget på bruksarean. Hur husets energianvändning påverkas av mer planeringsmässiga/geografiska skillnader, så som vridning och geografisk placering, redovisas i Figur 6.14 och Figur 6.15. Resultaten för de tekniska åtgärderna redovisas i Tabell 6.6 och Figur 6.17. En beräkning av den procentuella energibesparingen jämfört med grundfallen redovisas i Figur 6.18.

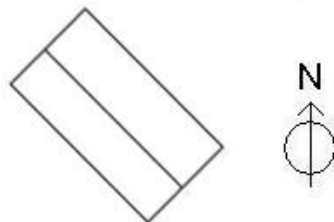


Figur 6.14 *Energianvändningen exkl. hushållsel för Villan - grundfallet placerat i Malmö , Stockholm och Luleå med olika vridning mot söderriktningen.*

I likhet med resultaten för vinkelhuset så skiljer sig inte energianvändningen vid olika vridning av huset nämnvärt mellan de olika orterna. Skillnaden mellan lägsta och högsta energianvändning uppgår här till 5–6 kWh/m²BRA. Den vridning som ger lägst energianvändningen ligger någonstans runt 225° medsols utifrån norriktningen, se Figur 6.16. Vilken vridning av villan som används som nolläge kan utläsas Figur 5.2.



Figur 6.15 *Energianvändningen exkl. hushållsel för Vinkelhuset - grundfallet placerat i Malmö , Stockholm, Sundsvall, Luleå och Kiruna*

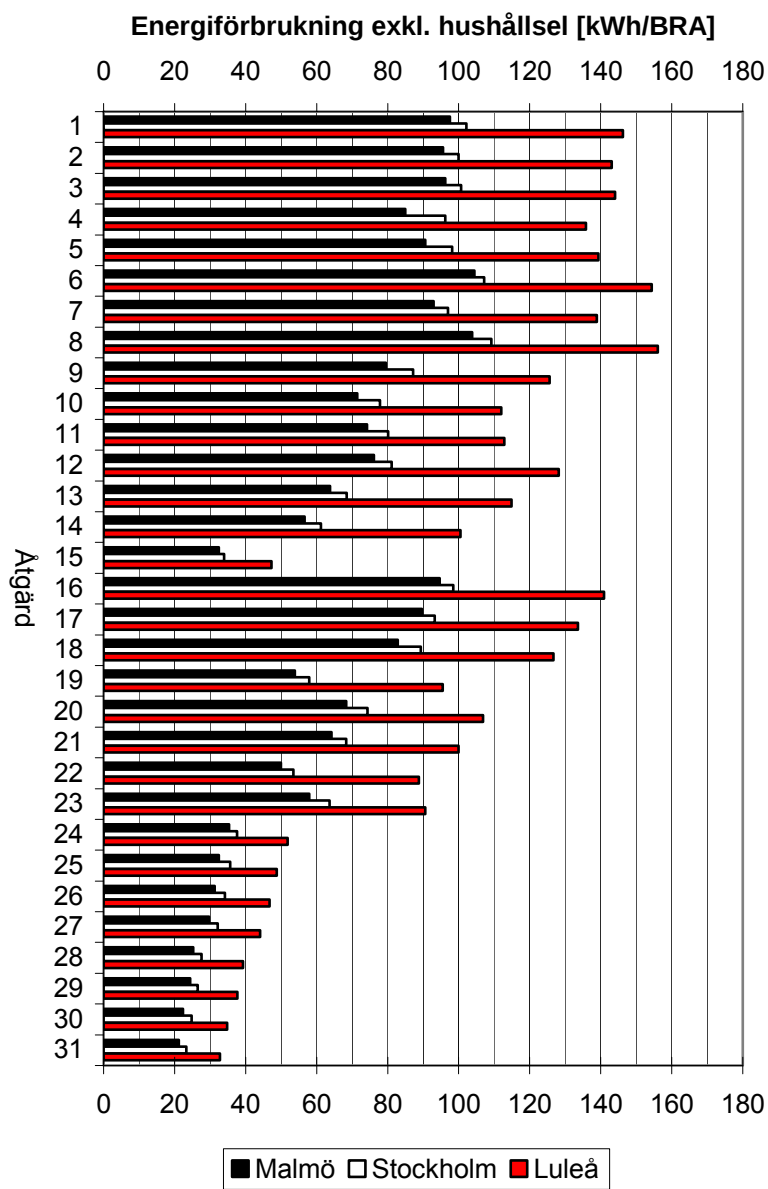


Figur 6.16 *Villan när den är orienterad för minimal energi-användning*

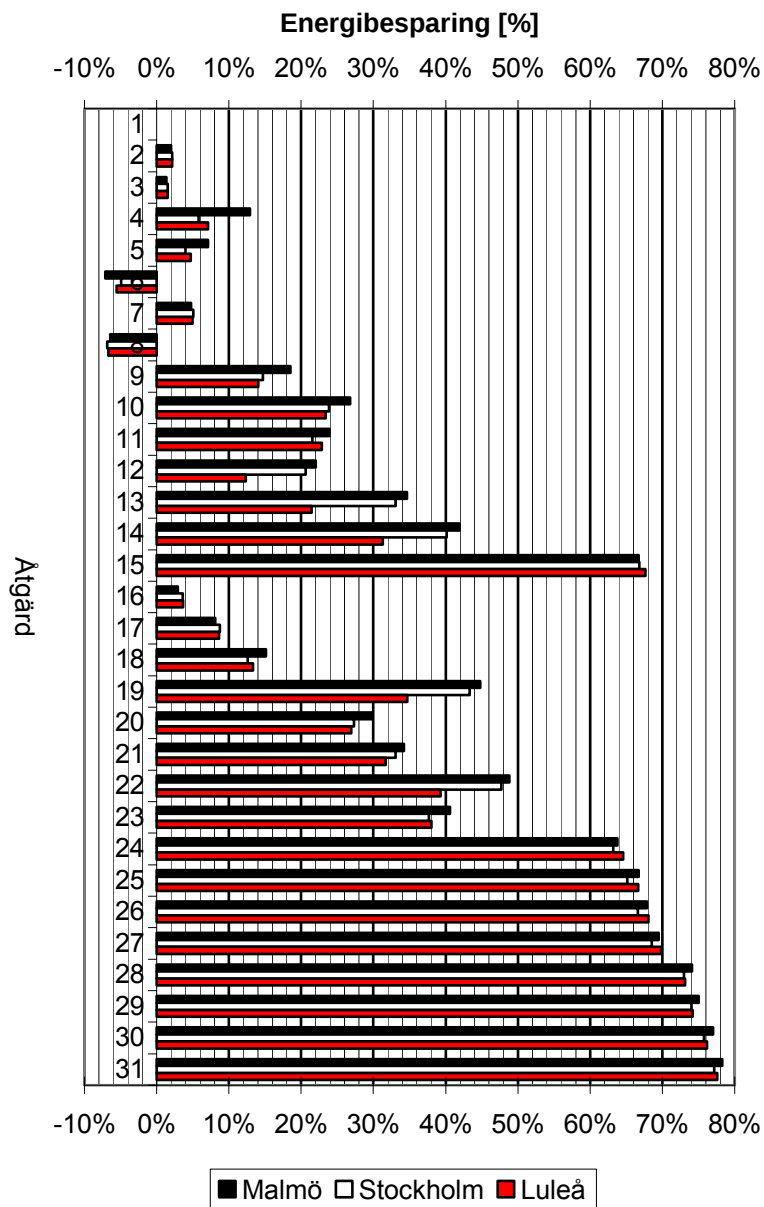
Skillnaden i energianvändning mellan olika orter i Sverige kan för Villan uppgå till 78 kWh/m²BRA. 48 kWh/m²BRA kan det skilja mellan Malmö och Luleå, medan skillnaden mellan Malmö och Stockholm endast är 4 kWh/m²BRA.

Tabell 6.6 Sammanställning över resultat från energisimuleringar för Villan. Åtgärderna är beskrivna som tilläggsåtgärder utifrån grundfallet. Grundfallet beskrivs närmare i Avsnitt 5.2.3. Energianvändningen anges i kWh/m²BRA och motsvarar total energianvändning exklusive hushållsel.

Fall	Åtgärd	Malmö	Sthlm	Luleå
	Enskilda åtgärder			
1	Grundfall	97,5	102,2	146,2
2	+50 mm isolering	95,6	100,0	143,1
3	+50 mm isolering tak	96,2	100,7	144,0
4	Lufttäthet 0,2 l/sm ² vid 50 Pa	84,9	96,2	135,8
5	Lufttäthet 0,5 l/sm ² vid 50 Pa	90,6	98,1	139,3
6	Lufttäthet 1,1 l/sm ² vid 50 Pa	104,5	107,2	154,4
7	Fönster U=1,0 W/m ² K	92,9	97,0	138,9
8	Fönster U=1,7 W/m ² K	103,8	109,2	156,0
9	Lägenhets-FTX-system (n=0,58), korsströmsvux	79,5	87,2	125,6
10	Lägenhets-FTX-system (n=0,81), roterande vvx	71,4	77,8	112,0
11	Lägenhets-FTX-system (n=0,88), roterande vvx	74,2	80,2	112,8
12	Solvärme varmvatten	76,1	81,1	128,2
13	Solvärme kombi	63,8	68,4	114,9
14	Frånluftsvärmepump	56,7	61,2	100,5
15	Bergvärme	32,5	33,9	47,3
	Kombinerade åtgärder			
16	+50 mm isol. i vägg och tak	94,7	98,5	140,9
17	+50 mm isol. i vägg och tak, Fönster U=1,0	89,6	93,3	133,6
18	+50 mm isol. i vägg och tak, fönster U=1,0, täthet 0,5	82,8	89,3	126,7
19	+50 mm isolering i vägg och tak, FVP	53,8	57,9	95,5
20	+50 mm isolering i vägg och tak, FTX (n=81%)	68,4	74,3	106,9
21	+50 mm isol. i vägg och tak, fönster U=1,0, FTX (n=81%)	64,2	68,4	99,9
22	+50 mm isolering i vägg och tak Fönster U=1,0, FVP	49,9	53,4	88,8
23	+50 mm isolering i vägg och tak Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5, FTX (n=81%)	57,9	63,7	90,6
24	FVP + BVP	35,3	37,6	51,8
25	FVP + BVP, Lufttäthet 0,5	32,5	35,6	48,7
26	+50 mm isol. i vägg och tak, täthet 0,5, FVP + BVP	31,3	34,1	46,7
27	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5, FVP + BVP	29,7	32,2	44,1
28	FTX (n=81%), Bergvärme	25,3	27,6	39,3
29	+50 mm isolering i vägg och tak, FTX (n=81%), Bergvärme	24,3	26,5	37,7
30	+50 mm isolering i vägg och tak, Lufttäthet 0,5, FTX (n=81%), Bergvärme	22,4	24,8	34,8
31	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5, FTX (n=81%), Bergvärme	21,2	23,3	32,8



Figur 6.17 Resultat från energisimuleringar för Villan. Åtgärderna beskrivs i Tabell 6.1. Energibehovet är angivet i kWh/m²BRA och motsvarar det totala energibehovet exklusive hushållsel.



Figur 6.18 Resultat från energisimuleringar för Villan redovisat som energibesparing jämfört med grundfallet.

Om man studerar de enskilda åtgärderna för Villan ser man i likhet med Vinkelhuset att det är åtgärder som rör installationerna som ger de största energibesparingarna. Störst energibesparing ger återigen bergvärmepumpen med en minskad energianvändning på runt 67 %. Även frånluftvärmepumpen ger en hög energibesparing motsvarande 40 % i södra Sverige och omkring 30 % i norra.

FTX-systemen ger en minskning av energianvändningen på upp till 25 % oavsett ort. I resultaten från simuleringarna av de tre FTX-systemen med olika temperaturverkningsgrader (58 %, 81 % samt 88 %) syns att det är systemet med temperaturverkningsgraden 81 % ger den största energibesparingen. Detta beror på att systemet med den högsta temperaturverkningsgraden, 88 %, har dåliga verkningsgrader på fläktarna vilket gör att elanvändningen för fläktarna blir mer än dubbelt så hög som för fläktarna i de andra två FTX-systemen. I FTX-systemen med temperaturverkningsgraderna 58 och 81 % används samma fläktar som arbetar vid samma arbetspunkt. Detta gör att elanvändningen för fläktarna blir lika och därmed är energibesparingen i huset direkt beroende av systemens temperaturverkningsgrader.

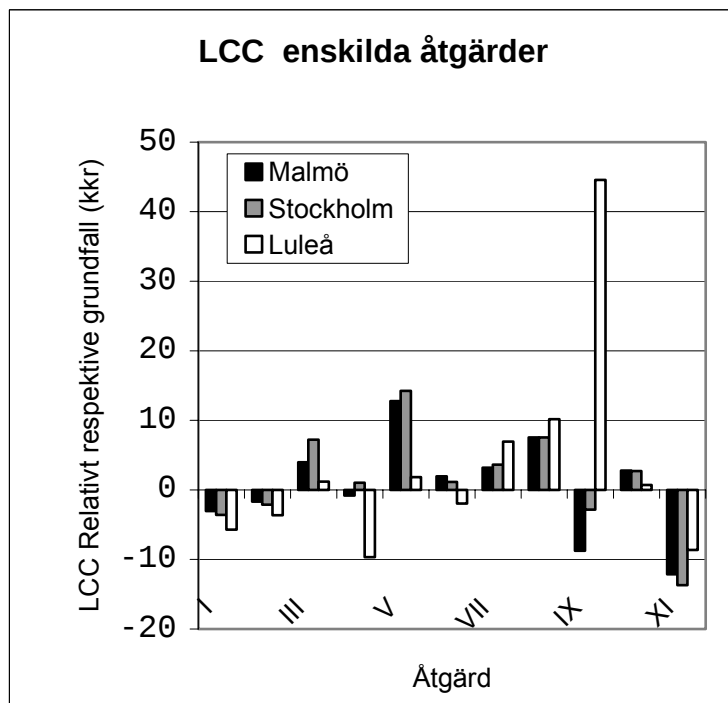
Solvärmesystemet ger en större besparing i södra Sverige (upp till 34 %) än i norra Sverige (ca 20 %).

När det gäller åtgärder på klimatskalet så ligger den potentiella energibesparingen på runt 5 % på samtliga orter (fönster med $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$). En kraftig ökning av lufttätheten i Malmö ($0,2 \text{ l/sm}^2$ vid 50 Pa) sticker dock ut med en minskad energianvändning på ~13 %.

Kombinerar man åtgärderna på klimatskalet och tilläggsisolerar, tätar och sätter in fönster med lägre U-värde (fall 19) så kan energianvändningen minskas med 12-15 % oavsett ort. Lägst energianvändning får man om man kombinerar olika åtgärder med en bergvärmepump (fall 28-32). Energianvändningen kan då minskas med uppåt 78 % (fall 32).

6.2.2 Investeringskalkyl

På samma sätt som för vinkelhuset visas resultaten från livscykelkostnadsberäkningarna som LCC för respektive åtgärd relativt grundfallets LCC. Att resultaten visas som relativa LCC innebär precis som tidigare att ett negativt resultat innebär en minskning av LCC jämfört med grundfallet.



Figur 6.19 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika enskilda energieffektiviserande åtgärder i villan. Vilka åtgärder som beräknats framgår av Tabell 6.7.

Tabell 6.7 Enskilda energieffektiviserande åtgärder i villan.

<i>Fall</i>	<i>Tidsperiod</i>	<i>Fjärrvärme-anslutning</i>
I. +50mm mineralull ytterväggar	60 år	JA
II. +50mm mineralull tak	60 år	JA
III. FTX-system 58%	20 år	JA
IV. FTX-system 81%	20 år	JA
V. FTX-system 88%	20 år	JA
VI. Fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	30 år	JA
VII. Solvärme varmvatten	20 år	JA
VIII. Solvärme kombisystem	20 år	JA
IX. Frånluftsvärmepump	20 år	NEJ
X. Frånluftsvärmepump	20 år	JA
XI. Bergvärme	20 år	NEJ

Resultaten av LCC-beräkningarna av enskilda energieffektiviserande åtgärder i villan visar att tilläggsisolering av både ytterväggar och tak är lönsamt på 60 år på samtliga orter. Tilläggsisolering sänker LCC_{60} mest i Luleå och minst i Malmö.

Resultaten från de tre olika FTX-systemen visar att det bästa systemet ur LCC-synpunkt är det med temperaturverkningsgraden 81 %. Detta system är även bäst ur energisynpunkt på grund av bättre fläktverkningsgrader än de andra FTX-systemen. Det enda FTX-systemet i studien som sänker LCC_{20} är systemet med temperaturverkningsgraden 81 %. Det sänker dock inte LCC_{20} i Stockholm och i Malmö är det en tveksam åtgärd då LCC_{20} endast minskas med ca 1000 kr.

I samtliga fall med FTX-system (fall III, IV och V) syns att FTX-system som energieffektiviserande åtgärd är sämst i Stockholm, detta beror på att byggnaden inte blir lika känslig för vindförhållanden med ett FTX-system. Vid installation av ett FTX-system tas friskluftsventilerna bort. Detta innebär att byggnaden inte påverkas lika mycket av yttre vindförhållanden. I Malmö är värmeförlusterna på grund av luftläckage nästan dubbelt så höga som i Stockholm i grundfallet. Då ett FTX-system installeras och friskluftsventilerna tas bort blir förlusterna på grund av luftläckage ungefär lika stora i Malmö och Stockholm. Den relativa besparingen blir därmed större i Malmö. Anledningen till att värmeförlusterna genom luftläckage är större i Malmö än i Stockholm i grundfallet är att medelvindhastigheten är högre i Malmö än i Stockholm, se avsnitt 2.1.6.

Att byta till fönster med U-värde $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ istället för $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ är en tveksam åtgärd ur livscykeleconomisk synpunkt. LCC_{30} sänks endast i Luleå. I Malmö och Stockholm ökar LCC_{30} . Störst är ökningen i Malmö. Minskningen av LCC_{30} i Luleå är på endast ca 2000 kr.

Både solvärmesystem för varmvatten och solvärmesystem som kombisystem ökar LCC_{20} på samtliga orter, störst är ökningen i Luleå och minst i Malmö. Detta beror på att solstrålningen över året är kraftigare i Malmö än i Luleå vilket gör att solvärme blir effektivare i landets södra delar, se avsnitt 2.1.6. För villan är dock systemet alltför dyrt och därmed inte lönsamt som energieffektiviserande åtgärd beräknat på 20 år.

Frånluftsvärmepumpen sänker LCC_{20} i Malmö och Stockholm under förutsättning att huset inte är anslutet till fjärrvärmenätet. Att inte ansluta huset till fjärrvärmenätet innebär en besparing i anslutningsavgift och fjärrvärmeväxlare, dock på bekostnad av ett högre energipris då elenergin är dyrare än fjärrvärmen. Att elkostnaden är högre än fjärrvärmekostnaden har inte så stor betydelse i Malmö och Stockholm där behovet av köpt energi är litet och sänks med upp till 43 % tack vare frånluftsvärmepumpen. I Luleå är dock behovet av köpt energi fortfarande så stort att det högre elpriset påverkar LCC_{20} så att den ökar kraftigt om huset inte är fjärrvärmeanslutet. Anledningen till detta är att huset i grundfallet är fjärrvärmeanslutet och att elpriset är högre än fjärrvärmepriset. Detta syns i det fall där frånluftsvärmepumpen LCC -beräknats då huset fortfarande är fjärrvärmeanslutet, resultatet blir då nära det omvända, d.v.s. LCC_{20} är bäst i Luleå och sämst i Malmö/Stockholm.

Bergvärmepumpen sänker LCC_{20} på samtliga orter. Detta beror på att bergvärmepumpen sänker behovet av köpt energi med ca 75 % på samtliga orter. När energibehovet sänkts så mycket så är det inte längre lönsamt att ansluta huset till fjärrvärmenätet beroende på kostnader för fjärrvärmeväxlare och anslutningsavgift.

På samma sätt som för vinkelhuset har LCC -beräkningarna för enskilda åtgärder legat till grund för valet av vilka kombinationer av åtgärder som skulle LCC -beräknas för villan. Tabell 6.8 visar vilka kombinerade åtgärder som LCC -beräknats för villan samt vilken tidsperiod som använts i beräkningarna. Det syns också om villan i de olika fallen är ansluten till fjärrvärmenätet eller inte.

Tabell 6.8 Kombinerade energieffektiviserande åtgärder i villan.
Tabellen visar också om huset är anslutet till fjärrvärmenätet samt för vilken tidsperiod LCC-beräkningen har utförts.

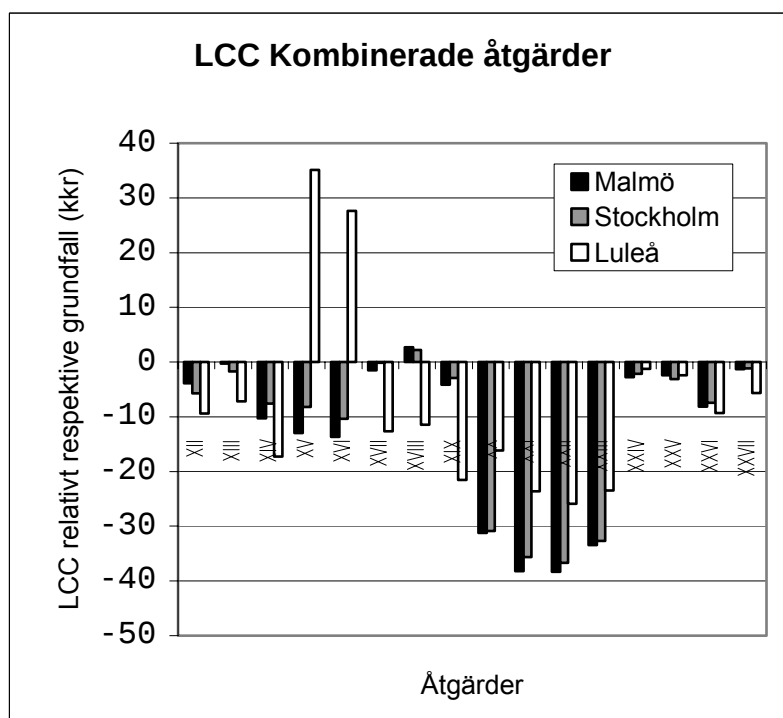
Fall	Tids-period	FJV-anslutning	+50 Vägg	+50 Tak	FTX 81%	Fönster	FVP	Luft-täthet	Berg-värme
XII	60 år	JA	X	X					
XIII	30 år	JA	X	X		X			
XIV	30 år	JA	X	X		X		X	
XV	20 år	NEJ	X	X			X		
XVI	20 år	NEJ	X	X		X	X		
XVII	20 år	JA	X	X	X				
XVIII	20 år	JA	X	X	X	X			
XIX	20 år	JA	X	X	X	X		X	
XX	20 år	NEJ					X		X
XXI	20 år	NEJ					X	X	X
XXII	20 år	NEJ	X	X			X	X	X
XXIII	20 år	NEJ	X	X		X	X	X	X
XXIV	20 år	NEJ			X				X
XXV	20 år	NEJ	X	X	X				X
XXVI	20 år	NEJ	X	X	X			X	X
XXVII	20 år	NEJ	X	X	X	X		X	X

Med lufttäthet avses en förbättring av lufttätheten från 0,8 l/sm² i grundfallet till 0,5 l/sm². Denna förbättring av lufttätheten bedöms kunna uppnås utan extra investeringar.

Varje energieffektiviserande åtgärd som valts ut för att ingå i olika kombinationer sänker LCC relativt grundfallet på en eller flera orter. På den ort/de orter där en enskild åtgärd inte sänker LCC var bedömningen att LCC ändå skulle kunna sänkas genom kombination tillsammans med mer lönsamma åtgärder.

Resultaten från LCC-beräkningarna av kombinerade energieffektiviserande åtgärder visar att de största vinsterna i LCC finns att göra då frånluftsvärmepumpen kombineras med bergvärme. På samma sätt som i vinkelhuset beror det på att det finns kombinerade system för bergvärme och frånluftsvärmepump till en lägre kostnad än vad kostnaden för de två åtgärderna separat skulle vara. Den största anledningen till att kombinationen är lönsam är dock att båda åtgärderna resulterar både var för sig och tillsammans i en kraftig minskning av behovet av köpt energi, detta kan ses i Figur 6.18. Kombinationen bergvärme-frånluftsvärmepump sänker LCC₂₀ minst i

Luleå. Detta beror på att systemet blir dyrare i norra Sverige på grund av att man där måste borra djupare för att täcka samma effektbehov jämfört med södra Sverige, dessutom krävs ett större effektuttag i norra Sverige.



Figur 6.20 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i villan. Vilka åtgärder som genomförts framgår av Tabell 6.8.

Åtgärd XII, XIII och XIV visar att kombinerade åtgärder i klimatskalet sänker LCC_{60} på samtliga orter. Klimatskalsåtgärder i villan är mest lönsamma i Luleå. Resultaten indikerar att en förbättring av lufttätheten är bättre i Malmö än i Stockholm. Detta förklaras av att medelvindhastigheten över året är högre i Malmö än i Stockholm. Detta gör att den relativa minskningen av värmeförluster genom luftläckage blir större i Malmö än i Stockholm vid en ökning av lufttätheten.

Åtgärd XV och XVI visar LCC_{20} för kombinationer av frånluftsvärmepump och klimatskålsåtgärder då huset inte är anslutet till fjärrvärmenätet. Att huset inte är anslutet till fjärrvärmenätet gör att åtgärderna inte är lönsamma i Luleå, detta av samma anledning som beskrivs under resultaten för de enskilda åtgärderna.

När det gäller FTX-systemen så ger de i kombination med klimatskålsåtgärder (åtgärd XVII, XVIII och XIX) bäst resultat i Luleå. Detta på grund av att ett FTX-system kan återvinna mer värme ju kallare uteluften är.

Åtgärderna XX, XXI, XXII och XXIII visar att frånlufts- och bergvärmepump i kombination med olika klimatskålsåtgärder sänker LCC_{20} med upp till 38000 kr. Att byta ut fönstren i huset försämrar resultatet (åtgärd XXIII), detta beror på att fönsterbyte som enskild åtgärd inte är lönsam på 20 år. Åtgärderna är i de fyra fallen sämst i Luleå, detta beror på att systemet är dyrare i Luleå på grund av att det krävs ett kraftigare system för att tillgodose maxeffektbehovet i det kallare klimatet. Anledningen till att kombinationerna är bättre i Malmö än i Stockholm är att frånluftsvärmepumpen kan täcka en relativt sett större del av energibehovet i Malmö än i Stockholm.

Åtgärderna XXIV till och med XXVII visar vad som händer med LCC_{20} då bergvärme kombineras med FTX-system och sedan kompletteras med klimatskålsåtgärder. Det blir tydligt att FTX-system och bergvärme tillsammans med ökad lufttäthet (XXVI) ger ett bra resultat i form av störst sänkning av LCC_{20} av dessa fyra kombinationsåtgärder. Även här kan ses att ökad lufttäthet relativt sett ger minst besparing i Stockholm. När klimatskalet kompletteras med bättre fönster blir resultatet sämre (XXVII), detta beror på att ett fönsterbyte som enskild åtgärd inte är lönsam på tidsperioden 20 år. Totalt sett fås dock fortfarande en sänkning av LCC_{20} relativt grundfallet.

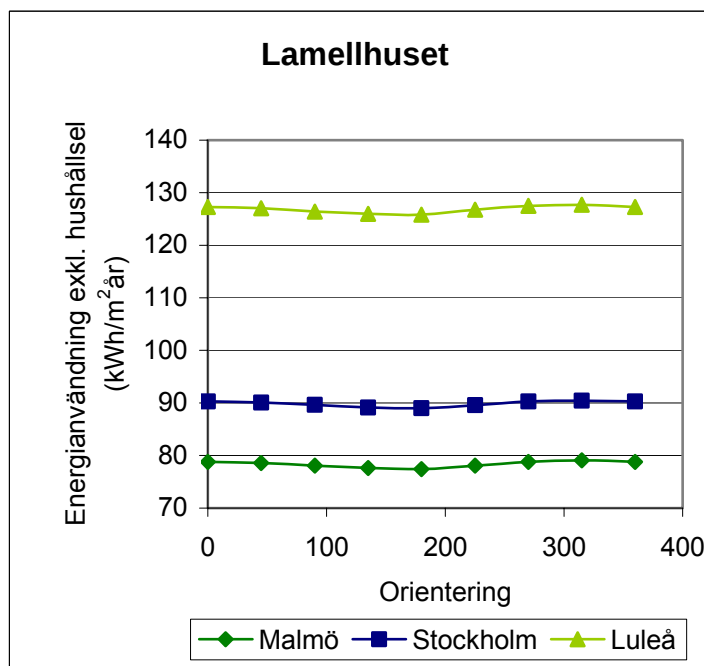
I BILAGA A visas resultaten från LCC-kalkylen för villan som livcykelkostnader i absoluta tal för grundfallen och för de olika åtgärdade fallen. Tabellen innehåller både enskilda och kombinerade åtgärder. Tabellen i BILAGA A visar vad LCC blir för de olika åtgärderna på de olika orterna på den tidsperiod som anges i tabellen. För grundfallet redovisas LCC för olika tidsperioder eftersom dessa

används till att beräkna LCC för de olika åtgärderna relativt grundfallet i Figur 6.19 och Figur 6.20.

6.3 Lamellhuset

6.3.1 Energianvändning

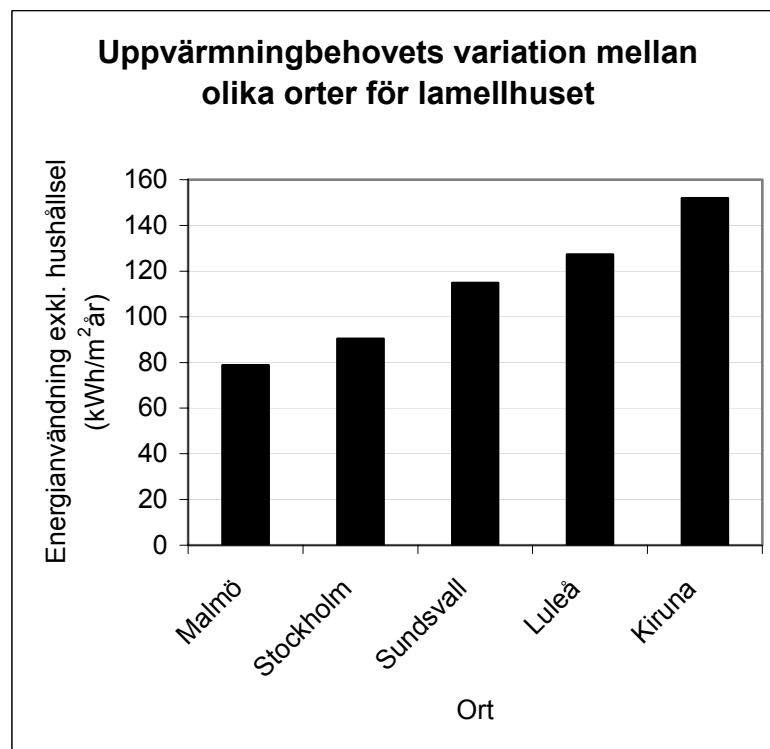
I detta avsnitt redovisas resultaten från de simuleringar som gjorts för lamellhuset. Resultaten presenteras som energianvändning exklusive hushållsel utslaget på bruksarean. Hur husets energianvändning påverkas av mer planeringsmässiga/geografiska skillnader, så som vridning och geografisk placering, redovisas i Figur 6.21 och Figur 6.22. Resultaten för de tekniska åtgärderna redovisas i Tabell 6.9 och Figur 6.24. En beräkning av den procentuella energibesparingen jämfört med grundfallen redovisas i Figur 6.25.



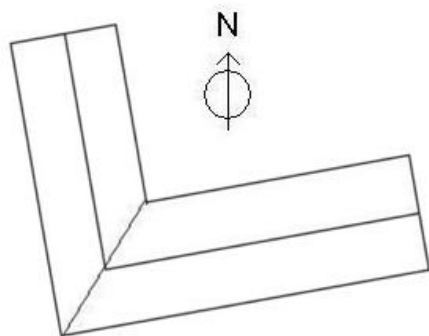
Figur 6.21 Energianvändningen exkl. hushållsel för lamellhuset - grundfallet placerat i Malmö, Stockholm och Luleå med olika vridning mot söderriktningen.

Den optimala vridningen av lamellhuset ur energisynpunkt ligger i området kring 170° vridning medsols från norriktningen, se Figur 6.23. Energibesparingen per kvadratmeter bruksarea är dock måttlig. Den handlar enligt Figur 6.21 om en besparing på ca. 1,5 kWh/m²BRA. Totalt motsvarar detta en energibesparing på 7-9000 kWh/år, vilket ska jämföras med en total energibesparing på ~800 kWh/år för villan när det är optimalt orienterat. Hur lamellhuset är vridet i grundfallet kan utläsas ur Figur 5.3.

Skillnaden i energianvändningen mellan olika orter är betydande. Energianvändningen exkl. hushållsel är nästan dubbelt så stor i Kiruna jämfört med Malmö (74 kWh/m²BRA). Skillnaderna mellan de orter som studerats vidare i studien (Stockholm, Luleå) och Malmö är 11 resp. 36 kWh/m²BRA.



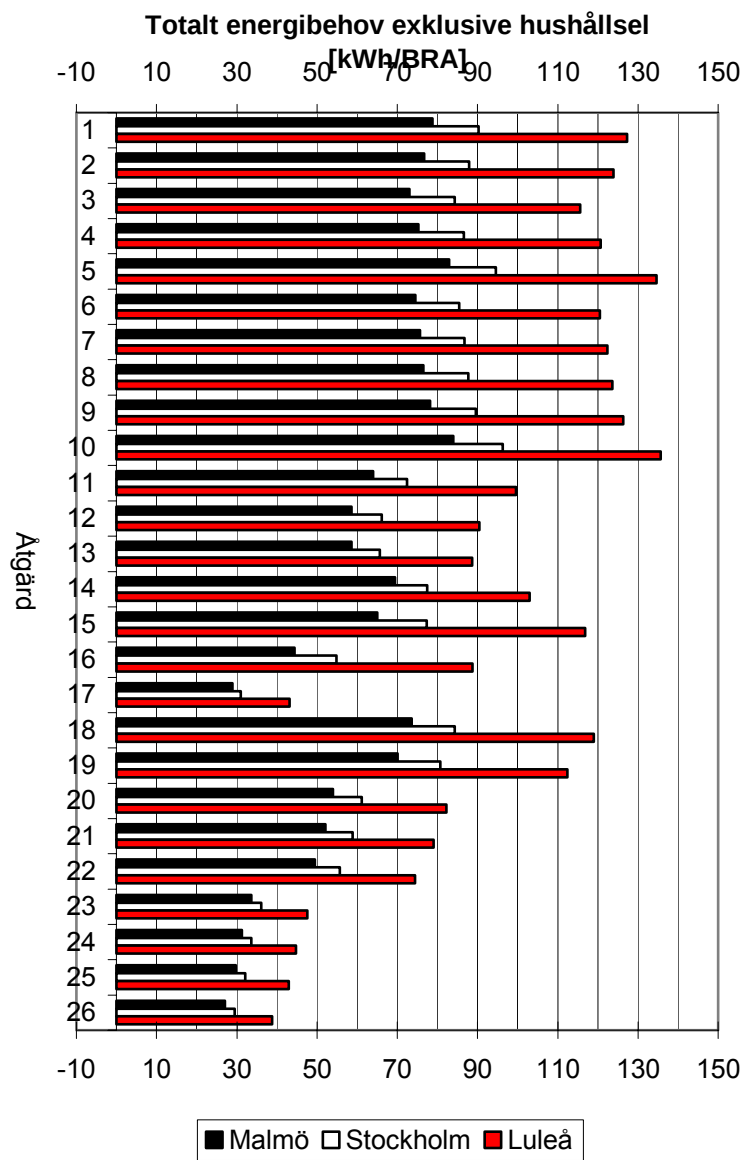
Figur 6.22 Energianvändningen exkl. hushållsel för Vinkelhuset - grundfallet placerat i Malmö, Stockholm, Sundsvall, Luleå och Kiruna.



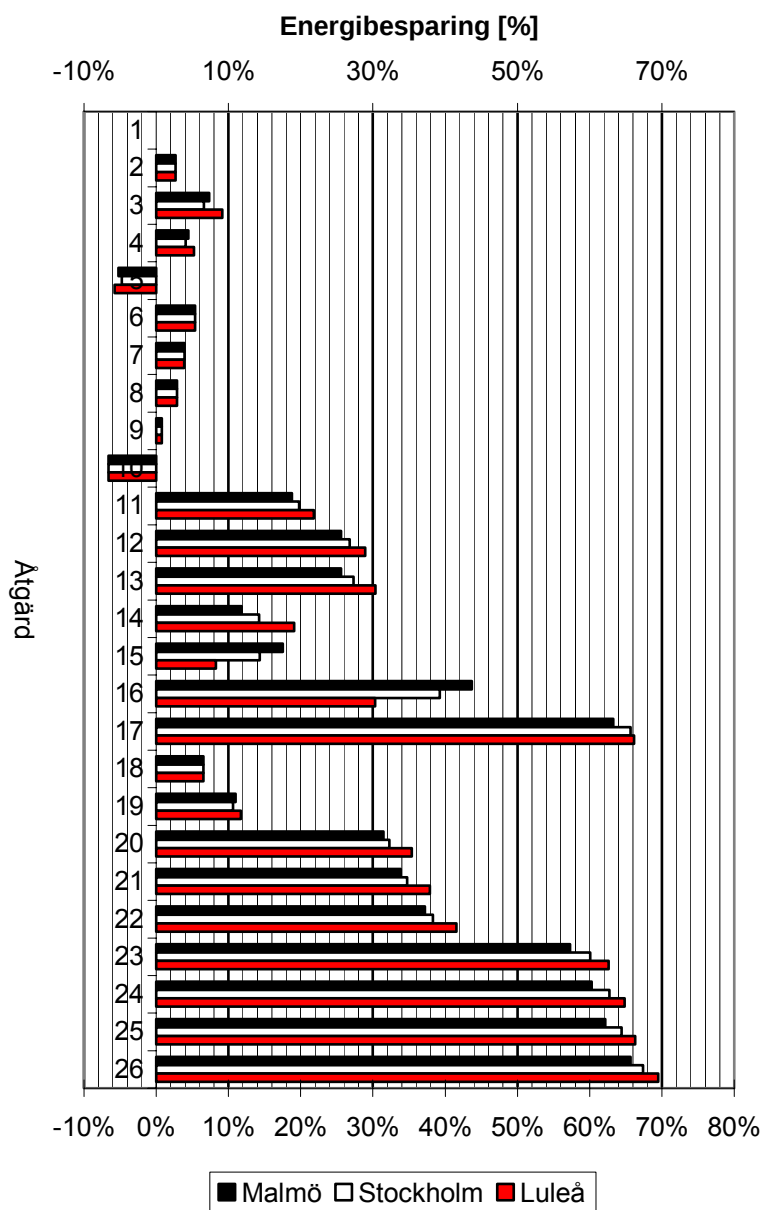
Figur 6.23 Lamellhuset när det är orienterat för minimal energianvändning

Tabell 6.9 Sammanställning över resultat från energisimuleringar för lamellhuset. Åtgärderna är beskrivna som tillsättsåtgärder utifrån grundfallet. Grundfallet beskrivs närmare i Avsnitt 5.2.4. Energianvändningen anges i kWh/m²BRA och motsvarar total energianvändning exklusive hushållsel.

<i>Fall</i>	<i>Åtgärd</i>	<i>Malmö</i>	<i>Stockholm</i>	<i>Luleå</i>
	Enskilda åtgärder			
1	Grundfall	78,8	90,3	127,3
2	+50 mm cellplast	76,7	87,9	123,9
3	Lufttäthet 0,2 l/sm ² vid 50 Pa	73,0	84,3	115,7
4	Lufttäthet 0,5 l/sm ² vid 50 Pa	75,2	86,6	120,7
5	Lufttäthet 1,1 l/sm ² vid 50 Pa	82,9	94,6	134,6
6	Fönster U=0,9 W/m ² K	74,5	85,4	120,5
7	Fönster U=1,0 W/m ² K	75,7	86,8	122,3
8	Fönster U=1,1 W/m ² K	76,5	87,7	123,7
9	Fönster U=1,2 W/m ² K	78,2	89,6	126,3
10	Fönster U=1,7 W/m ² K	84,0	96,2	135,7
11	Centralt FTX-system (n=0,606), Motströms vvx	64,0	72,4	99,6
12	Centralt FTX-system (n=0,757), roterande vvx	58,6	66,1	90,5
13	Lägenhets-FTX-system (n=0,82), Motströms vvx	58,6	65,7	88,7
14	Lägenhets-FTX-system (n=0,66), Korsströms vvx	69,5	77,4	103,0
15	Solvärme varmvatten	65,0	77,3	116,8
16	Frånluftsvärmepump	44,3	54,9	88,7
17	Bergvärme	28,9	31,0	43,1
	Kombinerade åtgärder			
18	+50 cellplast, fönster U=1,0	73,6	84,4	119,0
19	+50 cellplast, fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	70,1	80,7	112,4
20	Centralt FTX (n=75,7%), lufttäthet 0,5	54,0	61,2	82,3
21	Centralt FTX (n=75,7%), +50 mm cellplast, lufttäthet 0,5	52,1	58,9	79,1
22	Centralt FTX (n=75,7%), +50 mm cellplast, fönster U=1,0, lufttäthet 0,5	49,5	55,7	74,5
23	FVP + BVP	33,6	36,1	47,6
24	FVP + BVP, fönster U=1,0	31,3	33,7	44,8
25	FVP + BVP, fönster U=1,0, +50 mm cellplast	29,8	32,1	42,9



Figur 6.24 Resultat från energisimuleringar för lamellhuset. Åtgärderna beskrivs i Tabell 6.9. Energiförbehovet är angivet i kWh/m²BRA och motsvarar det totala energiförbehovet exklusive hushållsel.



Figur 6.25 Resultat från energisimuleringar för lamellhuset redovisat som energibesparing jämfört med grundfallet.

I likhet med resultaten för vinkelhuset och villan så är det åtgärder som berör installationerna som ger de största energibesparingarna. Den absolut bästa enskilda åtgärden är installation av en bergvärmepump. En sådan åtgärd kan ge en energibesparing på uppåt 66%. Detta i stort sett oavsett ort eftersom bergvärmesystemen är dimensionerade efter effektbehoven på respektive ort, se Avsnitt 0.

Näst efter bergvärmepumpen så är det installationer som återvinner ventilationsluften (FTX, FVP) som ger de största energibesparingarna. Störst energibesparing får man med en frånluftsvärmepump (30-44%) då en frånluftsvärmepump även kan användas på sommaren till att värma varmvatten. Frånluftsvärmepumpen fungerar bäst nere i Malmö eftersom den där kan täcka en större del av uppvärmningsbehovet. Ett FTX-system kan ge en energibesparing uppåt 30 %. Till skillnad från en frånluftsvärmepump så ökar energibesparing desto längre upp i landet man kommer. Detta förklaras enklast med att uppvärmningssäsongen är längre, varvid FTX-aggregatet kan arbeta under längre tid på året.

När det gäller åtgärder i klimatskalet så är det en ökad lufttäthet som har störst genomslagskraft på energianvändningen. I Luleå kan energianvändningen minskas med 9 % om lufttätheten ökas till $0,2 \text{ l/sm}^2$. Det bör påpekas att en detta handlar om en kraftig ökning av lufttätheten. En mer rimlig åtgärd som att använda sig av fönster med U-värde $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ skulle kunna ge en energibesparing på 4 % oavsett ort. En tilläggsisolering på 50 mm cellplast skulle kunna ge en minskad energianvändning på ca 3%.

Även när det gäller kombinerade åtgärder så är det de installationstekniska åtgärderna som får störst genomslagskraft på energianvändningen. Lägst energianvändning får självklart den kombination av åtgärder som består av flest enskilda åtgärder. Fall 26 ger en energianvändning på 27, 29 resp. 39 kWh/m^2 för Malmö, Stockholm och Luleå. Detta motsvarar en sänkning med omkring 67%. Det är också alltid kombinationer tillsammans med en kombinerad berg/frånluftsvärmepump som ger de bästa resultaten (fall 23-26).

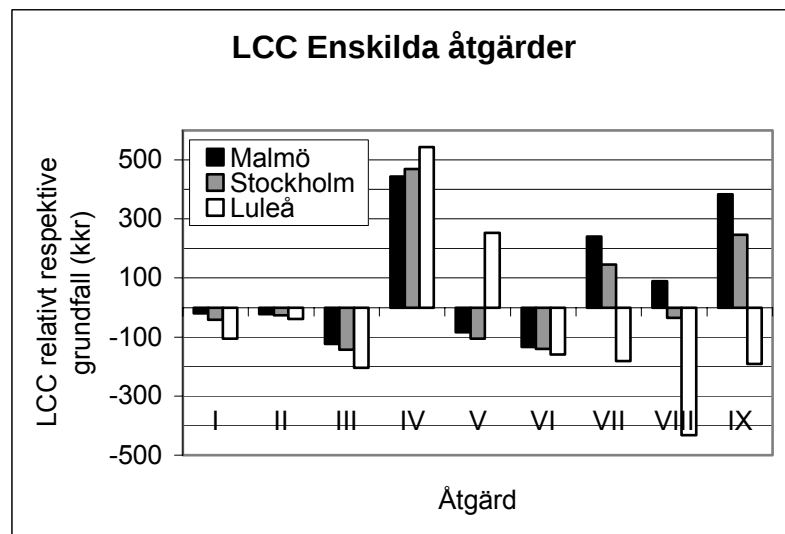
Det centrala FTX-systemet ger en bra energibesparing tillsammans med åtgärder på klimatskalet, men är inte i närheten av att komma upp i den energibesparing som värmepumpskombinationerna kan ge. I bästa fall

kan FTX kombinerat med åtgärder på klimatskalet ge upphov till en energibesparing på 40 % (Fall 22, Luleå)

Kombinationsåtgärder på enbart klimatskalet kan enligt simuleringarna ge en energibesparing på omkring 10% (fall 19).

6.3.2 Investeringskalkyl

Resultaten från LCC-beräkningarna för både enskilda och kombinerade åtgärder i lamellhuset redovisas på samma sätt som för vinkelhuset och villan. Detta innebär att resultaten från livscykelkostnadsberäkningarna visas som LCC för respektive åtgärd relativt grundfallets LCC för samma tidsperiod. Att resultaten visas som relativa LCC betyder precis som tidigare att ett negativt resultat innebär en minskning av LCC jämfört med grundfallet.



Figur 6.26 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika enskilda energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset. Vilka åtgärder som beräknats framgår av Tabell 6.10.

Tabell 6.10 Enskilda energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset.

<i>Fall</i>	<i>Tidsperiod</i>	<i>Fjärrvärme-anslutning</i>
I. Tilläggsisolering 50mm ytterväggar	60 år	JA
II. Fönster $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	30 år	JA
III. Fönster $U=1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	30 år	JA
IV. Solvärme varmvatten	20 år	JA
V. Bergvärme	20 år	NEJ
VI. Frånluftsvärmepump kombisystem	20 år	JA
VII. FTX 61% centralt aggregat	20 år	JA
VIII. FTX 76% centralt aggregat	20 år	JA
IX. FTX 82% lägenhetsaggregat	20 år	JA

Resultaten visar att tilläggsisolering sänker LCC_{60} på samtliga orter. Tilläggsisolering som energieffektiviserande åtgärd sänker LCC_{60} med upp till 105 000 kr i Luleå. Resultaten visar att det är bättre att tilläggsisolera ju längre norrut i landet byggnaden uppförs.

Byte till fönster med lägre U-värde är lönsamt på alla orter på 30 år, dvs LCC_{30} sjunker jämfört med grundfallet. När det gäller fönsterbytet i lamellhuset så blev merkostanderna för bättre fönster små. Detta anses inte vara orimligt då stora mängder fönster skall köpas in. Om fönster skall bytas bör man sätta in fönster med U-värdet $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ då detta sänker LCC_{30} mer än fönster med U-värdet $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Solvärmesystem för värmning av varmvatten är inte lönsamt på någon ort på tidsperioden 20 år. Detta beror på att solvärmesystemet blir alltför dyrt i förhållande till dess energibesparande potential. Solvärmesystemet ökar LCC_{20} på alla tre orterna, mest i Luleå och Minst i Malmö. Skillanderna mellan orterna beror på att solstrålningen över året är kraftigare i Malmö än i Luleå.

Bergvärme sänker LCC_{20} jämfört med grundfallet i Malmö och Stockholm, dock inte i Luleå. Detta beror på att systemen är dimensionerade för att täcka lamellhusets effektbehov i de olika klimaten. Detta medför att merkostanderna i investeringar blir större i Luleå än i Malmö och Stockholm. Anledningen till att bergvärme ser ut att sänka LCC_{20} mest i Stockholm är att det bergvärmesystem som valts

för denna ort passar effektbehovet mycket bra och ger därmed ett mer effektivt utnyttjande av bergvärmepumpen.

Frånluftsvärmepumpen som kombisystem sänker LCC_{20} på samtliga orter. Störst minskning av LCC_{20} fås i Luleå.

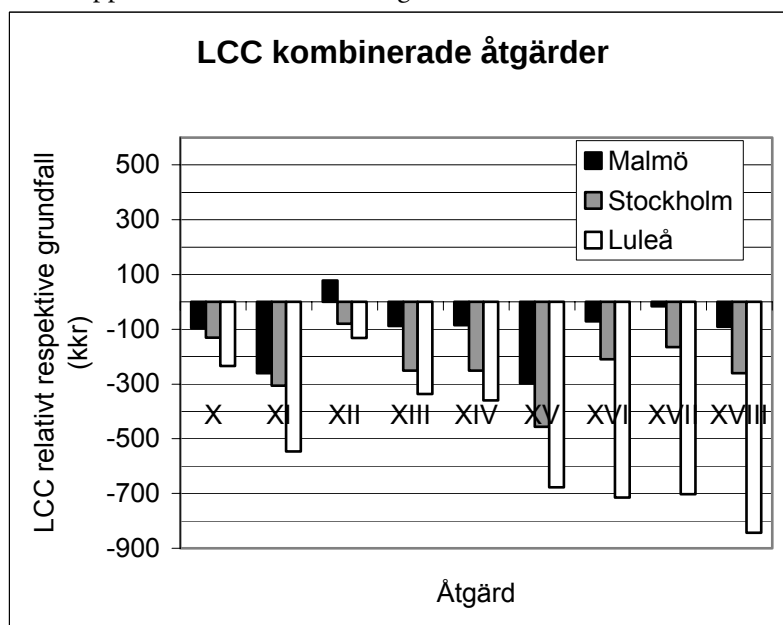
Av de tre FTX-systemen som LCC-beräknats är samtliga system lönsamma i Luleå. Endast FTX-systemet med centralt aggregat och temperaturverkningsgraden 76 % är lönsamt i Stockholm. Inget av systemen är lönsamt i Malmö. Anledningen till att samtliga FTX-system är bäst i Luleå och sämst i Malmö är att värmeåtervinnaren i ett FTX-aggregat i princip kan återvinna mer värme ju kallare luften är. Det bästa systemet ur LCC-synpunkt är det med centralt aggregat och temperaturverkningsgraden 76 %. Detta gäller samtliga orter. FTX-systemet med lägenhetsaggregat är sämst på samtliga orter.

På samma sätt som för vinkelhuset och villan har LCC-beräkningarna för enskilda åtgärder legat till grund för valet av vilka kombinationer av åtgärder som skulle LCC-beräknas för lamellhuset. Tidigare resultat för vinkelhuset och villan visar att bergvärme och frånluftsvärmepump i kombination är lätt att få lönsamma tack vare att man slipper borra så djupt för bergvärmen. Borrhål är mycket kostsamma. Av denna anledning tas bergvärmesystem med under kombinationsåtgärder trots att det inte är lönsamt i Luleå som enskild åtgärd i lamellhuset. I Kombinationsåtgärderna återfinns även FTX-systemet med centralt aggregat och temperaturverkningsgraden 76 %. Anledningen till detta är att FTX-system kan bli lönsamma om lufttätheten ökas. Tabell 6.11 visar vilka kombinerade åtgärder som har LCC-beräknats för lamellhuset samt vilken tidsperiod som använts i beräkningarna. Det syns också om lamellhuset i de olika fallen är ansluten till fjärrvärmenätet eller inte.

Tabell 6.11 Kombinerade energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset. Tabellen visar också om huset är anslutet till fjärrvärmenätet samt för vilken tidsperiod LCC-beräkningen har utförts.

Fall	Tidsperiod	FJV-anslutning	+50 Vagg	Fönster	Lufttätet	Bergvärme	FVP	FTX 76%
X	30 år	JA	X	X				
XI	30 år	JA	X	X	X			
XII	20 år	NEJ				X	X	
XIII	20 år	NEJ		X		X	X	
XIV	20 år	NEJ	X	X		X	X	
XV	20 år	NEJ	X	X	X	X	X	
XVI	20 år	JA			X			X
XVII	20 år	JA	X		X			X
XVIII	20 år	JA	X	X	X			X

Med lufttätet avses en förbättring av lufttäteten från 0,8 l/sm² i grundfallet till 0,5 l/sm². Denna förbättring av lufttäteten bedöms kunna uppnås utan extra investeringar.



Figur 6.27 Livscykelkostnad relativt grundfallen för olika kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i lamellhuset. Vilka åtgärder som avses framgår av Tabell 6.11.

Resultaten visar att de största vinsterna i LCC nås med kombinationen bergvärme/frånluftsvärmepump, ökad lufttäthet, bättre fönster och tilläggsisolering (fall XV) i Malmö och Stockholm och med kombinationen FTX, tilläggsisolering och bättre fönster i Luleå (fall XVIII).

För lamellhuset är det tydligt att kombinationsåtgärder i klimatskalet ger stora sänkningar i LCC_{30} då kombinationer av klimatskalsåtgärder genomförs, detta kan ses i fall X och XI. Skillnaden mellan dessa två fall är att lufttätheten förbättras i det senare, en åtgärd som ger en stor energibesparing på samtliga orter.

Fall XII till och med XV visar LCC_{20} jämfört med grundfallet för respektive ort. Här kan ses att bergvärme i kombination med frånluftsvärmepump som inte kompletteras med klimatskalsåtgärder inte är lönsamt i Malmö. I övrigt så minskar LCC_{20} mer ju längre norrut i landet man kommer. För Luleå är det tydligt att bergvärme i kombination med andra åtgärder fungerar mycket bra. Bergvärme som enskild åtgärd i Luleå ökar LCC_{20} medan bergvärme i kombination med frånluftsvärmepump minskar LCC_{20} kraftigt på samma ort.

Fall XVI till och med XVIII visar dock att de allra bästa kombinationsåtgärderna i Luleå är klimatskalsåtgärder i kombination med FTX-system. Då ett FTX-system med centralt aggregat kombineras med tilläggsisolering, bättre fönster och ökad lufttäthet så kan en minskning av LCC_{20} på ca 850 000 kr uppnås i Luleå.

För lamellhuset är samtliga kombinationsåtgärder bäst i Luleå och sämst i Malmö. Alla åtgärder är lönsamma med ett undantag, bergvärme i kombination med frånluftsvärmepump är inte lönsamt i Malmö.

I BILAGA A visas resultaten från LCC-kalkylen för lamellhuset som livscykelkostnader i absoluta tal för grundfallen och för de olika åtgärdade fallen. Tabellen innehåller både enskilda och kombinerade åtgärder. Tabellen i BILAGA A visar vad LCC blir för de olika åtgärderna på de olika orterna på den tidsperiod som anges i tabellen. För grundfallet redovisas LCC för olika tidsperioder eftersom dessa används till att beräkna LCC för de olika åtgärderna relativt grundfallet i Figur 6.26 och Figur 6.27.

6.4 Sammanställning

6.4.1 Enskilda åtgärder

<i>Hus</i> <i>Typ</i>	<i>Villan</i>			<i>Vinkelhuset</i>			<i>Lamellhuset</i>		
<i>Åtgärd/Ort</i>	<i>Malmö</i>	<i>Stock-</i> <i>holm</i>	<i>Luleå</i>	<i>Malmö</i>	<i>Stock-</i> <i>holm</i>	<i>Luleå</i>	<i>Malmö</i>	<i>Stock-</i> <i>holm</i>	<i>Luleå</i>
Tilläggs- isolering*	-1,1%	-1,2%	-1,5%	-0,4%	-0,9%	-2,2%	-0,3%	-0,7%	-1,2%
Fönster**	+1,0%	+0,6%	-0,7%	+4,8%	+4,3%	+2,3%	-3,3%	-3,4%	-3,5%
FTX-	-0,6%	+0,7%	-4,9%	+18,9%	+18,0%	+8,6%	+3,2%	-1,1%	-9,7%
FVP	-6,0%	-1,9%	+0,4%	-6,7%	-6,9%	-2,9%	-4,8%	-4,4%	-3,6%
Solvärme varmvatten	+2,2%	+2,4%	+3,7%	+2,8%	+3,0%	+4,8%	+15,8%	+14,6%	+12,2%
Solvärme Kombi	+5,2%	+5,0%	+5,4%	+5,8%	+5,4%	+5,9%	X	X	X
Bergvärme	-8,3%	-9,1%	-4,4%	-23,5%	-23,8%	-9,8%	-3,0%	-3,3%	+5,7%

* LCC_{60} (beräknat på 60 år)

** LCC_{30} (beräknat på 30 år)

I tabellen ovan har de åtgärder som är bäst för respektive hus och ort tagits med. De celler i tabellen som markerats med grå färg representerar sänkningar av LCC relativt respektive grundfall. Tabellen visar ΔLCC_x som avser den procentuella förändringen i LCC där index x anger hur lång tidsperiod beräkningen avser. Att de åtgärder som är bäst för respektive hus tagits med innebär att de inte är fullt ut jämförbara sinsemellan. De representerar den största sänkningen av LCC jämfört med respektive grundfall som är möjlig att uppnå. För att åskådliggöra detta ges exemplet med frånluftsvärmepump som finns med i ovanstående tabell. För de olika husen avses olika system med frånluftsvärmepump. I villan avses en FVP utan fjärrvärmeanslutning i Malmö och Stockholm, men med fjärrvärmeanslutning i Luleå. I vinkelhuset avses en frånluftsvärmepump utan fjärrvärmeanslutning på alla tre orter. Det samma gäller för lamellhuset. Procentsatserna i tabellen har beräknats utifrån de resultat i form av absoluta livscykelkostnader som anges i tabeller för de olika hustyperna i BILAGA A.

För att utreda vilken åtgärd som tagits med för de olika hustyperna på de olika orterna får läsaren själv titta på resultaten för enskilda åtgärder i respektive hus tidigare i detta kapitel. Det är hela tiden den åtgärd som ger den största LCC-sänkningen som tagits med för respektive hus och ort.

Sammanställningen av de enskilda energieffektiviserande åtgärderna visar på följande viktiga likheter och skillnader mellan de olika orterna och hustyperna.

- Tilläggsisolering sänker LCC_{60} mest i Luleå och minst i Stockholm, detta gäller för samtliga hustyper.
- Ett byte till fönster med lägre U-värde sänker LCC_{30} för villan i Luleå och för lamellhuset på samtliga orter. Anledningarna till detta är dels att merkostnaden i investering för ett fönsterbyte i lamellhuset är låg medan den är relativt hög för villan och ännu högre för vinkelhuset. Dels att lamellhuset har störst andel fönster i förhållande till husets omslutningsarea, lamellhuset har

11,7 % fönster, medan vinkelhuset och villan har 6,5 respektive 7,3 % fönster.

- Byte från frånluftssystem till från- och tilluftssystem med värmeåtervinning (FTX-system) sänker LCC_{20} för villan i Malmö och Luleå och för lamellhuset i Stockholm och Luleå. Anledningen till att LCC_{20} för villan sänks i Malmö och Luleå men inte i Stockholm är att FTX-systemet ger en minskad känslighet för vindpåverkan genom ökad lufttäthet. I Malmö och Luleå är huset utsatt för mer vindpåverkan än i Stockholm vilket gör att den relativa besparingen vid en ökad lufttäthet blir större i Malmö och Luleå än i Stockholm. I övrigt bör ett FTX-system relativt sett spara mer energi i Luleå än i Malmö tack vare att värmeåtervinnaren i princip kan återvinna mer värme ur frånluften ju kallare tilluften är. Detta blir mer betydelsefullt vid större ventilationsflöden vilket framgår av resultaten för vinkelhuset och lamellhuset där FTX-systemet relativt sett är bäst i Luleå och sämst i Malmö. Däremot sänks inte LCC_{20} på någon ort för vinkelhuset.
- Att sätta in en frånluftsvärmepump som en energieffektiviserande åtgärd sänker LCC_{20} för alla hustyper på alla orter förutom för villan i Luleå. Som energieffektiviserande åtgärd är installation av en frånluftsvärmepump mest ekonomiskt fördelaktigt i Malmö och minst i Luleå. Detta beror på att i en frånluftsvärmepump är den återvunna mängden värme beroende av frånluftsflödet samt frånluftens temperatur. Eftersom både frånluftsflödet och dess temperatur är desamma i Malmö, Stockholm och i Luleå blir den återvunna värmemängden på de tre orterna densamma. Detta innebär i sin tur att frånluftsvärmepumpen sparar lika mycket energi på de tre orterna, medan husen i grundfallen har olika stora energibehov för uppvärmning på de tre orterna. ΔLCC_{20} anger hur mycket LCC minskar procentuellt relativt grundfallet vilket medför att ΔLCC_{20} blir minst i Luleå och störst i Malmö.
- Solvärmesystem medför ingen sänkning av LCC_{20} , varken som system för värmning av enbart varmvatten eller som kombisystem. Detta beror på att investeringen är för hög i

förhållande till energibesparingen för respektive hus på alla tre orter. Resultaten visar att solvärmesystemen ökar LCC_{20} för alla hustyper. Ökningen är störst för lamellhuset och minst för villan. Detta tyder på att det skulle vara mer ekonomiskt att installera ett solvärmesystem i litet hus än i ett stort hus. Vidare så framgår att solvärmesystemet är sämst i Luleå och bäst i Malmö, anledningen till detta är att solstrålningen över året är kraftigare i Malmö än i Luleå.

- Bergvärme sänker LCC_{20} för alla hus på alla orter förutom för lamellhuset i Luleå där LCC_{20} ökar. Anledningen till att LCC_{20} ökar just för lamellhuset i Luleå är att merkostnaden i grundinvestering blir hög då det krävs många och djupa borrhål. Bergvärme verkar vara bäst för vinkelhuset och sämst för lamellhuset.

6.4.2 Kombinerade åtgärder

Kombinationer av åtgärder i de olika husen går inte att jämföra på samma sätt som enskilda åtgärder då olika kombinationer har simulerats och LCC-beräknats för de olika hustyperna. Resultaten för de kombinationer av åtgärder som kan jämföras mellan de olika hustyperna sammanfattas i nedanstående lista.

- Kombinationer av energieffektiviserande åtgärder i klimatskalet sänker LCC_{30} för villan men inte för vinkelhuset. Anledningen till detta är att åtgärderna blir relativt billiga att genomföra i villan då det endast tillkommer ökade kostnader för material. Vid klimatskalsåtgärder i vinkelhuset tillkommer förutom materialkostnader även arbetskostnader. Detta gör att merkostnaderna för investeringar relativt sett blir högre i vinkelhuset än i villan. Sänkningen av LCC_{30} i villan ökar ju längre norrut i landet man kommer. För lamellhuset gäller samma sak som för villan, LCC_{30} sänks på alla tre orterna vid kombinationer av åtgärder i klimatskalet, mest i Luleå och minst i Malmö. På samma sätt som i villan tillkommer endast ökade kostnader för material.

-
- Kombinationen klimatskalsåtgärder - frånluftsvärmepump sänker LCC_{20} för villan i Malmö och Stockholm. I Luleå bör man istället kombinera klimatskalsåtgärder med FTX-system för att uppnå en sänkning av LCC_{20} för villan. Detta är fallet även för lamellhuset. Den största sänkningen av LCC_{20} i lamellhuset placerat i Luleå uppnås med FTX-system i kombination med klimatskalsåtgärder. När det gäller lamellhuset så är kombinationer av FTX-system och klimatskalsåtgärder lönsamma på alla tre orter på 20 år.
 - Kombinationen frånluftsvärmepump - bergvärmepump sänker LCC_{20} kraftigt för alla tre hustyperna med undantag för lamellhuset placerat i Malmö. För lamellhuset sänks LCC_{20} i Stockholm och i Luleå. För vinkelhuset och lamellhuset är minskningen i LCC_{20} störst i Luleå, medan den för villan är störst i Malmö. Detta beror på att merkostnaden investering relativt sett är störst i villan. Att installera denna kombination i villan i Luleå kostar ca 350 kr/m²BRA, motsvarande siffror för vinkelhuset och lamellhuset är 205 respektive 134 kr/m²BRA.

6.4.3 Tidigare undersökningar

Nedanstående lista utgör en kort sammanställning av de viktigaste resultaten från de tidigare genomförda undersökningarna som presenteras i kapitel 1.

- Isoleringen i väggarna ger lägst LCC för flerbostadshus om den ligger runt 200 mm. Undantaget är rapporterna i Avsnitt 4.1.3 och 4.1.4 som visar att lägst LCC fås om väggarna är så kraftig isolerade att inget vattenburet värmesystem krävs.
- Fönster verkar medföra lägst LCC om dess U-värden ligger i området 1,0–1,2 W/m²K. Högre U-värde påverkar LCC negativt genom att öka energiförlusterna medan lägre U-värde medför en ökad investeringskostnad som inte kan bäras av energibesparingen.

- Man kan inte konstatera någon avgörande skillnad mellan hustyperna punkthus, lamellhus och gårdshus, även om gårdshuset får något lägre kostnader eftersom åtgärderna är billigare att genomföra enligt Avsnitt 4.1.3.
- Alla rapporter konstaterar att en frånluftvärmepump ger en lägre LCC än både FTX- och F-systemen.
- LCC för FTX-systemen varierar mellan rapporterna. I vissa fall har FTX-systemet högre LCC än F-systemet och i andra är resultatet omvänt. Det man kan konstatera är att systemet är bättre desto längre norrut i landet det används och att det i ingen rapport får lägre LCC än en frånluftvärmepump. Många rapporter påpekar också att inomhusklimatet förbättras med ett FTX-system. Det bör också påpekas att ett FTX-system är nödvändigt för ett hus utan värmesystem.
- Även när det gäller värmesystem är värmepumpar av olika slag de system som ger lägst LCC enligt rapporterna. De system som beräknas ha lägst LCC i rapporterna är värmepumpar av sjö-, mark och bergtyp. Näst efter dessa system verkar det vara frånluftvärmepump i kombination med fjärrvärme som ger lägst LCC. Inga rapporter föreslår att uppvärmningen skall ske med elpanna eller direktverkande el (förutom värmepumparnas inbyggda elpannor).
- Även om individuell mätning faller utanför ramen för denna studie så kan det vara intressant att konstatera att det verkar vara ett lönsamt alternativ i flerbostadshus under förutsättning att systemet inte görs onödigt komplicerat och dyrt.
- Solvärmesystem är inte lönsamt. I Jöns-Ols-rapporten framgår det dock att ett solvärmesystem skulle kunna vara lönsamt om det dimensionerades på rätt sätt.
- Att isolera och återvinna ventilationsluften till den grad att inget värmesystem krävs verkar vara lönsamt. Bäst verkar konceptet fungera på flerbostadshus.

6.5 Känslighetsanalys

6.5.1 Energiberäkning

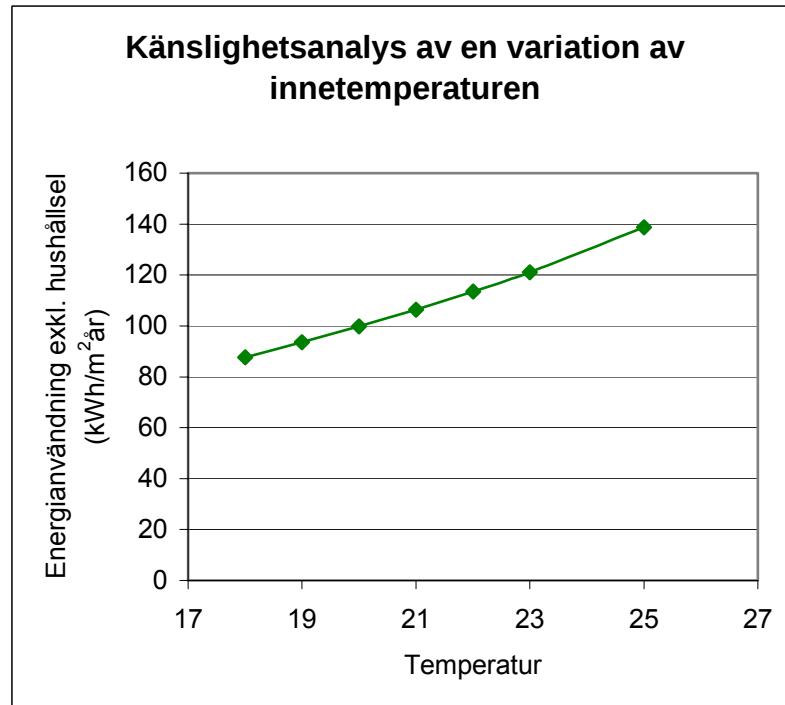
Några av de grundparametrar som antagits i energisimuleringarna kommer här att studeras för att se vilken inverkan de har på uppvärmningsbehovet. Det projekt som studeras är det mindre flerbostadshuset, även benämnt *Vinkelhuset*. Alla simuleringar är gjorda för Malmös klimat. Grundmodellen är vid följande simuleringar anpassad till ett referensprojekt som är byggt av Skanska. Referensobjektet är av typen med tunnputs, se Avsnitt 5.1.1. En verifiering mot uppmätta värden på energianvändningen för detta hus finns presenterad i Avsnitt 6.5.2.

De parametrar som kommer att studeras är:

- Innetemperatur
- Vindreduktion
- Intern värmelast
- Ventilationsflöden
- Inverkan av köldbryggor

Innetemperatur

Som nämnts i Avsnitt 5.2.1 så är inomhustemperaturen en av de viktigaste parametrarna som man måste uppskatta i en energiberäkning. I Figur 6.28 så visas resultatet från en simulering av uppvärmningsbehovet utifrån olika innetemperaturer. Temperaturen har varierats mellan 18 och 25°C, vilket får anses representera den temperatur som folk i allmänhet kan tänkas ha inomhus. Simuleringarna visar att uppvärmningsbehovet ökar med ca. 7 kWh/m²år för varje grad som innetemperaturen ökar och vice versa för det aktuella huset. Energianvändning anges här exkl. hushållsel (kWh/m²år).



Figur 6.28 Känslighetsanalys av en variation av innetemperaturen

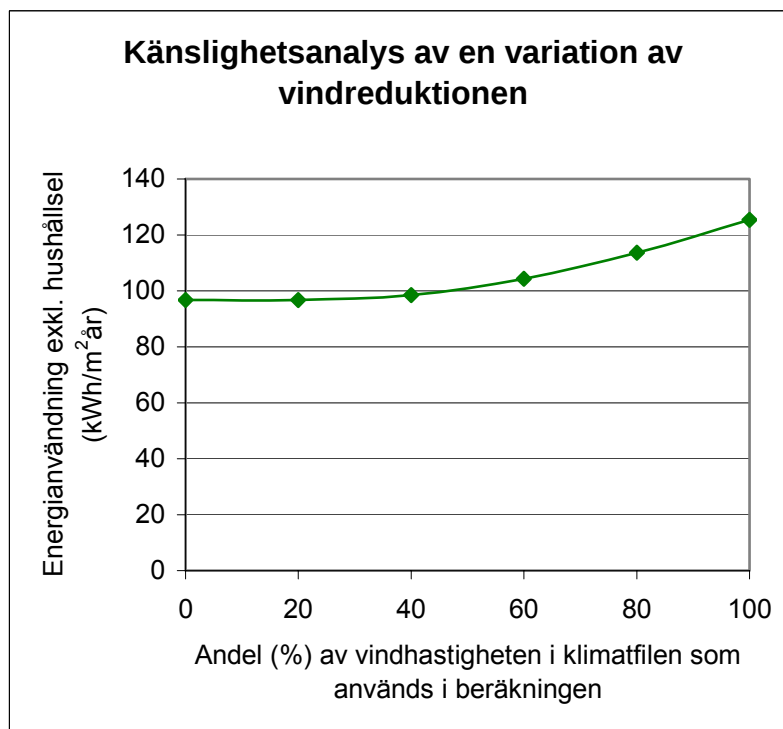
Vindreduktion

För att beräkna läckflödena hos byggnaden så måste vissa antaganden om byggnadens vindutsatthet göras. För vinkelhuset så har det i grundmodellen antagits att huset ligger i ett något skyddat område, exempelvis ett villaområde. Vindhastigheten kan vid sådana förutsättningar antagas vara 65% av de hastigheter som uppmätts vid de öppna förhållanden som redovisas i klimatdata från exempelvis SMHI⁹⁵. De öppna förhållanden som gäller i dessa klimatdata kan exempelvis användas för beräkningar av hus som befinner sig i extremt vindutsatta lägen, som vid exempelvis havet.

I Figur 3.1 visas hur uppvärmningsbehovet för vinkelhuset påverkas av vinden. Skillnaden mellan helt skyddat och helt öppet läge påverkar uppvärmningsbehovet med 28 kWh/m²år. Utifrån antagen vindhastighet (65 % av klimatdata för orten) kan uppvärmningsbehovet

⁹⁵ Häggbom, Sune. Strusoft AB. Personlig kommunikation.

minska med 9 kWh/m²år alternativt öka med 19 kWh/m²år mellan extremfallen.



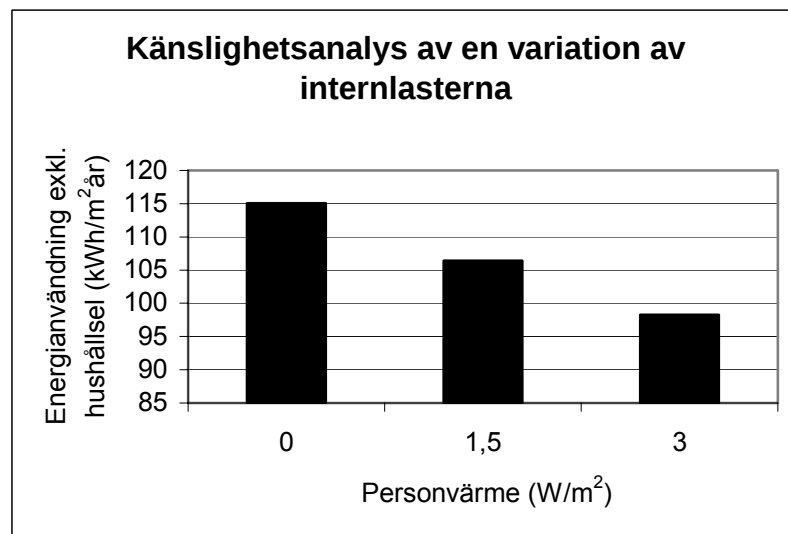
Figur 6.29 Känslighetsanalys av en variation av vindreduktionen

Intern värmelast

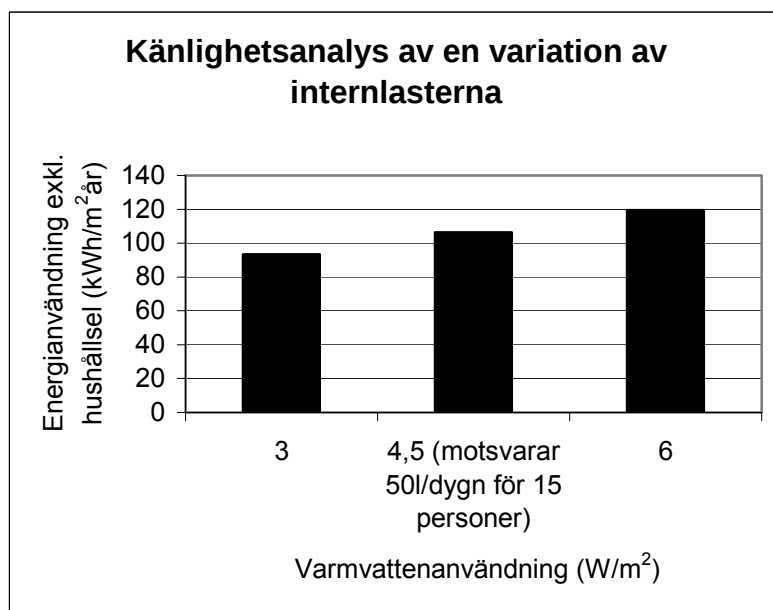
Den värme som tillförs byggnaden från aktiviteter (även kallad gratisvärme, se Avsnitt 2.1.5) har visat sig svår att uppskatta eftersom värmetillskottet är starkt knutet till brukarens vanor. Den effekt som man kan tillgodoräkna sig är knuten till hur många personer som bor i byggnaden, deras användning av hushållsel och deras användning av tappvarmvatten. Även hur byggnaden vädras av de boende har betydelse. I rapporten Kv. Jöns Ols i Lund så har exempelvis effekttillskottet från personvärme tagits bort p.g.a. vädringsbeteende hos de boende⁹⁶.

⁹⁶ Warfvinge, Catarina. Kv. Jöns Ols i Lund -energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik.

I Figur 6.31 redovisas resultatet från simuleringar vid förändringar av varmvattenanvändning och värmetillskottet från personvärme. En förändring av processenergin har inte simulerats eftersom denna är lågt räknad (3 W/m^2 , se även Avsnitt 5.2) och därmed inte förväntas ge en underskattning av uppvärmningsbehovet. Resultaten tyder på att uppvärmningsbehovet kan variera med $\pm 8 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ för variationer av personvärmen och $\pm 14 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ för variationer av varmvattenanvändningen inom presenterade intervall.



Figur 6.30 Känslighetsanalys av en variation av internlasten för personvärme

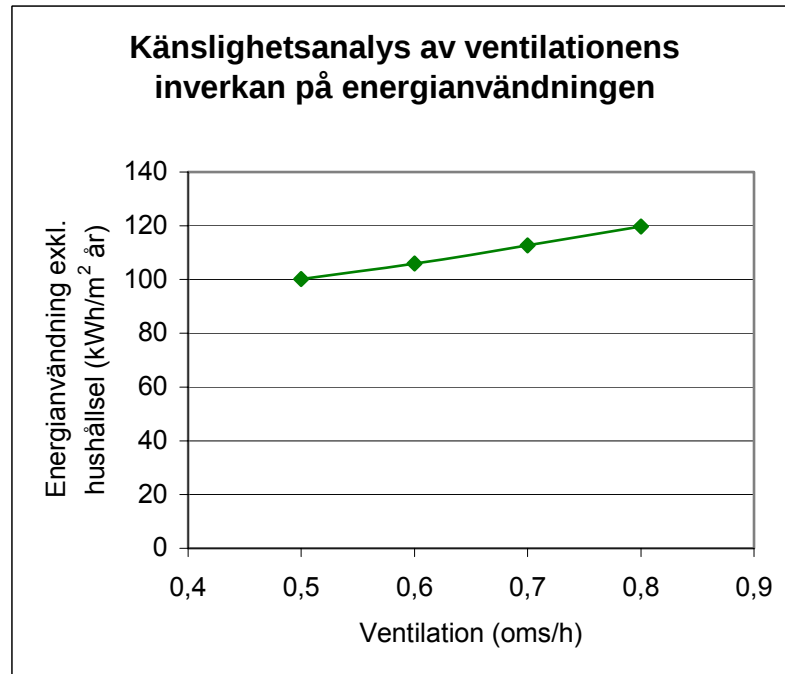


Figur 6.31 Känslighetsanalys av en variation av internlasten för varmvattenanvändning.

Ventilationflöden

Enligt BBR så ska uteluftflödet i rum uppgå till $0,35 \text{ l/s och } m^2$, vilket motsvarar ca $0,5 \text{ oms/h}$ ⁹⁷. I grundfallet med frånluftssystem i vinkelhuset så är ventilationen $0,6 \text{ oms/h}$ enligt ritning. I Figur 6.32 så redovisas resultat från simuleringar där ventilationen har varierats från BBR:s krav upp till $0,8 \text{ oms/h}$. Variationer i ventilationflödena kan bero på ett dåligt injusterat ventilationssystem, men kan också tolkas som olika vädringsbeteenden hos brukarna.

⁹⁷ Boverkets byggregler - BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19



Figur 6.32 Känslighetsanalys av ventilationens inverkan på energianvändningen

Köldbryggor

Köldbryggorna har beräknats för varje förändring som gjorts på klimatskalet. Hur dessa simuleringar är gjorda och resultatet av dem kan utläsas i Bilaga B. Det som redovisas här är hur valet av metod för att beräkna köldbryggornas inverkan på uppvärmningsbehovet påverkar slutresultatet. 4 simuleringar har gjorts:

1. Grundmodellen, där köldbryggorna har hanterats som "försvagningar" i klimatskalet. Se även modelluppbyggnaden i Kapitel 3.3.1.
2. Köldbryggorna försummas, men mellanbjälklaget ingår i den uppvärmda volymen.
3. Transmissionsförlusten genom köldbryggorna överskattas till att vara 50% högre än det framräknade värdet i grundmodellen.
4. Köldbryggorna försummas och mellanbjälklagets area i ytterväggen stryks ur modellen.

Det sista alternativet motsvarar en metod där man strikt räknar på innerytor i värmebehovsberäkningen och alltså beräknar yttervägg-ytorna enligt:

$$Area = Rumshöjd \times Bredd$$

Resultatet av simuleringarna kan utläsas i Figur 6.33



Figur 6.33 Känslighetsanalys av köldbryggornas inverkan på uppvärmningsbehovet.

6.5.2 Verifiering av energianvändning

I samband med denna studie så skickades förfrågningar ut till ett antal bostadsrättsföreningar som driver hus av den typen som studerats. Resultaten från några bostadsrättsföreningar presenteras nedan tillsammans med en jämförelse mot simulerade värden. Det bör påpekas att det faller utanför ramen för detta examensarbete att utreda vad skillnaderna mellan modell och verklighet beror på. Detta skulle kräva noggrannare studier av de objekt som studeras i form av mätningar av

inneklimatet, skillnader i klimat och så vidare. Syftet med verifieringen är att kontrollera att modellen ligger i samma område när det gäller energianvändningen som byggda objekt. Ett fel på $\pm 10\%$ får anses som en bra approximation⁹⁸, särskilt i denna studie då det främst är skillnader före och efter en energieffektiviserande åtgärd som studeras.

BRF Blyger, Ängelholm

Området består av 30 lägenheter fördelade på 5 huskroppar. Huset är av den typ som beskrivs som grundmodellen i Avsnitt 5.2.2. Bostadsrättsföreningens användning av fjärrvärme, fastighetsel och vatten presenteras i Tabell 6.13.⁹⁹

Tabell 6.13 Fjärrvärme-, fastighetsel- (kWh) och vattenanvändning (m^3) under perioden 2003-08-31 till 2005-08-31 för Brf. Blyger i Ängelholm

	<i>Uppmätt</i>			<i>Beräknat</i>		<i>Skillnad</i>
	<i>Totalt (kWh alt. m^3)</i>	<i>Årsmedel (kWh/år alt. $\text{m}^3/\text{år}$)</i>	<i>Per m^2 BRA (kWh/m^2 och år alt. m^3/m^2 och år)</i>	<i>Årsmedel (kWh/år)</i>	<i>Per m^2 BRA (kWh/m^2 och år)</i>	<i>(%)</i>
<i>Fjärr- Värme</i>	491082	245541	129,8	206110	109	16,1
<i>El</i>	32826	16413	8,7	-	-	-
<i>Vatten</i>	2236	1118	0,6	-	-	-

Brf. Blombuketten, Malmö

Detta område består av 18 lägenheter fördelade på 3 huskroppar. Husen är av den typ med tunnputs som beskrivs i Avsnitt 5.1.1 och som används som studerat objekt i känslighetsanalysen i Avsnitt 6.5.1. Bostadsrättsföreningens användning av fjärrvärme och el redovisas i Tabell 6.14.¹⁰⁰

⁹⁸ Almgren, Anders. Skanska Teknik. Personlig kommunikation.

⁹⁹ Jönsson, Håkan. Ordförande Brf. Blyger, Ängelholm. Personlig kommunikation.

¹⁰⁰ Johansson, Jan-Olof. Ordförande Brf. Blombuketten, Malmö. Personlig kommunikation.

Tabell 6.14 Fjärrvärme- och elanvändningen under perioden 2004-09-01 till 2005-08-31 för Brf. Blombuketten i Malmö. Med elförbrukning avses total elförbrukning, fastighetsel och hushållsel.

	<i>Uppmätt</i>		<i>Beräknat</i>		<i>Skillnad</i>
	<i>Årsmedel (kWh/år)</i>	<i>Per m² BRA (kWh/m² och år)</i>	<i>Årsmedel (kWh/år)</i>	<i>Per m² BRA (kWh/m² och år)</i>	<i>(%)</i>
<i>Fjärr- värme</i>	148615	131,0	126219	111	15,1
<i>El</i>	47818	42,1	-	-	-

Tabell 6.13 och Tabell 6.14 visar att beräknade värden ligger omkring 15 % under den uppmätta fjärrvärmeanvändningen. Underskattningen i beräkningarna kan bero på flera faktorer. Några av dessa, så som inomhustemperatur, internlast och liknande, utreds i Avsnitt 6.5.1. Eftersom de studier och simuleringar som gjorts i denna rapport endast används för att utreda skillnaderna mellan olika åtgärder så har inga förändringar av grundmodellen gjorts för att efterlikna de uppmätta värdena. Skillnader i energianvändning utreds istället översiktligt i känslighetsanalysen för energianvändningen. Med hjälp av verifieringen kunde några grundläggande fel i indata upptäckas, men det är något som inte syns i rapporten och åtgärdades i ett tidigt skede av studien.

6.5.3 Investeringskalkyl

På samma sätt som för energisimuleringarna genomfördes en känslighetsanalys för investeringskalkylen. I investeringskalkylerna har antaganden gjorts om kalkylränta och energiprisökning för el respektive fjärrvärme. Dessa antaganden har sedan använts i samtliga LCC-kalkyler som genomförts.

I samband med känslighetsanalysen för investeringskalkylerna har också känsligheten för indata i form av energianvändning och investeringskostnad studerats.

Känslighetsanalysen har utförts på en LCC-kalkyl för det mindre flerbostadshuset lokaliserat i Malmö. Resultaten i diagrammen visar skillnaderna i livscykelkostnader mellan grundfallet (enligt avsnitt 6.1.3) och tre olika energieffektiviserande åtgärder på livslängden 20 år. De tre åtgärder som studeras är:

- Tilläggsisolering 100mm i ytterväggar
- Ventilationssystem FTX med temperaturverkningsgrad 67% (centralt FTX-aggregat)
- Frånluftsvärmepump kopplad till uppvärmningssystem och system för värmning av tappvarmvatten. I detta fall tillgodoses behovet av köpt energi helt av el, byggnaden är ej ansluten till fjärrvärmenätet.

Anledningen till att just dessa tre åtgärder valts i känslighetsanalysen är att de är principiellt olika. Tilläggsisoleringen visar en åtgärd som inte sänker LCC relativt grundfallet på 20 år, den ligger dock nära gränsen för att sänka LCC. Tilläggsisoleringen ger en årlig besparing i behovet av köpt energi på ca 5 % och sparar endast på uppvärmning av rumsluften. FTX-systemet ligger långt ifrån gränsen för att sänka LCC relativt grundfallet på 20 år, och den årliga besparingen av köpt energi är ca 20 %. Frånluftsvärmepumpen som sänker LCC relativt grundfallet på 20 år ger en årlig besparing av köpt energi på ca 65 %. Dessa tre åtgärder representerar därmed tre olika utfall i resultatet av LCC-beräkningarna relativt grundfallet.

För att kunna tillgodogöra sig resultaten i denna del av känslighetsanalysen är det viktigt att veta att husen i de antagna grundfallen är anslutna till fjärrvärmenätet samt att de har F-system utan återvinning. Det innebär att all köpt energi, förutom el till fläktar, är fjärrvärme. Vidare så är det viktigt att förstå att det är skillnaden i LCC mellan genomförd åtgärder och grundfallen som visas i figurerna. Detta innebär att om en åtgärd skall vara lönsam att genomföra så skall stapeln visa ett negativt värde, vilket betyder att LCC för just detta hus med genomförd åtgärd har en lägre LCC än vad samma hus har i grundfallet.

Huvudstaplarna i figurerna Figur 6.34 t.o.m. Figur 6.36 visar LCC jämfört med grundfallet med antaganden enligt Tabell 6.15. Felstaplarna i diagrammen visar hur skillnaden i LCC skulle se ut om det antagna värdet ökades med 1 % eller minskades med 1 %. Vilket värde som förändras framgår av figurens titel.

Tabell 6.15 Antagna värden på kalkylränta och energiprisökning

Parameter	Antaget värde
Kalkylränta	4%
Elprisökning	2%
Fjärrvärmeprisökning	2%

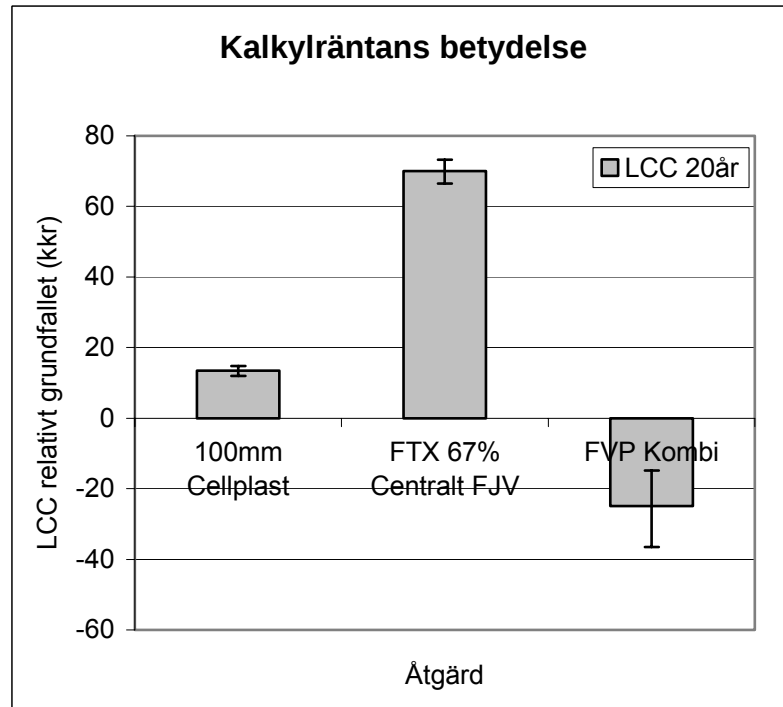
Då en parameter har varierats har de övriga parametrarna hållits konstanta. Detta innebär att då kalkylräntan varierats har energiprisökningarna hållits konstanta och då elprisökningen har varierats har kalkylräntan och fjärrvärmeprisökningen hållits konstant. På samma sätt har elprisökningen och kalkylräntan hållits konstanta då fjärrvärmeprisökningen har varierats.

Kalkylränta

I Figur 6.34 visas hur skillnaden i LCC gentemot grundfallet påverkas av ändrade värden på den antagna kalkylräntan. Felstaplarnas högre värde visar LCC-skillnaderna vid en kalkylränta på 5 % och dess lägre värde vid en kalkylränta på 3 %.

Intuitivt så borde lönsamheten öka vid en lägre ränta, figuren ovan visar också just detta. Skillnaden i LCC gentemot grundfallet för de åtgärder som ej är lönsamma (positiv skillnad) minskar vid en lägre ränta medan åtgärder som är lönsamma (negativ skillnad) får en ökad lönsamhet vilket visas i figuren ovan genom att LCC-skillnaden för FVP Kombi sjunker från -25 000 kr till -35 000 kr, lönsamheten ökar med 10 000 kr.

Om kalkylräntan istället sätts till 5 % så försämras lönsamheten i att införa energieffektiviserande åtgärder, samtliga åtgärder i Figur 6.34 får en försämrad lönsamhet. Detta kan ses i figuren ovan genom att tilläggsisoleringen och FTX-systemet får en ännu större positiv skillnad mot grundfallet medan frånluftsvärmepumpen får en mindre negativ skillnad.



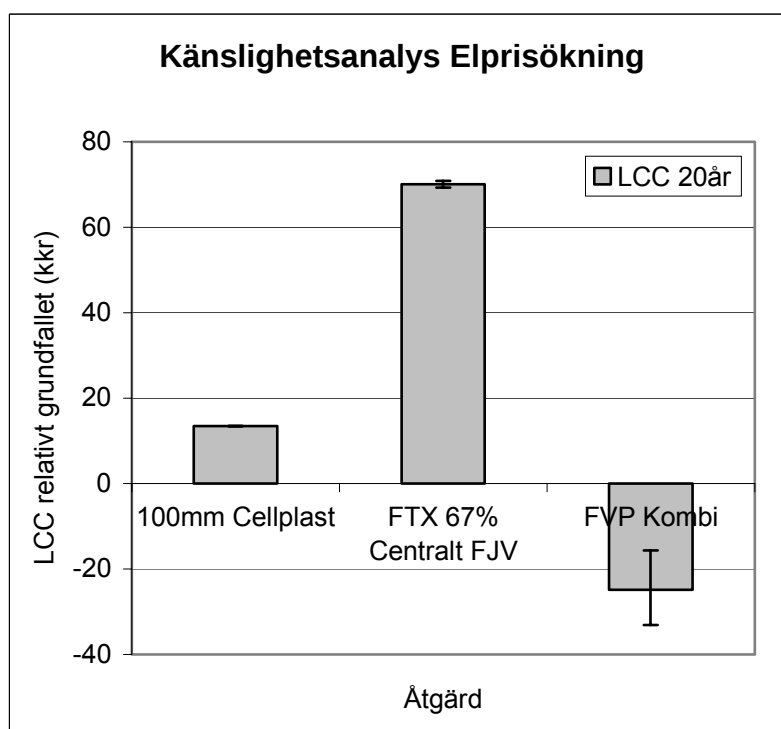
Figur 6.34 Kalkylräntans betydelse för skillnaden i LCC gentemot grundfallet.

Som kan ses i Figur 6.34 påverkar kalkylräntan LCC-skillnaderna så att resultaten av kalkylräntans variationer har olika stor spridning för de olika åtgärderna. Anledningen till detta är storleken på den årliga besparingen i kostnader gentemot grundfallet. Tilläggsisoleringen sparar minst årligen och frånluftsvärmepumpen sparar mest årligen, FTX-systemets årliga besparing hamnar däremellan. Detta innebär att olika åtgärder är olika känsliga för variationer i kalkylräntan. Ju större årlig besparing, desto känsligare blir resultatet för variationer i kalkylränta.

Elprisökning

Felstaplarnas högre värde i Figur 6.35 motsvaras av en elprisökning på 3 % och det lägre värdet av 1 %. I figuren syns att elprisökningen påverkar skillnaden i LCC för de tre åtgärderna på olika sätt. Förklaringen till denna spridda bild av elprisökningens betydelse är att respektive åtgärd hela tiden jämförs med grundfallet. Tilläggsisolering

av 100 mm cellplast som åtgärd påverkar inte husets elbehov eftersom el endast används till att driva ventilationsfläktar. Detta gör att grundfallet och det tilläggsisolerade fallet påverkas lika mycket av en förändrad elprisökning, vilket leder till att det inte blir någon förändring i LCC-skillnaden mellan grundfallet och det tilläggsisolerade fallet. Det är tydligt att en åtgärd som inte påverkar elbehovet inte heller påverkas av en förändrad elprisökning.



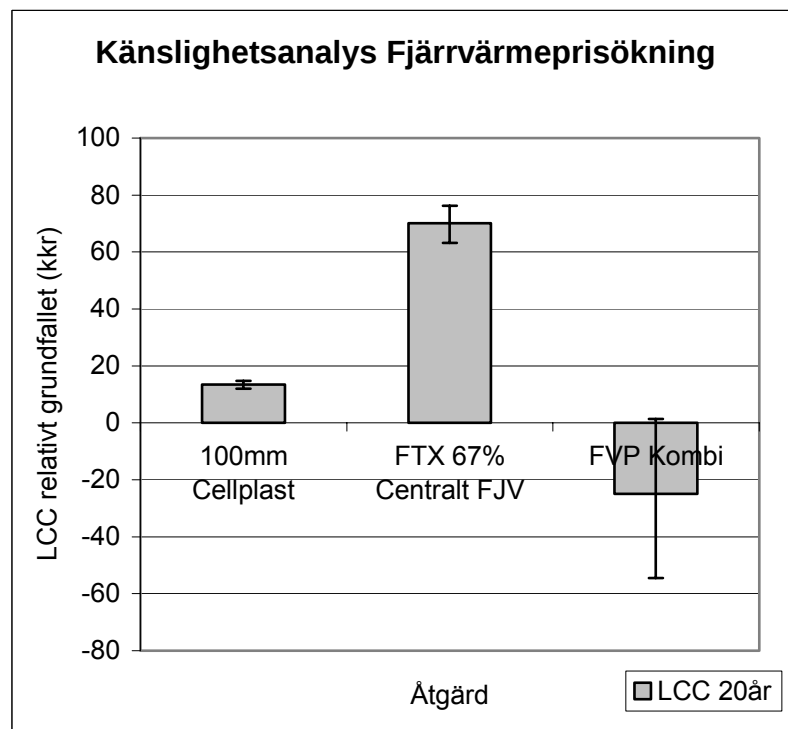
Figur 6.35 Känslighetsanalys Elprisökning

När det gäller FTX-system som energieffektiviserande åtgärd så påverkar inte energiprisökningen skillnaden i LCC nämnvärt mycket om huset är anslutet till fjärrvärmenätet. Detta på grund av att elbehovet utgör en så liten del av det totala energibehovet. Om man däremot installerar en frånluftsvärmepump så har det antagna värdet på elprisökningen stor betydelse. Detta beror på att huset i detta fall inte är anslutet till fjärrvärmenätet och därmed att all köpt energi utgörs av el. Om elprisökningen förändras så kommer det att ha stor inverkan på LCC-skillnaden mot grundfallet. Då elprisökningen ökar till 3 % så

kommer LCC-skillnaden att minska till det sämre och om elprisökningen minskas till 1 % så kommer LCC-skillnaden att förbättras.

Fjärrvärmepris

Felstaplarnas högre värde i Figur 6.36 motsvaras av en fjärrvärmeprisökning på 1 % och dess lägre värde av en prisökning på 3 %. LCC-skillnaden förbättras (mindre positiv eller större negativ) då fjärrvärmeprisökningen är större än det från början antagna värdet på 2 %. Anledningen till detta är att fjärrvärmeanvändningen i grundfallet relativt sett blir dyrare än i de åtgärdade fallen då de åtgärder som genomförts sänker fjärrvärmeanvändningen. I fallet med frånlufts- värmepumpen så har man ingen fjärrvärmeanvändning alls, denna påverkas ändå av en ändring av det antagna värdet på fjärrvärmeprisökningen beroende på att grundfallets LCC förändras eftersom grundfallet är anslutet till fjärrvärmenätet.



Figur 6.36 Känslighetsanalys fjärrvärmeprisökning

Anledningen till att åtgärderna tilläggsisolering och FTX-system påverkas olika mycket av en förändrad fjärrvärmeprisökning är att åtgärderna har olika sparpotetial vad gäller fjärrvärme.

Om fjärrvärmeprisökningen minskas till 1 % (representeras av felstaplarnas högre värde) gör det att samtliga åtgärder blir sämre relativt grundfallet. Frånluftsvärmepumpen ger som energieffektiviserande åtgärd i så fall en positiv LCC-skillnad vilket innebär att LCC med denna åtgärd blir högre än för grundfallet. Detta innebär att frånluftspumpen inte längre är lönsam att införa som energieffektiviserande åtgärd.

Investeringskostnad

Investeringskostnaden kan variera beroende på inköpsavtal eller förhandlingar med leverantörer. Om investeringskostnaden kan sänkas så ger detta direkt utslag i LCC-kalkylen eftersom LCC är beräknad som en nusumma. Alla investeringar antas genomföras år noll vilket medför att investeringskostnaden inte påverkas av kalkylräntan.

Investeringskostnaderna är i denna studie beräknade som merkostnader jämfört med grundfallet. Merkostnaderna för åtgärderna i investeringskalkylens känslighetsanalys framgår av Tabell 6.16.

Tabell 6.16 Merkostnader för åtgärder i känslighetsanalysen för LCC-kalkylen.

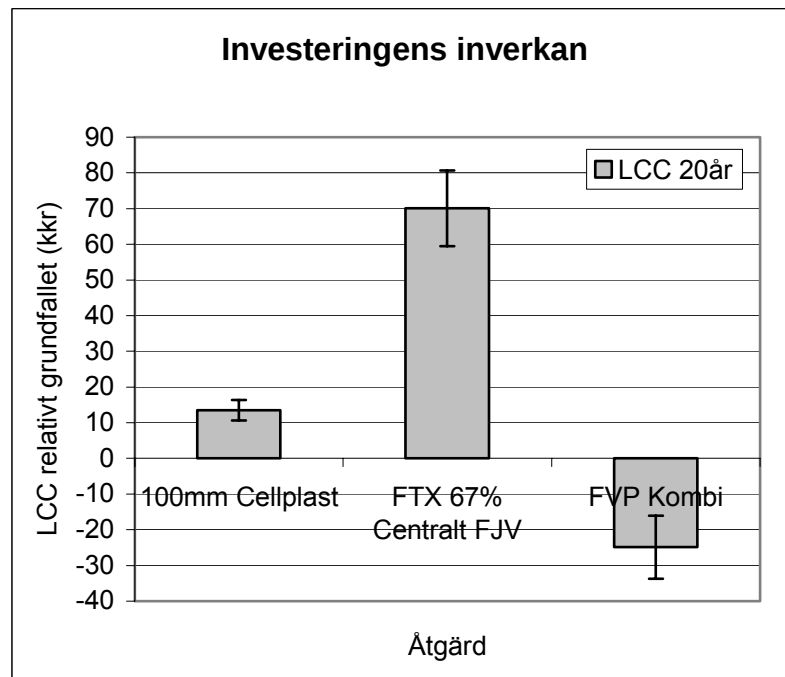
Åtgärd	Merkostnad investering (kr exkl. moms)	Merkostnad underhåll (kr/år exkl. moms.)
100mm cellplast	28500	0
FTX 67%	105700	1000
FVP Kombi	88500	0

För att övertyga läsaren om att investeringskostnaderna verkligen ger direkt utslag i LCC-kalkylen genomfördes en mindre studie där samtliga investeringskostnader ökades respektive minskades med 10 %. Underhållskostnaden utgör endast en liten del av LCC-kalkylen, denna har inte varierats. Skillnader i investeringskostnader visas i Tabell 6.17.

Tabell 6.17 Skillnader i merkostnader för investeringar vid ökning/minskning av total investeringskostnad på 10%, samtliga kostnader i tabell exkl. moms.

Åtgärd	Merkostnad investering (kr)	Ökning/Minskning av merkostnad vid en ökning/minskning på 10% (kr)	Merkostnad underhåll (kr/år)
100mm cellplast	28500	+/- 2850	0
FTX 67%	105700	+/- 10570	1000
FVP Kombi	88500	+/- 8850	0

Resultatet av LCC-kalkylerna visas som skillnader i LCC gentemot grundfallet där både investeringskostnaden och underhållskostnaden är satt till noll. Felstaplarna visar skillnaderna i LCC vid ökning respektive minskning av investeringskostnaderna enligt Tabell 6.17. Felstaplarnas högre värde representerar en ökning och dess lägre värde en minskning.



Figur 6.37 Investerings inverkan på LCC-kalkylen

I Figur 6.37 kan ses att ökningarna och minskningarna av LCC-skillnaderna är lika stora som ökningarna respektive minskningarna av merkostnaderna för investeringarna i Tabell 6.17. Därmed har vi visat att merkostnaden för en investering i absoluta siffror påverkar LCC-skillnaden för åtgärden med lika mycket. Detta under förutsättning att övriga parametrar hålls konstanta.

Energianvändning

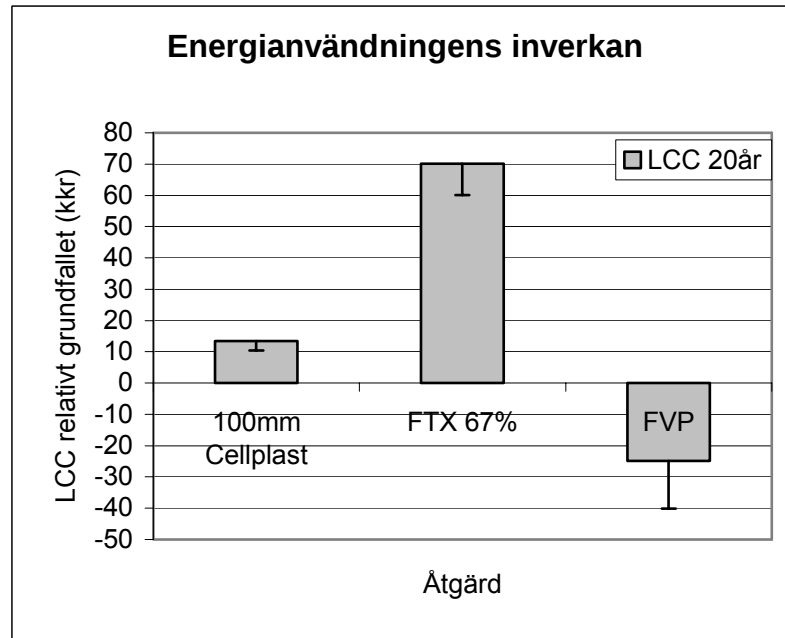
Energianvändningen är beräknad genom datorsimuleringar vilka sällan stämmer överens med verkligheten. Erfarenheter från olika energiberäkningsprogram säger att energianvändningen ofta underskattas¹⁰¹. Det finns studier som tyder på att energianvändningen i ett verkligt hus kan vara upp till 70 % högre i verkligheten än i energiberäkningsprogrammet¹⁰². Detta gör att det är intressant att se hur LCC-kalkylerna i denna studie påverkas av förändringar i energianvändningen.

För att undersöka energianvändningens inverkan på resultatet i LCC-kalkylen har en ökning av energianvändningen på 20 % antagits, denna siffra anses vara en god approximation av systematiska fel i energiberäkningsprogram, se avsnitt 6.5.2. Anledningen till valet av att undersöka hur LCC-kalkylen påverkades av en högre och inte en mindre energianvändning var att den ofta underskattas i energiberäkningsprogram. Vid denna undersökning ökades både grundfallets och det åtgärdade fallets energianvändning med 20 %.

Huvudstaplarna i Figur 6.38 visar LCC-skillnaderna då energianvändningen i grundfallet och de åtgärdade fallen satts till beräkningsresultaten från VIP+. Felstaplarna visar hur LCC-skillnaderna skulle se ut om energianvändningen för både grundfallet och de åtgärdade fallen från VIP+ ökas med 20 %.

¹⁰¹ Bergsten, Bengt. *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter.*

¹⁰² Nilsson, Annika. *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö.*



Figur 6.38 *Energianvändningens inverkan. Felstaplarna visar LCC-skillnaden då energianvändningen har ökats med 20% för både grundfallen och de åtgärdade fallen.*

Slutsatsen från undersökningen av energianvändningens inverkan på LCC-kalkylerna blir att om VIP+ underskattar energibehovet så blir LCC-skillnaderna bättre i verkligheten. Detta beror på att den relativa besparingen blir större om både grundfallets och det åtgärdade fallets energianvändning ökas med samma procentsats. En ökning med samma procentsats motsvaras av systematiska fel i det använda energiberäkningsprogrammet. Ju större energibesparing vid genomförande av åtgärd, desto större inverkan har systematiska fel i energiberäkningen. Detta kan ses i Figur 6.38, energianvändningens inverkan är störst i det fall då energibesparingen är störst (frånluftsvärmepumpen) och minst då energibesparingen är minst (tilläggsisoleringen).

7 Slutsatser

I detta avsnitt sammanfattas resultaten och frågeställningen från Avsnitt 1 besvaras.

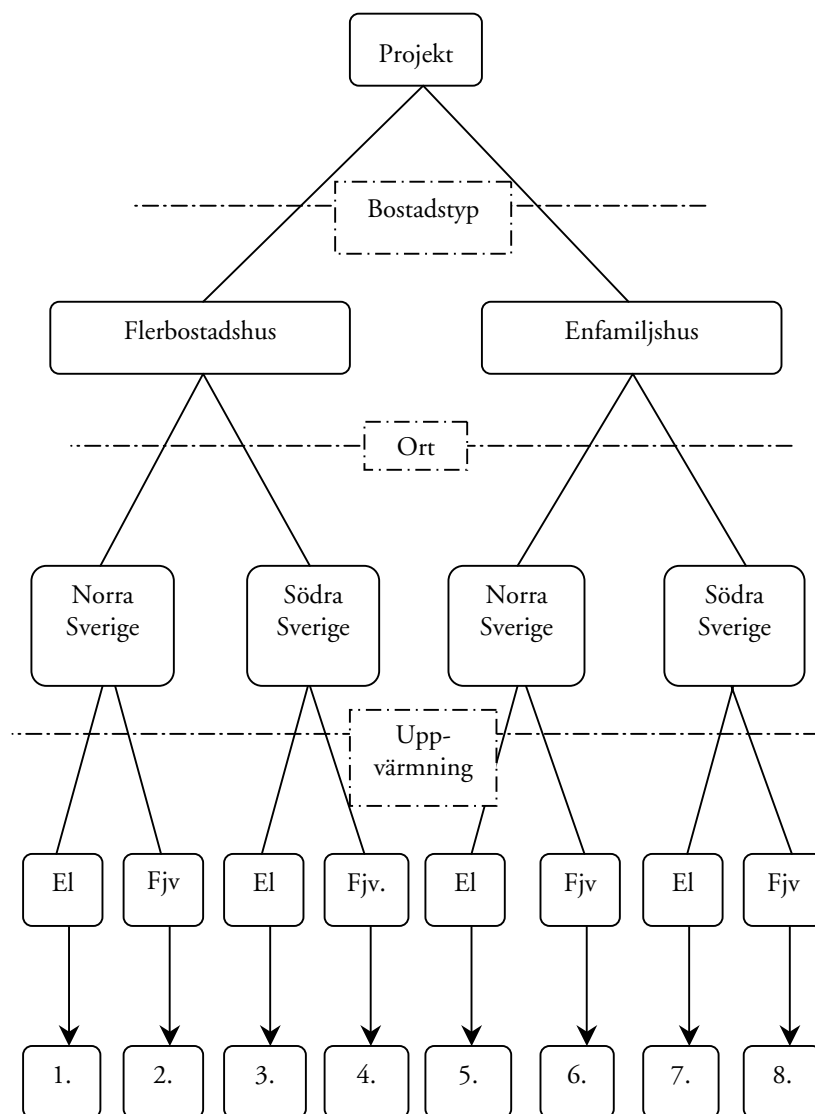
För att resultaten från studien ska vara möjliga att omforma till råd och riktlinjer så har en grovsällning genomförts. Genom att studera resultaten kan man konstatera följande:

- Olika hustyper skiljer sig mellan varandra i energianvändning och LCC främst när det gäller storleken på huset. De åtgärder som ger lägst livscykelkostnad påverkas inte nämnvärt av om utformningen är av punkt-, lamell- eller gårdshustyp. I grova drag kan man istället skilja på enfamiljshus och flerbostadshus. Trendbrottet inte väldefinierat utan man kan tänka sig en gråzon kring radhus, parhus och små flerbostadshus (2–6 lgh.). De stora skillnaderna är att extra satsningar på installations-systemet och på fönsterutformningen lönar sig bäst på större hus medan satsningar på isolering och solvärme kan löna sig bättre i mindre hus.
- Skillnaderna i både energianvändning och livscykelkostnad är marginella mellan Malmö och Stockholm. Luleå däremot har ett väsentligt annorlunda klimat vilket medför att lönsamma åtgärder i södra Sverige inte nödvändigtvis är lönsamma i Luleå och vise versa. Någon klar gräns var skillnader blir betydande mellan södra och norra Sverige har inte identifierats. Man kan tänka sig en bred gråzon kring Sundsvall och att tendenserna för södra Sverige blir tydligare längre söderut och tendenserna för norra Sverige blir tydligare längre norrut. Exempel på dessa tendenser är att FTX-system och bättre klimatskal är mer lönsamma norrut medan frånlufts- och utelufts-värmepumpar är mer lönsamma i södra Sverige.

-
- Vilket uppvärmningssystem som ger lägst LCC beror till stor del på om man har tillgång till fjärrvärme eller inte. Om fjärrvärme inte finns att tillgå på orten så är det värt att studera möjligheten att installera en markvärmepump av något slag. Vilken typ av värmepump som är lönsamast beror till stor del på tomtens storlek och ev. tillgång till vattendrag. Även om fjärrvärmeanslutning är möjlig så kan det vara värt att studera möjligheterna med en värmepump. I södra Sverige kan en frånluftsvärmepump med elpanna ge en lägre livscykelkostnad jämfört med fjärrvärme för uppvärmning. Det bör påpekas att detta gäller under förutsättning att prisökningen för fjärrvärme följer prisökningen för el.

För att åskådliggöra dessa slutsatser på ett användbart sätt så ges åtgärdsförslag enligt Figur 7.1. Taken med denna schematiska framställning är att man skall kunna få stöd i projekteringen avseende vad man bör satsa på för att hitta energieffektiva lösningar. Det egna projektet passas in i schemat varefter ett åtgärdsförslag erhålls. Åtgärdsförslaget kan sedan användas som stöd i projektet.

Varje åtgärdsförslag är specifikt utifrån bostadstyp, ort och tillgång till fjärrvärme. Om uppvärmningen varken sker via el eller fjärrvärme kan alternativa uppvärmningssystem som kostnadsmässigt (investeringskostnad samt energipris) ligger närmast det aktuella uppvärmningssystemet studeras, exempel på sådana uppvärmningssystem kan vara olje-, gas-, pellets-, eller vedpanna.



Figur 7.1 Råd och riktlinjer i form av generella åtgärdsförslag baserade på lägsta livscykelkostnad.

7.1 Åtgärdsförslag 1

För att minimera livscykelkostnaden för ett flerbostadshus som inte har tillgång till fjärrvärme i norra Sverige så måste behovet av köpt energi minskas. På något sätt måste man undvika att hamna i en situation där uppvärmningen sker enbart med en elpanna. Att enbart lägga extra investeringar på en markvärmepump kan vara riskabelt eftersom ett högt effektbehov innebär stora investeringar för borrhål eller liknande. Ett bra grundtips är att kombinera en markvärmepump med någon form av värmeåtervinning (FTX alt. FVP). Ju större huset är desto bättre är FTX-systemet och om huset är något mindre så är frånluftsvärmepumpen mer lönsam. Med FTX-systemet bör man sträva efter så hög temperaturverkningsgrad som möjligt. Det är också viktigt att fläktarna i ventilationssystemet har hög verkningsgrad för att hålla nere elanvändningen.

Väljer man att installera en värmepump av något slag som uppvärmningssystem är det även värt att undersöka möjligheten för ett välisolerat klimatskal. Fönster med U-värde 1,0-1,2 W/m²K och ytterväggar med U-värde 0,14-0,18 W/m²K är en bra utgångspunkt för vidare utredning. Att isolera till den grad att inget värmesystem krävs får anses som svårt i norra Sverige, både ur ekonomisk och teknisk synvinkel.

7.2 Åtgärdsförslag 2

Om det finns tillgång till fjärrvärme på orten så är det en möjlighet som är värd att utnyttja i norra Sverige. Fjärrvärmen är billig och man kan då undvika dyra investeringar för en markvärmepump. Det som ger lägst livscykelkostnad i detta fall är att minska energibehovet något. Som enskild åtgärd bör man studera möjligheten att installera ett centralt FTX-aggregat med hög verkningsgrad. Detta är lättast att motivera om huset är stort (10-tal lägenheter). Är byggnaden något mindre (enstaka lägenheter) kan det ändå vara värt att studera möjligheterna med en markvärmepump, ev. i kombination med en frånluftsvärmepump. Frånluftsvärmepumpen bör även studeras som enskild åtgärd om man av någon anledning inte kan använda sig av ett FTX-system.

När det gäller klimatskalet så är fönster med U-värde 1,0–1,2 W/m²K och ytterväggar med U-värde 0,14–0,18 W/m²K en bra utgångspunkt för vidare utredning. Väljer man att ha ett FTX-system är det mycket viktigt att klimatskalet har hög lufttäthet för att systemet skall fungera och ge avsedd sänkning av LCC.

7.3 Åtgärdsförslag 3

I södra Sverige är energibehovet inte lika stort som i norra Sverige vilket innebär att det kostnadsmässigt inte lönar sig lika bra med energieffektiviserande åtgärder. När tillgång till fjärrvärme saknas är markvärme det alternativ som har bäst chans att ge en låg livscykelkostnad. Gärna i kombination med en frånluftsvärmepump. Om man av någon anledning inte kan installera en markvärmepump och uppvärmningen måste ske med elpanna så kompletteras denna med fördel med en uteluftsvärmepump. Dagens byggregler kan då även kräva att värmeåtervinning installeras. Det lönar sig då bäst i längden att satsa på ett centralt FTX-aggregat med hög temperaturverkningsgrad.

Att satsa extra på klimatskalet går förmodligen att räkna hem om man studerar långa tidsperioder (uppåt 60 år). För stora flerbostadshus (10-tal lägenheter) kan det vara värt att använda sig av fönster med U-värde 1,0 W/m²K. Det kan också vara värt att studera möjligheten att bygga utan vattenburet värmesystem. Hur lönsamt det blir att bygga bättre klimatskal än vad som föreskrivs i BBR beror till stor del på hur värme- och ventilationssystemet utformas. Använder man sig exempelvis av bergvärme så blir uppvärmningen relativt billig, vilket medför att åtgärder på klimatskalet endast lönar sig på långa tidsperioder.

7.4 Åtgärdsförslag 4

När det finns tillgång till fjärrvärme så är det svårt att ekonomiskt motivera ett FTX-system. Lågst LCC får man i stället om man installerar en värmepump som även kan leverera varmvatten. Ett av de bästa alternativen är att installera en frånluftsvärmepump som värmer både radiator- och tappvarmvatten. En markvärmepump kan mycket väl löna sig men innebär större investeringar och större risker som kan vara omotiverade om man har tillgång till fjärrvärme. Om man är

beredd att satsa på ett hus med en hög grundinvestering så kan det vara värt att studera en kombination av mark- och frånluftsvärmepump tillsammans med ett välisolerat klimatskal.

Är det ett stort flerbostadshus man projekterar bör man sträva efter fönster med U-värde $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Om huset är mindre bör man satsa på fönster med U-värdet $1,2\text{--}1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ vilket då ger den lägsta livscykelkostnaden. Att isolera väggarna bättre än vad som föreskrivs i BBR kan vara svårt att motivera ekonomiskt om man inte isolerar till den grad att värmesystemet kan uteslutas.

7.5 Åtgärdsförslag 5

De största vinsterna för ett småhus i norra Sverige görs genom att minimera ventilationsförlusterna. Det bästa alternativet är att installera ett FTX-system. En frånluftsvärmepump får anses vara det näst bästa alternativet, men är sannolikt lönsamt jämfört med att enbart ha en elpanna och ett F-system. Både FTX-systemet och frånluftsvärmepumpen kombineras med fördel med en markvärmepump. Det kan vara befogat att välja kombinationen frånluftsvärmepump/markvärme istället för FTX-system/markvärme då den förstnämnda ger en lägre grundinvestering.

Oavsett system är det lönsamt att satsa på ett välisolerat klimatskal. Det är främst isolerförmåga i vägg och tak samt lufttäthet som ger genomslag på livscykelkostnaden. Fönstrens U-värde bör ligga runt $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ och väggarnas U-värde bör ligga runt $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Om U-värdet för väggarna kan minskas ytterligare utan dubbla regelstommar så bör detta utredas.

7.6 Åtgärdsförslag 6

För en villa i norra Sverige är det tveksamt om man ska satsa på en frånluftsvärmepump för uppvärmning när man har tillgång till fjärrvärme. Då är det betydligt mer lönsamt att satsa på ett FTX-system med hög temperaturverkningsgrad. Möjligtvis kan en frånluftsvärmepump kopplat till enbart varmvattnet användas. Att installera en markvärmepump av något slag får också anses som riskabelt, även om det finns potential för att vara lönsamt.

Lägst LCC uppnås med ett tätt, välisolerat klimatskal och ett FTX-system med hög temperaturverkningsgrad. Fönster med $U = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ och väggar med $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ är en bra utgångspunkt ur LCC-synpunkt. Det kan tänkas att en kombination av frånlufts- och markvärmepump kan bli lönsam, men grundinvesteringarna blir relativt höga.

7.7 Åtgärdsförslag 7

Saknar man fjärrvärmeanslutning i södra Sverige skall man använda sig av en frånluftsvärmepump. Ett FTX-system är onödigt dyrt att installera i jämförelse med den besparing systemet medför. Om man absolut inte kan installera en FVP så kan det ändå vara värt att utreda ett FTX-system med hög temperaturverkningsgrad. Frånluftsvärmepumpen kombineras med fördel med en markvärmepump. Ett sådant system har goda möjligheter att ge en låg livscykelkostnad på 20 års sikt.

Ett välisolerat klimatskal bör utredas om man har uppvärmning med elpanna. Ett välisolerat klimatskal är lönsamt på lång sikt även om frånluftsvärmepump och/eller markvärme installeras. Fönster med $U = 1,0\text{--}1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ och väggar med $U = 0,15\text{--}0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ är en bra utgångspunkt. När uppvärmningen sker med el kan det vara lönsamt att utforma byggnaden som ett passivhus.

7.8 Åtgärdsförslag 8

Även om uppvärmningen av byggnaden kan ske med fjärrvärme så kan det ändå vara lönsamt att ersätta fjärrvärmeväxlaren med en frånluftsvärmepump. Att behålla fjärrvärmeväxlaren tillsammans med en frånluftsvärmepump är dock tveksamt. Om man vill använda sig av fjärrvärme kan det löna sig att installera ett FTX-system med motströmsvärmeväxlare och hög temperaturverkningsgrad. En markvärmepump är också potentiellt lönsam, men som nämnts tidigare är investeringen hög. Markvärmepumpen kombineras med fördel med en frånluftsvärmepump.

Vilket uppvärmningssystem man än väljer så blir uppvärmningen relativt billig. Ett måttligt isolerat klimatskal kan då ge den lägsta

LCC:n. Fönster med $U=1,2-1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ och väggar och tak med $U = 0,15-0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$ är en bra utgångspunkt. Att isolera så att värmesystemet inte behövs är möjligtvis lönsamt på lång sikt (50–100 år).

8 Diskussion

I detta kapitel diskuteras resultaten som studien har visat samt en del förutsättningar som ligger till grund för studien.

I studien jämförs de energieffektiviserande åtgärderna hela tiden med ett grundfall där huset är anslutet till fjärrvärmenätet och ventilerat med ett F-system utan återvinning. I verkligheten ser det förstås annorlunda ut, man måste dock definiera ett grundfall för att kunna genomföra och utvärdera energieffektiviserande åtgärder på det sätt som gjorts i denna studie. Om husen i grundfallen istället skulle ha haft elbaserade uppvärmningssystem så kan man behöva återvinning av ventilationsluften enligt BBR. Om man i så fall skulle införa energieffektiviserande åtgärder så skulle det vara lättare att uppnå en sänkning av LCC. I de antagna grundfallen är energikostnaden per kWh oftast lägre än samma kostnad i de åtgärdade fallen på grund av sammansättningen av energislag. Som nämnts tidigare så är ju en kWh fjärrvärme billigare än en kWh el. Detta visar sammantaget att ännu större minskningar i LCC kan beräknas om man antar att man inte har fjärrvärme i det grundfall man jämför med. Denna erfarenhet har också använts vid utformningen av åtgärdsförslagen

För de energieffektiviserande åtgärder som tagits upp kan det i vissa fall vara aktuellt med återinvesteringar under dess antagna livslängd. Ingen hänsyn har tagits till detta i denna studie. Dels för att åsikterna går isär om vad som är rimligt att anta. Det finns t.ex. studier som tyder på att kompressorer i frånluftsvärmepumpar som tillverkades för bara fem år sedan var av dålig kvalitet och behövde ersättas efter bara ett fåtal år¹⁰³. Samtidigt finns uppgifter om att man har kommit tillrätta med dessa problem och att man kan räkna med att frånluftsvärmepumparna i princip är underhållsfria under sin livslängd¹⁰⁴. Ett annat skäl till att vi inte tagit hänsyn till återinvesteringar är svårigheten att uppskatta

¹⁰³ Folksam. *Pressmeddelanden*. Internet

¹⁰⁴ IVT. *Nyheter på IVT*. Internet.

återinvesteringens storlek, av samma anledning som beskrivits ovan, nämligen att åsikterna går isär. Om man skulle ta hänsyn till återinvesteringar så skulle lönsamheten i många studerade åtgärder minska. Ligger åtgärder precis på gränsen till att betalas tillbaka under dess livslängd kan det alltså diskuteras huruvida åtgärden är lönsam. När installationerna är lönsamma är dom dock i de flesta fall lönsamma med så pass mycket att man får tillbaka dubbelt så mycket som grundinvesteringen.

När det gäller solvärme som energieffektiviserande åtgärd så kan man erhålla ett statligt investeringsstöd vid installation av solvärmesystem. I studien har solvärme inte visat sig vara lönsamt i något fall. Merkostnaderna för investeringar i solvärmesystem har uppskattats med hänsyn till kostnader för olika solvärmesystem på den Svenska marknaden. Kostnaderna varierar mellan 2 500 och 12 000 kr/m² inklusive installationsarbete. Vi har antagit en kostnad på 5 500 kr/m² inklusive installation. Man kan se det som om hänsyn har tagits till det statliga investeringsstödet då vår antagna kostnad ligger relativt lågt. Det har dock underordnad betydelse då vi har gjort ett enkelt antagande om kvadratmeterpriset. Bedömningen är att investeringsstödet för solvärmesystemen i studien inte skulle kunna göra att systemen blir lönsamma.

En viktig slutsats som studien resulterar i är att FTX-system i många fall kan vara bättre än frånluftsvärmepump i fråga om återvinning av ventilationsluft i de norra delarna av landet. Det är dock viktigt att känna till att ett FTX-system även har andra fördelar i fråga om komfort och inomhusmiljö. Med ett FTX-system undviker man att kall uteluft tas in genom uteluftsdon vilket gör att risken för drag minskar. Ett FTX-system medger också behandling av uteluften innan den tillförs inomhusluften vilket kan vara ett krav då huset är placerat i miljöer med stora yttre miljöbelastningar, t.ex. nära en tungt trafikerad väg i en tätort. Det kan därför i vissa fall vara befogat att välja ett FTX-system framför en frånluftsvärmepump även om frånluftsvärmepumpen är bättre ur LCC-synpunkt. Dessutom krävs det ett FTX-aggregat om man vill bygga ett hus utan värmesystem.

I studien av passivhuset visar resultaten att det inte är möjligt att till samma livscykelkostnad som grundfallet utforma huset enligt passivhuskonceptet. I Stockholm och Malmö så medger den jämförande livscykelkostnadsanalysen en möjlig merinvestering på 166 000 respek-

tive 158 000 kr jämfört med grundfallet. Dessa siffror baseras på att det befintliga värmesystemet i grundfallet kostar 35 000 kr. Kostnaden för värmesystemet något lågt räknad för ett helt värmesystem i ett hus på ca 380 m². Om huset vore ett flerbostadshus projekterat och byggt vid ett enstaka tillfälle så skulle kostnaden för värmesystemet troligtvis vara högre. Det innebär sammantaget att den möjliga merinvesteringen för att utforma huset som ett passivhus skulle kunna vara högre. Det är troligt att den möjliga merinvesteringen då skulle vara så hög att ett passivhus skulle vara ett alternativ som sänker livscykelkostnaden jämfört med grundfallet.

Känslighetsanalyserna i slutet av kapitel 6 kan sammanfattas i att en energieffektiviserande åtgärd som medför en stor årlig besparing i LCC också blir känsligare för förändringar i prisutveckling. I studien har antaganden gjorts om att både fjärrvärme- och elprisökningen är konstant 2 % per år. Man kan fråga sig vad som skulle hända om en stor världshändelse skulle inträffa, exempelvis ett krig som driver upp oljepriserna. Det är då troligt att en stor ökning skulle uppstå i prisutveckling för både el och fjärrvärme. Detta skulle påverka LCC-kalkylerna på ett positivt sett. Ju högre prisutveckling, desto bättre är det att ha ett energieffektivt hus. Om däremot endast den årliga elprisökningen skulle öka så skulle lönsamheten i de energieffektiviserande åtgärderna relativt grundfallen minska, detta på grund av att grundfallet har fjärrvärme och inte påverkas lika mycket av förändringen i elprisökningen.

I slutsatserna i Kapitel 7 diskuteras markvärmepump trots att simuleringarna i studien är gjorda uteslutande med bergvärmepumpar. Det finns två orsaker till detta: För det första så ingår andra typer av värmepumpar i de tidigare studier som presenteras i Kapitel 1 och för det andra så är bergvärmepumpen oftast det dyraste alternativet. Detta innebär att investeringskostnaden för yttjord- eller sjövärmepumpar är lägre än för bergvärmen vilket i sin tur innebär att dessa system lönar sig bättre. Värmefaktor och kondensoreffekt påverkas inte nämnvärt av varifrån man tar värmen.

9 Fortsatta studier

I detta avsnitt beskrivs förslag på fortsatta studier baserade på de erfarenheter som erhållits under arbetets gång.

Alla simuleringar som gjorts i denna studie har i möjligaste mån hållits så generella som möjligt. Eftersom alla beräkningar är utförda på faktiska projekt så är dock vissa parametrar låsta, på gott och ont.

Delen om "Hus utan värmesystem" skulle med fördel kompletteras med jämförelser av total LCC utifrån faktiska byggkostnader. Det vore intressant att se en jämförelse av livscykelkostnaderna mellan ett hus byggt enligt billigaste teknik, ett hus med låg energianvändning och ett hus utan värmesystem. En sådan studie i kombination med en riskanalys skulle kanske kunna ge vägledning till vad som egentligen är "billigt byggande" och om passivhus är ekonomiskt hållbart. Erfarenheter från denna studie pekar på att det finns tekniska lösningar som både ger en lägre grundinvestering och en lägre livscykelkostnad jämfört med ett passivhus. Det vore intressant att helt inrikta en studie på att hitta ett optimum för ett hus och försöka utröna vad som är den kostnadsmässigt optimala lösningen, detta med hänsyn tagen till energieffektivitet och risker avseende energiprisökningar.

De tekniska systemlösningar som använts i denna studie är inte alltid perfekt dimensionerade för den aktuella hustypen på den aktuella orten. Detta skulle kunna göras mer noggrant, dock fanns det inte utrymme för detta i denna studie då många olika system skulle undersökas i tre olika hustyper på flera orter och tiden var begränsad till 20 veckor. För att verkligen göra en djupdykning i ett system skulle man behöva avgränsa sig till ett eller kanske två olika tekniska system och optimera dessa för den aktuella hustypen på den aktuella orten. Om man kompletterar detta med en mycket omfattande litteraturstudie torde det vara möjligt att hitta tekniska system som passar huset bättre än de system som använts i denna studie.

I denna studie har solvärmesystemen visat sig ge ökade livscykelkostnader för alla tre hus på samtliga orter. Det borde dock gå att hitta solvärmesystem som ger en sänkning av LCC. För att hitta de bästa solvärmesystemen så måste en mer noggrann litteraturstudie genomföras. Det är egentligen samma problematik som beskrivits ovan, ett solvärmesystem kan optimeras för en aktuell byggnad på en aktuell ort och borde så kunna ge en minskning av LCC jämfört med ett likadant hus utan solvärmesystem.

För att kunna ge helt säkra råd om energieffektivisering för ett aktuellt projekt så behöver man studera det aktuella huset i detalj och dimensionera de ingående systemen detaljerat och begära in offerter på just de systemen. Då skulle man med större säkerhet kunna säga något om lönsamheten. Dock så finns fortfarande osäkerheterna i antaganden om energiprisutveckling med.

Referenser

Tryckta källor

Anderson, Sara. Nordström, Johanna. *Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda*. Examensarbete. Energi och Byggnadsdesign, Institutionen för Arkitektur och Byggd Miljö. Byggnadsekonomi, Institutionen för Bygghälsan. Lunds Tekniska Högskola 2005.

Andersson, Marco. Nilsson, Peter. Vätz, Jonas. *Energioptimering av flerbostadshus i Västra Eriksberg. Hållbart byggande i ett livscykelkostnadsperspektiv*. Examensarbete. Institutionen för Bygg- och Miljöteknik. Chalmers Tekniska Högskola. Göteborg 2005.

Andrén, Lars. *Solenergi. Praktiska tillämpningar i bebyggelse*. AB Svensk Byggtjänst, Halmstad 2001. ISBN91-7332-967-3.

Anger, Ylva. Ohlsson, Håkan. *Sänkta boendekostnader genom energieffektivisering*. Examensarbete. Avdelningen för Installations-teknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi, Lunds tekniska högskola 2004.

Avgiftsgruppen, (Fastighetsägarna, Hyresgästföreningen, Riksbyggen, SABO, HSB) *Fastigheten Nils Holgerssons underbara resa genom Sverige - En avgiftsstudie för år 2004*.

Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström, Lotti. *Energianvändning och inomhusklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*. Avdelningen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola 2004. ISBN 91-88722-33-3.

Bejrums, Håkan, Hanson, Rune, Johnson, Bertil G. *Det levande husets ekonomi. Livscykelekonomiska perspektiv på drift och förnyelse*.

Anslagsrapport A3:1996. Byggforskningsrådet. Stockholm 1996. ISBN 91-540-5737-X.

Bejrums, Håkan. *Livscykeekonomiska kalkyler för byggnader och fastigheter*. Institutionen för Fastighetsekonomi, sekt. Lantmäteri. Kungliga Tekniska Högskolan. Stockholm 1991. ISSN 0347-1357.

Bergsten, Bengt. *Individuell värmemätning i flerbostadshus*. Effektiv. 2003. ISBN91-7848-956-3.

Bergsten, Bengt. *Energiberäkningsprogram för byggnader - en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Effektiv. 2001. ISBN91-7848-851-6.

Berndtsson, Lennart. (2003) *Individuell mätning i Svenska flerbostadshus - en lägesrapport*. Projekt P11835-2, Statens Energimyndighet, Eskilstuna, 31 mars 2003.

Blohm A, Hedlund M. *En jämförelse av värmebehov mellan lägenheter med olika rumstemperatur*. Examensarbete. Örebro Universitet 2005.

Blomsterberg, Åke. Eek, Hans. *Tillämpad passiv solvärme. Resurssnål bebyggelse i Karlstad*. Byggforskningsrådet. Rapport R24:1989. ISBN91-540-5010-3.

Blomsterberg, Åke, Bülow-Hübe, Helena. *Solbyn i Dalby. Utvärdering av en energisnål radhuslägenhet med glasrum*. Institutionen för byggnadskonstruktionslära. Lunds Tekniska Högskola 1992. ISSN 0281-6318.

Boverket. Boverkets Byggregler BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19.

Boverket. BFS 2002:19 kap. 6.41. 2002.

Byfors, Jan. Borglund, Magnus. *"Flerbostadshus utan värmesystem" - Passivhus i flera våningar*. ByggaBoDialogen. Solna 2005.

Byggforskningsrådet. *Solvärme för bostäder*. G12:1993 Stockholm.

Bülow-Hübe, Helena. Föreläsningsmaterial från kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*, Avdelningen för Energi och Byggnadsdesign. Lunds Tekniska Högskola 2005.

Claesson, Johan. Nevander, Lars-Erik. Sandin, Kenneth. *Utdrag ur värme. Kompendium i byggnadsfysik*. Institutionen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola 1984.

EFEM Arkitektkontor, Formas, m.fl. *Hus utan värmesystem - 20 energisnåla radhus i Göteborg*.

Elmarsson, Bengt. Nevander, Lars-Erik. *FUKT-handbok*. Svensk byggtjänst. Stockholm 2001.

EU:s officiella tidning. *Europaparlamentets och rådets direktiv 2002/91/EG om byggnaders energiprestanda*. 2002-12-16.

Goufeng, Mao m fl *The Importance of Thermal Bridges in new Swedish Multi-Family Buildings. Building Physics in the Nordic Countries, Building Physics '93. Copenhagen 13-15 September 1993. Volume 1*. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark. August 1993.

Hansson, Bengt. Olander, Stefan. *Begrepp vid bygg- och fastighetsutveckling*. Förhandsversion. Avdelningen för Construction Management. Lunds Tekniska Högskola. 2004.

Jagemar, Lennart. *Individuell reglering av rumsklimat*. Effektiv. 2001. ISBN91-7848-878-8.

Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. *Värmebehovsberäkning - Kursmaterial Installationsteknik FK*. Avdelningen för Installationsteknik. Lunds Tekniska Högskola 2001.

Johansson, Dennis. *Modelling LCC for Different Indoor Climate Systems*. Rapport TVBH-3040. Avdelningen för byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola 2002.

Konsumentverket. *Råd & Rön* nr 4 April 2002.

Lindahl, Maria. Utbult, Magnus. Värmsjö, Per. *Energioptimering av flerbostadshus – En LCC-studie av ett nybyggnadsprojekt i Sannegårdshamnen*. Examensarbete. Institutionen för Byggt teknik. Chalmers Lindholmen, Göteborg 2003.

Magnusson, Mia. Nilsson, Markus. *Fönstermanualen - Ett beslutsunderlag vid fönsterinvestering*. Examensarbete. Avdelningen för Byggnadsekonomi, Institutionen för Byggvvetenskaper. Lunds Tekniska Högskola 2004.

Nilsson, Annika. *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Licentiatavhandling, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola 2003. ISBN 91-88722-30-9.

Ruud, Svein H. *Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i bostäder*. Effektiv. Borås 2003.

Sandberg, Eje. *Hus utan värmesystem*. ATON Teknik Konsult AB. 2003.

Sandberg, Eje. *Känslighetsanalyser för byggnader utan värmesystem. Möjliga definitioner och ekonomiska analyser*. ATON Teknik Konsult AB. 2003.

Schulz, Linda. *Energicertifiering. EU-direktiv om byggnaders energiprestanda*. Effektiv. 2003. ISBN91-7848-937-7.

Schulz, Linda. *Normalårskorrigerig av energibehovet i byggnader - en jämförelse av två metoder*. Effektiv. 2003. ISBN91-7848-932-6.

Smeds, Johan. & Wall, Maria. (2001). IEA Task 28/ Annex 38. Sustainable Solar Housing, Subtask B: Internal Gains, Assumptions for simulations, Working document, Sep 2001.

Statens Energimyndighet. *Energiindikatorer 2005. Uppföljning av Sveriges energipolitiska mål*. Eskilstuna 2005.

Statens Energimyndighet, *Energiläget 2004*. Eskilstuna 2004.

Svensson, Anders. *Ventilationsteknik - Del av kursmaterial för Installationsteknik FK*. Avdelningen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola 1995.

Swedisol, *Isolerguiden 2004*. Tomelilla 2004.

Torssell, Richard. *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus*. Examensarbete. Avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola 2005.

Wall, Maria. Energy-efficient terrace houses in Sweden. Simulations and measurements. Energy and Buildings. (in press).

Warfvinge, Catarina. *Installationsteknik AK för V*. Avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola 2003.

Warfvinge, Catarina. *Kv. Jöns Ols i Lund - energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik*. WSP Environmental Byggnadsfysik 2005.

Wikells 02/03 sektionsfakta-NYB. *Teknisk - ekonomisk sammanställning av byggdelar*. Växjö 2002.

Elektroniska källor

Folksam. *Pressmeddelanden*.
<http://www.folksam.se/press/index.htm>

Hämtad 2005-11-29

Hagetoft, Carl-Erik. *Energieffektivt och god termisk komfort genom värmelagring i byggnaden*. (Artikel till Bygg & Teknik 5/2000) Mur och Puts Information AB.

<http://www.mur.se/subcategories/Aktuellt/Energiartikel%20Bygg%20och%20Teknik.htm> Hämtad 2004-01-15

IVT. *Nyheter på IVT*.

<http://www.ivt.se/page.asp?lngID=544&lngLangID=1&Year=2005>
Hämtad 2005-11-29

Konsumentverket. *Elspartips*.

http://www.kopguiden.konsumentverket.se/mallar/sv/artikel_kopguide.asp?lngCategoryId=1455&lngArticleId=3119 Hämtad 2005-09-30

Konsumentverket. *Energimärkning*.

http://www.konsumentverket.se/mallar/sv/artikel_kopguide.asp?lngCategoryId=1473&lngArticleId=3399 Hämtad 2005-10-03

Passivhaus Institut. *Passive House Checklist*.

<http://www.passiv.de> Hämtad 2005-11-10

SMHI. *Klimatkartor*.

<http://www.smhi.se/> Hämtad 2005-11-17

Statens Energimyndighet. *Energieffektiva kranar*.

http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=A96C832E4C568FACC1256DBE00449D0D&WT=Energikonsument.Vatten.Energieffektiva%20#kranar Hämtad 2005-09-30

Statens Energimyndighet. *Vitvaror och Hemelektronik*.

http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=104CC06F1DFF41C2C1256DB0003B8259&WT=Energikonsument.Vitvaror%20och%20#hemelektronik Hämtad 2005-09-31

Statistiska Centralbyrån - *Statistikdatabasen*

www.scb.se. Hämtad 2005-11-01

Strusoft - *Beskrivning av beräkningsprogram och beräkningsmetoder*.

<http://vip.strusoft.se>. Hämtad 2005-11-01

Muntliga källor

Adalberth, Karin. Prime Project AB. Personlig kommunikation 2005-10-06.

Almgren, Anders. Skanska Teknik. Personlig kommunikation hösten 2005.

Andersson, Björn. Skanska Teknik. Personlig kommunikation 2005-11-15.

Bengtsson, Thomas. REC Indovent AB. Personlig kommunikation 2005-11-16.

Billros, Per. IVT Värmepumpar. Personlig kommunikation hösten 2005.

Bülow-Hübe, Helena. Personlig kommunikation hösten 2005.

Eklund, Gunnar. IVT Värmepumpar. Personlig kommunikation 2005-11-22.

Grahn, Henrik. Skanska PDR Sweden AB, NyaHem Öresund. Personlig kommunikation hösten 2005

Gustafsson, Mikaela. Domlux. Personlig kommunikation hösten 2005.

Hellstenius, Henrik. Systemair. Personlig kommunikation 2005-10-12.

Häggbom, Sune. Strusoft AB. Personlig kommunikation hösten 2005.

Johansson, Jan-Olof. Ordförande Brf. Blombuketten, Malmö. Personlig kommunikation 2005-19-17.

Jönsson, Bertil. Skanska Teknik. Personlig kommunikation hösten 2005.

Jönsson, Håkan. Ordförande Brf. Blyger, Ängelholm. Personlig kommunikation 2005-09-17.

Magnusson, Anna. Öresundskraft AB. Personlig kommunikation hösten 2005.

Myrefeldt, Sonny. Skanska Teknik. Personlig kommunikation 2005-10-12.

Salievski, Refik. Skanska Sverige AB, Byggsystem. Personlig kommunikation hösten 2005.

Sjöberg, Lars. Skanska Teknik. Personlig kommunikation hösten 2005.

Använda datorprogram

HEAT2	Version 6.0. Beräkning av värmeledning i två dimensioner. Utvecklat av Dr. Tomas Blomberg. Avdelningen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola. Tillhandahållet av Skanska Teknik.
HEAT3	Version 4.0.0.2. Beräkning av värmeledning i tre dimensioner. Utvecklat av Dr. Tomas Blomberg. Avdelningen för Byggnadsfysik. Lunds Tekniska Högskola. Tillhandahållet av Skanska Teknik.
VIP+	Version 3.0. Beräkning av energibehov i bostadshus. Utvecklat av Skanska (Strusoft) och introducerat 1990. Tillhandahållet av Skanska Teknik.
Systemair SP	Version 1.4. Systemair produktvalsprogram. Tillhandahållet av Systemair. Kan laddas ned på www.systemair.se .
Vpw2000	Version 7.81. Dimensionerings- och urvalsprogram från IVT Värmepumpar. Tillhandahållet av Per Billros (IVT Värmepumpar).

BILAGA A. Resultat från LCC-kalkyler

Tabell A.1 Livscykelkostnader för vinkelhuset i absoluta tal på tidsperioderna 20, 30 eller 60 år.

Fall	Åtgärd	FJV/El	Tids-period	Malmö	Stock-holm	Luleå
	Grundfall	FJV	20	371 200	386 100	505 500
	Grundfall	FJV	30	496 000	516 100	677 400
	Grundfall	FJV	60	744 500	775 300	1 022 900
ENSKILDA ÅTGÄRDER						
I	+50 mm cellplast	FJV	60	746 100	774 200	1 011 800
II	+100 mm cellplast	FJV	60	741 800	768 600	1 000 800
III	FTX-system (n=0,66)	EL	20	773 300	805 900	1 018 900
IV	FTX-system (n=0,83)	EL	20	749 600	775 700	964 300
V	FTX-system (n=0,83)	FJV	20	502 400	514 000	598 500
VI	Centralt FTX-system (n=0,67)	FJV	20	441 300	455 400	549 300
VII	Fönster U=1,0	FJV	30	520 000	538 300	693 000
VIII	Solvärme varmvatten	FJV	20	381 700	397 600	529 700
IX	Solvärme kombi	FJV	20	392 700	407 000	535 600
X	Frånluftsvärmepump	EL	20	346 300	359 600	490 700
XI	Bergvärme	EL	20	284 100	294 300	456 200
XII	Uteluftsvärmepump	FJV	20	339 700	365 200	498 000
KOMBINERADE ÅTGÄRDER						
XIII	+100 cellplast, fönster U=1,0	FJV	30	534 900	551 400	699 300
XIV	+100 mm vägg, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	FJV	30	514 100	543 200	684 300
XV	+100 mm vägg, Solvärme kombi	FJV	20	408 900	421 400	542 500
XVI	+100 mm vägg, Solvärme kombi, Fönster U=1,0	FJV	20	439 200	450 600	567 000
XVII	+100 mm vägg, Solvärme kombi, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	FJV	20	426 400	445 500	556 800
XVIII	FVP + BVP	EL	20	264 600	277 300	386 700
XIX	+100 mm vägg, BVP + FVP	EL	20	283 300	294 400	399 300
XX	+100 mm vägg, BVP + FVP, Fönster U=1,0	EL	20	315 100	325 300	427 200
XXI	+100 mm vägg, BVP + FVP, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5	EL	20	305 000	321 000	420 100

Tabell A.2 Livscykelkostnader för villan i absoluta tal på tidsperioderna 20, 30 eller 60 år.

Fall	Åtgärd	FJV/EI	Tids-period	Malmö	Stock-holm	Luleå
	Grundfall	FJV	20	145 400	150 400	198 300
	Grundfall	FJV	30	192 500	199 300	263 900
	Grundfall	FJV	60	283 300	293 700	393 000
ENSKILDA ÅTGÄRDER						
I	+50 mm isolering vägg	FJV	60	280 200	290 100	387 200
II	+50 mm isolering tak	FJV	60	281 600	291 600	389 300
III	FTX-system (n=0,58)	FJV	20	149 300	157 700	199 500
IV	FTX-system (n=0,81)	FJV	20	144 500	151 400	188 600
V	FTX-system (n=0,88)	FJV	20	158 100	164 600	200 100
VI	Fönster U=1,0	FJV	30	194 400	200 400	262 000
VII	Solvärme varmvatten	FJV	20	148 600	154 000	205 200
VIII	Solvärme kombi	FJV	20	152 900	157 900	208 500
IX	Frånluftsvärmepump	EL	20	136 600	147 600	242 900
X	Frånluftsvärmepump	FJV	20	148 100	153 100	199 000
XI	Bergvärme	EL	20	133 200	136 700	189 600
KOMBINERADE ÅTGÄRDER						
XII	+50 mm isolering i vägg och tak	FJV	60	279 400	288 000	383 600
XIII	+50 mm isolering i vägg och tak Fönster U=1,0	FJV	30	192 200	197 600	256 800
XIV	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0 + Lufttäthet 0,5	FJV	30	182 200	191 700	246 700
XV	+50 mm isolering i vägg och tak, FVP	EL	20	132 400	142 200	233 400
XVI	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, FVP	EL	20	131 700	140 100	225 900
XVII	+50 mm isolering i vägg och tak, FTX (n=81%)	FJV	20	143 800	150 200	185 700
XVIII	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, FTX (n=81%)	FJV	20	148 000	152 600	186 900
XIX	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5 + FTX (n=81%)	FJV	20	141 200	147 500	176 700
XX	FVP + BVP	EL	20	114 100	119 500	182 200
XXI	FVP + BVP, Lufttäthet 0,5	EL	20	107 200	114 800	174 700
XXII	+50 mm isolering i vägg och tak, Lufttäthet 0,5, FVP + BVP	EL	20	107 000	113 800	172 400
XXIII	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5, FVP + BVP	EL	20	111 900	117 700	174 800
XXIV	FTX (n=81%), Bergvärme	EL	20	142 600	148 200	197 000
XXV	+50 mm isolering i vägg och tak , FTX (n=81%), Bergvärme	EL	20	143 000	147 300	195 900
XXVI	+50 mm isolering i vägg och tak, Lufttäthet 0,5, FTX (n=81%) + Bergvärme	EL	20	137 200	143 000	188 900
XXVII	+50 mm isolering i vägg och tak, Fönster U=1,0, Lufttäthet 0,5, FTX (n=81%), BVP	EL	20	144 00	149 200	192 600

Tabell A.3 Livscykelkostnader för lamellhuset i absoluta tal på tidsperioderna 20, 30 eller 60 år.

Fall	Åtgärd	FJV/ EI	Tids- period	Malmö	Stockholm	Luleå
	Grundfall	FJV	20	2 802 700	3 207 600	4 440 800
	Grundfall	FJV	30	3 728 300	4 267 300	5 914 100
	Grundfall	FJV	60	5 543 200	6 345 600	8 813 600
ENSKILDA ÅTGÄRDER						
I	+50 mm isolering ytterväggar	FJV	60	5 523 800	6 304 200	8 708 400
II	Fönster U=1,2	FJV	30	3 705 900	4 240 900	5 875 600
III	Fönster U=1,0	FJV	30	3 605 500	4 124 000	5 709 400
IV	Solvärme varmvatten	FJV	20	3 246 100	3 676 700	4 984 600
V	Bergvärme	EL	20	2 718 600	3 101 800	4 694 100
VI	Frånluftsvärmepump kombisystem	FJV	20	2 669 200	3 067 900	4 281 900
VII	FTX 61% centralt aggregat	FJV	20	3 042 900	3 352 900	4 259 200
VIII	FTX 76% centralt aggregat	FJV	20	2 891 400	3 172 600	4 008 400
IX	FTX 82% lägenhetsaggregat	FJV	20	3 186 800	3 453 800	4 249 600
KOMBINERADE ÅTGÄRDER						
X	+50 mm isolering ytterväggar, fönster U=1,0	FJV	30	3 632 600	4 136 300	5 679 800
XI	+50 mm isolering ytterväggar, fönster U=1,0, lufttäthet 0,5	FJV	30	3 467 600	3 961 400	5 367 200
XII	Bergvärme, frånluftsvärmepump	EL	20	2 880 100	3 128 100	4 309 200
XIII	Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster U=1,0	EL	20	2 714 700	2 956 700	4 104 800
XIV	Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster U=1,0, +50 mm isolering ytterväggar	EL	20	2 717 000	2 956 400	4 081 300
XV	Bergvärme, frånluftsvärmepump, fönster U=1,0, +50 mm isolering ytterväggar, lufttäthet 0,5	EL	20	2 505 000	2 751 200	3 763 700
XVI	FTX 76% centralt aggregat, lufttäthet 0,5	FJV	20	2 730 900	2 998 300	3 726 300
XVII	FTX 76% centralt aggregat, lufttäthet 0,5, +50 mm isolering ytterväggar	FJV	20	2 787 000	3 042 300	3 738 200
XVIII	FTX 76% centralt aggregat, lufttäthet 0,5, +50 mm isolering ytterväggar, fönster U=1,0	FJV	20	2 711 700	2 947 800	3 597 900

BILAGA B. Beräkning av köldbryggor

Köldbryggorna är här beräknade i programmen HEAT2 och HEAT3. De materialvärden som används vid beräkningarna redovisas i Tabell B.2. Hur beräkningsmodellerna ser ut visas under respektive avsnitt. Ψ -faktorn (linjeköldbryggan) beräknas ur HEAT3 enligt $\psi = (U_{HEAT3} - U_{VÄGG}) \cdot h$ där $h=1,08m$ enligt modellerna i HEAT3 med $U_{VÄGG}$ enligt Tabell B.1 nedan. När HEAT2 använts har köldbryggans Ψ -faktor beräknats enligt SS-EN 10211 som finns som en inbyggd funktion i programmet. HEAT3 är endast använt för beräkning av köldbryggan kring mellanbjälklaget och anslutningen till loftgången för vinkelhuset. De U-värden som är beräknade för köldbryggorna är beräknade för olika bredder på ytterväggen. U-värdet för köldbryggan kan tolkas som del av ytterväggen som pga. konstruktionen tilldelas ett högre U-värde än den övriga väggen.

Tabell B.1 U-värden för väggarna i de olika fallen

Fall	U-värde vägg (W/m ² K)
Vinkelhuset - Grundfall	0,207
Vinkelhuset +50 mm cellplast	0,167
Vinkelhuset +100 mm cellplast	0,141
Vinkelhuset +50 mm cellplast med puts	0,194
Villan	0,183
Villan +50 mm mineralull	0,153
Lamellhuset	0,216
Lamellhuset +50 mm cellplast	0,181

Tabell B.2 Materialvärden som används i beräkningen av köldbryggorna. Kolumnen "Färg" visar vilken färg materialet är tilldelat i Figur B.1 - Figur B.13

Material	Lambda (W/mK)	C (J/kgK)	Färg
Mineralull	0,038	840	Gul
Cellplast	0,038	1400	Ljusgul
Trä	0,13	2500	Brun
Gips	0,22	1100	Grön
KC-bruk	1,0	950	-
Luft	0,026	1200	Blå
Betong	1,7	800	Grå
Mark	2,0	900	Brun

B.1 Vinkelhuset

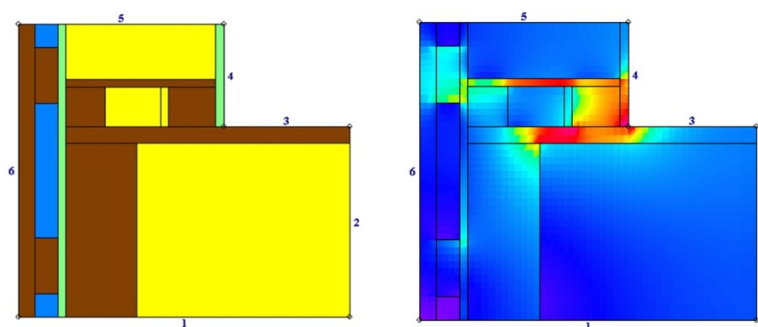
B.1.1 Vinkelhuset - grundfallet

Tabell B.3 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Vinkelhuset - grundfallet

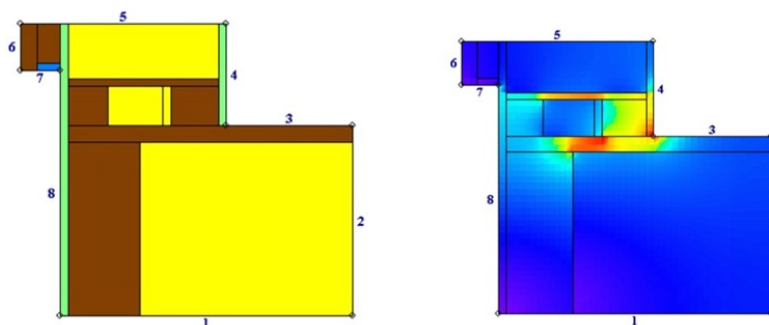
Konstruktion	Ψ (W/mK)		U (W/m ² K)	Bredd
Anslutning yttervägg/grund	0,048		0,53	H=0,15m
Anslutning altan/grund	0,053		0,56	H=0,15m
Fönsteranslutning	0,021		0,23	H=0,045m (runt hela fönstret, dvs horisontellt och vertikalt)
Mellanbjälklag	HEAT3	0,046	0,25	H=1,08m
Anslutning balkong/grund	HEAT3	0,057	0,26	H=1,08m

Tabell B.4 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för Vinkelhuset - grundfallet

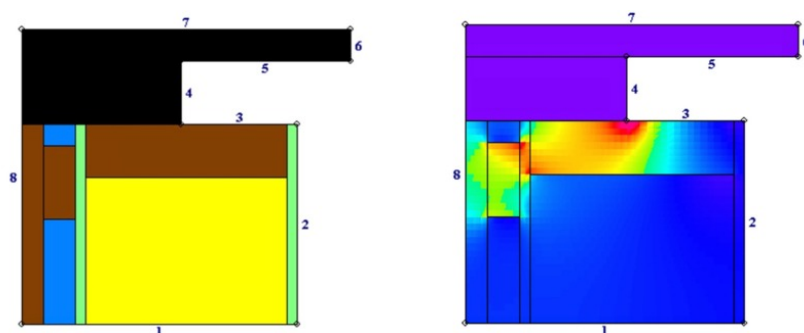
Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,065	0,53	H=0,1m (0,1m på varje sida y-hörn)



Figur B.1 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Anslutning yttervägg/grund". Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och bottenbjälklag

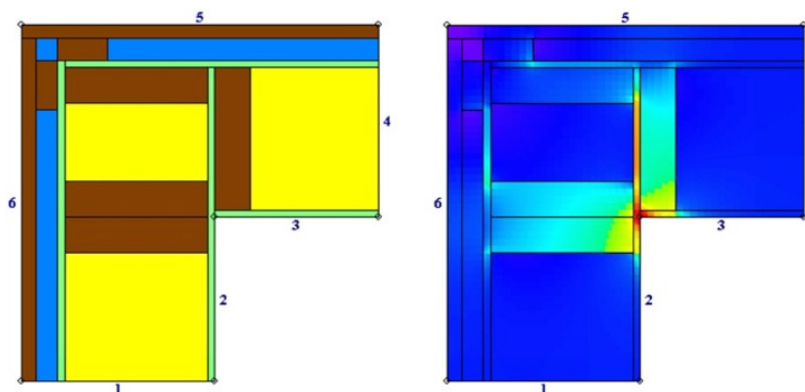


Figur B.2 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Anslutning altan/grund". Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och bottenbjälklag där altanen är infäst

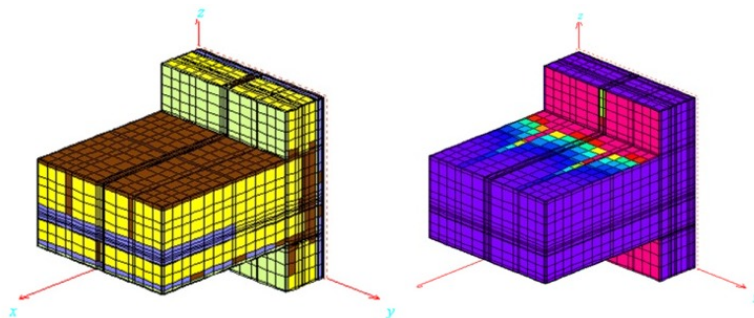


Figur B.3 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Fönsteranslutning". Figuren visar anslutningen mellan

yttervägg och fönster. Den svarta detaljen som syns i figurens ovankant är endast där av beräkningstekniska skäl och ingår inte i konstruktionen. Fönstrets inverkan på köldbryggan är inte medtagen.



Figur B.4 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Ytterhörn". Figuren visar ett ytterhörn uppifrån (horizontalsnitt).



Figur B.5 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Mellanbjälklag". Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag. Detaljen "Anslutning balkong/grund" är simulerad på samma sätt, men där är ett urtag gjort för balkongen när väggen tilläggsisolerats.

B.1.2 Vinkelhuset +50mm cellplast

Tabell B.5 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 50 mm cellplast

Konstruktion	Ψ (W/mK)		U (W/m ² K)	Bredd
Anslutning yttervägg/grund	0,044		0,47	H=0,15m
Anslutning altan/grund	0,057		0,55	H=0,15m
Fönsteranslutning	0,010		0,23	H=0,045m (runt hela fönstret, dvs horisontellt och vertikalt)
Mellanbjälklag	HEAT3	0,014	0,18	H=1,08m
Anslutning balkong/grund	HEAT3	0,068	0,23	H=1,08m

Tabell B.6 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 50 mm cellplast

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,055	0,44	H=0,1m (0,1m på varje sida y- hörn)

B.1.3 Vinkelhuset +100mm cellplast

Tabell B.7 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 100 mm cellplast

Konstruktion	Ψ (W/mK)		U (W/m ² K)	Bredd
Anslutning yttervägg/grund	0,044		0,43	H=0,15m
Anslutning altan/grund	0,060		0,54	H=0,15m
Fönsteranslutning	0,0094		0,35	H=0,045m (runt hela fönstret, dvs horisontellt och vertikalt)
Mellanbjälklag	HEAT3	0,0097	0,15	H=1,08m
Anslutning balkong/grund	HEAT3	0,064	0,20	H=1,08m

Tabell B.8 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 100 mm cellplast.

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,048	0,38	H=0,1m (0,1m på varje sida y-hörn)

B.1.4 Vinkelhuset +50mm cellplast med puts

Tabell B.9 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 50 mm cellplast och puts istället för träpanel. Typen är den som används i känslighetsanalysen och veriferingen av energianvändningen.

Konstruktion	Ψ (W/mK)		U (W/m ² K)	Bredd
Anslutning yttervägg/grund	0,044		0,30	H=0,15m
Anslutning altan/grund	0,056		0,37	H=0,15m
Fönsteranslutning	0,011		0,25	H=0,045m (runt hela fönstret, dvs horisontellt och vertikalt)
Mellanbjälklag	HEAT3	0,028	0,22	H=1,08m
Anslutning balkong/grund	HEAT3	0,061	0,25	H=1,08m

Tabell B.10 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för Vinkelhuset med en tilläggsisolering på 50 mm cellplast och puts istället för träpanel. Typen är den som används i känslighetsanalysen och veriferingen av energianvändningen.

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,063	0,51	H=0,1m (0,1m på varje sida y-hörn)

B.1.5 Sammanställning vinkelhuset

Tabell B.11 Sammanställning av Ψ -värden (W/mK) för vinkelhuset

Konstruktion	Grundfallet	+50 mm cellplast med puts	+50 mm cellplast	+100 mm cellplast
Anslutning yttervägg/grund	0,048	0,044	0,044	0,044
Anslutning altan/grund	0,053	0,060	0,057	0,060
Fönsteranslutning	0,021	0,0094	0,010	0,0094
Mellanbjälklag	0,046	0,028	0,014	0,0097
Anslutning balkong/grund	0,057	0,061	0,068	0,064
Ytterhörn	0,065	0,063	0,055	0,048

Det är intressant att man kan konstatera att i vissa detaljer ökar köldbryggan med tilläggsisoleringen eftersom värmeströmningen väljer den vägen.

B.2 Villan

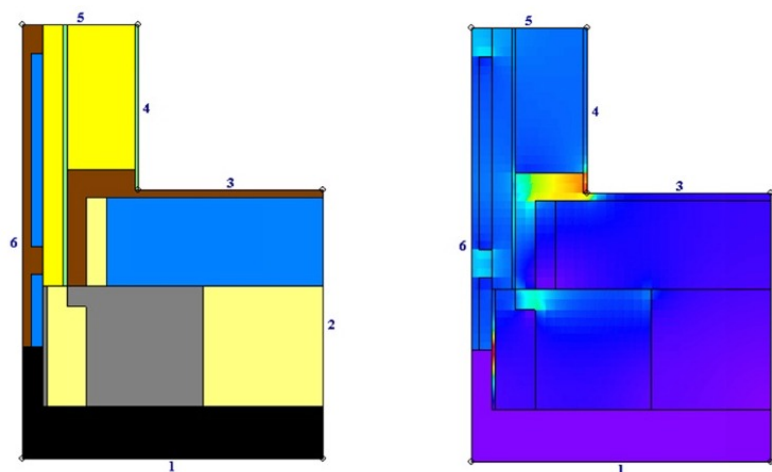
B.2.1 Villan - Grundfallet

Tabell B.12 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Villan - grundfallet

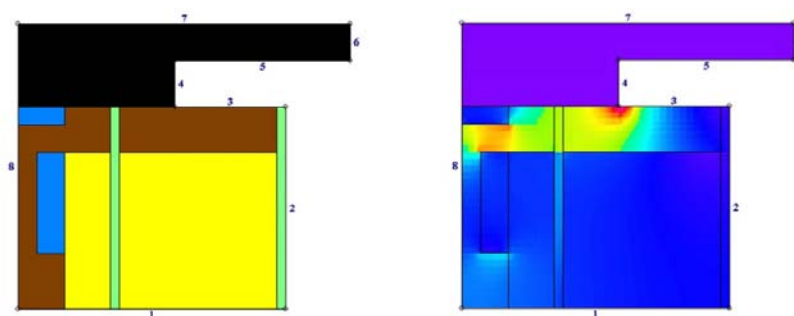
Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Grund-hörn	0,051	0,52	H=0,15m runt hela huset
Fönsteranslutning Dörranslutning	0,013	0,47	H=0,045m runt samtliga fönster och dörrar
Takfot	0,041	0,45	H=0,15m längs längsidor

Tabell B.13 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för Villan - grundfallet

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,051	0,23	B=0,1m (0,1m på varje sida om ytterhörn)

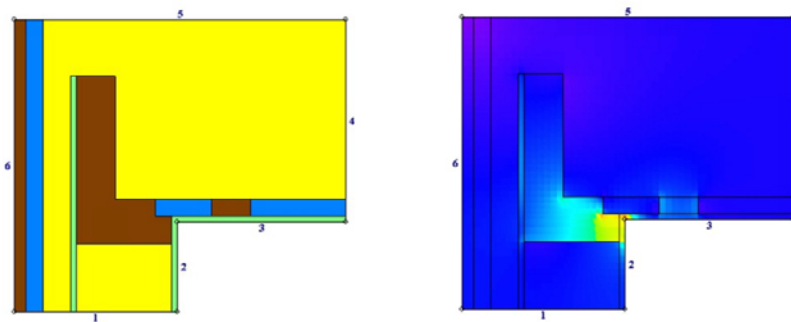


Figur B.6 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Anslutning yttervägg/grund" i Villan - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och bottenbjälklag.

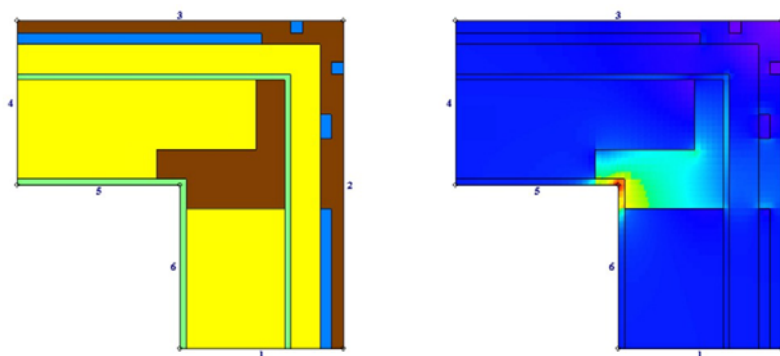


Figur B.7 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Fönsteranslutning" i Villan - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och fönster. Den svarta

detaljen som syns i figurens ovkant är endast där av beräkningstekniska skäl och ingår inte i konstruktionen. Fönstrets inverkan på köldbryggan är inte medtagen.



Figur B.8 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Takfot" i Villan - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och vindsbjälklag.



Figur B.9 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Ytterhörn". Figuren visar ett ytterhörn uppifrån (horizontalsnitt).

B.2.2 Villan +50mm mineralull

Tabell B.14 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Villan med en tilläggssisolering på 50 mm mineralull

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Anslutning yttervägg/grund	0,046	0,46	H=0,15m runt hela huset
Fönsteranslutning Dörranslutning	0,0083	0,33	H=0,045m runt samtliga fönster och dörrar
Takfot	0,038	0,41	H=0,15m längs långsidor

Tabell B.15 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Villan med en tilläggssisolering på 50 mm mineralull

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,044	0,37	B=0,1m (0,1m på varje sida om ytterhörn)

B.2.3 Sammanställning villan

Tabell B.16 Sammanställning av $\psi\Psi$ -värden (W/mK) för villan

Konstruktion	Grundfallet	+50 mm mineralull
Anslutning yttervägg/grund	0,051	0,046
Fönsteranslutning	0,013	0,0083
Takfot	0,041	0,038
Ytterhörn	0,051	0,044

B.3 Lamellhuset

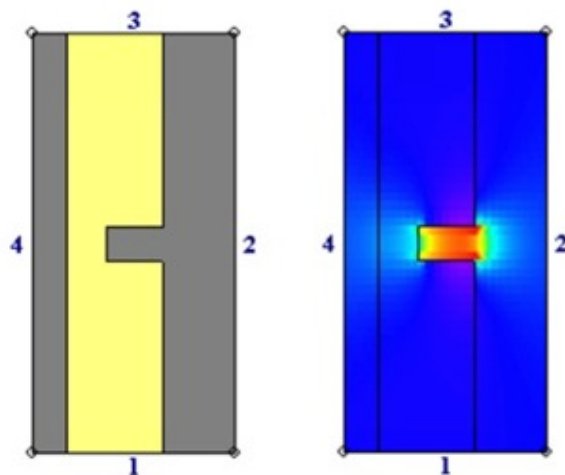
B.3.1 Lamellhuset - grundfallet

Tabell B.17 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för
Lamellhuset - grundfallet

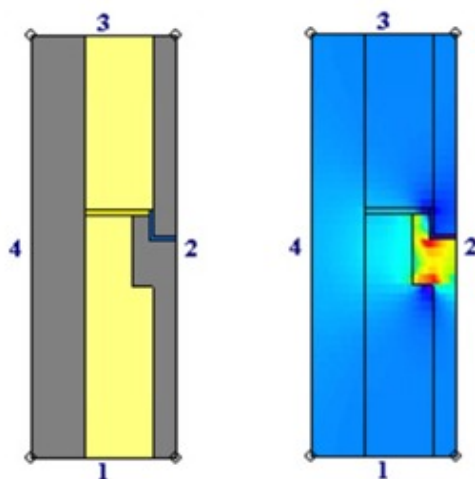
Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Fönsteranslutning	0,0317	0,53	B = 0,1 m
Bjälklagsinfästning	0,0168	0,25	B = 0,5 m
Anslutning yttervägg/grund	0,1716	1,93	B = 0,1 m

Tabell B.18 Resultat från beräkning av vertikala köldbryggor för
Lamellhuset - grundfallet

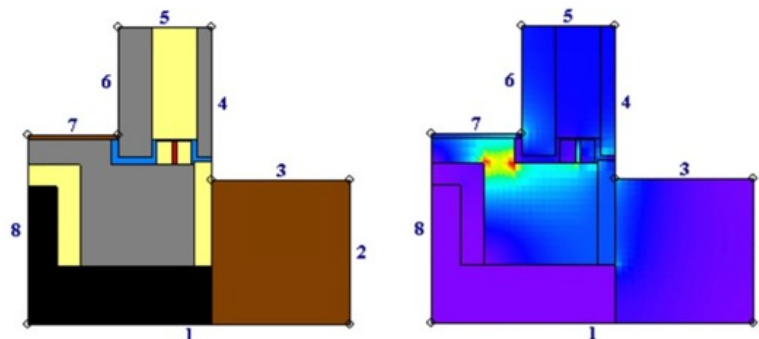
Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,0808	1,02	B = 0,1 m



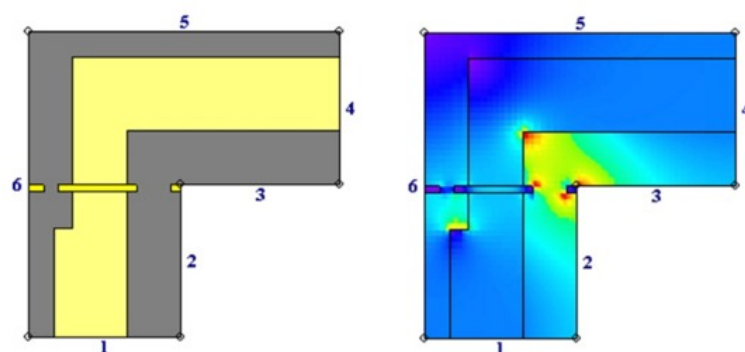
Figur B.10 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Fönsteranslutning" i Lamellhuset - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och fönster. Fönstret är borttaget ur figuren och det är endast "störningen" i väggens utformning som studeras. Fönstrets inverkan på köldbryggan är inte medtagen.



Figur B.11 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Bjälklagsinfästning" i Lamellhuset - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och mellanbjälklag.



Figur B.12 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Anslutning yttervägg/grund" i Lamellhuset - grundfallet. Figuren visar anslutningen mellan yttervägg och bottenbjälklag.



Figur B.13 Konstruktion och värmeflöden för detaljen "Ytterhörn" i Lamellhuset - grundfallet. Figuren visar ett ytterhörn uppifrån (horizontalsnitt).

B.3.2 Lamellhuset +50mm cellplast

Tabell B.19 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Lamellhuset med en tilläggosisolering på 50 mm cellplast

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Fönsteranslutning	0,0384	0,56	B = 0,1 m
Bjälklagsinfästning	0,0107	0,20	B = 0,5 m
Anslutning hörn/grund	0,1609	1,79	B = 0,1 m

Tabell B.20 Resultat från beräkning av horisontella köldbryggor för Villan med en tilläggssolisering på 50 mm mineralull

Konstruktion	Ψ (W/mK)	U (W/m ² K)	Bredd
Ytterhörn	0,0676	0,86	B = 0,1 m

B.3.3 Sammanställning lamellhuset

Tabell B.21 Sammanställning av Ψ -värden (W/mK) för lamellhuset

	Grundfallet	+50 mm cellplast
Fönsteranslutning	0,0317	0,0384
Bjälklagsinfästning	0,0168	0,0107
Anslutning hörn/grund	0,1716	0,1609
Ytterhörn	0,0808	0,0676