

# CHALMERS



## Energieffektiva småhus - en studie av ett fristående enfamiljshus

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

CAROLINA AAGAARD

CHRISTIAN JOHANSSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Byggnadsteknologi*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2006  
Examensarbete 2006:27



EXAMENSARBETE 2006:27

# Energieffektiva småhus -

en studie av ett fristående enfamiljshus

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

CAROLINA AAGAARD

CHRISTIAN JOHANSSON

Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Byggnadsteknologi*  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg, 2006

Energieffektiva småhus -  
en studie av ett fristående enfamiljshus

Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad

CAROLINA AAGAARD

CHRISTIAN JOHANSSON

© CAROLINA AAGAARD & CHRISTIAN JOHANSSON, 2006

Examensarbete 2006:27

Institutionen för Bygg- och miljöteknik

Avdelningen för Byggnadsteknologi

Chalmers tekniska högskola

412 96 Göteborg

Telefon: 031-772 10 00

Omslag:

Amhults Lekeby, NCC Boende 2006

Chalmers Reproservice/ Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2006

Energy effective houses - a study of a detached family house

Master's Thesis in Civil Engineering

CAROLINA AAGAARD

CHRISTIAN JOHANSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Technology

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

There is today a great potential to reduce the energy consumption of detached houses. This thesis considers a reference house which very nearly complies with the requirements of energy usage and insulation set by the Swedish "Boverket". However its insulation standard is somewhat below the current Swedish average. A survey performed by NCC has shown that there is a great interest in investing in energy-efficient houses. According to the survey, a majority of the home buyers are willing to accept a higher investment cost in order to get lower running expenses. The average Swedish 125 m<sup>2</sup> house presently has a total energy consumption of 25 000 kWh per year (200 kWh/m<sup>2</sup> year). Newly produced houses consume around 15-17 000 kWh/year (120-136 kWh/m<sup>2</sup> year).

The objective of this Master's thesis has been to identify the various existing possibilities for lowering the energy need of average size detached houses. Earlier projects in Sweden have proved that it is possible to achieve a total energy consumption of approximately 70 kWh/m<sup>2</sup> year. However, none of these are detached houses.

In this Master's thesis a reference house that currently is being produced is studied. The house is undergoing different changes in order to improve its energy properties and to eventually become a so-called passive house (i.e., a house without need for a traditional heating system). Using an energy-calculating programme, IDA Indoor Climate and Energy 3.0, the heating requirements are estimated and the thermal indoor climate for the different types of houses are simulated.

The main focus of this work has been on the building envelope since the authors consider this to be the primary factor affecting the energy needs of a building. However, technical solutions such as exhaust air heat pumping and FTX-system have been studied in order to assess their influence on the need for bought energy for the building. To construct an energy-efficient building it is important to know how the different components of the building envelope affect the total energy need. By studying one component at a time the basis for a decision is obtained that makes the foundation for how the priorities need to be set when improving an existing type of house. The simulations show that the biggest savings for small houses built by NCC are achieved by improving the insulation of the walls and the windows. The current insulation of the ceiling joists is acceptable however there is room for improvements on the foundation construction.

By using the reference house with an exhaust air system as a starting point and then increasing the thickness of the insulation, improving the windows and replacing the ventilation system with an FTX-system, an energy reduction of almost 9000 kWh may be achieved. The house has thus complied to the definition of a "passive house" according to the requirements set by this report. An efficient re-cycling of the exhaust air heat and a good building envelope are required to produce a "passive house". On cold days a heat battery in the air inlet will accommodate for extra heating needs.

To start with, the reference house is equipped with an exhaust air system. If it is supplied with a heat pump a decrease of 30 % of the total bought energy is obtained. If instead, the exhaust air system is replaced by a FTX-system, the decrease in bought energy will be 22-25 %. Connecting an exhaust air heat pump thus gives a larger energy cut than a FTX-system. This is because the heat pump, in addition to contributing with heat to the heat system, also contributes with energy to the hot tap water. The FTX-system however, has the advantage of providing a more stable indoor climate. The energy saving with an FTX-system can be approximately 4000 kWh/year and with an exhaust air heat pump approximately 5600 kWh/year.

A number of sensitivity analyses have been performed within this project. Among other things they show that the energy need in a house with controlled inlet and exhaust air flow may increase with 500 kWh if the air tightness is decreased. The simulations have shown that it is possible to achieve a comfortable indoor temperature in all the compared houses with the help of sun screening and airing. Calculations of cold bridges have shown that these contribute to up to 10 % of the total transmission losses. The major losses arise around the edge beam and the joints between the windows and the house skeleton.

Key words: energy-effective detached houses, energy consumption, heat requirements, energy calculations, IDA, heating, thermal climate, cold bridges, passive house

Energieffektiva småhus -  
en studie av ett fristående enfamiljshus  
Examensarbete inom civilingenjörsprogrammet Väg- och vattenbyggnad  
CAROLINA AAGAARD

CHRISTIAN JOHANSSON  
Institutionen för Bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Chalmers Tekniska Högskola

## SAMMANFATTNING

Det finns idag en stor potential att minska energianvändningen för småhus. I detta examensarbete har ett referenshus som produceras idag studerats. Huset uppfyller precis Boverkets krav för energihushållning och värmeisolering och har en något lägre isoleringsstandard än det svenska genomsnittet i dagsläget. Det finns ett stort intresse att investera i energieffektiva småhus visar en enkätundersökning som NCC låtit göra. De flesta småhusköparna är, enligt undersökningen, beredda att betala en högre investeringskostnad för att istället erhålla en lägre driftkostnad.

I Sverige använder idag en genomsnittlig villa på 125 kvadratmeter 25 000 kWh per år ( $200 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ ) i total energianvändning, nyproducerade hus använder cirka 15-17 000 kWh/år ( $120\text{-}136 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ ). Syftet med examensarbetet har varit att visa vilka möjligheter det finns att sänka värmebehovet i ett småhus. Tidigare projekt i Sverige, som Lindås- och Glumslövhusen, har visat att det går att komma ner i en total energianvändning på cirka  $70 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ . Dock är dessa inga friliggande småhus.

I examensarbetet analyseras ”referenshuset” och förbättras genom olika åtgärder till att bli allt bättre energimässigt. Genom förbättringarna blir huset till slut ett passivhus, det vill säga ett hus utan traditionellt uppvärmningssystem. Med hjälp av energiberäkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0 beräknas värmebehovet och det termiska inomhusklimatet för de olika hustyperna simuleras.

Tyngdpunkten har i arbetet legat på klimatskalet eftersom författarna anser att det är den primära delen för att få ner energibehovet i en byggnad. Dock har tekniska lösningar såsom frånluftsvärmepump och FTX-system studerats för att se hur dessa påverkar behovet av köpt energi till byggnaden. För att bygga en energisnål byggnad är det viktigt att veta hur klimatskalets olika delar påverkar det totala värmebehovet. Genom att studera en konstruktionsdel i taget erhålls ett beslutsunderlag som ligger till grund för hur prioriteringsordningen bör ligga när en befintlig hustyp förbättras. Simuleringarna visar att de största besparingarna för NCC:s småhus görs genom att förbättra väggar och fönster. Isoleringen i takbjälklaget är idag tillfredställande, men för grunden kan förbättringar göras.

Genom att utgå från referenshuset med frånluftssystem och sedan öka isolertjocklekar, förbättra fönstren och byta ventilationssystem till ett FTX-system kan en energibesparing på nästan 9000 kWh erhållas. Huset har då nått passivhusdefinitionen, enligt de krav som ställts i denna rapport. För att åstadkomma ett passivhus krävs ett bra klimatskal och effektiv värmeåtervinning av frånluften. Kalla dagar täcker ett värmebatteri i tilluften det extra värmebehovet.

Referenshuset är till en början utrustat med ett frånluftssystem. Kopplas en frånluftsvärmepump till fås en sänkning på 30 % av den totala köpta energin till huset. Ersätts istället frånluftssystemet med ett FTX-system blir minskningen av köpt energi 22-25 %. Att koppla en frånluftsvärmepump ger alltså större energibesparing än ett FTX-system. Det beror på att värmepumpen förutom att bidra med värme till värmesystemet, även bidrar med energi till tappvarmvatten. FTX-systemet har dock fördelen att det ger ett stabilare inomhusklimat. Energibesparingen kan med ett FTX-system bli cirka 4000 kWh/år och med en frånluftsvärmepump cirka 5600 kWh/år.

Ett antal olika känslighetsanalyser har gjorts i rapporten. De visar bland annat att värmebehovet i ett hus med styrd till- och frånluft kan öka med 500 kWh om tätheten försämras. Simuleringarna har visat att det går att uppnå komfortabla inomhus-temperaturer i alla jämförda hus med solavskärmning och vädring. Beräkningar av köldbryggor har visat att de står för upp till 10 % av de totala transmissions-förlusterna. Störst förluster uppkommer kring kantbalken och i anslutningen mellan fönster och husstomme.

Nyckelord: Energieffektiva småhus, energianvändning, värmebehov, energiberäkningar, IDA, uppvärmning, termiskt klimat, köldbryggor, passivhus



# Innehåll

ABSTRACT	I
SAMMANFATTNING	III
INNEHÅLL	I
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
TERMINOLOGI	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte och frågeställningar	2
1.3 Metod och genomförande	3
1.4 Avgränsning	3
2 FAKTORER SOM BESTÄMMER ENERGIBEHOVET I BOSTÄDER	5
2.1 Klimatskalet	5
2.1.1 Fönster	5
2.1.2 Ytterväggar	6
2.1.3 Grund	7
2.1.4 Tak och vindar	7
2.1.5 Värmelagring	7
2.2 Installationer	9
2.2.1 Värmepumpar	9
2.2.2 Fjärrvärme	11
2.2.3 Solvärme	11
2.2.4 Ventilation	12
2.3 Uteklimat	13
2.4 Brukarbeteende	13
2.4.1 Hushållsel	13
2.4.2 Vädring	14
2.4.3 Närvaro	14
2.4.4 Punktvarmekällor	14
3 PASSIVHUS	15
4 EXEMPEL PÅ PROJEKT	18
4.1 Lindåshusen	18
4.1.1 Lärdomar från Lindåshusen	20
4.2 Glumslöv	21
4.2.1 Lärdomar från Glumslövhusen	23

4.3	Energieffektiva småhus på Bo01 i Malmö	24
4.3.1	Lärdomar från LB-huset	25
4.4	Vårgårdahuset	26
4.5	Ytterligare lärdomar från lågenergihusprojekt	26
5	BOVERKETS BYGGREGLER	28
5.1	Alternativ 1: Tre delkrav	28
5.2	Alternativ 2: Omfördelningsberäkning (Referenshusmetoden)	29
5.3	Nya regler 2006	29
6	SIMULERINGSMODELL	32
6.1	Byggnadens värmebalans	32
6.2	IDA Klimat och Energi 3.0	33
6.3	Referensobjekt	36
6.3.1	Referenshus	36
6.4	Simuleringsfaktorer och indata till IDA	40
6.4.1	Läckage	42
6.4.2	Köldbryggor	43
6.4.3	Fönster	43
6.4.4	FTX	44
6.4.5	Värmepump	44
6.4.6	Simulerat boende	45
7	RESULTAT AV SIMULERINGARNA	48
7.1	Parameterstudie av hur respektive byggnadsdels U-värde påverkar byggnadens totala energibehov	48
7.1.1	Analys av isolertjocklek i yttervägg	48
7.1.2	Analys av isolertjocklek under platta	50
7.1.3	Analys av isolertjocklek i takbjälklag	51
7.1.4	Analys av fönster	52
7.1.5	Resultat av klimatskalsändringar	53
7.2	Analys och vidareutvecklingar av referenshuset	54
7.2.1	Analys hustyp A (Referenshuset)	54
7.2.2	Analys hustyp B	60
7.2.3	Analys hustyp C	65
7.2.4	Analys Hustyp D	69
7.3	Passivhuset	73
7.3.1	Uppbyggnad	73
7.3.2	Analys av passivhuset	74
7.4	Resultat	78
7.4.1	Energi	78
7.4.2	Termiskt klimat	83

8	KÄNSLIGHETSANALYS	87
8.1	Rotera huset	87
8.2	Inverkan av internlast	88
8.3	Omgivning	88
8.4	Fönsterareor	89
8.5	Höjning av inomhustemperaturen	89
8.6	Luftläckage	89
8.7	Köldbryggor	90
8.8	Öppning av dörrar	94
8.9	Vädring och solavskärmning	95
8.10	Effektbehov under vinterdagar utan sol	97
8.11	Verkningsgraden i FTX- aggregatet	97
9	SLUTSATSER OCH REKOMMENDATIONER	98
9.1	Slutsatser	98
9.2	Rekommendationer	99
10	DISKUSSION	102
11	VIDARE STUDIER	104
12	REFERENSER	105
	BILAGOR	109



## Förord

Föreliggande rapport är ett examensarbete om 20p utfört på avdelningen för Byggnadsteknologi vid Chalmers Tekniska Högskola i samarbete med NCC Boende och NCC Teknik i Göteborg. Arbetet har skrivits på NCC:s huvudkontor i Göteborg från oktober 2005 till februari 2006.

Det ursprungliga initiativet till arbetet kom från NCC som ville ha underlag för hur mycket ett typhus kan sänka sitt värmebehov genom att förbättra klimatskalet. Även analys av värme- och ventilationslösningar samt hur inomhusklimatet påverkas av förändringarna var frågor som ställdes. Med hjälp av energiberäkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0 samt litteraturstudier från tidigare lågenergihusprojekt har vi kunnat visa vilka möjligheter det finns att bygga energisnåla småhus och vad som bör tänkas på. Resultatet från denna rapport hoppas vi ska kunna ligga till grund för NCC:s kommande projekt.

Många personer har hjälpt, stöttat och kommit med givande idéer under arbetets gång. Vi vill framförallt rikta ett stort tack till våra handledare. Björn Mattson på avdelningen Byggnadsfysik på Chalmers, för att du har varit så otroligt hjälpsam och ambitiös. Martin Sandberg på NCC Teknik för alla intressanta diskussioner som vi haft om energifrågor, värmepumpar och annan teknik. Svante Wijk, NCC Teknik och Björn Bergsten på NCC Boende för att ni tog fram idén till examensarbetet. Ni har visat ett stort engagemang och varit ett stöd under arbetets gång.

Göteborg, februari 2006

Carolina Aagaard

Christian Johansson

# Beteckningar

## Romanska

A	Area ( $\text{m}^2$ )
$A_{\text{oms}}$	Omslutningsarea ( $\text{m}^2$ )
$A_{\text{temp}}$	Uppvärmad area ( $\text{m}^2$ )
d	Tjocklek (m)
$F_s$	Ytrelaterad värmeförlustkoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
$F_{\text{skrav}}$	Högsta tillåtna ytrelaterade värmeförlustkoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
K	Konduktans för värmeledning ( $\text{W}/\text{K}$ )
T	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ eller $^{\circ}\text{K}$ )
$T_i$	Inomhustemperatur
$T_u$	Utomhustemperatur
U	Värmeövergångskoefficient ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
V	Volym ( $\text{m}^3$ )
Q	Värmeledning ( $\text{W}$ )

## Grekiska

?	Verkningsgrad
?	Värmeförlustkoefficienter för köldbryggor ( $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$ )

## Prefix

T	tera ( $10^{12}$ )
G	giga ( $10^9$ )
M	mega ( $10^6$ )
k	kilo ( $10^3$ )
m	milli ( $10^{-3}$ )

VI

# Terminologi

<b>ASHRAE</b>	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Den amerikanska motsvarigheten till Sveriges VVS Tekniska Förening. Ger ut standarder för dimensionering inom VVS.
<b>BBR</b>	Boverkets byggregler. Detaljerade föreskrifter utgivna av Boverket. BFS 1993:57 med ändringar till och med 2002:19
<b>BRA</b>	Bruksarea. Begränsas av omslutande väggars insidor. Beräknas enligt SS 02 10 53.
<b>BOA</b>	Bostadsarea. Avser de utrymmen av bruksarean som bebos. Beräknas enligt SS 02 10 53.
<b>F-system</b>	Frånluftssystem. Ett ventilationssystem med mekanisk frånluftsventilation där tilluften kommer in genom uteluftsdon eller otätheter.
<b>FTX-system</b>	Från- och tilluftssystem med värmeåtervinning. Ett system med mekanisk från- och tilluftssystem. En värmeåtervinnare utvinnet värme ur frånluften och avger värme till tilluften.
<b>FLVP</b>	Frånluftsvärmepump. En värmepump utvinnet värme ur frånluften i ventilationssystemet. Värmen kan avges till radiatorsystemet, tappvarmvattnet eller båda.
<b>U-värde</b>	Värmeövergångskoefficient. U-värdet är ett mått på hur mycket värme som transporteras genom en byggnadsdel per kvadratmeter vid en grads temperaturskillnad mellan byggnadsdelens båda sidor. Enhet $W/m^2K$ (Petersson, 2001)
<b>LCC</b>	Life Cycle Cost. Livscykelkostnad. Summan av alla kostnader kopplade till en produkt under hela dess livscykel omräknade till ett nuvärde. (Sundqvist, Allansson, 2006)
<b>COP</b>	Värmefaktor för värmepumpar. Förhållandet mellan avgiven effekt och tillförd effekt.
<b>Värmebehov</b>	Den energi som måste tillföras byggnaden för att upprätthålla önskad inomhustemperatur för vald ort utan hänsyn tagen till solinstrålning och internlast.
<b>Nettovärmebehov</b>	Den energi som måste tillföras byggnaden för att upprätthålla önskad inomhustemperatur för vald ort med hänsyn tagen till solinstrålning och internlast.





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Byggsektorns energianvändning är idag mycket stor. Av Sveriges totala energianvändning åtgår idag 40 % inom denna sektor. Småhus står för 44 % av energin som används för uppvärmning och varmvatten, vilket är mer än vad både flerbostadshus respektive kontor och lokaler använder.

Ett genomsnittligt småhus på 125 kvadratmeter använder idag 25 000 kWh energi per år. Av detta används 15 000 kWh till uppvärmning och ventilation, 5 000 kWh till uppvärmning av tappvarmvatten och 5 000 kWh till hushållsel. År 2002 fanns det i Sverige 1 775 000 småhus och dessa använde tillsammans 39,5 TWh för uppvärmning och tappvarmvatten (Energimyndigheten, 2006). Värdena kan jämföras med att det i Sverige produceras 70 TWh från kärnkraftverk (Ringhals 2006). Tidigare projekt har visat att det går att minska energianvändningen för uppvärmning och varmvatten i ett radhus till cirka 4000-5000 kWh/år (Boström m.fl., 2003). Om alla småhus skulle ha en liknande energianvändning för uppvärmning och tappvarmvatten så skulle den totala energianvändningen för småhus i Sverige minska med 31 TWh under ett år. Men att alla småhus ska ha en så låg energianvändning är i dagsläget en utopi. En anledning är att en stor del av småhusen består av äldre byggnader som förbrukar betydligt mer energi än dagens nybyggda småhus. Noterbart är dock att ett nyproducerat småhus använder ca 15-17 000 kWh (13 000 kWh för uppvärmning och varmvatten) (Energimyndigheten 2002).

I Sverige har utredningar och pilotprojekt med energieffektiva hus, varav några passivhus (se Kapitel 3), mestadels gjorts på flerbostads- och radhus. Det finns alltså ett stort behov och intresse att utreda energieffektiva friliggande småhus. Utomlands, framförallt i Tyskland och Österrike har flera småhus utan värmesystem byggts, från vilka lärdomar kan dras.

Regeringen planerar att i början av år 2006 lämna över en proposition till riksdagen gällande en lag om energideklaration. Lagen ska bygga på ett EG-direktiv som är skapat för att minska EU:s energianvändning. Den innebär i korthet att fastighetsägare blir skyldiga att med hjälp av en energirådgivare upprätta en energideklaration när en byggnad ska uppföras, säljas, hyras ut eller när en bostadsrätt ska överlåtas. En energideklaration ska bland annat innehålla uppgifter om hur mycket energi som används i byggnaden vid normalt bruk (energiprestanda) samt ge rekommendationer om hur byggnadens energiprestanda kan förbättras. Inomhusklimatet ska dessutom redovisas i samband med deklARATIONEN. För att enkelt kunna göra jämförelser med andra byggnader ska energin divideras med byggnadens area (Miljö- och samhällsdepartementet 2005). Förhoppningsvis kommer lagen att medföra en större medvetenhet hos befolkningen när det gäller energifrågor.

NCC har nyligen avslutat en enkätundersökning om marknadens intresse för energieffektiva småhus. Enkäten visade att det finns ett stort intresse bland presumtiva småhusköpare att investera i energieffektiva hus. De flesta är beredda att betala en högre investeringskostnad för att istället få lägre driftkostnader. Bankkalkyler som i analysen gjordes visade att det generellt sett är mycket små

skillnader i boendekostnad mellan mycket energieffektiva småhus och de hus som byggs idag. Anledningen till att boendekostnaden per månad ungefär blir densamma beror på att för de dyrare energieffektiva husen tas de ökande räntekostnaderna ut av de lägre driftkostnaderna. Av svaren kunde det också utläsas att en stor del av de svarande kunde tänka sig att köpa hus med tämligen otraditionella lösningar utan element och golvvärme och som i huvudsak utnyttjade passiv teknik för uppvärmning. Anmärkningsvärt i analysen var att många av de svarande såg det som självklart att byggbolagen och byggherrarna idag redan utformar husen så energieffektivt som möjligt (Wijk, Engvall, Landén, 2005).

Orsaken till att efterfrågan på energieffektiva småhus varit låg är sannolikt att det inte funnits någon marknadsföring kring möjligheter och fördelar med mer energieffektiva småhus. Det beror i sin tur på att byggbolagen tidigare inte trott att det funnits någon marknad för energieffektiva småhus (Holmberg, 2005). Men det ser nu ut som en ändring håller på att ske, för byggbolag och marknaden intresserar sig allt mer för energifrågor.

Hus i Sverige projekteras idag oftast för att precis uppfylla Boverkets byggregler för energihushållning och värmeisolering. SCB har bland annat visat att byggnader uppförda mellan 1996-2001 inte överträffar BBR:s energikrav. Istället har tendensen mot energiminuskning i byggsektorn avstannat och det verkar i dagsläget saknas incitament för att bygga bättre (Boverket, 2005). Isolerstandarden i det hus från NCC som studerats i rapporten är faktiskt något sämre än genomsnittshuset i det svenska bostadsbeståndet (Energimyndigheten, 2001).

## 1.2 Syfte och frågeställningar

Det övergripande syftet med examensarbetet är att visa vilka möjligheter det finns att minska värmebehovet och samtidigt bibehålla ett fullgott inomhusklimat för ett nyproducerat småhus. Syftet har även varit att se om referenshuset, se Metod och genomförande, med bibehållen form kan förbättras så pass mycket att det uppfyller kraven för att definieras som ett passivhus. Att studera tidigare projekt som gjorts med lågenergihus i Sverige är också en del av arbetet.

Några specifika frågeställningar är:

- Hur stor andel av värmeförlusterna sker genom klimatskalet?
- Hur fördelar sig dessa på golv, väggar, takbjälklag och fönster?
- Hur stor blir mängden total köpt energi per år för ett antal framtagna hustyper, simulerade med en specifik brukarfamilj?
- Hur varierar inomhusklimatet mellan olika hustyper?
- Hur mycket kan uppvärmningsbehovet reduceras genom att installera ett ventilationssystem med värmeåtervinning av FTX-modell?

- Hur stor minskning av andel köpt energi erhålls om en frånluftsvärmepump installeras?
- Hur påverkar köldbryggor och fönsterorientering byggnadens värmeförluster?

### 1.3 Metod och genomförande

Examensarbetet utgår från ett ”referenshus”, klimatskalsmässigt utformat så som NCC idag producerar sina småhus. Detta förbättras genom olika åtgärder till att bli allt bättre energimässigt. I arbetet undersöks hur stora energibesparningar som kan göras genom olika förbättringar av klimatskalet samt hur inomhusklimatet påverkas av dessa.

Examensarbetet har skrivits på NCC:s kontor i Göteborg. Detta har vi sett som en stor fördel, då våra idéer snabbt diskuterats med personer inom aktuella områden. Dialoger har hållits med NCC Teknik, NCC Boende, NCC Construction, arkitekter, Byggnadsfysik Chalmers och Installationsteknik Chalmers.

Från litteratur inom området och av tidigare genomförda projekt har kunskap inhämtats. Genom dessa litteraturstudier och samtal med berörda parter från projekten har problematiken belysts och gett grunden för fortsatt arbete.

Olika hustyper, systemlösningar och simuleringsfall har i samråd med NCC tagits fram och analyserats. Dessa har sedan legat till grund för de olika simuleringsfallen, även om passivhuset har utvecklats vidare. Analyserna har skett med datorprogrammet IDA Klimat och Energi och simuleringar av energianvändning och inomhusklimat har gjorts. En stor del av arbetstiden har gått åt till att lära sig datorprogrammet och genomföra simuleringar. Känslighetsanalyser har gjorts där vikt lagts på bland annat solavskärmning, köldbryggor, brukarbeteende och lufttäthet.

### 1.4 Avgränsning

Alla simuleringar har utgått från samma hustyp där ingen ändring av husformen gjorts. Endast träregelstommar har beaktats i rapporten.

Huset har i simuleringarna delats upp i två zoner, under- och övervåning. Denna förenkling har gjorts för att undvika stora utdatafiler och långa datakörningar. Simulering av enskilda rum inuti byggnaden har alltså inte skett. Vid beräkningar av byggnadens värmebehov har klimatdata, uppmätt 1977 på Säve flygplats i Göteborgs kommun, använts.

Tyngdpunkten har i arbetet lagts på klimatskalet, eftersom vi anser att det är den primära delen för att få ner energibehovet för en byggnad. Hur energin, för att täcka värmebehovet, tillförs byggnaden har haft lägre prioritet och ingen vikt har lagts vid vilken tillskottsenergi som behöver tillföras.

Arbetet har fokuserat på att ge en helhetsbild av hur olika åtgärder påverkar energianvändning samt det termiska inomhusklimat i ett småhus och har därför inte gått in så djupt på detaljnivå.

I rapporten har husen uteslutande simulerats med en och samma brukarfamilj. Detta för att jämföra de olika alternativen mot varandra.

Kostnaden för de olika hustyperna eller för olika åtgärder har i rapporten inte behandlats. Dock har de olika husalternativen, utom passivhuset, tagits fram med hjälp av NCC Boende och NCC Hus, som i sin tur har utgått från kostnadskalkyler.

Hur prestandan för installationerna påverkar energianvändningen har inte studerats. Värmefaktorn för värmepumpen och verkningsgraden för FTX-aggregatet har i simuleringarna varit konstanta.

## 2 Faktorer som bestämmer energibehovet i bostäder

Arkitektur, konstruktion, installationer och utförande ger förutsättningar för energieffektiva hus. Arkitektur omfattar energieffektiva planlösningar, orientering av huset, fönsterstorlekar, fönstertyp samt fönsterorientering för utnyttjande av solvärme. Konstruktiv utformning avser val av isolertjocklekar, byggnadsteknisk detaljutformning för att minska köldbryggor och förutsättningar för god lufttäthet. Till installationer räknas värme- och ventilationssystem, vilka ska anpassas till byggnadens förutsättningar. Vid arbetsutförandet är det speciellt viktigt att isolerarbetet och att klimatskalets täthet blir väl genomfört. Detta för att de beräknade värmeförlusterna inte ska överskridas samt att oönskat luftläckage vid vindpåverkan ska minimeras.

Behovet av köpt energi påverkas främst av fyra faktorer: klimatskal, installationer, uteklimat och brukarbeteende.

### 2.1 Klimatskalet

Isoleringsnivå och utförande av klimatskalet kommer under en byggnads hela brukstid att få en avgörande inverkan på energianvändningen. Merkostnaden för ökad isolertjocklek och god lufttäthet vid nyproduktion är måttlig – i synnerhet om det i framtiden kan bli standard för nyproduktion. Ett kraftigt isolerat och lufttätt klimatskal är en förutsättning för en energieffektiv bostad (Bagge m.fl., 2004).

#### 2.1.1 Fönster

Värmeförlusterna genom fönster utgör en betydande del av en byggnads totala uppvärmningsenergi. Simuleringarna i rapporten, se Kapitel 7, kommer att visa att förlusterna genom fönstren är cirka 25 % i ett småhus. Ett fönsters U-värde är beroende av hur fönsterkonstruktionen ser ut, det vill säga vilket material som finns i karmar och bågar, antal glasrutor, om eventuella isolerrutor innehåller luft eller annan gas mellan rutorna, samt om glaset är försedd med ett eller flera lågmissionsskikt (SP 2005).

Fönstren ska förutom att ha en väl isolerande förmåga även släppa in dagsljus och solenergi. Solinstrålning kan bidra med 2 000 – 10 000 kWh/år (Ruud, 2003). De boende har dock i de flesta fall begränsade möjligheter att utnyttja solinstrålning för att minska sin energianvändning. Ofta ger solinstrålning istället upphov till övertemperaturer. Ett sätt att minska detta, främst under sommartid, är att skärma av fönstren med persienner, markiser eller takutsprång.

Det finns flera faktorer som påverkar fönstrets egenskaper. Solfaktorn beskriver den mängd solenergi som transmitteras eller absorberas och återreflekteras in i rummet. Ju lägre solfaktor, desto bättre solskyddande egenskaper och desto mindre energi går igenom fönstret. När U-värdet minskar så avtar samtidigt solfaktorn, det vill säga

mindre solenergi transmitteras in i rummet. Fönster med lägre U-värde kan i vissa fall vara något mörkare (Beakertfilms, 2006).

På mycket välisolerade fönster uppstår vid vissa tillfällen kondens på fönstrens utsida. Detta beror på att välisolerade fönster släpper ut väldigt lite värme, vilket medför att temperaturen på det yttre glasets utsida kommer att ligga under eller mycket nära uteluftens temperatur. De flesta fall av utvändig kondens inträffar i början av hösten, då luften har högt fukttinnehåll. Frost på fönstren kan också uppträda, ibland även då lufttemperaturen är över 0°C. Fenomenet kallas nattutstrålning och beror på att ytornas temperatur blir lägre än lufttemperaturen på grund av strålningsutbyte mellan ytan och himlen. Problemet kan dock enkelt åtgärdas genom att fönstren avskärmas så att de inte ”ser” så stor del av himlavalvet (Petersson, 2001). Således är solavskärmning betydelsefull både när det gäller solinstrålning som nattutstrålning. Lindåshuset, se kapitel 4.1, med effektiv solavskärmning, har till exempel aldrig haft några problem med kondens på sina välisolerade fönster (Eek, 2005).



Figur 1 - Solavskärmning med hjälp av balkonger och takutsprång på Lindåshuset.

## 2.1.2 Ytterväggar

Ytterväggar ska både skapa ett värme- och fuktskydd för brukarna och samtidigt ha god beständighet. Ett bra värmeskydd skapas med isolering och idag används ungefär 17 - 25 cm isolering vid nyproduktion. Transmissionsförlusterna genom väggen står för 25-40 % av de totala förlusterna, vilket simuleringarna i Kapitel 7 visar. Isoleringen ska monteras så att köldbryggor inte uppstår kring till exempel träreglar eller andra bärande konstruktionsdelar. Värmeisoleringens utsida ska förses med ett vindskydd som ska förhindra att kall luft inte blåser in i värmeisoleringen. Det är också viktigt att se till att insidan av väggen är lufttät så att inte fuktig, varm inomhusluft tränger ut i väggen. Detta kan leda till värmeförluster och öka risken för fuktskador. För att uppnå bra täthet placeras ångspärren en bit in i väggen så att inte denna ska kunna skadas av brukaren.

### 2.1.3 Grund

Idag byggs de flesta hus med platta på mark, men källare och krypgrund är andra konstruktionslösningar som används. En platta på mark vetter mot marken och inte mot uteluften vilket ger andra förhållanden jämfört med övriga konstruktionsdelarna ovan mark. Marken är fuktig och för att förhindra ångtransport upp i byggnaden värmeisoleras grunden på undersidan mot marken. Cirka 15 % av husets transmissionsförluster går genom plattan, se simuleringarna i Kapitel 7.

### 2.1.4 Tak och vindar

Yttertakskonstruktioner delas in i tre kategorier: kalltak, tak med litet ventilationsutrymme och varmtak. I kalltaket ventileras utrymmet under yttertaket med uteluft. Vindsbjälklaget ska precis som i fallet med ytterväggen göras luft- och ångtät. Skulle fukt ta sig igenom ångspärren kan denna ventileras bort med uteluften. Ett varmtak saknar ventilation och yttertaket är nästan i direktkontakt med takets värmeisolering. I detta fall är det mycket viktigt att innertakskonstruktionen är lufttät eftersom fukttransport upp i taket inte kan ventileras bort. Tak med litet ventilationsutrymme fungerar som ett mellanting mellan kalltaket som är fullt ventilerat och varmtaket som är oventilerat. I denna konstruktion leds uteluft in under yttertaket och strömmar sedan från en sida i byggnaden till en annan (Hagentoft 2002) Simuleringarna i Kapitel 7 visar att cirka 5-10 % av de totala transmissionsförlusterna sker genom taket.

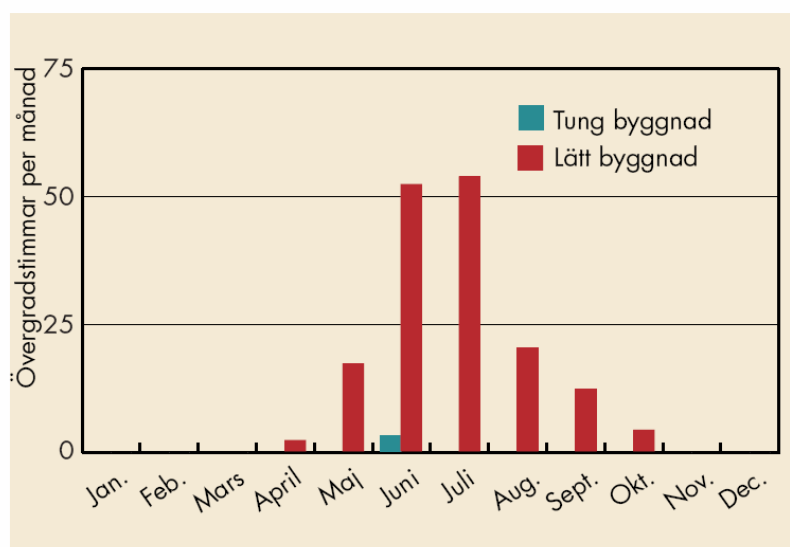
### 2.1.5 Värmelagring

Värmeförlusterna genom klimatskalet kan i viss mån dämpas genom att utnyttja tunga byggnadsmaterials förmåga att lagra överskottsvärme från dag till natt. Även byggandens termiska inneklimat kan påverkas positivt av en tung byggnad. Exempel på tunga byggnadsmaterial är betong.

De goda effekterna av värmelagring i tunga hus bygger på att temperaturen tillåts variera ett par grader över dygnet, så att värme kan avges från respektive lagras i byggnadsmaterialen. Detta fungerar bäst i exempelvis kontor och skolor med mycket ojämna internvärmestillskott under dygnet. Även för bostadshus kan tunga byggnader ge positiva effekter. För bostäder är det tunga husets fördelar att en jämnare inomhustemperatur kan hållas och att antalet timmar med alltför höga temperaturer i bostaden begränsas. Nackdelar kan till exempel vara att under varm sommardag lagras värmen i huset och kvarstår även under natten då ofta kyla eftersträvas. I en lätt byggnad skulle temperaturen sjunka kraftigare under natten.

I rapporten ”Tunga byggnader – Vilka fördelar har de”? (Hagentoft m.fl., 2000) har en jämförelse mellan två radhus gjorts. Det ena är uppbyggt med träregelstomme och det andra med skalmur av tegel och mellanliggande isolering av mineralull. Antalet timmar med temperaturer över komfortintervallet, dvs. över 26°C, är betydligt färre för det tunga radhuset jämfört med det lätta, vilket kan ses i Figur 2. Rapporten visar

även att uppvärmningsbehovet är ca 2 % lägre för ett hus med tung stomme jämfört med ett likadant hus med lätt stomme.

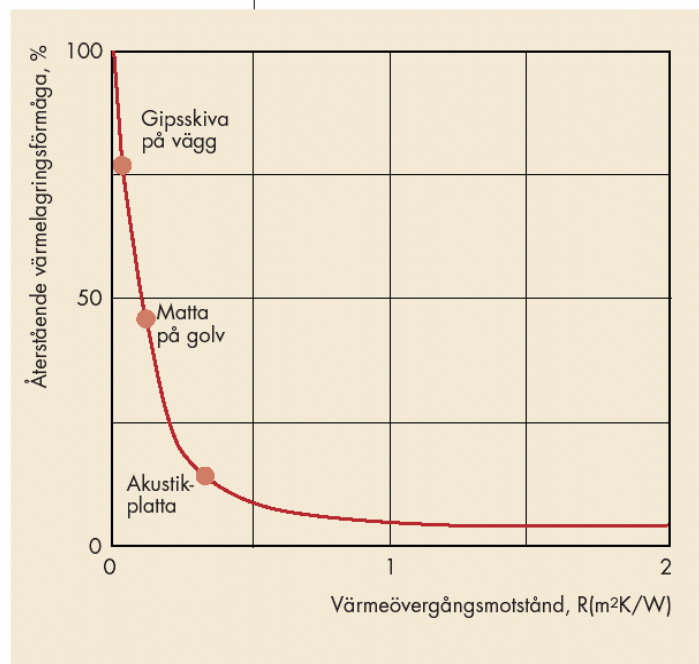


**Figur 2 - Exempel på termiskt klimat i en bostad. Antal övergradstimmar, dvs timmar över 26°C. (Hagentoft m.fl., 2000)**

En lätt byggnad reagerar snabbt på väderomslag och värmesystemet måste därför klara de låga utomhustemperaturer som kan inträffa under kortare perioder. En tung byggnad reagerar långsammare och kylan tränger in först efter en längre sammanhängande period av kallare väder. Denna egenskap som visar på byggnadens sätt att reagera på en plötslig temperaturdifferens kan beskrivas med en byggands *tidskonstant*. Baserat på en byggnads tidskonstant kan dimensionerande utomhustemperatur (DUT) för värmesystem väljas enligt svensk standard SS 024310. Till exempel kan denna standard vara -20°C för en lätt byggnad och under vissa förutsättningar endast -6°C för en mycket tung byggnad. Detta ger att den tunga byggnaden inte behöver lika högt värmeeffektbehov, vilket även påverkar energibehovet eftersom en större tillgänglig effekt ofta leder till slöseri med energi (Hagentoft m.fl., 2000).

Ju större materialyta som kommer i kontakt med temperaturförändringarna, desto större volym av materialet kan lagra värme. Därför är det viktigt med stora ytor, exempelvis väggar, som exponeras mot rumsluften. Det är viktigt att materialet som kommer i kontakt med rumsluften är goda värmelagrare. Är exempelvis väggen täckt med en akustikskiva eller golvet av en tjock heltäckningsmatta fungerar dessa som värmeisolering och hindrar inomhusluftens temperatur att komma i kontakt med väggen. Detta medför att den värmelagrande förmågan reduceras. I Figur 3 ses hur värmelagringsförmågan reduceras beroende av ytskikt. 100 % värmelagringsförmåga fås för betong och sedan reduceras det gradvis för olika ytskikt.





Figur 3 - Andel av väggens möjliga värmelagringsförmåga som kan utnyttjas med olika ytskikt utanpå det tunga materialet. Kurvan gäller för betong (Hagentoft m.fl., 2000).

Solinstrålning genom fönster kan ge mycket värme till byggnaden. Ofta medför detta höga inomhustemperaturer. I en lätt byggnad finns knappt något som dämpar det stora värmeflödet som solinstrålning kan innebära, medan det i en tung byggnad finns möjlighet att dämpa temperaturvariationerna och lagra en del av den instrålade värmen (Hagentoft m.fl., 2000). Eftersom solinstrålningen är koncentrerad till dagtid är det bra om värmen kan lagras till natten då den behövs bättre.

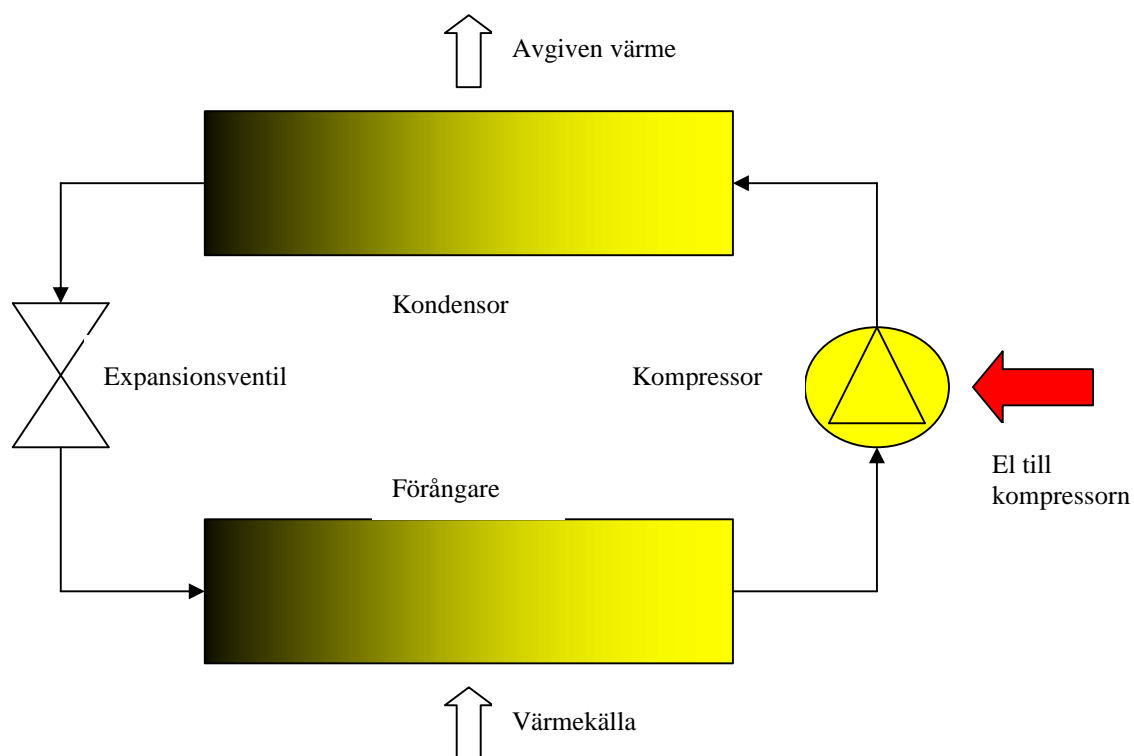
## 2.2 Installationer

*Drygt 60 % av energianvändningen i bostads- och servicesektorn går till uppvärmning och varmvatten, varav störst andel energi går till småhus (SCB, 2003). Förr var el och olja vanliga uppvärmningsalternativ men idag finns många andra system som ur miljösynpunkt är bättre. Nedan beskrivs ett antal alternativen som i denna rapport varit aktuella för uppvärmning och ventilation av husen.*

### 2.2.1 Värmepumpar

En värmepumps uppgift är att omvandla lågtempererad värme, med hjälp av tillfört mekaniskt arbete, till användbar värme med hög temperatur. Värmen kan hämtas ur till exempel utomhusluft, ventilationsluft, berg, ytjord eller ur en sjö. För vätskor gäller att koktemperaturen stiger med stigande tryck. I värmepumpsprocessen utnyttjas detta genom att ånga i ett slutet system omvandlas till vätska och vice versa. Värme från en värmekälla, till exempel marken, tas upp i värmepumpens förångare

där vätskan i det slutna systemet förångas vid lågt tryck och därmed låg temperatur. Därefter komprimeras ångan och utsätts för högt tryck, varvid den kondenseras. Temperaturen är då hög och värme avges till kondensorns omgivning, vilket är den värme som utvinns, se Figur 4.



Figur 4 - Schematisk uppbyggnad av värmepump

För att se hur effektivt värmepumpen arbetar används värmefaktorn COP som beskriver förhållande mellan avgiven värmeeffekt och tillförd kompressoreffekt (Gustén, 1999).

$$\text{COP} = Q / W_t$$

$Q$  = avgiven värmeeffekt [kW]

$W_t$  = behov av kompressorsarbete [kW]

COP ligger vanligtvis mellan 1,5 – 4 för olika värmepumpar (Lindholm, 2006).

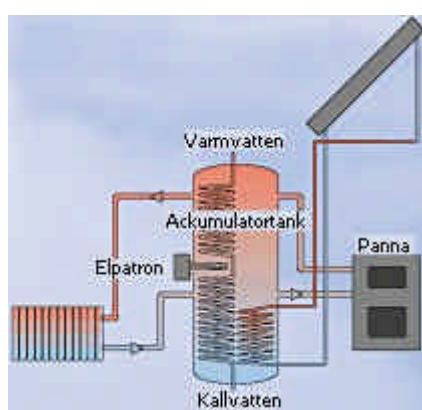
Värmen distribueras inne i huset med hjälp av ett vattenburet värmesystem eller med ventilationssystemet. Fördelar med värmepumpsystem är låga driftkostnader, litet underhåll, inga utsläpp och liten arbetsinsats. Nackdelar består av höga investeringskostnader, avancerad teknik och elbehov.

## 2.2.2 Fjärrvärme

Idag värms ca 8 % av småhusen i Sverige med fjärrvärme (SCB 2004). Fjärrvärme innebär att en central anläggning levererar värmen via rör i marken direkt ut till hushållen. Varmt vatten cirkulerar med hjälp av pumpar i ett rörsystem. Vattnet är vanligtvis mellan 70°C och 80°C när det går ut i fjärrvärmenätet, men kalla dagar kan det vara över 100°C. Med en värmeväxlare överförs värmen till byggnadens egna värmesystem. Fördelar med fjärrvärme är bland annat att förbränningen sker under kontrollerade former på anläggningar där kraven på utsläpp är höga. Värmen kommer till exempel från avfallsförbränning och spillvärme från industrier, värme som annars skulle gå förlorad. I vissa fall sker dock förbränningen av fossila bränslen (Wijk, 2005).

## 2.2.3 Solvärme

Solen kan användas för att värma vatten men kan även värma upp byggnaden. En solfångare behöver inte höga utomhustemperaturer utan enbart solljus. Detta medför att den kan ge värme även under höst, vinter och vår, vilket är passande i vårt klimat. Om solfångaren endast värmer vatten kallas det ett tappvarmvattensystem. Värmer det även huset är det ett kombisystem. Förses huset med solfångare kan energianvändningen för uppvärmning av tappvarmvatten halveras (Ecoenergi, 2006). En solvärmeanläggning kan minska behovet av köpt energi med 2 000 – 6 000 kWh/år i en normalvilla beroende på system och storlek. År 2002 fanns det i Sverige 1 775 000 småhus och dessa använde tillsammans 39,5 TWh (1 TWh = 10<sup>9</sup> kWh) för uppvärmning och tappvarmvatten (7-8 TWh för tappvarmvatten). Om alla dessa hus försetts med solfångare hade energianvändningen minskat med 5 TWh (Kjellson 2004). Nämnas kan att en reaktor i Barsebäck producerade cirka 4 TWh under ett år (Ringhals och Barsebäck, 2006).



Figur 5 Uppbyggnad av ett kombisystem

I Sverige är andelen diffust solljus mycket stor, över 50 %, beroende på att vi ofta har molnigt. Plana solfångare och solceller tillgodogör sig både direkt och diffus solstrålning och lämpar sig därmed bra på våra breddgrader. Den totala instrålningen

som träffar en yta beror både på vinkeln mot horisontalplanet och på väderstrecksorienteringen. För ett fast plan är den optimala vinkeln för instrålning i södra Sverige under året 30-45° vinkel mot horisontalplanet och med orienteringen ±15° avvikelse från söder. Solfångare fungerar som ett komplement till uppvärmningssystemet och måste kombineras med ett annat system. Exempel på kombinationer är värmepumpar och pelletseldning.

## 2.2.4 Ventilation

Ventilation av ett rum innebär att luft tillförs och bortförs rummet. Det är sättet att tillföra luften, den tillförda luftens temperatur och luftflödets storlek som är avgörande för om det blir störande drag och obehaglig temperaturfördelning i rummet. Hur luften förs bort ur rummet har oftast mycket liten inverkan på detta. Många småhus har mekaniskt fläktstyrd ventilation. Normenligt luftbyte i en bostad är 0,35 l/s m<sup>2</sup> (Boverket), vilket i en mekaniskt ventilerad bostad brukar justeras in. Ett normalt enfamiljshus utan värmeväxlare kräver cirka 5000 kWh/år för att värma den luft som tas in utifrån (Energimyndigheten 2005). I de olika hustyper som simulerats i denna rapport har två olika ventilationssystem använts, frånlufts- och FTX-system (från- tilluftssystem med värmeväxling), vilka beskrivs nedan.

### Frånluftssystem

I detta system åstadkoms ventilationen genom att luft sugts ut från rummet med ett frånluftssystem och som ersättning strömmar det in uteluft. Den luft som ersätter den bortförda frånluften är uteluft som kommer in direkt utifrån via ventiler i fönster och ytterväggar och genom otätheter klimatskalet. Den luft som tillförs rummet har en temperatur nära den som råder utomhus. På grund av detta finns det en brytpunkt när frånluftssystem inte kan användas, då inomhusklimatet upplevs som störande på grund av till exempel drag i närheten av ventilerna. Problemen kan uppstå då huset inte är utrustat med radiatorer eller golvvärme som kan värma upp den tillförda uteluften. Ofta stängs tilluftsventilerna vintertid för att det drar kallt från dessa och då omfördelas uteluftsflödet och luftomsättningen minskar. Hur mycket luftomsättningen minskar beror på hur många uteluftsventiler som stängs och deras tryckfall. Till ett frånluftssystem kan en frånluftsvärmepump kopplas för att utnyttja energin i den utgående ventilationsluften.

### FTX (från- tilluftsventilation med värmeväxling)

Ett sätt att ta vara på energin i den utgående ventilationsluften, som annars skulle gå direkt ut i det fria, är att låta luften passera ett värmeåtervinningsaggregat, FTX-aggregat, där värme från frånluften utnyttjas för att värma upp den kalla inkommande uteluften. Förutom att på detta sätt spara energi fås även ett förbättrat inomhusklimat genom att den styrda ventilationen ser till att rätt luftomsättning alltid fås. Värmeöverföringen från frånluften till tilluften sker via en värmeväxlare med verkningsgrad på upp till cirka 75-85 %. När återvinning inte räcker för att värma

tilluften kan ett värmebatteri användas för att få lämplig tilluftstemperatur. Energibesparningen för uppvärmning kan med ett FTX-system bli 50-60 % jämfört med om värmen inte återvinns (Energimyndigheten, 2005).

## 2.3 Uteklimat

I Sverige är skillnaderna mellan utetemperatur och vinterns längd stor mellan landets sydliga och nordliga delar. Exempelvis skiljer det 9°C i medeltemperatur mellan Kiruna och Göteborg. Vindpåverkan varierar, blåsigt längs kusterna och på de större slätterna, men måttlig vindpåverkan i övriga inlandet. Med ett mycket lufttätt hus kan vindpåverkan bedömas som marginell på husets energianvändning. Även antalet soltimmar är ojämnt fördelade över landet. I beräkningar används klimatdata från Säve 1977, men i verkligheten är en skillnad i gradtimmar på  $\pm 15$  % inte ovanligt. (Bagge m.fl., 2004)

## 2.4 Brukarbeteende

Spridningen mellan olika brukares energianvändning i till synes tekniskt likvärdiga hus är mycket stor. Flera undersökningar har påvisat förändringar i energianvändning på  $\pm 50$  % när ett hus byter ägare. Familjesammansättning, krav på inomhus-temperatur, tappvarmvattenanvändning samt skötsel och tillsyn av installationer påverkar behovet av köpt energi.

De boendes beteende, i kombination med vald reglerstrategi, kan i stor utsträckning påverka bostadens energianvändning. Följande fyra beteendestyrdade faktorer är de som i första hand påverkar bostadens energibalans (Ruud, 2003):

- Hushållsel
- Vädring
- Närvaro
- Punktvärmekällor

### 2.4.1 Hushållsel

Vid i princip all användning av hushållsel omvandlas elenergin till värmeenergi. I genomsnitt bidrar 70-75 % av denna värmeenergi till bostadens energibalans. Resten är värmeförluster genom exempelvis spisfläkten eller avloppsvattnet. Ett ökande antal elprodukter i våra hem har, trots användning av lågenergilampor och eleffektiva vitvaror, lett till att användningen av hushållsel inte minskat. Sedan 1970 har användningen av hushållsel ökat med drygt 50 %, från knappt 4000 kW/år till nästan 6000 kWh/år (SCB, 2002). Genom val av hushållsapparater samt med ändrat beteende kan användningen av hushållsel i stor omfattning påverkas. Beroende på upp-

värmsystem och regleringssystem kan dock endast 40 - 70 % av en minskning av hushållsel också leda till en minskning av den totala energianvändningen. Minst besparing görs om huset är eluppvärmt eftersom man då måste höja elanvändningen till uppvärmningssystemet för att kompensera för de minskade värmestillskotten från elprodukter. Större besparing görs om man har en värmepump, eftersom då kan varje sparad kWh hushållsel bytas mot exempelvis 0,4 kWh el (vid COP 2,7) till värmepumpen (Ruud, 2003).

## 2.4.2 Vädring

Det normenliga luftombytet 0,35 l/s m<sup>2</sup> räcker normalt inte för att kyla bostaden vid hög utetemperatur och kraftig solinstrålning. Då, liksom vid höga internlast, krävs fönstervädring. Om de boende vädrar mer än vad som behövs kan det ge upphov till onödigt hög energianvändning. Detta beror på att värmesystemet, om rumstermostater existerar, kommer att kompensera de ökade ventilationsförlusterna genom ökad värmeavgivning från radiatorerna.

## 2.4.3 Närvaro

När människor vistas i bostaden avges det värme. Kortvarigt kan denna värme vara hög, men är normalt relativt låg. En person avger mellan 50-100 W, beroende på vikt och aktivitetsnivå. Även värmestillskott från t ex stearinljus, TV-apparater etc. räknas in i detta värmestillskott. Under förutsättning att de boende utnyttjar sin bostad i normal omfattning ger den närvaroadstrade värmen endast ett mindre tillskott i värmebalansen. Detta tillskott kan dock betyda relativt mycket för passivhus och hus med mycket isolering.

## 2.4.4 Punktvärmekällor

Användning av punktvärmekällor, exempelvis braskamin är en vanlig orsak till ojämn inomhustemperatur och övertemperaturer i bostäder. Många gånger leder detta också till ökat vädringsbeteende, vilket leder till ett dåligt utnyttjande av punktvärmekällans energitillförsel samt högre energianvändning. Vid dessa fall fungerar det bäst med individuell återkopplad reglering, det vill säga värmeavgivningen sänks endast i de utrymmen som berörs av punktvärmekällan. Helst ska även punktvärmekällan ha en individuell återkopplad reglering.

### 3 Passivhus

Ett passivhus är en byggnad i vilken behagligt inomhusklimat kan åstadkommas utan aktiv uppvärmning och kylning. Detta betyder att inget vanligt värmedistributionssystem i form av radiatorer krävs. Dock tillåts att en eftervärmare höjer tilluftstemperaturen vid behov. För att åstadkomma ett passivhus krävs ett bra klimatskal och effektiv värmeåtervinning av frånluften (Sandberg, 2003). Utgångspunkten för en konstruktion enligt passivhuskonceptet är att identifiera var värmen försvinner och att så långt som möjligt stoppa eventuella läckage. I praktiken innebär det mer isolering i väggar, tak och under plattan samt energieffektiva fönster. Husen ska även vara mycket täta och ha minimalt med köldbryggor (Eek, 2005).

I Sverige finns för närvarande ingen definition av begreppet passivhus fastslagen, utan det sneglas på den som är fastslagen av Passivhusinstitutet i Tyskland. Huvuddefinitionen för ett passivhus, lyder:

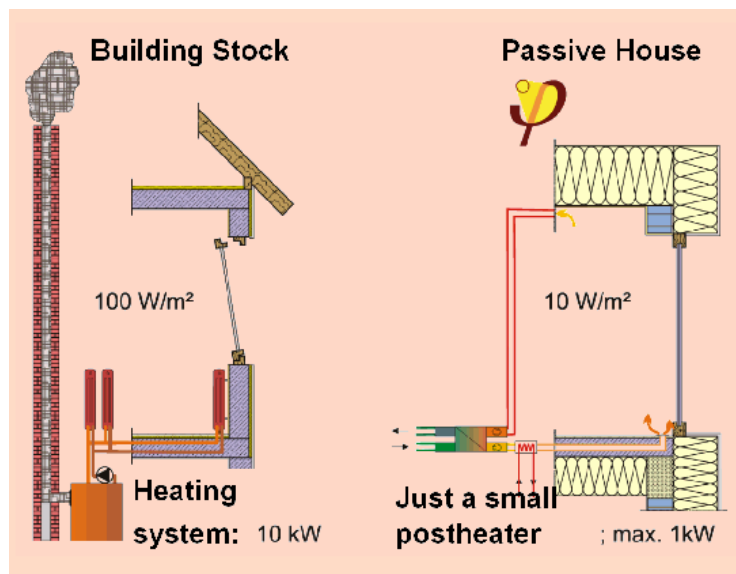
**"A Passive House is a building, for which thermal comfort (ISO 7730) can be achieved solely by postheating or postcooling of the fresh air mass, which is required to fulfill sufficient indoor air quality conditions (DIN 1946) - without a need for recirculated air" (Feist, 2005).**

Med recirkulerad luft avses att en del av frånluften direkt återgår till rummet, utan att passera någon värmeåtervinning. Ovanstående definition behöver inga numeriska värden, utan är en funktionell definition. Definitionen visar att passivhus inte är en standard utan ett koncept. Enligt Passivhusinstitutet i Tyskland gäller dock följande:

- Maximalt  $10 \text{ W/m}^2$  tillförd effekt för uppvärmning
- Maximalt  $15 \text{ kWh/m}^2$  köpt energi för uppvärmning
- Maximalt  $120 \text{ kWh/m}^2$  år total energianvändning (uppvärmning, tappvarmvatten, hushållsel)

I Tyskland finns även kompletterande detaljstyrning för att underlätta projektering (t.ex. U-värde fönster, lufttäthet etc.) av passivhus.

Ett passivhus har som huvudkriterium att det värms via tilluften, med normala luftflöden för komfort (cirka  $0,5 \text{ oms/h}$ ). Med detta begränsade luftflöde kan inte effektbehovet vara större än ca  $10\text{-}12 \text{ W/m}^2$  annars kan luften bli för varm och lukter av brända partiklar i luften kan uppkomma. Energiförbehovet ( $\text{kWh/m}^2$ ) för uppvärmning är egentligen ett resultat av denna definition. För att komma ner i ca  $10 \text{ W/m}^2$  behöver huset vara välisolerat och lufttätt samt ha hög återvinning av ventilationen. Det resulterar oftast i ca  $10\text{-}20 \text{ kWh/m}^2\text{år}$  i uppvärmningsbehov beroende på klimat och hustyp (Wall, 2006). Figur 6 visar schematiskt skillnaden mellan en byggnad uppbyggt på traditionellt sätt jämfört med ett passivhus. I passivhuset till höger i figuren har det traditionella värmesystemet bytts ut mot luftburen värme och klimatskalet har mer isolering.



Figur 6 - Schematisk skillnad mellan ett traditionellt hus och ett passivhus i Tyskland. (Feist, 2005)

Effektbehovet för uppvärmning som diskuteras bli krav för passivhus som småhus i Sverige är  $12 \text{ W/m}^2$  BRA. Kraven som denna rapport kommer att ställa för passivhus är:

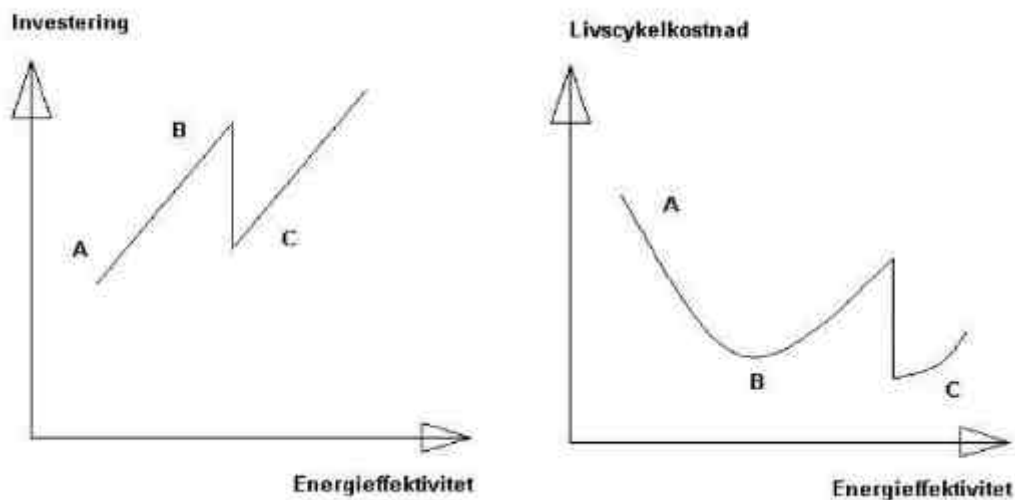
- $12 \text{ W/m}^2$  tillförd effekt för uppvärmning
- $20 \text{ kWh/m}^2$  köpt energi för uppvärmning
- $120 \text{ kWh/m}^2$  total energianvändning (uppvärmning, tappvarmvatten, hushållsel)

I rapporten kommer passivhuset att simuleras med en brukarfamilj enligt Kapitel 6. Effekt- och energikraven för uppvärmning kommer att redovisas efter det att internvärmestillskottet har utnyttjats.

För att visa fördelarna med ett passivhus kan Figur 7 studeras. Här åskådliggörs investeringskostnaden samt livscykelkostnaden mot energieffektiviteten för en byggnad. För fallet med investeringskostnaden gäller att den ökar ju mer isolering som läggs på, se punkt A-B i Figur 7. Efter punkt B är huset så välisolerat att det traditionella värmesystemet kan tas bort och då sjunker investeringskostnaden, för att sedan stiga igen med ökande isolering, vid punkt C.

Om man ser till livscykelkostnaden har den ett något annorlunda utseende. Början på kurvan (A) är nybyggnadsstandard, därefter ses hur energieffektiviteten förbättras och livscykelkostnaden går ner genom att förbättra klimatskalet. Vid B ses en brytpunkt, här blir kostnaden för förbättringarna högre än energibesparingen, varför kurvan stiger uppåt igen. Vid C har klimatskalet blivit så bra att det traditionella uppvärmningssystemet kan frångås vilket innebär att livscykelkostnaden sänks eftersom kostnaden för radiatorsystemet försvinner. Bilden visar tydligt de brytpunkter som uppkommer.





Figur 7 - Investeringskostnad samt livscykelkostnad för olika hus. A motsvarar ett konventionellt småhus, B ett lågenergihus och C ett "passivhus" (Sundqvist m.fl., 2006)

Effekt- och energikraven som ställts i rapporten går att diskutera. I de 20 kWh/m<sup>2</sup> som är krav för köpt energi för uppvärmning ingår till exempel inte hushållsel som bidrar med värme. Är huset försett med mycket elektronik och elektriska apparater blir kravet alltså lättare att uppnå. Eftersom husen under kalla perioder värms upp med hjälp av ett elbatteri är husen alltså uppvärmda med direktverkande el. Energimässigt borde det istället vara bättre med vattenburen värme och en värmepump. Men då ökar investeringskostanden eftersom huset då både isoleras mer samtidigt som det traditionella värmesystemet är kvar. Kravet på en total energianvändning på maximalt 120 kWh/m<sup>2</sup> är inte speciellt energisnålt. Exempelvis hamnar ett nyproducerat småhus i Sverige på 120-136 kWh/m<sup>2</sup> enligt Energimyndigheten 2006. Under Bo01 var kravet 105 kWh/m<sup>2</sup>, år, vilket var högt satt men långt ifrån omöjligt att uppnå (Bagge m.fl., 2004).

## 4 Exempel på projekt

*I detta kapitel presenteras några tidigare genomförda projekt med lågenergihus i Sverige. Husens uppbyggnad beskrivs och lärdomar från dessa projekt tas upp.*

I Sverige har det när denna rapport skrivs ännu inte byggts några passivhus som småhus, dock har några projekt påbörjats. Energieffektiva hus med välisolerade klimatskal och bra fönster byggdes efter energikrisen, men har under senare år inte uppförts i större skala. Det har gjorts försök med radhus och flerfamiljshus från vilka kunskap kan hämtas och appliceras på småhus. Tyskland är ett föregångsland vad gäller passivhus och sedan 1991 har 9000 bostäder färdigställts enligt detta koncept (Byford m.fl., 2005).

**Kommentar:** Det svenska genomsnittshuset hade 2003 en energiåtgång för uppvärmning motsvarande  $107 \text{ kWh/m}^2$  och en total energiåtgång (hushållsel, varmvatten, ventilation) på  $200 \text{ kWh/m}^2$  (SC 2005, Energistatistik). Nya hus som byggts 1996-2001 är huvudsakligen eluppvärmda och använder i genomsnitt  $129 \text{ kWh/m}^2\text{år}$  (Bagge m.fl., 2004).

### 4.1 Lindåshusen

Det mest kända exemplet på energieffektiva hus som uppförts i Sverige är Lindåshusen, vilka är byggda enligt passivhusteknik. Dessa har fungerat som inspirationskälla för många senare projekt och omnämns flitigt i litteraturen.

Våren 2001 byggdes tjugo radhuslägenheter i Lindås Park utanför Göteborg. Det som främst skiljer dessa hus från konventionella är värmesystemet och isoleringens tjocklek. Lägenheterna är på  $120 \text{ m}^2$  fördelade på två våningar. De består av fyra rum och kök, två hallar och två badrum. Det finns även ett loft. Tanken med radhusen är att värmeförlusterna ska vara så små att personvärme, instrålad solenergi och värme från hushållsapparater och belysning skall räcka för att hålla en komfortabel inomhustemperatur. Därför har husen isolerats väl och ventilationen har utrustats med en effektiv värmeväxlare för att ta vara på värmen som annars skulle följa med vädringsluften ut (Boström m.fl., 2003).

Husen har utformats för att få ett behagligt inomhusklimat med minimal energianvändning. Gårdsfasaden åt söder har stora fönster för att ta tillvara på värme från solen. Balkonger och takutsprång skyddar mot för mycket solljus under sommaren, se Figur 1 Kapitel 2.1. Radhusformen med 11 meter djupa lägenheter gör att ytterväggsarean blir liten eftersom ytterväggar i de flesta av husen endast finns på kortsidorna. Ytterväggarna är dessutom extra välisolerade och täta. För att få byggnaden så tät som möjligt så har man applicerat en diffusionstät plastfolie i väggar, tak och golv. Den är förlagd cirka 100 mm från byggandsskalets insida. Takfönstret ovanför trappan ger ljus mitt i huset och används för effektiv vädring sommartid.

Tilluften värms av frånluften i en motströmsvärmväxlare med 85 % värmeåtervinning. Aggregatet är också utrustat med ett motoriserat "by-pass"-spjäll och ett elektroniskt eftervärmningsbatteri på 900 W på tilluftssidan (Boström m.fl., 2003).

Solfångare på 5m<sup>2</sup> per lägenhet är dimensionerade för att klara hälften av varmvattenuppvärmningen.

## Uppbyggnad

- Yttervägg: Regelvägg med 43 cm isolering  
U-värde: 0,10 W/m<sup>2</sup>K
- Yttertak: Masonitebalkar med 48 cm isolering  
U-värde: 0,075 W/m<sup>2</sup>K
- Golv: Betongplatta med 25 cm isolering under  
U-värde: 0,11 W/m<sup>2</sup>K
- Fönster: Treglasfönster med två lågmissionsskikt och kryptonfyllning  
U-värde: 0,85 W/m<sup>2</sup>K
- Ytterdörr: U-värde: 0,80 W/m<sup>2</sup>K (detta värde innefattar, enligt Hans Eek, båda ytterdörrarna för luftslussen)

## Energianvändning

	<b>Beräknad</b>	<b>Uppmätt</b>
Hushållsel:	2900 kWh	4020 kWh
Varmvatten:	1500 kWh	1848 kWh
Driftel, fläktar, pumpar mm:	1000 kWh	668 kWh
Eftervärmare:		1742 kWh
Summa:	5400 kWh	8278 kWh
Energianvändning/boarea:	<b>45 kWh/m<sup>2</sup></b>	<b>69 kWh/m<sup>2</sup></b>

Ovanstående uppmätta energianvändning är medelvärden för radhusen. Gavellägenheterna har i genomsnitt något högre energianvändning än mittlägenheterna. Skillnaden i beräknad och uppmätt energianvändning kan bero på flera faktorer. Vid energiberäkningen överskattades internvärmestillskottet i värmebalansen. Andra faktorer kan vara att de boende har velat ha en högre inomhustemperatur än vad som beräknats. Mätningarna på husen gjordes under byggtiden och fortsatte under två år i de färdiga byggnaderna. Uttorkning av byggfukt kan under denna tid även ha inverkat, eftersom den medför en ökad energianvändning. Energin för uppvärmning blev enligt mätningarna 20 kWh/m<sup>2</sup>.

### 4.1.1 Lärdomar från Lindåshusen

Radhusen i Lindås utformades för att bli så energisnåla som möjligt utan att ge avkall på komforten. I en tvärvetenskaplig rapport som gjordes under 2002 intervjuades 16 av 19 hushåll om hur det är att bo i ett energisnålt hus. Få hushåll oroade sig över att husen saknade traditionellt uppvärmningssystem och litade på att de skulle fungera.

De flesta av brukarna ville ha en inomhustemperatur runt 21°C men vad som upplevs som behaglig temperatur skiljer sig något mellan olika personer. Merparten av brukarna lyfter fram att det är temperaturskillnader mellan våningsplanen beroende på var människorna befinner sig. Till exempel är det varmt på övervåningen under morgonen efter en natt när alla vistats där. De flesta tycker dock att temperaturskillnaderna är acceptabla. Badrummet på övervåningen har av flera brukare pekats ut som kallare än de övriga rummen och många saknar golvvärme här och även under klinkern i hallen. Om huset stått tomt en längre tid har det varit mycket kallt vid hemkomsten och lärdomen har varit att luftvärmebatteriet bör vara igång om brukaren är bortrest. En brist med uppvärmningen är att när inomhustemperaturen stiger över börvärdet, ca 21°C, tillförs kallluft i sovrum och vardagsrum vilket upplevs som negativt. En brukare säger: ”Först försöker man värma upp huset och sedan så kyler det ned sig.”

Merparten av brukarna upplever att det under sommaren är varmt men att det inte skiljer sig speciellt mycket från andra hus. Samtliga vädrar under sommaren så gott som varje dag genom att öppna takfönstret och ytterligare något fönster. I husen finns en ouppvärmd luftsluss, se Figur 8, för att minimera värmeförlusterna genom ytterdörren. Denna sluss har vissa använt för att få ner temperaturen inomhus genom att öppna den inre dörren och därmed få in lite kallare luft. På vintern vädrar de flesta knappt alls. Hälften av hushållen har investerat i markiser eftersom solavskärmningen under vår och höst inte alltid fungerar tillfredställande.



Figur 8 – Lindåshusen

Brukarna av de energisnåla radhusen trivs över lag mycket bra med sitt boende. Småhushåll med en eller två personer kan dock få problem att vintertid upprätthålla en behaglig inomhustemperatur om de bor i någon av gavellägenheterna, samt tillbringar en stor del av tiden utanför hemmet. En barnfamilj boende i mittlägenheterna upplever däremot inga svårigheter med inomhustemperaturen. Hälften av brukarna önskar sig en braskamin, vilket enligt dem bidrar till såväl trivsel som uppvärmning. Men installation av en sådan innebär ett ingrepp på tätheten som kan orsaka energiförluster. Många brukare tycker att braskamin ska finnas i åtanke då nästkommande energisnåla hus byggs (Boström m.fl., 2003).

De boende är nöjda med ljudisoleringen mellan lägenheterna, men inte inom lägenheterna. Därför bör isolering i innerväggarna samt mellan våningarna ökas. Detta skulle dock leda till större ojämnheter i inomhustemperatur inuti lägenheten. (Byfors m.fl., 2004).

Fönstren har fungerat bra. Det utskjutande taket skuggar fönstren, vilket leder till mindre utvändigt kondens. Fönsterarean mot söder behöver inte vara så stor, det diskuterades ett optimum på  $9 \text{ m}^2$  istället för  $10,4 \text{ m}^2$  som det är idag. Utan takfönster skulle energianvändningen minska med ca  $440 \text{ kWh/år}$  och lägenhet och utan gavelfönster skulle energianvändningen minska med drygt  $1000 \text{ kWh/år}$  och lägenhet, enligt beräkningar. Flera boende har påpekat att det regnar in genom takfönstret, dock ger öppnandet av detta i kombination med att öppna ett fönster på bottenvåningen mycket effektiv vädring (Boström m.fl., 2003).

## 4.2 Glumslöv

Under 2003 och 2004 byggdes 35 lägenheter i Glumslöv utanför Landskrona. Utformningen på lägenheterna är relativt traditionellt och storleken varierar från 2 rum och kök till 5 rum och kök. Alla lägenheterna har dessutom förråd och badrum. Storleken på lägenheterna varierar från  $70 \text{ m}^2$  till  $115 \text{ m}^2$  BRA (IEA, 2005). För bild på husen se Figur 9.



Figur 9 - Husen i Glumslöv

Lägenheterna är byggda enligt passivhusteknik och har varken element eller golvvärme utan värms med värme som de boende, deras belysning och vitvaror alstrar.

Målen med projektet var:

- Att erhålla en uthyrningskostnad av max 100 €/m<sup>2</sup> BOA. Den är i dagsläget på 930 kr/m<sup>2</sup>, år (IEA, 2005)
- Att använda konstruktioner med god värmeisolering för att kunna få ett hus utan golvvärme och radiatorer
- Att säkerställa en fuktsäker byggnad
- Uppnä god lufttäthet genom speciella lösningar.

Undersökningar har visat att orientering av husen inte spelar så stor roll för att ta tillvara på solvärmestillskottet utan fönstren är orienterade 50 % / 50 % syd-nord och öst-väst. Eftersom solenergin inte är så stor på vintern när den behövs och hög på sommaren när den inte behövs så är solenergin av mindre betydelse för att värma huset. Istället är det viktigt att reducera solvärmestillskottet under sen vår, sommar och tidig höst för att inte få problem med överhettning av lägenheterna. Lägenheterna har dessutom ett stort taköverhäng på en meter för att minska solinstrålning under de perioder då solen står högt (IEA, 2005).

Två snickare var speciellt ansvariga för att få lägenheterna lufttäta genom att montera plastfilmen. Lufttätheten mättes till 0,1 l/s m<sup>2</sup> vid 50 Pa övertryck, vilket är svenskt rekord i lufttäthet. För att undvika att de boende gör hål i plastfilmen har den placerats inne i konstruktionen, 70 mm från väggens insida (IEA, 2005).

Värmekapaciteten för lägenheterna är ganska låg, eftersom det är byggt med lätt stomme. Anledningen är enligt projektörerna att innetemperaturen ska kunna ändras på snabbt om det skulle bli för kallt eller för varmt, vilket går långsammare för lägenheter med hög värmekapacitet (IEA, 2005).

Varje lägenhet har en värmeväxlare med en verkningsgrad på cirka 85 % beroende på utetemperatur. Det finns även ett värmeaggregat på 700 W som kan ge ett extra värmestillskott om det behövs under de kallaste dagarna. Detta är kopplat till tilluften. Luftomsättningarna är cirka 0,5 omsättningar/tim. Varmvattnet värms upp med elektricitet (IEA, 2005).

## Uppbyggnad

Yttervägg: Träregelevägg med aluminiumprofiler med 450 mm isolering (polystyren) uppdelade i 4 lager. I väggen finns också en plastfilm för att göra huset lufttätt.

U-värde: 0,10 W/m<sup>2</sup>K

Yttertak: Lättviktstakstolar med 550 mm lösullsisolering

U-värde: 0,08 W/m<sup>2</sup>K

Golv: 100 mm betongplatta, 350 mm isolering (polystyren), 200 mm makadam

U-värde: 0,10 W/m<sup>2</sup>K

Fönster: Treglasfönster med gas emellan. Fönstren mot syd och väst har ett extra lågemissionsskikt för att minska solinstrålning. Fönsterarean är ungefär 20 % av golvarean.

U-värde: 0,9 – 1,0 W/m<sup>2</sup>K beroende på fönsterstorlek (IEA, 2005)

## Energianvändning Glumslövhusen

### Beräknad energianvändning under ett normalår:

Hushållsel: 20-25 kWh/m<sup>2</sup>, år

Varmvatten: 25-30 kWh/m<sup>2</sup>, år

Uppvärmningsbehov: 0-5 kWh/m<sup>2</sup>, år

Summa: **45 - 85 kWh/m<sup>2</sup>, år**

**Uppmätt energianvändning:** Mätningarna är inte avslutade men enligt Karin Adalberth på Primeproject kommer den totala köpta energin att hamna på ca **60 kWh/m<sup>2</sup>, år**.

**Kommentar:** Moderna lägenheter som byggdes i slutet på 90-talet och i början på 2000-talet använder ungefär 120-150 kWh/m<sup>2</sup> år, där 30-50 % är energi för uppvärmning. Besparingen är därför 70 – 90 kWh/m<sup>2</sup> år per lägenhet på dessa 35 lägenheter.

### 4.2.1 Lärdomar från Glumslövhusen

Bara en av hyresgästerna i Glumslöv har hittills klagat på att hon frusit sedan inflyttningen i juni 2004 och det problemet löstes snabbt eftersom värmen i huset kan styras individuellt. Fastighetsägaren är så nöjd med husen att mer självuppvärmda hus kommer att byggas. Produktionskostnaden ligger endast omkring tre procent högre än vid byggandet av hus med vanliga energisystem. Det som byggherren får betala för extra isolering och bättre fönster tas i stort sett igen av att installationskostnader för värmesystem sparas in (Fash, 2005).

Husen hade problem med värmeväxlaren som till en början till och med kylde husen vintertid. Problemet var ett leverantörsfel av en teknisk komponent och åtgärdades snabbt (Strolz, 2005).

### 4.3 Energieffektiva småhus på Bo01 i Malmö

Inför bomässan Bo01 i Malmö sommaren 2001 uppfördes två energieffektiva småhus av Yxhult AB och LB-hus AB i samarbete med Energimyndigheten (STEM, 2005). Målsättningen var att husen skulle kunna serieproduceras och att bästa tillgängliga teknik som bedömdes ekonomisk rimlig skulle användas. Energimålen som sattes var 80 kWh/m<sup>2</sup>år för ett eluppvärmt hus och 100 kWh/m<sup>2</sup>år om annan energikälla än el användes. I dessa värden ingår all köpt energi till husen, det vill säga energi för uppvärmning och ventilation, för varmvatten, för fastighetsel samt hushållsel. Yxhulthuset är ett lättbetonghus som hamnade så långt från det satta energimålet att det därför inte tas upp i denna rapport. Detta kapitel bygger på rapporten "Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra hamnen i Malmö" (Bagge m.fl., 2004).



Figur 10 - LB-huset på Bo01

LB-huset är ett träregelhus med platta på mark. Huset har fläktstyrd frånluftsventilation. Uteluften tas in genom don som mynnar i luftspalten bakom fasadpanelen för att vindpåverkan på luftflödet ska reduceras. Tilluften förvärmas även här någon grad, vilket bidrar till högre termisk komfort och lägre uppvärmningsbehov. Värme återvinns ur frånluften med en frånluftvärmepump som ger värme till radiator- och tappvarmvatten. När värmepumpen inte räcker till för uppvärmning och tappvarmvatten tillförs spetsenergi i form av el via elpatron och värmesköldar i värmepumpenheten. Lågenergifönstren har U-värde 1,0 W/m<sup>2</sup>K och det finns extra köldbryggeisolering i fönstersmygarna (Bagge m.fl., 2004).

#### Uppbyggnad

Yttervägg: 300 mm mineralullsisolering.

U-värde: 0,16 W/m<sup>2</sup>K



Yttertak:	500 mm mineralullisolering
	U-värde: 0,069 W/m <sup>2</sup> K
Golv:	Betongplatta med 350 mm cellplastisolering under
	U-värde: 0,099 W/m <sup>2</sup> K
Fönster:	Lågenergifönster
	U-värde: 1,0 W/m <sup>2</sup> K

### **Energianvändning LB-huset**

Hushållsel:	4150 kWh
Varmvatten:	2000 kWh
Driftel, fläktar, pumpar mm:	800 kWh
Eftervärmare:	<u>5050 kWh</u>
Summa:	12000 kWh
Boarea:	138 m <sup>2</sup>
Energianvändning/boarea:	<b>87 kWh/m<sup>2</sup></b>

Om man endast ser till uppvärmningen så är energianvändningen 37 kWh/m<sup>2</sup>

#### **4.3.1 Lärdomar från LB-huset**

Innetemperaturen har under uppvärmningssäsongen varit ca 21°C. Inneklimatet har av de boende mestadels upplevts som mycket bra. Genom att tilluft kommer in genom ett förhållandevis stort antal tilluftsdon och att huset är lufttätt fås en mycket god ventilation av huset. I varje sovrum finns dessutom frånluftsdon vilket innebär att även om fönster öppnas i något rum kommer alla rum att ha ett säkerställt luftflöde. Temperaturen på undervåningen har hållit sig inom temperaturintervallet 20-26°C under 96 % av året och på övervåningen 84 % av året. Resten av tiden har det varit varmare. Dock skall noteras att utomhustemperaturen var betydligt högre under juli månad än vad som anses normalt (Bagge m.fl., 2004).

Att temperaturen på övervåningen är så hög sommartid, trots stora fönster mot norr på undervåningen tros bero på att solskydd saknas på övervåningen samt att den varma luften från undervåningen stiger upp genom termiska drivkrafter till övervåningen. Sommartid kan den förvärmning som sker bakom fasaden medföra att den önskade avkylningen av huset inte sker (Bagge m.fl., 2004).

Temperaturstyrningen av huset verkar ha fungerat väl. Inställda rumstemperaturer har legat mycket stabilt under uppvärmningssäsongen. Golvet i huset upplevs dock som något kallt vid sträng kyla. Luftens temperatur efter värmeåtervinning är högre än vad som förväntats vilket innebär att mer värme skulle kunna ha återvunnits med värmepumpen (Bagge m.fl., 2004).

Sammanfattningsvis har det uppställda målet om låg energianvändning nästan uppnåtts, vilket innebär att LB-huset använder drygt 30 % mindre energi än vad andra nybyggda hus i genomsnitt använde (Bagge m.fl., 2004).

## 4.4 Vårgårdahuset

VårgårdaHus kommer under våren 2006 att bygga ett friliggande passivhus i Lidköping. Med hjälp av arkitekten Hans Eek har företaget tagit fram en 140 kvm stor tvåplansvilla, se Figur 11. Huset är uppbyggt på liknande sätt som Lindåshuset fast med något mer isolering under plattan och i väggarna. Ytterväggarna består av cellplast omgiven av två skikt av träregelkonstruktioner med mineralull. Väggtjockleken blir totalt 534 mm varav 490 mm är isolering. Plattan har 300 mm isolering och taket 500 mm isolering. Fönsterarean är 15,5 m<sup>2</sup>/golvsarea, precis som Lindåshuset. Planlösningen är öppen vilket är fördelaktigt i ett passivhus då värmen lätt ska kunna spridas i huset. Huset är utrustat med solfångare och målet är att huset ska dra 7500 kWh/år (Eek 2006).



Figur 11 – Vårgårdahuset

## 4.5 Ytterligare lärdomar från lågenergihusprojekt

För att bygga energieffektiva hus som fungerar måste husets arkitektur, byggnadsteknik och installationer vara väl avvägda mot varandra. Det förefaller vara

svårt att finna utrustning som passar till lågenergihus, som på ett kontrollerat sätt kan tillföra små värmemängder. Ofta är värmepumpar och andra värmesystem överdimensionerade för att täcka det lilla värmebehov som krävs i dessa hus. De tekniska apparaterna är ofta inte anpassade för att vanliga brukare ska förstå och sköta utrustningen på ett bra sätt. Viktigt är också att brukaren skall ha möjligheter att själv avgöra om anläggningen fungerar som den ska. En noggrann injustering av de tekniska systemen är väldigt viktig vid idrifttagning. Små avvikelser i funktion kan leda till stora avvikelser i förväntad prestanda (Bagge m.fl., 2004).

Stora södervända fönsterareor innebär risk för övertemperaturer och det erfordras solavskärmning för att inte få besvärande höga innetemperaturer under vår, sommar och höst. I ett lågenergihus räcker en relativt liten mängd solinstrålning för att täcka hela värmebehovet så snart solen skiner. För att kunna tillgodogöra sig solinstrålningen måste värmesystemet omedelbart stänga av all värmetillförsel så snart temperaturen stiger inomhus. I annat fall riskerar man att inte alls kunna utnyttja solenergin och i värsta fall ger detta upphov till oönskade övertemperaturer. Det är därför knappast någon fördel att ha stora fönsterareor. Från energisynpunkt behöver inte fönstren vara orienterade mot söder. Detta ger mer flexibilitet, både utformningsmässigt och placeringsmässigt (Bagge m.fl., 2004).

Frånluftsvärmepump i välisolerade hus lämpar sig inte visar undersökningar som gjorts på ett flerfamiljshus i Lund. Den oppvärmda luft som tas in via spaltventiler ger ett obehagligt inomhusklimat på grund av att radiatorerna inte är tillräckigt dimensionerade för att värma upp luften. Radiatorerna är dimensionerade för att täcka det lilla energibehov som ett välisolerat hus behöver och inte dimensionerade för att klara av att värma upp den kalla uteluften som flödar in (Warfvinge, 2005).

## 5 Boverkets byggregler

Utdrag ur BBR:

*”Byggnader skall vara utformade så att energibehovet begränsas genom låga värmeförluster, effektiv energianvändning och effektiv elanvändning.”*

Den senaste utgåvan av Boverkets byggregler skrevs 2002 och om man jämför med den tidigare utgåvan så innehåller den inte några speciella skärpningar av kraven på energihushållning. Kraven från Boverket har istället varit att bibehålla den tidigare kravnivån. Boverket kommer dock att släppa en ny utgåva 2006, då en skärpning av dagens krav på värmeisolering kommer att införas. (Isolerguiden 2004)

Man kan idag välja på två olika alternativ för att uppfylla kraven.

### 5.1 Alternativ 1: Tre delkrav

Man visar att byggnaden klarar kravet på värmeisolering (delkrav 1), på lufttätethet (delkrav 2) och på effektiv värmeanvändning (delkrav 3). De tre delkraven måste uppfyllas var och en för sig. De ges här i en något nerkortad och förenklad version där det viktigaste tas upp för just bostäder. Allt nedan är hämtat från Isolerguiden 2004.

#### Delkrav 1: Värmeisolering och transmissionsförluster

$$F_{s,krav} \text{ för bostäder} = 0,16 + 0,81(A_f/A_{oms})$$

Arean  $A_f$  får därvid medräknas med högst  $0,18 A_{upp}$

$A_f$  = sammanlagd area för fönster dörrar och dylikt

$A_{oms}$  = Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft.

$A_{upp}$  = uppvärmd bruksarea

$$F_s = \frac{\sum U_{just,i} A_i}{A_{om}} \quad (1)$$

#### Delkrav 2: Lufttätethet

Byggnadens klimatskal skall vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad inte överstiger  $0,8 \text{ l/s, m}^2$  för bostäder och  $1,6 \text{ l/s, m}^2$  för andra utrymmen.

#### Delkrav 3: Effektiv värmeanvändning

Byggnader vars energibehov för uppvärmning av ventilationsluft överstiger  $2 \text{ MWh/år}$ , skall förses med särskilda anordningar som begränsar energiförlusterna.

Boverket ställer då krav på att byggnadens behov av energi skall minskas med 50 % av den energimängd som behövs för uppvärmning av ventilationsluften. Detta kan ske genom att installera till exempel en värmepump, värmeåtervinnare, solfångare eller öka värmeisoleringen.

## **5.2 Alternativ 2: Omfördelningsberäkning (Referenshusmetoden)**

Energibalansen för den byggnad man tänker uppföra jämförs med ett referenshus, med samma geometriska form och orientering, som precis uppfyller de tre delkraven. Detta ger den byggande en mycket hög frihetsgrad att uppfylla kraven med tekniska lösningar. Två regler måste dock tas hänsyn till:

- Energiförlusterna genom klimatskalet får maximalt vara 30 % högre än delkravet.
- När det gäller byggnader som är undantagna från delkrav 3 så får man endast tillgodoräkna sig 50 % av effekten om man ändå använder sig av någon av de tre installationstekniska lösningarna som nämns i texten. (ventilationsvärmeväxlare, värmepump eller solfångare)

## **5.3 Nya regler 2006**

Statistik från SCB visar på en neråtgående trend för energianvändningen i nya småhus och lokaler, medan energianvändningen i flerbostadshus i stort sett är oförändrad sedan 1980-talet. SCB har även visat att byggnader uppförda mellan 1996-2001 inte överträffar BBR:s energikrav. Snarare har byggnader uppförts för att precis klara kravet och det verkar saknas incitament för att bygga bättre (Boverket, 2005).

Byggreglerna ska motsvara samhällets krav på ett gott byggande. Reglerna behöver dock uppdateras i samma takt som samhället utvecklas. Under 2004 inleddes därför en översyn över byggreglerna och ett förslag på nya byggregler kom ut under 2005. Kapitel 9 "Energihushållning" i BBR har genomgått en genomgripande förändring. Utgångspunkten för hur kraven ställs har förändrats. Bakgrunden till den stora förändringen beror bland annat på att:

- Trenden att energianvändningen i nya byggnader minskar har avstannat.
- I BBR finns en beräkningsmodell, omfördelningsberäkning, som kan uppfattas som otydlig.
- Reglerna ger olika utfall på en byggnads energianvändning beroende på val av uppvärmningssystem och geografisk placering.
- Direktivet om byggnader energiprestanda ska införas (Boverket, 2005).

Det finns en remissversion på hur de nya reglerna kommer att vara ställda. Nedanstående är hämtat ur kapitel 9.2 Bostäder i "Förslag till föreskrift Energihushållning" (Boverket, 2006):

”Bostäder skall vara utformade så att byggnadens specifika energianvändning högst uppgår till 110 kWh per m<sup>2</sup> ( $A_{temp}$ ) i klimatzon söder och 130 kWh per m<sup>2</sup> i klimatzon norr. För en- och tvåbostads med direktverkande elvärme som huvudsaklig uppvärmningskälla får byggnadens specifika energianvändning högst uppgå till 75 kWh per m<sup>2</sup> ( $A_{temp}$ ) i klimatzon söder och 95 kWh per m<sup>2</sup> i klimatzon norr. Byggnadens specifika energianvändning får reduceras med energi från i byggnaden installerade solfångare och solceller. Levererad el till värmepump eller kylmaskin installerad för uppvärmning eller kylning av byggnaden skall räknas upp med årsmedelvärmefaktorn respektive årsmedelkylfaktorn när byggnadens specifika energianvändning bestäms. Den högsta genomsnittliga värmeövergångskoefficienten ( $U_m$ ) får för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden ( $A_{om}$ ) inte överskrida 0,50 W/m<sup>2</sup>K.”

( $A_{temp}$ ) = golvarean i temperaturreglerade utrymmen avsedd att värmas till mer än 10°C och begränsade av klimatskalets insida. Garage ingår inte i golvarean.

Levererad el till värmepump eller kylmaskin skall räknas upp med årsmedelvärmefaktor respektive årsmedelkylfaktor när byggnadens specifika energianvändning bestäms. För frånluftsvärmepump kan årsmedelvärmefaktorn 2,0 användas. Detta förklaras i ”Förslag till konsekvensutredning för avsnitt 9” (Boverket, 2006):

Värmefaktorn för frånluftsvärmepumpar är bestämd med utgångspunkt från att värmeåtervinning från frånluft ska vara teknikneutral. Med denna faktor jämföras, ur kravsynpunkt, värmeåtervinning mellan frånluftsvärmepump och ventilationsvärmepump. Om verklig årsmedelvärmefaktor istället skulle användas för frånluftsvärmepumpar skulle besparingen inte tillgodoräknas vid bestämning av byggnadens specifika energianvändning. Detta skulle premiera ventilationsvärmepump där värmeåtervinningen kan tillgodoräknas. Skillnaden mellan verklig årsmedelvärmefaktor och faktorn 2,0 bedöms motsvara den värmeåtervinning som erhålls från ventilationsvärmepump.

Med byggnadens specifika energianvändning menas den energi som, vid normalt brukande, behöver levereras till en byggnad för uppvärmning, kyla, tappvarmvatten samt drift av byggnadens installationer (pumpar, fläktar etc.) och övrig fastighetsel. Hushållsel ingår inte i byggnadens specifika energianvändning.

Allmänt råd till ovanstående lyder:

”Kraven i avsnitt 9:2 bör verifieras dels genom beräkning av byggnadens energibehov och genomsnittliga värmeövergångskoefficient vid projekteringen, dels genom mätning av energianvändningen i den färdiga byggnaden. Beräkningar av byggnadens energianvändning bör utföras med utgångspunkt i aktuell inne- och utetemperatur, normalt brukande av tappvarmvatten och vädring. Byggnadens energianvändning kan mätas under en sammanhängande 12-månadersperiod, avslutad senast 24 månader efter det att byggnaden tagits i bruk.”

Som alternativ till ovanstående krav, kan för byggnader där golvarean  $A_{temp}$  uppgår till högst 100m<sup>2</sup>, fönster- och dörrarea  $A_f$  uppgår till högst 0,20 $A_{temp}$  och inget kylbehov finns, istället följande krav på byggnadens värmeisolering, klimatskalets

täthet och värmeåtervinning uppfyllas. Den högsta värmeövergångskoefficienten ( $U_i$ ) får, för omslutande byggnadsdelar ( $A_{om}$ ), inte överskrida följande värden:

	$U_i \text{ W/m}^2\text{K}$
$U_{\text{tak}}$	0,13
$U_{\text{vägg}}$	0,18
$U_{\text{golv}}$	0,15
$U_{\text{fönster}}$	1,3
$U_{\text{ytterdörr}}$	1,3

I de fall där direktverkande elvärme installeras som huvudsaklig värmekälla i en- och tvåbostadshus skall följande värden inte överskridas.

	$U_i \text{ W/m}^2\text{K}$
$U_{\text{tak}}$	0,08
$U_{\text{vägg}}$	0,10
$U_{\text{golv}}$	0,10
$U_{\text{fönster}}$	1,1
$U_{\text{ytterdörr}}$	1,1

Byggnaders klimatskal skall vara så täta att det genomsnittliga luftläckaget vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad inte överstiger  $0,6 \text{ l/s m}^2$ . Om byggnadens energibehov för uppvärmning av ventilationsluft överstiger  $2 \text{ MWh}$  per år skall energin i ventilationsluften återvinnas. Återvinningen skall uppgå till minst  $50 \%$  av den energi som behövs för att värma ventilationsluften. Distributionsförluster och förekommande drivenergi skall räknas in i den energi som behövs för att värma ventilationsluften. I de fall där direktverkande elvärme installeras som huvudsaklig värmekälla i en- och tvåbostadshus skall motsvarande värmeåtervinning minst vara  $70 \%$ .

Boverket har även satt som mål att energiåtgången för nya byggnader inte ska överstiga  $90 \text{ kWh/m}^2$  år 2010 och  $60 \text{ kWh/m}^2$  år 2020 (Boverket 2002).

## 6 Simuleringsmodell

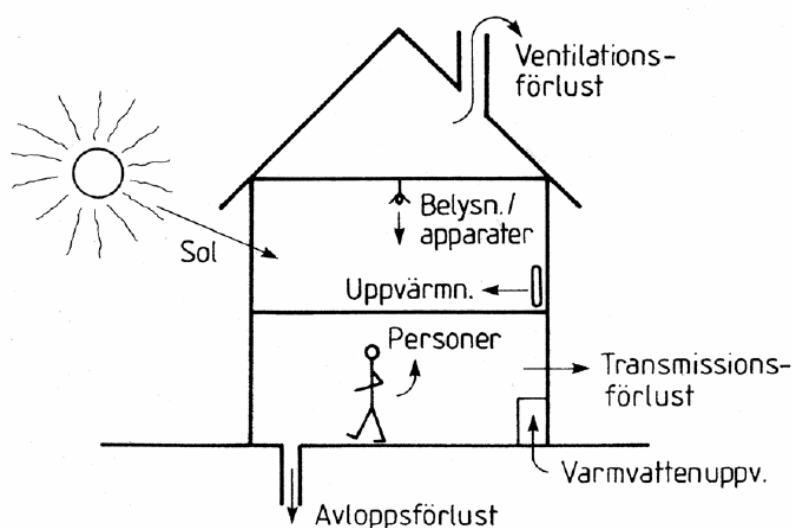
I detta kapitel presenteras vår simuleringsmodell. Programmet IDA förklarar och de faktorer som påverkar resultatet av simuleringarna klargörs. Hur resultatet skall tolkas redovisas också.

En energiberäkning visar ungefärlig energianvändning för en byggnad. Genom att konstruera en beräkningsmodell är det möjligt att förutsäga hur mycket energi som kommer att krävas för att få önskad temperatur i huset.

### 6.1 Byggnadens värmebalans

För att kunna utforma och dimensionera byggnaden och dess klimatstyrande installationer på ett riktigt sätt måste man kunna bestämma byggnadens behov av värme. Detta görs i en värmebalans där tillförd värme ställs mot bortförd värme. Den största mängd värme som tillförs en byggnad är normalt den som distribueras via värmesystemet. Utöver detta tillförs även värme via solinstrålning, belysning, apparater samt från de personer som vistas i byggnaden.

Värmeförlusterna brukar delas upp i transmissionsförluster, ventilationsförluster och avloppsförluster. Med transmissionsförluster avses den värme som lämnar byggnaden genom klimatskalet. Transmission sker genom ledning, konvektion och strålning. Ventilationsförluster avser den värme som lämnar byggnaden genom styrd ventilation eller luftläckage. Avloppsförlusterna är den värme som lämnar byggnaden i form av uppvärmt varmvatten. Figur 12 visar hur värmebalansen kan se ut i en byggnad.



Figur 12 - Byggnadens värmebalans



Rummets värmebehov  $Q$  kan skrivas som:

$$Q = Q_{tr} + Q_{v0} - Q_{int} + Q_{vv}$$

$Q_{tr}$  = Värmeförlust pga. transmission

$Q_{v0}$  = Värmeförlust pga. luftläckage

$Q_{int}$  = Interna värmealstringen

$Q_{vv}$  = Värmeförlust pga. ventilation

## 6.2 IDA Klimat och Energi 3.0

I detta examensarbete har energiberäkningsprogrammet IDA Klimat och Energi 3.0 använts för att beräkna värmebehovet och simulera det termiska inomhusklimatet för olika hustyper. Idag finns ett flertal olika energiberäkningsprogram på marknaden, alla med olika möjligheter. Valet föll dock på IDA eftersom det har möjlighet att simulera såväl inomhusklimat i enskilda rum som energianvändningen för hela byggnaden. Det anses även av många som det mest noggranna kommersiella programmet på den svenska marknaden idag (Wall, 2006).

IDA är ett simuleringsprogram för beräkning av en byggnads effekt- och energibehov, men programmet kan även beräkna termiskt inomhusklimat,  $CO_2$ -halter och fuktbalanser i rumsluft. IDA är ett så kallat flerzonsprogram, dvs. programmet kan beräkna värme- och masstransporter mellan flera zoner i bygganden. IDA kan också, till skillnad från många andra energiberäkningsprogram, beräkna effekten av värmeackumulering i stomme och inredning samt inverkan av solinstrålning. Dessa faktorer kan vara avgörande när det gäller övertemperaturer i lågenergihus (Bergsten, 2001). Mycket av informationen i IDA bygger på data från ASHRAE (Johnsson, 2006). Figur 13 visar hur det kan se ut när indata för en zon bestäms i IDA. En modell av huset kan antingen göras manuellt eller så kan en CAD-ritning infogas. Modellen kompletteras med värmelaster, VVS-system, reglerstrategier och klimatdata och kan därefter simuleras under olika perioder. Kyl- och värmebehov beräknas för extrema belastningar och total energianvändning ges av helårskörningar.

<b>Allmänna uppgifter</b> Beräkningsmodell Standard		<b>Geometri</b> Rumshöjd 2.5 m Golvhöjd över mark 0.2 m		
Antal zoner av denna typ 1 Förlustfaktor för köldbryggor 2.5 W/°C Regulatorvärden Typhus		<b>Omgivande ytor</b> Golv Tak Vägg 1 Vägg 2 Vägg 3 Vägg 4		
<b>Luftbehandling</b> Välj aggregat för zonen Luftbehandlingssystem		<b>Laster</b> Utrustning 1 Personlast 1 Personlast 2		<b>Interna massor</b> Möbler
Systemtyp CAV Frånluftsflode, CAV 0.3473 l/s m2 Luftförling Väl omblandad Gradient Faktor tilluft / frånluft 0 Läckageyta vid 4 Pa, 1 m ö golv 0.0044 m2 Lufthastighet i vistelsezonen 0.05 m/s		Rityta för form och placering i planet: Planritning		

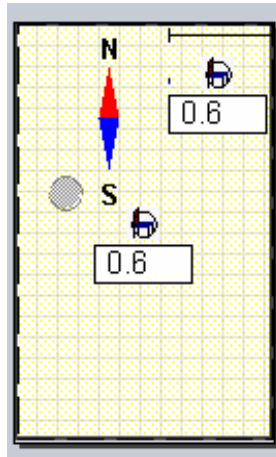
Figur 13 - Indata för en zon i IDA Klimat och Energi 3.0

Solinstrålningen är ofta avgörande för inneklimatet. 3D-modellen i IDA används för att beräkna mängden solljus som träffar ett fönster med hänsyn taget till skuggor från omgivande byggnader och solskydd vid fönstret. Även skuggning av diffust solljus beräknas, en faktor som ofta försummas men som kan ha stor inverkan på inneklimatet. IDA ger också möjlighet att räkna på helt inglasade strukturer där en del av solljuset passerar rakt igenom eller reflekteras upprepade gånger innan det når vistelsezonen (Equa, 2005).

Genom att beskriva öppningar samt byggnadens täthet, beräknas luftströmmar som drivs av vind- och självdragseffekter. Uppmätt vindhastighet och vindriktning utnyttjas för att beräkna trycket vid alla öppningar under årets alla timmar. Eftersom innetemperaturerna beräknas samtidigt, tas också självdragseffekterna med i analysen. Möjlighet finns att placera byggnaden i olika miljöer, till exempel på en slätt eller inne i en stadskärna, för att beakta de olika vindprofiler som kan förekomma (Equa, 2005).

Väderdata i IDA har hämtats från SMHI och är baserade på timmätningar. I simuleringarna har Göteborg/Säve 1977 används som klimat (Equa, 2005).

Den operativa temperaturen (OT) är medelvärdet av lufttemperaturen och strålningstemperaturen för en person med hänsyn tagen till dennes placering i rummet. I IDA kan människor placeras ut i rummet så att operativa temperaturer ska kunna mätas. Vi redovisar den operativa temperaturen för en person som sitter i högra hörnet, respektive mitt i rummet på under- respektive övervåningen, se figur 14.



Figur 14 – Placering av personer i IDA för att mäta operativa temperaturen. (IDA)

I läget i högra hörnet utsätts personen för strålning från de kalla fönsterytorna, vilket gör att den operativa temperaturen är lägre än lufttemperaturen under uppvärmningssäsongen. Den operativa temperaturen är högre under uppvärmningssäsongen om man flyttar sig längre in i rummet. Temperaturen kan också vara högre på undervåningen under uppvärmningssäsongen för hus med golvvärme på grund av strålning från den varma golvytan.

**Värmebehovet** för uppvärmning, som uttrycks i denna rapport, är ett mått på klimatskalets energitekniska egenskaper. Med byggnadens värmebehov avses, i vårt fall, den energimängd som måste tillföras för att upprätthålla en inomhustemperatur på 21°C vid ett ventilationsflöde på 0,35 l/s m<sup>2</sup>. Huset har i detta fall inget internvärmertilskott och ingen solenergi tillförs byggnaden.

För att försöka att efterlikna verkligheten redovisas även **nettovärmebehovet**. Detta är den energimängd som måste tillföras byggnaden då hänsyn tas till solinstrålning samt intern värmealstring. Den interna värmealstringen beror på brukarna, vilket beskrivs i Kapitel 6.4.

**Köpt energi för uppvärmning** är vilken energimängd som måste tillföras byggnaden för att hålla inomhustemperaturen runt 21°C. Storleken på köpt energi visar hur väl klimatskalet och de installationstekniska systemen fungerar. Då inga återvinnings-system som värmeåtervinnare eller värmepump används är nettovärmebehovet lika med den köpta energin för uppvärmning.

Den **totala köpta energin** redovisar hur mycket energi som det antagna hushållet köper under ett år, vilket inkluderar köpt energi för uppvärmning, tappvarmvatten, hushållsel samt driftsel.

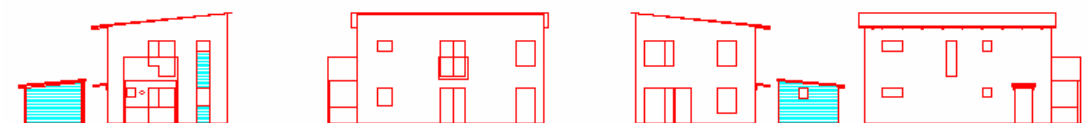
Huvuddelen av jämförelserna i denna rapport är gjorda för nettovärmebehovet och den köpta energin för uppvärmning.

## 6.3 Referensobjekt

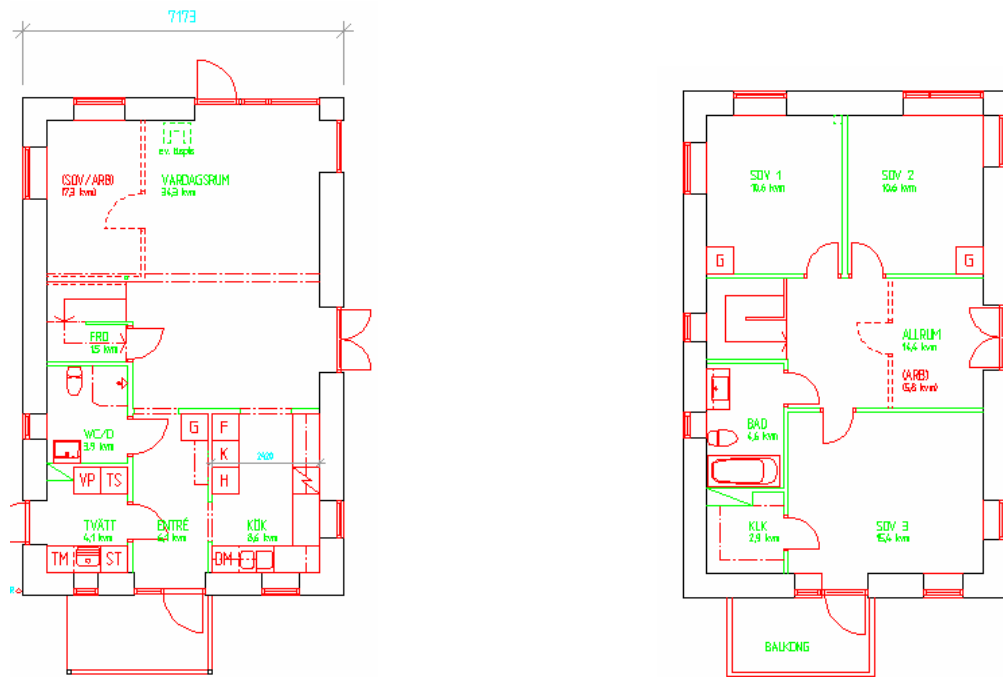
I Fågelsten, Lindome 2 mil söder om Göteborg planeras ett nytt bostadsområde. Området tillhör Mölndals kommun, en kommun som har höga krav på miljö- och energifrågor och som helst ser att fjärrvärme inte ska behöva dras till Fågelsten. Kommunen har som mål att det i nyproducerade områden bör vara energi-effektivisering och klimatskal som ska prioriteras. Uppvärmningskällan kommer i andra hand (Fred 2005). Eftersom kommunen ställer krav på byggherrarna är NCC intresserade av att ta fram ett hus med lågt värmebehov. I Mölndals energimål "God bebyggd miljö" är kravet att energianvändningen för uppvärmning och tappvarmvatten inte får överstiga 90 kWh/m<sup>2</sup>, år. Uppvärmningen planeras för fjärrvärme, men där en anslutning till fjärrvärmenätet inte är möjlig ska förnybara energislag prioriteras. Olja och eluppvärmning ska undvikas helt (Planeringskontoret m.fl., 2003). Våra simuleringar och alternativ har varit till hjälp för att åskådliggöra hur stora energibesparningar som fås i förhållande till hur stora åtgärder som görs på husen.

### 6.3.1 Referenshus

Referenshuset i denna studie är ett tvåplans enfamiljshus på 123,6 m<sup>2</sup> BOA. Under- och övervåning har lika stor area. Undre våningen har en öppen planlösning med bland annat vardagsrum och kök, övre våningen består av tre sovrum samt ett allrum, se Figur 16. Badrum finns på båda plan. Husen har träfasad och stora fönsterareor i vardagsrum och allrum. I Figur 15 ses skisser på hur husen ska se ut. Takhöjden på undervåningen är 2,5 m och på övervåningen är det snedtak med takhöjd från 2,4 m till ca 3 m. Ventilationsvolymen är totalt ca 320 m<sup>3</sup>. Referenshuset värms helt och hållet med fjärrvärme och har endast ett frånluftssystem som upprätthåller rätt antal luftomsättningar. Tilluft tas via spaltventiler i fönstren och frånluft tas ut i kök och våtrum. Spisfläkten körs separat. Golvvärmen har effekten 50 W/m<sup>2</sup> och radiatorerna på övervåningen har den sammanlagda effekten 2750 W (550 W per styck).



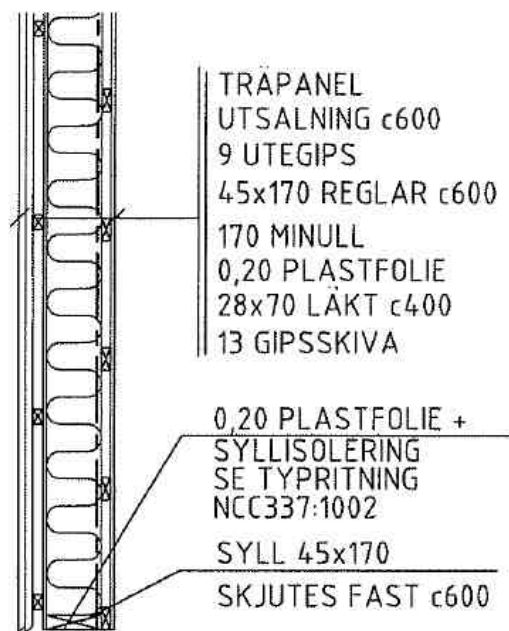
Figur 15 – Fasad, referenshuset Fågelsten



Figur 16 – Under- och övervåning, referenshuset.

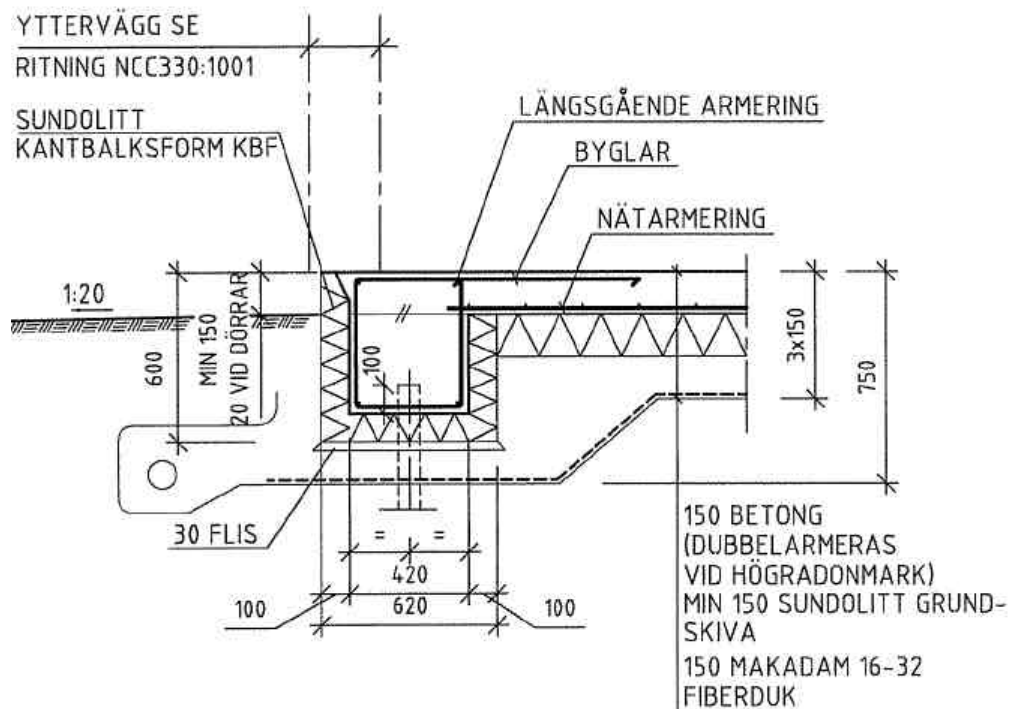
Ytterväggen är uppbyggd enligt följande: En fasad av träpanel, tunn luftspalt, vindskyddande skiva av utegips, ett isolerat regelverk med 45x170 mm regler c600, diffusionstät plastfolie, 28 mm luftspalt och invändig gips. U-värdet för konstruktionen är 0,259 W/m<sup>2</sup>K. Innerväggarna är vanliga träregelväggar med gips. Uppbyggnaden av väggen ses i Figur 17.

TYP 1 VÄGGBREDD = 220 +  
UTSALNING OCH TRÅPANEL



Figur 17 - Typritning yttervägg

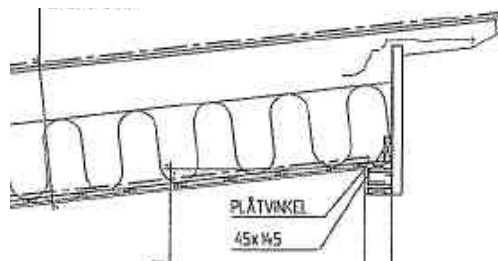
Grunden är platta på mark med cellplastisolering, se Figur 18. På sidorna och under kantbalken finns 100 mm cellplast och under resten av plattan är det 150 mm cellplast. Cellplasten kan vid behov ersättas till viss del av leca, bara U-värdet är detsamma. Under cellplasten finns 150 mm makadam. U-värdet för plattan är 0,2184 W/m<sup>2</sup>K.



Figur 18 - Typritning bottenplatta

Taket är ett låglutande plåttak med 10° lutning. Uppbygganden ses i Figur 19. Isoleringen består av 420 mm lösullsisolering.

- PLÅT
- PAPP
- 22 RÅSPONT
- 420 LÖSULL
- FACKVERKSTOLAR
- 0,20 PLATSFOLIE
- 28X70 GLESPANEL c300
- 13 GIPSPLANK



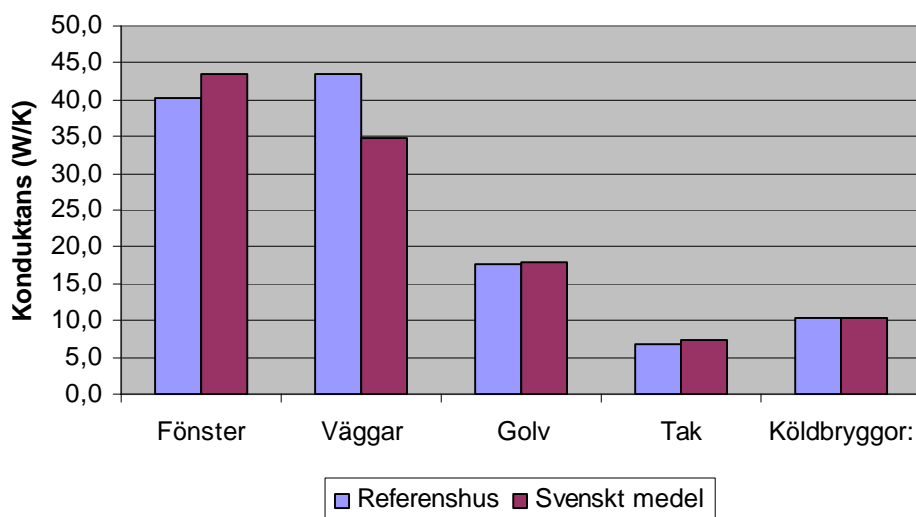
Figur 19 - Typhusritning av tak.

I Tabell 1 och Figur 20 åskådliggörs hur klimatskalet på referenshuset skiljer sig från det svenska medlet. Värdena för det svenska genomsnittshuset är hämtat från en enkätundersökning som Statens energimyndighet gjort hos svenska småhusfabrikanter (Energimyndigheten, 2001). Totalt har referenshuset ca 4 % sämre isolerat klimatskal.

Det är i väggarna som de största skillnaderna märks. Köldbryggorna har antagits vara lika stora för husen i jämförelsen, då data för detta saknas i enkätundersökningen.

Tabell 1 - Jämförelse av konstruktionsdelar.

Byggnads- element	Area [m <sup>2</sup> ]	Referenshuset			Svenskt medel 2001		
		Isoler- tjocklek (mm)	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA- värde [W/K]	Isoler- tjocklek (mm)	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]
Fönster	31,0		1,300	40,3		1,400	43,4
Väggar	167,7	170	0,259	43,4	219	0,208	34,9
Golv	80,5	150	0,218	17,6	146	0,224	18,0
Tak	82,0	420	0,082	6,7	384	0,089	7,3
Köldbryggor:				10,2			10,2
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>1,86</b>	<b>118,3</b>		<b>1,92</b>	<b>113,9</b>



Figur 20 - Jämförelse av klimatskal mellan referenshuset och genomsnittet för ett svenskt småhus 2001.

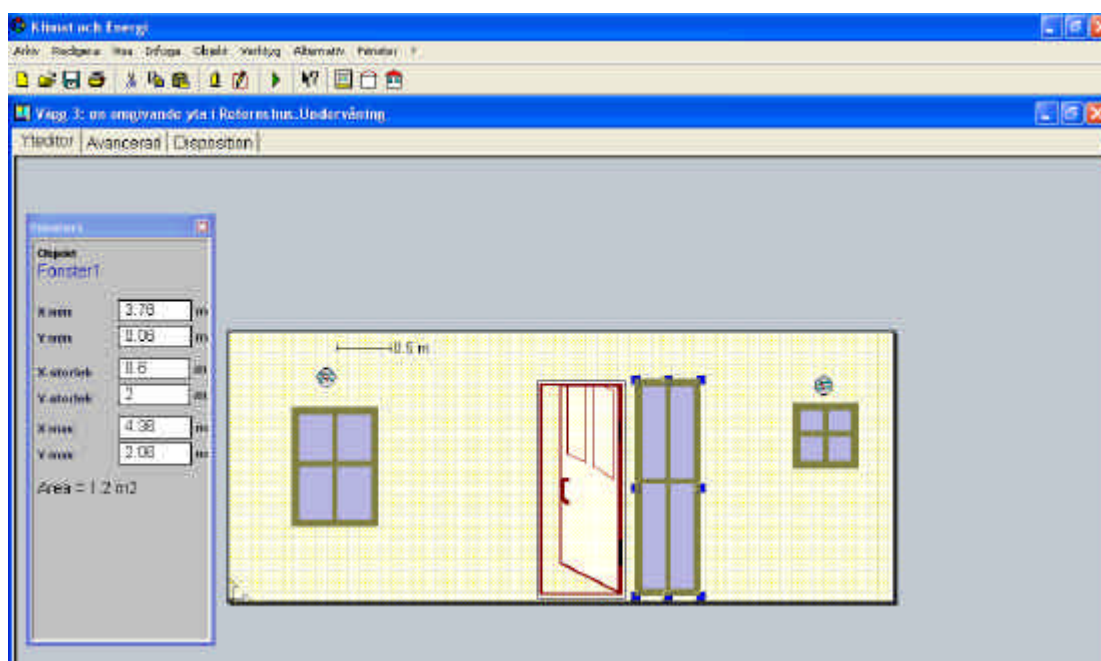
## 6.4 Simuleringsfaktorer och indata till IDA

I IDA byggs simuleringsmodellen upp genom att först redovisa de yttre måtten på byggnaden. Klimatskalkonstruktioner väljs manuellt med mått och material. IDA beräknar själv U-värden för sammansatta konstruktioner, vilket innebär att exempelvis regler betraktas i ytterväggarna. Kontroll att detta stämmer har gjorts med handberäkningar. Dock skall nämnas att en förenkling gjorts då ytterväggarna är uppdelade i flera skikt. IDA tar här ej hänsyn till hur reglarna är orienterade mot varandra i respektive skikt utan ger ett U-värde som om reglarna vore genomgående. En annan förenkling som gjorts är att ingen hänsyn till takstolarna har tagits då U-värdet för takbjälklaget beräknats. De yttre förutsättningarna väljs genom att orientera



byggnaden, välja ort och vindprofil. Byggnadens tekniska system väljs genom att ange frånluftssystem eller FTX. Radiatorer och golvvärme placeras i huset och effekter samt börvärde för lufttemperaturen väljs. För fallen med golvvärme och radiatorer styrs värmeavgivningen från dessa med rumstermostater. För fallet med endast luftvärme styrs värmeavgivningen från luftvärmaren genom en termostat i frånluften. Figur 21 visar hur en yttervägg med dörr, fönster och ventiler kan se ut i IDA

Huset har indelats i två zoner, över- och undervåning. Zonerna är helt öppna och inga innerväggar har satts in. Värmetransport mellan zonerna sker dels genom bjälklaget, men framförallt genom en öppning som skall föreställa trapphus. IDA beräknar värmeackumuleringen i bjälklag, väggar och tak men även av intern massa som möbler, vilket tagits med i beräkningarna.



Figur 21 - Bild från IDA, utplacering av fönster och tilluftsdon.

### Gemensamma förutsättningar

Nedanstående förutsättningar gäller för alla hus som analyserats i detta kapitel.

- Huset är bebott av en familj enligt simulerat boende Kapitel 6.4.
- Simuleringarna utan vädring och solavskärmning.
- Huset är placerat med entrén åt söder, vilket är värsta fallet energimässigt.
- Golvvärme i nedre våning och radiatorer på övre.
- Lika stor fönsterarea.

- Kravvärdet på inomhustemperaturen är 20°C.
- Börvärdet på inomhustemperaturen är 21°C.
- Samma mängd isolering i tak (420 mm) för alla hus.
- Ventilationsflöde: 0,35 l/s m<sup>2</sup>.
- Husen simuleras till en början med frånluftsventilation.
- Verkningsgraden för värmeåtervinnaren för husen med FTX-system är 0,82.
- COP för frånluftsvärmepumpen är 2,7.
- Ingen temperaturhöjning av luften över tilluftsfläkten.
- Till vänster om huset står en carport som är 2,5 meter hög och skuggar huset från väster. I övrigt är huset beläget med fri horisont och inga andra yttre objekt skuggar huset.
- För alternativen med FTX-system finns inga luftventiler i ytterväggarna utan luftomsättningarna sker genom styrd till- och frånluft.
- Rumstemperaturerna som redovisas är för undervåningen.
- Luftläckaget vid 50 Pa för husen är 0,44 l/s, m<sup>2</sup>

### 6.4.1 Läckage

Enligt BBR skall ”Byggnadens klimatskal vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid  $\pm 50$  Pa tryckskillnad inte överstiger 0,8 l/s m<sup>2</sup> för bostäder”.

För indata till NCC:s typhus används luftläckagedata från ett tidigare projekt kallat ”St. Jörgens Trädgård”. Läckaget för huset, med putsad fasad var 0,44 l/s m<sup>2</sup> vid  $\pm 50$ . För hus med träfasad användes mätningar från projektet ”Grupphusområde Iserås Onsala”. För detta hus är luftläckaget 0,48 l/s m<sup>2</sup>. Vid dessa projekt, där husen är snarlika referenshuset, utfördes mätningar av TFAB Termofoto. Mätosäkerheten uppskattas ligga inom intervallet  $\pm 10$  %. Som indata till IDA krävs att en läckagearea, motsvarande den ytan en skarpkantad öppning i en tunn skiva skulle behöva ha för att det uppmätta luftläckaget extrapolerat till 4 Pascals tryckskillnad skall strömma genom öppningen. Enligt ASHRAE ska kontraktionskoefficienten för luftströmningen väljas till 1.0. För ett förtydligande se Bilaga 1.

Den ekvivalenta läckagearea som beräknades på detta sätt motsvarar ett hål på 0,0088 m<sup>2</sup>. Läckagearean fördelas jämnt till de båda våningarna. För passivhuset förutsätts ett tätare klimatskal. Vi antar att luftläckaget för dessa hus är 0,3 l/s m<sup>2</sup>, vilket motsvarar medelvärdet av de luftläckage som uppmättes i Lindås. Värdet baseras på mätdata från sex av lägenheterna (Ruud och Lundin, 2004).

Förutom tryckskillnader över klimatskalet på grund av temperaturskillnad i inom- och utomhusluften, samt den tryckskillnad ventilationssystemet ger upphov till, påverkar även vinden tryckbild. I simuleringarna har byggnaden placerats i en tätortsmiljö vid beräkningar av vindpåverkan.

## 6.4.2 Köldbryggor

Hänsyn tas i simuleringarna till köldbryggor, något som ofta försummas vid energiberäkningar (Anderlid, Stadler, 2004).

Med köldbryggor avses i denna rapport de konstruktiva delar som inte räknas med när U-värden för väggar, tak och grund beräknas i IDA. Köldbryggor ger extra värmeläckage på grund av att delar i den bärande strukturen bryter det värmeisolerande skiktet. (De kan också ge extra värmeförluster av geometriska skäl, exempelvis vid hörn.) BBR, Boverkets byggregler säger i kravtext att inverkan av köldbryggor skall beaktas. I handboken "Termiska beräkningar" tolkar Boverket detta krav så att det står byggherren fritt att välja hur denne vill räkna in köldbryggorna i  $F_s$  eller ej. Boverket har aviserat att till nästa revidering avses att införa krav för köldbryggor (Anderlid, Stadler, 2004). Köldbryggor påverkar inte bara energianvändningen utan kan också innebära fuktproblem och smutsavsättningar.

För beräkning av köldbryggor för de olika husen har Swedisols beräkningsmetoder från "Isolerguiden 04" använts. Beräkningsmetoden bygger på standarderna SS-EN ISO 10211-1, SS-EN ISO 10211-2 samt SS-EN ISO 14683. Metoden gör det enkelt att jämföra olika konstruktioner och isoleringstjocklekars effekt på köldbryggor. Isolerguiden utnyttjas även som hjälpmedel för beräkningar vid tekniska högskolor (Anderlid, Stadler, 2004).

De detaljer för vilka effekten av köldbryggor studerats är:

- Kantbalk
- Anslutning mellan takbjälklag och yttervägg
- Anslutning mellan fönster och stomme i putsad- respektive träfasad
- Ytterväggshörn

Beräkningarna som ligger till grund för värmeförlusterna som uppkommer till följd av köldbryggor finns i Bilaga 2.

## 6.4.3 Fönster

Fönsterdata till simuleringarna kommer från Elitfönster AB. Det finns mängder av fönster på marknaden med olika egenskaper, men eftersom Elitfönster är leverantör till NCC har vi begränsat oss till dessa.

I IDA anges U-värde för glaset och karmen separat men i simuleringarna har en förenkling gjorts där karm och glas har samma U-värde. U-värde i simuleringarna varierar mellan 1,0-1,3 W/m<sup>2</sup>K och solfaktorn varierar mellan 0,56-0,50.

## 6.4.4 FTX

Husen simuleras med ett FTX-system med verkningsgrad 0,82. Denna verkningsgrad gäller för alla utomhustemperaturer. Egentligen är verkningsgraden bättre när det är varmare ute, då värmeåtervinnaren vid kalla temperaturer kan behöva avfrostas. FTX-aggregaten som har använts är Temovex 250. Verkningsgraden för detta aggregat ligger mellan 0,76 och 0,85 enligt mätningar från SP beroende på temperatur och fuktighet. Genom samtal med Peter Håkansson på Temovex togs värdet 0,82 fram, som ett genomsnitt för Göteborgsklimatet. Verkningsgraden har med detta värde inte överskattats, enligt Temovex. Driftelanvändningen för detta system har antagits vara lika stor som för frånluftssystemet. Hade en högre elanvändning använts för FTX skulle detta leda till högre temperaturer i tilluften, eftersom all el blir värme. All värme behöver dock inte tillföras bygganden. Temperaturhöjningen över tilluftsfläkten är satt till noll i simuleringarna eftersom en högre elanvändning för FTX-systemet inte antagits.

## 6.4.5 Värmepump

I IDA finns ingen värmepumpsmodell. Beräkningar för detta har därför gjorts separat i Excel. Effekterna för uppvärmning per timme har använts från programmet.

Värmepumpen som används är IVT 490 och den har en värmepumpseffekt på 1,7 – 2,0 kW beroende på luftflöde och lufttemperatur. Genom samtal med Urban Kronström på IVT diskuterades fram att till vårt hus, med vår luftomsättning, kunde pumpen leverera ca 1,7 kW. I första hand tillgodoses värme till tappvarmvattnet. IVT brukar räkna på att värmepumpen levererar 0,6 – 0,7 kW kontinuerligt till tappvarmvattnet. Då IVT räknar med en högre tappvattenanvändning enades vi om att 0,4 kW var rimligt. Kvar finns alltså 1300 W att tillgodose uppvärmningsbehovet med.

Kompressorn har en effekt på 0,5 – 0,7 kW och COP (värmefaktorn för pumpen) ligger mellan 2,5 – 3,0, enligt IVT. IVT tyckte det var rätt att räkna med ett COP på 2,7 i genomsnitt. Detta ger att kompressorn har en effekt på  $1,7/2,7 = 0,63$  kW. För att ytterligare förklara hur beräkningarna gick till, ges ett beräkningsexempel i Tabell 2. I den riktiga beräkningen användes värden för årets alla 8760 timmar. Hur beräkningen går till ses i diagramform i Figur 22.

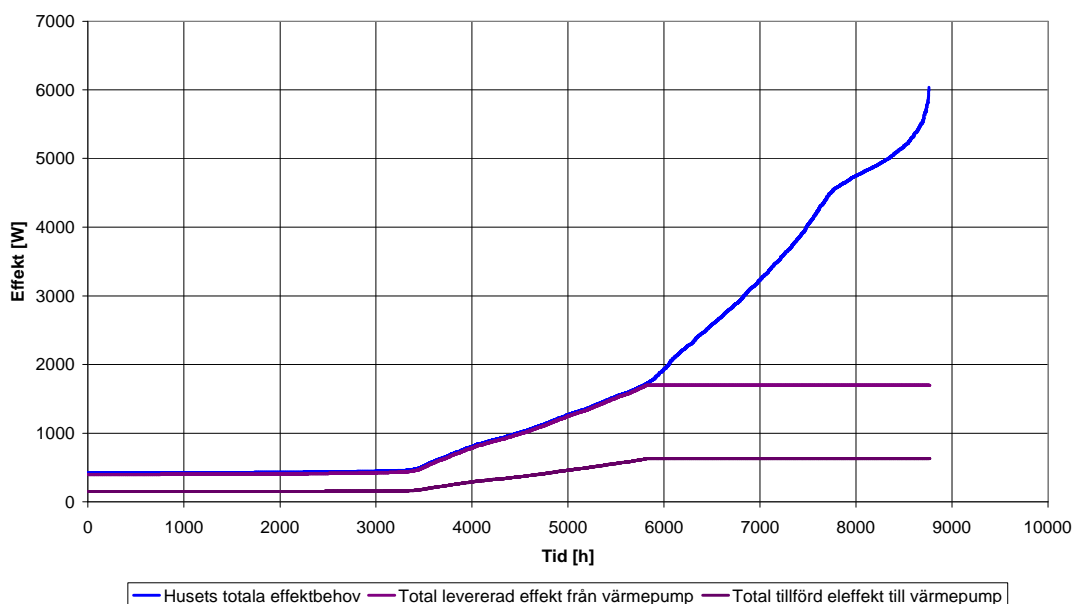
Tabell 2 - Exempel på beräkning för värmepumpens tillförda och avgivna medeleffekt under två timmar.

Effektbehov för uppvärmning [W]	Avgiven effekt från VP [W]	Driftel till VP [W]	Behov av tillskottsenergi [W]
2500	1300	$1300/2,7 = 481$	$2500 - 1300 = 1200$
500	500	$500/2,7 = 185$	$500 - 500 = 0$
<b>Summa: [kWh]</b>	1,8	0,666	1,2

Tappvarmvattenanvändningen är för huset  $30 \text{ kWh/m}^2 \times 123,6 \text{ m}^2 \sim 3700 \text{ kWh}$ . Värmepumpen levererar i vår beräkning kontinuerligt  $400 \text{ W}$ , vilket innebär att värmepumpen bidrar med  $0,4 \times 8760 = 3504 \text{ kWh}$  till tappvarmvattnet. För detta krävs  $3504/2,7 = 1298 \text{ kWh}$  tillförd elenergi. Dessutom krävs  $3700 - 3504 = 196 \text{ kWh}$  som tillskott från fjärrvärme eller elpatron. Beräkningen för varmvattnet åskådliggörs i Tabell 3.

Tabell 3 - Exempel på beräkning för värmepumpens tappvarmvattensbidrag.

Behov per år [kWh]	Energi från VP [kWh]	Tillförd elenergi till VP [kWh]	Tillskottsenergi [kWh]
3700	$400 \cdot 8760 = 3504$	$3504/2,7 = 1298$	$3700 - 3504 = 196$



Figur 22 - Exempel på hur värmepumpsberäkningen går till. I diagrammet ses hur den maximala effekten uppvärmning är  $1300 \text{ W}$ . I husets totala effektbehov ingår uppvärmning och tappvarmvatten. Exemplet är taget från referenshuset med frånluftsvärmepump.

### 6.4.6 Simulerat boende

Husen som analyserats har simulerats med en familj bestående av två vuxna och två barn. Brukarprofilen till detta fall användes även till mätningar som gjordes på Lindåshuset. Vi valde Lindås brukarprofil för att kunna jämföra våra simuleringar med de uppmätta värdena i Lindåshuset (Ruud, Lundin 2005). I Tabell 4 kan ses hur effektfördelningen ser ut under ett dygn. Brukarprofilen antas vara likadan alla dagar i veckan, hela året.

Vi delade själva upp internvärmetskottet från Lindåsmätningarna i personvärme och värme från apparater eftersom det inte hade gjorts för Lindåsprofilen. Brukarna

förutsätts ha energisnåla vitvaror. Till hjälp för detta använde vi Maria Wall och Johan Smeds rapport "Internal Gains – Assumptions for simulations 2001".

Tabell 4 - Brukarprofil från Lindåshusen (Wall, 2004)

	Från	Till	Kök [W]	Mat plats [W]	Vard rum [W]	Föräldrars sovrum [W]	Barn sov [W]	Barn sov [W]	Effekt, [W]	Energi, [kWh]
<b>Natt 1</b>	00:00	06:00	60			140	40	40	<b>280</b>	1,68
<b>Morgon</b>	06:00	08:00	240	220	60	60	40	40	<b>660</b>	1,32
<b>Dag</b>	08:00	18:00	60	60	60	60	60		<b>300</b>	3
<b>Kväll</b>	18:00	22:00	300	200	200		60	60	<b>820</b>	3,28
<b>Natt 2</b>	22:00	00:00	60			140	40	40	<b>280</b>	0,56
									<b>KWh/dygn</b>	<b>9,84</b>

Tabell 5 - Avgivna effekter uppdelade på hushåll och människor.

Effekter [W]:								
	Från	Till	Undervåning			Övervåning		
			Hushåll	Människor	Totalt	Hushåll	Människor	Totalt
<b>Natt 1</b>	00:00	06:00	60	0	<b>60</b>	20	200	<b>220</b>
<b>Morgon</b>	06:00	08:00	220	300	<b>520</b>	40	100	<b>140</b>
<b>Dag</b>	08:00	18:00	180	0	<b>180</b>	120	0	<b>120</b>
<b>Kväll</b>	18:00	22:00	400	300	<b>700</b>	20	100	<b>120</b>
<b>Natt 2</b>	22:00	00:00	60	0	<b>60</b>	20	200	<b>220</b>

Tabell 6 - Värmeavgivning hushållsel

			Antal tim	Effekt			Energi	
				Under-våning [W]	Över-våning [W]	Totalt [W]	[kWh]	
<b>Natt 1</b>	00:00	06:00	6	60	20	80	<b>480</b>	
<b>Morgon</b>	06:00	08:00	2	220	40	260	<b>520</b>	
<b>Dag</b>	08:00	18:00	10	180	120	300	<b>3000</b>	
<b>Kväll</b>	18:00	22:00	4	400	20	420	<b>1680</b>	
<b>Natt 2</b>	22:00	00:00	2	60	20	80	<b>160</b>	
<b>Summa:</b>							<b>5,84</b>	<b>kWh/dygn</b>
<b>Per år:</b>							<b>2132</b>	<b>kWh/år</b>
<b>Bostadsarea:</b>							<b>123,6</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Värmetillskott:</b>							<b>17,25</b>	<b>kWh/år m<sup>2</sup></b>
<b>Förlustfaktor:</b>							<b>0,7</b>	
<b>Hushållsel:</b>							<b>25</b>	<b>kWh/år m<sup>2</sup></b>

Värdena i Tabell 4 inkluderar personvärme, aktiviteter samt belysning och är den värmeenergi som tillförs rummet. Effekterna i Tabell 4 har delats upp på människor och hushåll, vilket ger Tabell 5, som används till indata i IDA. Hushållselen kan från detta delas upp Tabell 6.

Värdena i Tabell 6 är den värmeenergi som tillförs rummen. All elenergi omvandlas till värmeenergi men all värme kan inte tillföras byggnaden. I genomsnitt blir 70-75 % av elenergin värme (Ruud 2005, Wall 2001) Det beror på att för tvättmaskin, diskmaskin och ugn sker förluster av värme genom avlopp och spisfläkt. I dessa fall tillförs endast 20 – 30 % av värmeeffekten rummet. För övriga apparater såsom kyl, frys, lampor, TV etc. blir 100 % av elenergin värmeenergi som tillförs rummet. (Wall, 2001) I simuleringen har 70 % antagits, för att inte överskatta internvärmestillskottet från apparater. Eftersom effekterna som presenteras beskriver den värme som avges från elanvändningen genom att dividera med 0,70. Hushållselen blir således 25 kWh/m<sup>2</sup>, vilket är lika hög användning som ges i Wall och Smeds rapport. I den rapporten förutsätts att brukarna har energisnåla vitvaror. Avgiven värme från tappvattnet har försumrats i beräkningarna.

Driftel till fläktar och pumpar antas vara 5 kWh/m<sup>2</sup> och år och blir för ett år 618 kWh (Wijk, 2005). Driftselen antas inte heller avge någon värmeeffekt till rummet. Vi har valt att använda samma användning i alla husen, trots att de olika installationsalternativen skiljer sig något sinsemellan.

Värmeavgivningen från människor kan betraktas som ”gratis”-energi och ses i tabell 7.

**Tabell 7 - Värmeavgivning från människor.**

Människor								
				Effekt			Energi	
			Antal tim	Under-våning	Över-våning	Totalt		
<b>Natt 1</b>	00:00	06:00	6	0	216	216	<b>1296</b>	
<b>Morgon</b>	06:00	08:00	2	324	216	540	<b>1080</b>	
<b>Dag</b>	08:00	18:00	10	0	0	0	<b>0</b>	
<b>Kväll</b>	18:00	22:00	4	324	108	432	<b>1728</b>	
<b>Natt 2</b>	22:00	00:00	2	0	216	216	<b>432</b>	
<b>Summa:</b>							<b>4,54</b>	<b>kWh/dygn</b>
<b>Per år</b>							<b>1655,64</b>	<b>kWh/år</b>

I IDA tas hänsyn till hur kroppen reagerar på lufttemperaturen. Därför varierar den avgivna personvärmen under året. Personvärmen beräknas i programmet enligt standarden ISO 7730. (Hans Johnsson 2005) Detta gör att mer effekt avges då temperaturerna är lägre inne. Detta ger i sin tur att vi får ett vinter- och sommarfall med en jämn övergång. Skillnaderna mellan fallen är dock inte speciellt stora.

De antagna värdena för hur mycket energi brukarna i rapporten skulle använda sig av är något lägre än vad de troligtvis skulle använda i verkligheten. Detta har gjorts för att undvika att det beräknade nettovärmebehovet blir lägre än i verkligheten.

Innan Lindåshuset byggdes gjordes energiberäkningar programmet DEROB. I dessa simuleringar användes ett internvärmestillskott på 12,7 kWh/dygn på vintern och 11,9 kWh/dygn på sommaren. Energianvändningen blev dock högre än beräknat i dessa hus, varför antagandet förmodligen var något för högt (Boström m.fl., 2003).

## 7 Resultat av simuleringarna

*I detta kapitel redovisas vilka resultat som kommit fram genom simuleringarna. Kapitlet är uppdelat på tre delar. I första delen analyseras klimatskalet. I andra delen analyseras referenshuset som används i studien. Vidare simuleras här även olika förbättringsförslag som skulle vara aktuella för produktion. I tredje delen optimeras huset till att bli ett så kallat passivhus.*

### 7.1 Parameterstudie av hur respektive byggnadsdels U-värde påverkar byggnadens totala energibehov

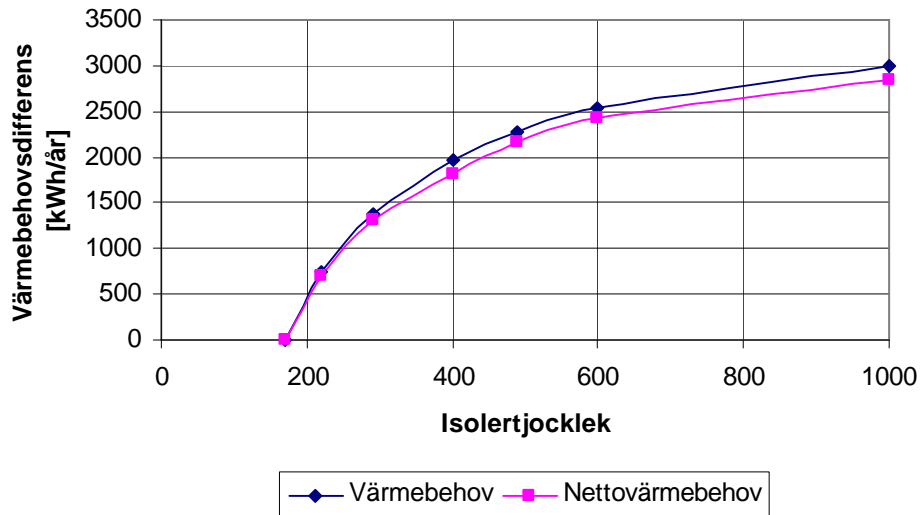
För att bygga en energisnål byggnad är det viktigt att veta hur en ändring av klimatskalets olika delar påverkar det totala värmebehovet. Ska till exempel isolertjockleken i väggarna ökas eller är det bättre att satsa på lågenergifönster för att sänka värmebehovet? De delar som har studerats är väggar, fönster, grund och tak.

Utgångspunkten har varit referenshuset med 170 mm isolering i väggar, 150 mm under bottenplatta och 420 mm i taket. U-värdet för fönstren är  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ . På övervåningen tillförs värme genom radiatorer och på undervåningen genom golvvärmeslingor. Simuleringarna är gjorda för ett år. Värmebehovet för referenshuset är **18202** kWh/år utan hänsyn tagen till internlast och solinstrålning. Jämförelser har även gjorts då internlasterna och solinstrålning har tagits med. Detta kallas i rapporten för nettovärmebehovet och är för referenshuset **11320** kWh/år. I kapitlet åskådliggörs i diagramform vilka energibesparingar som görs under ett år genom att förbättra respektive konstruktionsdel. I alla simuleringar under kapitel 7 har värdet för transmissionen genom köldbryggor varit det samma. Värdet för köldbryggor har tagits från referenshuset och denna faktor har inte korrigerats när vidare förändringar av konstruktionerna gjorts. Köldbryggorna tas hänsyn till i Kapitel 7.2.

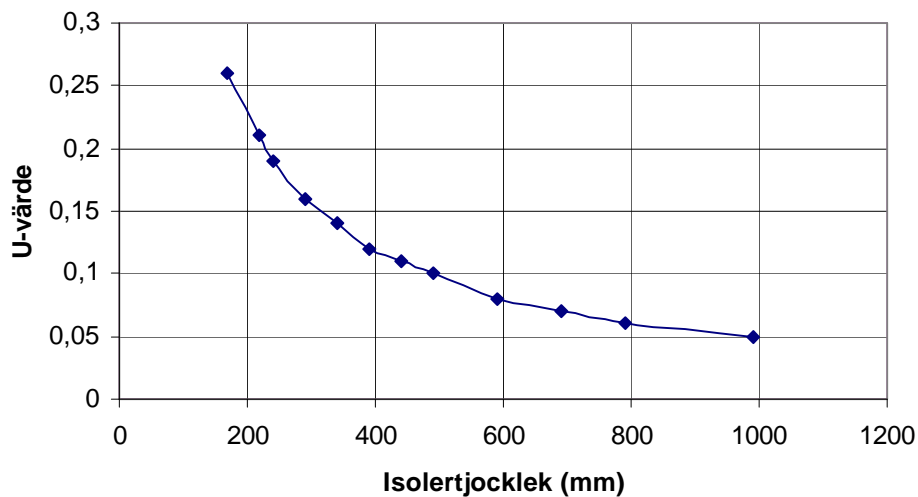
#### 7.1.1 Analys av isolertjocklek i yttervägg

Isolermaterialet består av mineralull som är placerat i en regelkonstruktion. Mineralullen har värmeledningsförmågan  $0,036 \text{ W/mK}$  och trä har värmeledningsförmågan  $0,14 \text{ W/mK}$ . Genom att öka isoleringen i väggen sker till en början en relativt stor minskning av energin till uppvärmning för varje steg som isolertjockleken ökas, se Figur 23. Väggens andel av den totala omslutningsarean är 46 %, vilket innebär att förändras isolertjockleken i väggen ger det stor påverkan för husets värmebehov. Energibesparingen minskar sedan gradvis för varje förbättringssteg, vilket beror på att U-värdet för väggen inte följer tjockleken på väggen linjärt, se Figur 24. Detta beror i sin tur på att för att åstadkomma en halvering av U-värdet så krävs dubbelt så tjock isolering. Minskningen i värmebehov följer inte samma mönster. Genom att öka isolertjockleken från 200 mm till 400 mm sparas 1500 kWh. Att vidare öka från 400 mm till 800 mm, alltså ännu en dubbling av isolertjockleken, sparar endast 500 kWh.





Figur 23 – Diagram över hur värmebehovet minskar med ökande vägg tjocklek. Utgångspunkten är referenshuset med 170 mm isolering i regelväggskonstruktion.



Figur 24 - Samband mellan U-värde och isolertjocklek i yttervägg.

Att minskningen av värmebehovet inte sker i samma takt som minskningen i U-värde beror på att övriga konstruktionsdelars U-värde och areor får större inverkan i energibalansen.

Detta kan förklaras genom att studera exemplet nedan. UA-värdet beskriver konduktansen för värmeflöde och har enheten W/K. Väggs area och övriga delars areor antas här vara lika stora.

$UA_{\text{vägg}}$  = konduktansen för väggen

$UA_{\text{övrigt}}$  = konduktans för övriga konstruktionsdelar (grund, tak och fönster)

$$(UA_{\text{vägg}} + UA_{\text{övrigt}}) = 2UA$$

Halvering av väggen U-värde ger 25 % lägre värmefflöde.

$$\left(\frac{UA_{\text{vägg}}}{2} + UA_{\text{övrigt}}\right) = 1,5UA$$

Ytterligare en halvering av väggens U-värde ger 17 % lägre värmefflöde.

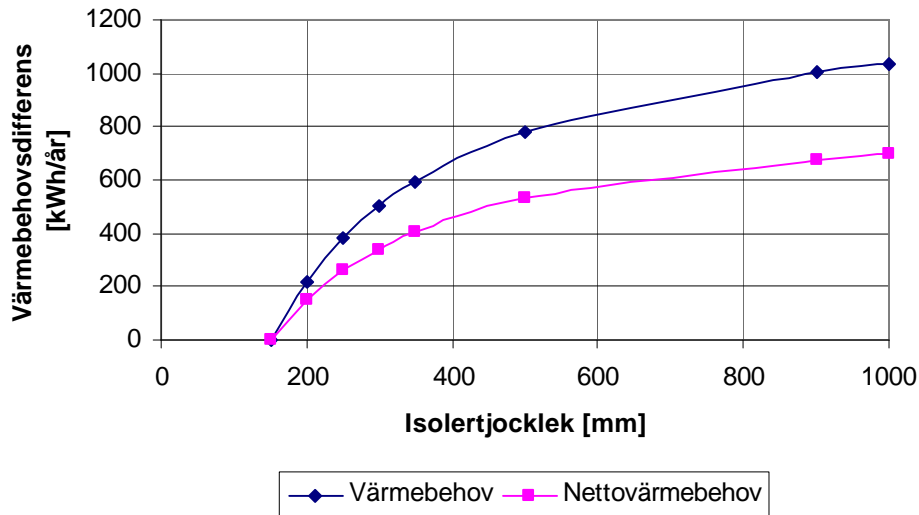
$$\left(\frac{UA_{\text{vägg}}}{4} + UA_{\text{övrigt}}\right) = 1,25UA$$

Ovanstående är bara ett exempel för att visa varför minskningen i värmebehov avtar med lägre U-värde. Detta gäller även för grund, tak och fönster som analyseras senare.

En förenkling som gjorts är att väggen endast består av en regelkonstruktion, där reglarna är 45 mm tjocka. Det medför att reglarna är genomgående och ger ett högre totalt U-värde än om det varit uppdelat på exempelvis två regelkonstruktioner. En annan möjlighet vid större isolertjocklekar är att dela upp isoleringen på både mineralull och cellplast. Cellplasten bidrar till att andelen träreglar kan minska eftersom cellplasten är ett fast material som inte behöver stabiliseras med hjälp av en regelkonstruktion. Uppdelningen medför därför att ett bättre U-värde fås eftersom andelen trä minskar. En simulering gjordes med en isolertjocklek på 490 mm enligt samma uppbyggnad som för passivhuset i kapitel 7.3. Effekten av att använda mer cellplast i väggarna gav här en ytterligare en sänkning av värmebehovet med cirka 200 kWh under ett år, jämfört med ett hus med enbart mineralullsisolering i regelkonstruktion. Skulle även en minskning av köldbryggor, samt en förbättring av tätheten beaktats skulle värmebehovet ha sänkts ytterligare.

## 7.1.2 Analys av isolertjocklek under platta

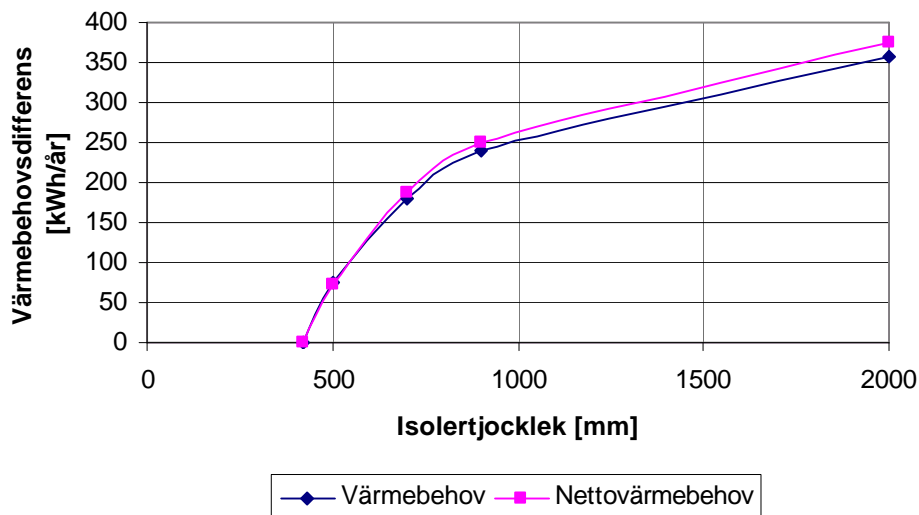
Att öka isoleringen under plattan ger inte lika stor minskning av värmebehovet som att öka isoleringen i exempelvis väggarna. Detta beror på att golvet area är mindre än väggarna totala areor. Tendensen är dock likadan, de första ökningarna av isolertjockleken ger störst besparing. För grunden ses en brytpunkt vid cirka 300 mm. För grunden är sänkningen av värmebehovet i det teoretiska fallet större än för fallet då det tas hänsyn till internlast och solinstrålning. Orsaken är att fallen simuleras med golvvärme. För att hålla 21°C inomhus krävs att golvvärmeslingorna avger mer effekt då inga internlast finns. Golvet får i denna simulering högre temperatur under längre tid, vilket medför högre värmeförluster genom plattan. Hade huset istället haft radiatorer på undervåningen skulle inte differensen ha varit lika stor.



Figur 25 - Diagram över hur värmebehovet minskar med ökande isoleringstjocklek under plattan. Utgångspunkten är referenshuset med 150 mm cellplastisolering.

### 7.1.3 Analys av isolertjocklek i takbjälklag

Att öka isoleringen i takbjälklaget, jämfört med referenshuset, ger ingen större minskning av värmebehovet. Även här beror det på att takbjälklaget står för en förhållandevis liten del av den totala omslutningsarean, men framförallt beror det på att takbjälklaget redan är relativt välisolerat.

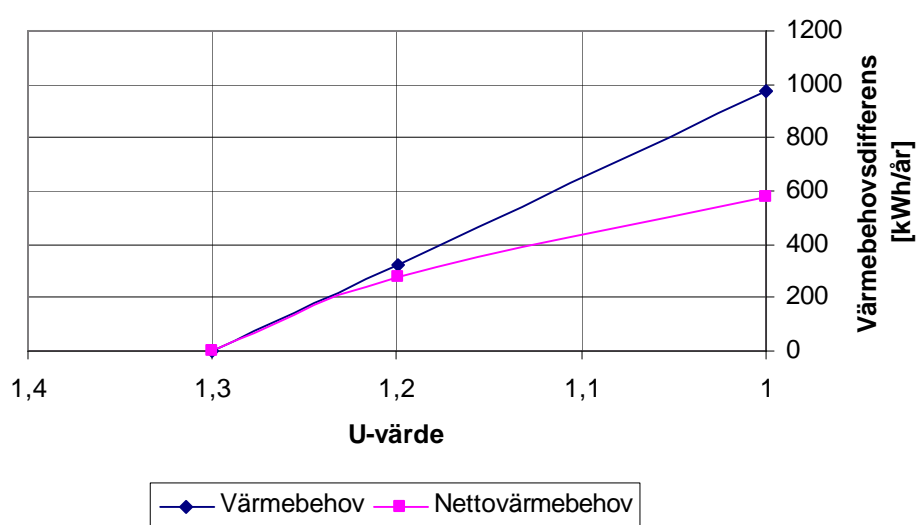


Figur 26 - Diagram över hur värmebehovet minskar med ökande isoleringstjocklek i på takbjälklaget. Utgångspunkten är referenshuset med 420 mm lösullsisolering.

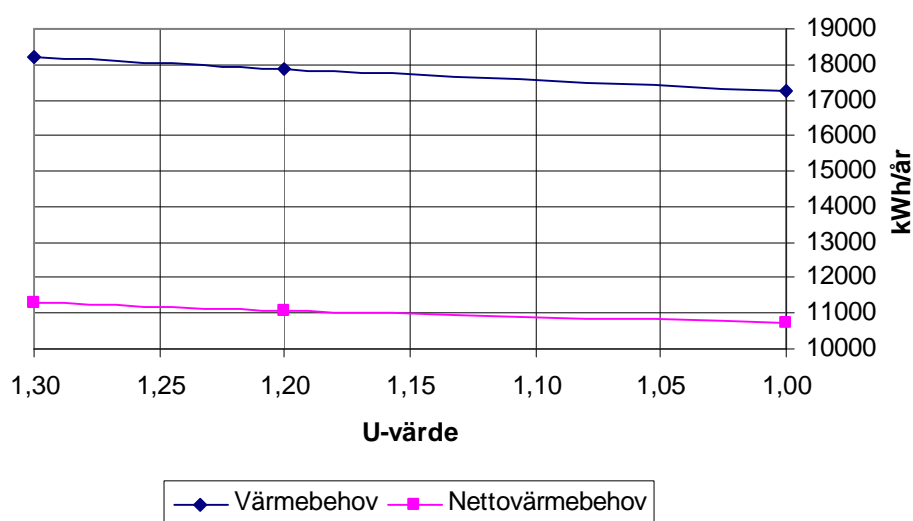
## 7.1.4 Analys av fönster

För fönster ses en stor skillnad om simuleringarna tar hänsyn till solinstrålning och internlaster eller ej. I fallet utan sol är det endast fönstrets isolerande egenskaper, det vill säga U-värdet som påverkar resultatet. Men eftersom fönster med lägre U-värde även släpper in mindre mängd solenergi simulerades även detta med solinstrålning samt internlaster enligt vår brukarprofil. Transmissionsförlusterna minskar men det gör även mängden gratisenergi som kommer in i huset. Detta gör att den faktiska minskningen av värmebehovet inte blir så stor som den skulle bli i teorin. Faktorerna som använts i simuleringarna är glasets U-värde och solfaktor. Resultaten åskådliggörs i Figur 27 och Figur 28.

De fönster som analyserats kommer från Elitfönster, se bilaga 3.



Figur 27 - Diagram över hur värmebehovet minskar för fönster med bättre U-värde.



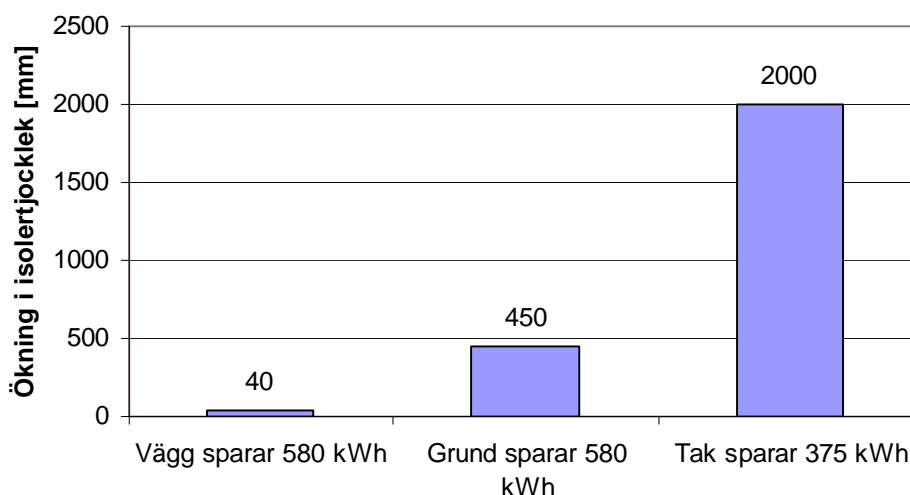
Figur 28 - Värmebehov för fönster med olika U-värden.

### 7.1.5 Resultat av klimatskalsändringar

De största energibesparingarna, som görs med rimliga konstruktionsändringar, fås genom att förbättra väggarna. Att väggarna står för så stor del beror på att de har en stor omslutningsarea, samt att de i referenshuset är dåligt isolerade. Tak och grund står inte för lika stor andel av omslutningsarean och minskar således inte värmebehovet i lika hög grad för samma ökning av isolering som i väggarna. Att förbättra isoleringen på takbjälklaget gör för referenshuset inte så stor skillnad i värmebehov, dock kan isoleringen under plattan förbättras.

När isoleringen under plattan ökas från 150 mm till 350 mm minskar nettovärmebehovet med ca **400 kWh/år**. Denna förbättring är lätt att åstadkomma och förmodligen inte så kostsam, men ger heller inte någon större reduktion av uppvärmningsbehovet. Då fönstrens U-värde ändras från 1,3 till 1,0 i sker en minskning av nettovärmebehovet med ca **580 kWh/år**. När ytterväggarnas isolertjocklek ökas från 170 mm till 490 mm sparas **2170 kWh/år**. Att öka isoleringen i taket från 420 mm till 700 mm ger en minskning av nettovärmebehovet med **187 kWh** under ett år.

Genom att förbättra fönstrens U-värde, från 1.3 till 1.0 W/m<sup>2</sup>K minskar, som tidigare nämnts, nettovärmebehovet med 580 kWh/år. I Figur 29 har vi utgått från detta värde för att se hur mycket de övriga konstruktionsdelarna behöver förbättras för att åstadkomma en lika stor minskning av värmebehovet. Att öka isolertjockleken i plattan med cirka 450 mm ger till exempel samma energibesparing som att öka isolertjockleken i väggarna med 40 mm. I takbjälklaget är det praktiskt omöjligt att spara så mycket som 580 kWh, att isolera med exempelvis 2 m lösullsisolering ger endast en sänkning med 375 kWh/år.



Figur 29 - Varierande ökning av isolering för att åstadkomma en total minskning av köpt energi för uppvärmning på 580 kWh. Jämförelsen är gjord för nettovärmebehovet.

## 7.2 Analys och vidareutvecklingar av referenshuset

I detta kapitel analyseras, ur energisynpunkt och med hänsyn till termisk komfort, referenshuset. Referenshuset jämförs sedan med ett antal alternativ som tagits fram i samarbete med NCC.

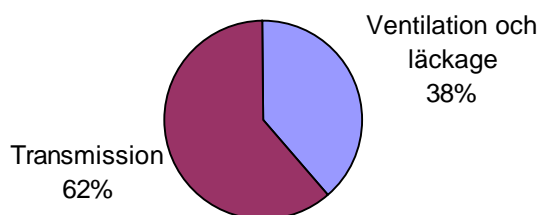
En del i examensarbetet består av att utvärdera ett typhus från NCC och studera vilken energianvändning detta har. Genom olika konstruktionslösningar förbättras referenshuset och känslighetsanalyser görs. Konstruktionslösningarna som analyserats kommer från förslag som har utarbetats tillsammans med NCC och som kan vara aktuella att bygga. Även olika uppvärmningssystem och ventilationssystem har simulerats. Dock ligger tyngdpunkten på klimatskalet eftersom vi anser att det är den primära delen att få ner energibehovet för byggnaden, hur energin sedan tillförs är en senare fråga.

Husen som analyserats har delats in i fyra olika grupper; A, B, C och D, där indelningen är gjord efter vägguppbyggnaden. Hustyperna har simulerats med ändringar av isolertjocklekar i platta samt med olika U-värden på fönstren. Vidare har även husen simulerats med frånluftsvärmepump och FTX-system. En frånluftsvärmepump minskar andelen köpt energi, både för uppvärmning och för tappvarmvatten. FTX-systemet minskar däremot värmebehovet, men kräver också extra energi för drift.

Den första analysen som görs på husen redovisar hur värmeförlusterna fördelas. De delas upp i transmissionsförluster, ventilationsförluster samt värmeförluster på grund av läckage. Förlusterna redovisas för årets kallaste månad, februari. I den andra analysen redovisas energianvändningen för de olika hustyperna. Här beskrivs byggnadens värmebehov, nettovärmebehov samt totala energianvändning. I tredje analysen redovisas det termiska inomhusklimatet för de olika hustyperna.

### 7.2.1 Analys hustyp A (Referenshuset)

Hustyp A är det hus som NCC bygger idag och som beskrivs i Kapitel 6.3. Hur transmissions- och ventilationsförluster är fördelade beskrivs i Figur 30. Huset är försett med frånluftsventilation och spaltventiler. I programmet går det inte att särskilja om luften kommer in via otätheter eller via spaltventilerna, varför ventilations- och läckageförlusterna är sammanslagna.



Figur 30 - Uppdelning av värmeförlusterna för Hustyp A under februari.

För att skapa sig en bild av hur transmissionsförlusterna fördelas redovisas hur mycket av transmissionsförlusterna som går genom respektive konstruktionsdel. För referenshuset sker de största förlusterna genom väggar och fönster, vilket visas i Tabell 8.

Tabell 8 Uppdelning av transmissionsförluster för hustyp A.

Byggnadselement	Area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]	Procent av transmissionsförlusterna
Fönster	31,0		1,300	40,3	34%
Väggar	167,7	170	0,259	43,4	37%
Golv	80,5	150	0,218	17,6	15%
Tak	82,0	420	0,082	6,7	6%
Köldbryggor:				10,2	9%
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>0,327</b>	<b>118,3</b>	<b>100%</b>

Köldbryggorna är av betydande storlek, något som ofta försummas vid beräkning av en byggnads värmebehov. Beräkningar av köldbryggor, samt hur dessa fördelas på konstruktionen, redovisas i Bilaga 2.

### Energianvändning referenshuset

Värmebehovet för referenshuset är **18200** kWh per år. Den totala köpta energin blev för referenshuset **18740** kWh, varav energin för uppvärmning stod för **11320** kWh. För referenshuset med frånluftsvärmepump blev den totala köpta energin **13180** kWh och för fallet med FTX blev den totala köpta energin **14380** kWh. I Tabell 9-11 åskådliggörs hur energin fördelas för varje fall.

Tabell 9 - Energianvändning Hustyp A frånluftsventilation.

Hustyp A med F		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	<b>18202</b>	147,3
Nettovärmebehov[kWh]	<b>11320</b>	91,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>11320</b>	91,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>18736</b>	151,6

Tabell 10 - Energianvändning för Hustyp A med frånluftsvarmepump.

Hustyp A med FLVP		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11320</b>	91,6
Energi från VP [kWh]	-5327	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1973	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>7966</b>	64,5
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Energi från VP till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1298	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1502</b>	12,2
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	<b>13176</b>	106,6

Tabell 11 – Energianvändning för Hustyp A med FTX

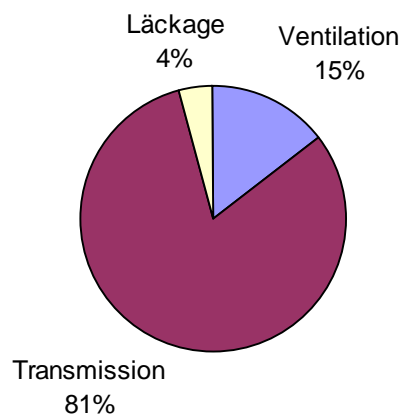
Hustyp A med FTX		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11073</b>	89,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6967</b>	56,4
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	<b>14383</b>	116,4

En simulering gjordes då endast isoleringen under plattan förbättrades, se Bilaga 4. Detta sänker inte bara transmissionsförlusterna genom plattan, utan ger även en betydande sänkning av köldbryggorna runt kantbalken. Denna förbättring ger en sänkning av nettovärmebehovet med **250 kWh**.

Att nettovärmebehovet för Hus A utrustat med FTX, enligt Tabell 11, är något lägre än för Hus A utrustat med frånluftsventilation beror på att det för hus med FTX-aggregat inte finns några tilluftskanaler i form av spaltventiler. Här kommer istället luften in via styrd tilluft och endast en öppning. Ett hus med spaltventiler ger vid vindpåverkan upphov till högre förluster via läckage eftersom vinden kan göra så att mer luft strömmar in än vad som sker vid styrd tilluft.

Installeras ett FTX-aggregat ändras fördelningen av värmeförlusterna. Ett FTX-aggregat återvinner energi ur frånluften vilket gör att andelen ventilationsförluster minskar. Detta åskådliggörs i Figur 31.



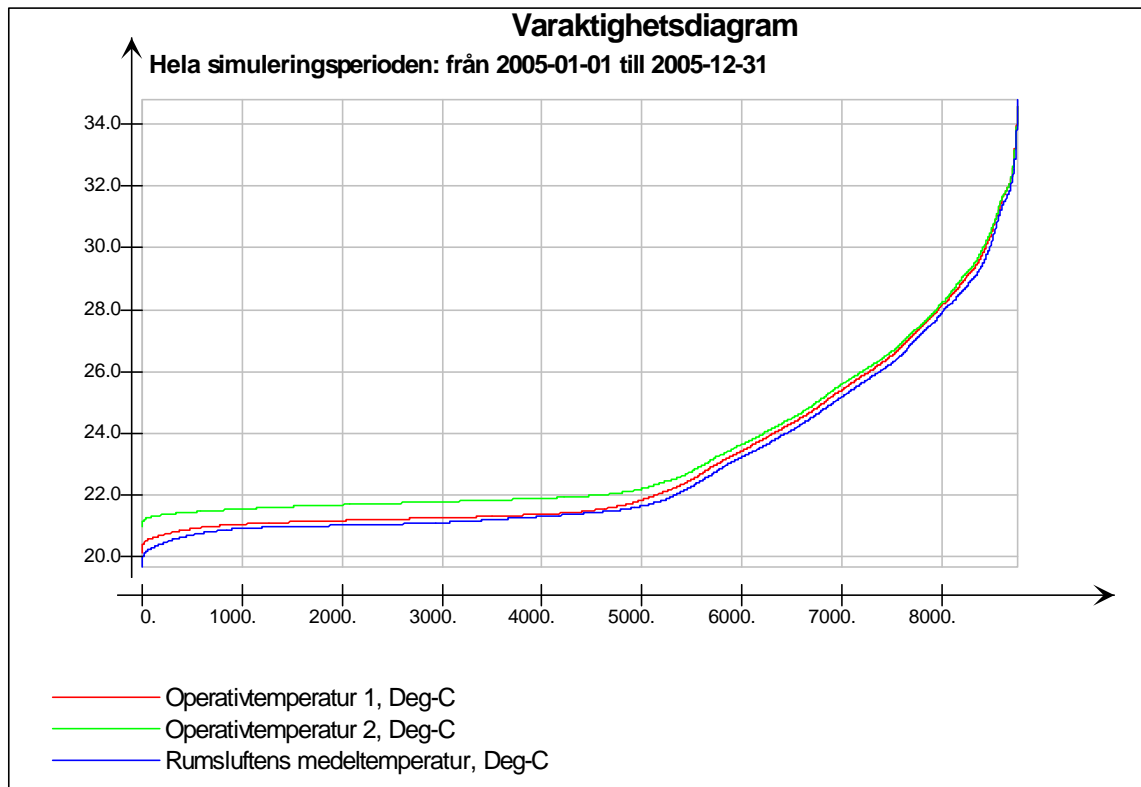


**Figur 31 - Uppdelning av hur värmeförlusterna fördelas för hustyp A, utrustat med FTX, under februari. Värmeförlusterna är beräknade efter värmeåtervinning i FTX-systemet.**

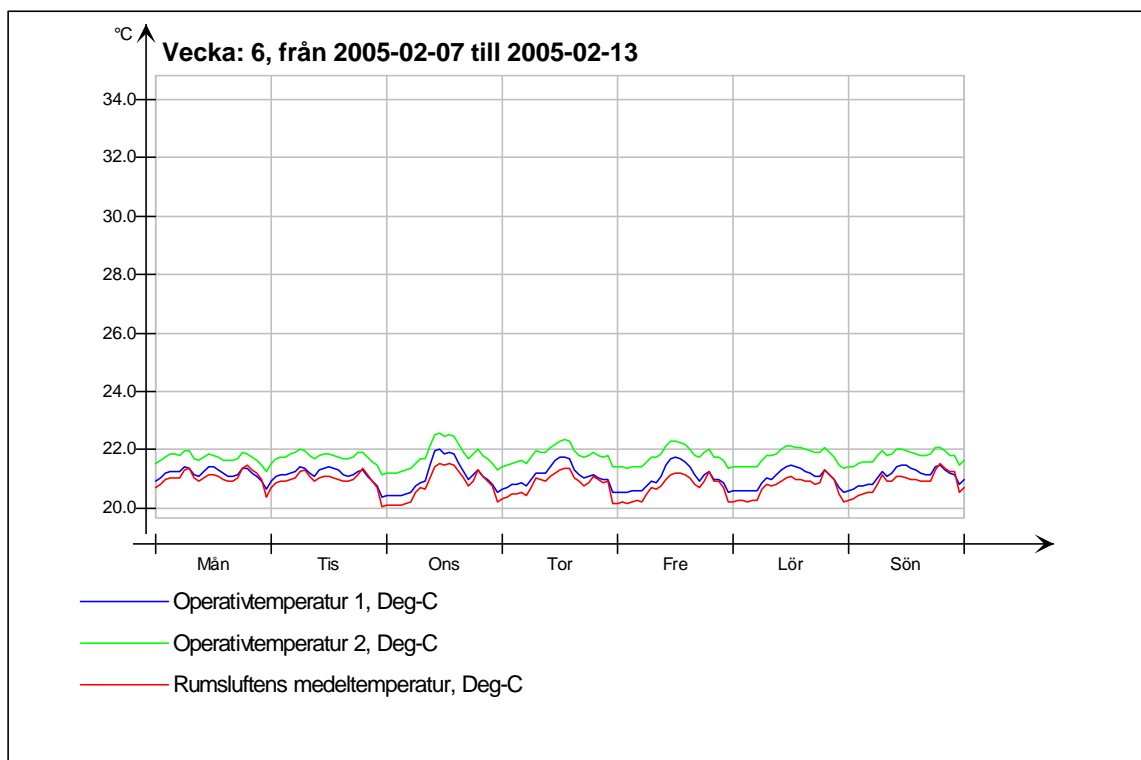
### **Inomhusklimat Hustyp A**

I Figur 32-34 redovisas lufttemperaturen samt operativtemperaturer för två personer på olika platser för undervåningen i referenshuset. Att endast undervåningen redovisas beror på att den våningen håller något lägre lufttemperatur under uppvärmningssäsongen. Detta gäller för alla simuleringar i detta kapitel. Varaktighetsdiagrammet i Figur 32, redovisar lufttemperaturerna inomhus under året. Målet att ha en lufttemperatur över 20°C uppfylls, men börkravet på 21°C underskrids 1300 timmar per år.

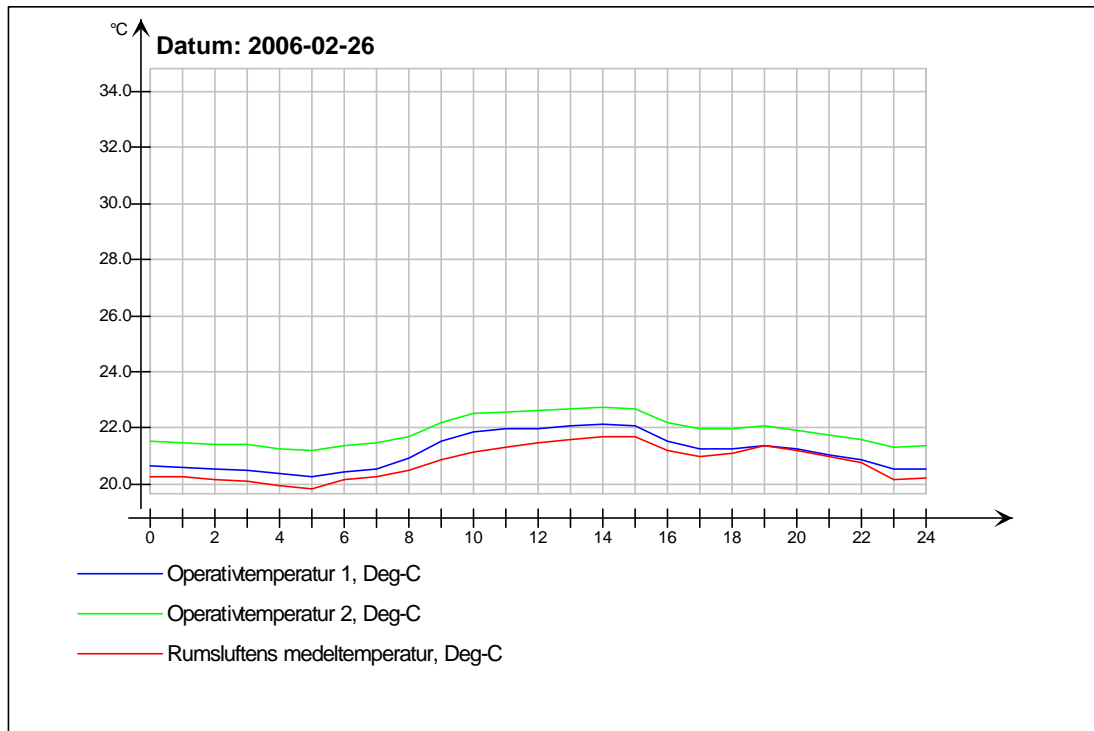
I varaktighetsdiagrammet i Figur 32 kan det utläsas att referenshuset under många timmar uppvisar höga lufttemperaturer, vilket beror på att vädring och solavskärmning ej beaktats i dessa simuleringar. Detta görs i känslighetsanalys, Kapitel 8. För att se hur temperaturen varierar under dagarna visas temperaturvariationerna under vecka 6, då medeltemperaturen ute är som lägst under året i Figuren 33. Temperaturerna under vecka 6 ligger mellan 20°C och 21,7°C. Medeltemperaturen under veckan är 20,9°C. I Figur 34 redovisas hur temperaturen varierar under årets kallaste dygn.



Figur 32 - Varaktighetsdiagram för ett år för undervåningen på Hustyp A, utan vädring och solavskärmning.



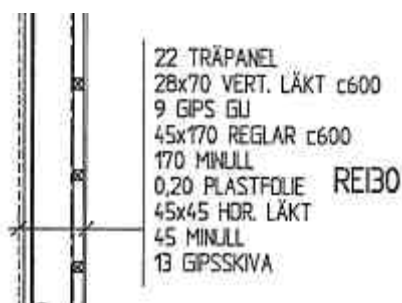
Figur 33 - Temperaturer på undervåningen Hustyp A, v 6.



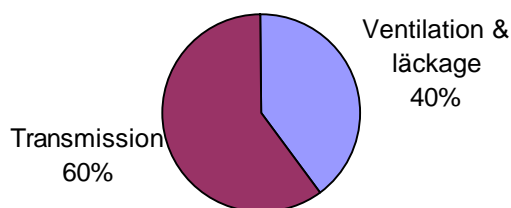
Figur 34 – Temperaturvariation för Hustyp A under årets kallaste dygn.

## 7.2.2 Analys hustyp B

Hustyp B har förbättrade väggar, förbättrad platta och förbättrade fönster jämfört med referenshuset. Ytterväggen har 170 + 45 mm regelvägg med isolering, se Figur 35, under plattan finns 200 mm cellplast (150 mm runt kantbalk) och U-värdet på fönstren har ändrats från 1,3 W/m<sup>2</sup>K till 1,2 W/m<sup>2</sup>K. Även fönstret, enligt Bilaga 3, med U-värde 1,0 har simulerats. Huset simuleras med frånluftsventilation, frånluftsvärmepump och FTX-system. Värmeförlusterna fördelas enligt Figur 36 för fallet med frånluftsventilation. Transmissionsförlusterna fördelas enligt Tabell 12.



Figur 35 - Vägguppyggnad Hustyp B



Figur 36 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp B under februari.

Tabell 12 – Uppdelning av transmissionsförluster för hustyp B.

Byggnadselement	Area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]	Procent av transmissionsförlusterna
Fönster	31,0		1,200	37,200	37%
Väggar	167,7	215	0,219	36,760	37%
Golv	80,5	200	0,140	11,270	11%
Tak	82,0	420	0,080	6,560	7%
Köldbryggor:				8,910	9%
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>0,28</b>	<b>100,7</b>	100%

## Energianvändning hustyp B

Värmebehovet för hustyp B är **16930** kWh. Den totala köpta energin, med frånluftssystem, blev för hustyp B **17610** kWh, varav energin för uppvärmning stod för **10200** kWh. Förbättringarna av klimatskalet gjorde alltså att nettovärmebehovet blev **1120** kWh lägre jämfört med referenshuset. Nettovärmebehovet minskar med ytterligare **360** kWh om U-värdet på fönstren förbättras från 1,2 till 1,0 W/m<sup>2</sup>K. Med frånluftsvärmepump blev den totala köpta energin **12150** kWh. Med FTX-system blev den totala köpta energin **13350** kWh. I Tabell 13-15 åskådliggörs hur energin fördelas för varje fall.

Tabell 13 - Energianvändning Hustyp B frånluftsventilation.

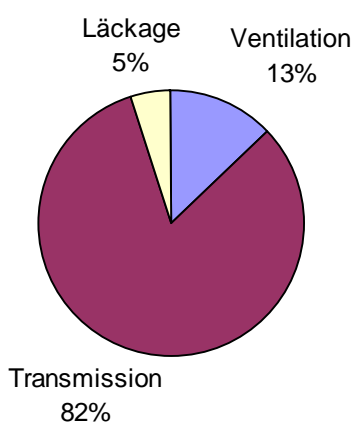
Hustyp B med F		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	<b>16925</b>	136,9
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10198</b>	82,5
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>10198</b>	82,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>17614</b>	142,5

Tabell 14 - Energianvändning Hustyp B med frånluftvärmepump

Hustyp B med FLVP		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10198</b>	82,5
Energi från VP [kWh]	-5181	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1919	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6936</b>	56,1
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Energi från VP till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1298	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1502</b>	12,2
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	<b>12146</b>	98,3

Tabell 15 - Energianvändning Hustyp B med FTX

Hustyp B med FTX		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	10339	83,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	5929	48,0
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	13345	108,0

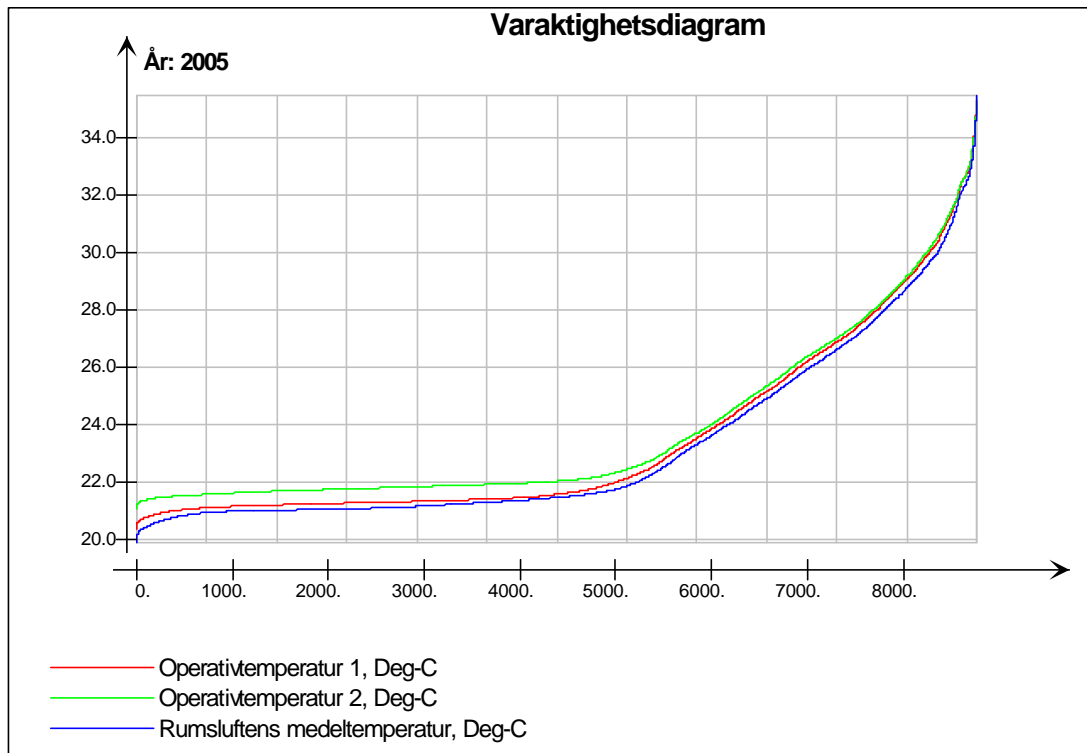


Figur 37 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp B med FTX, under februari. Värmeförlusterna är beräknade efter värmeåtervinning i FTX-systemet.

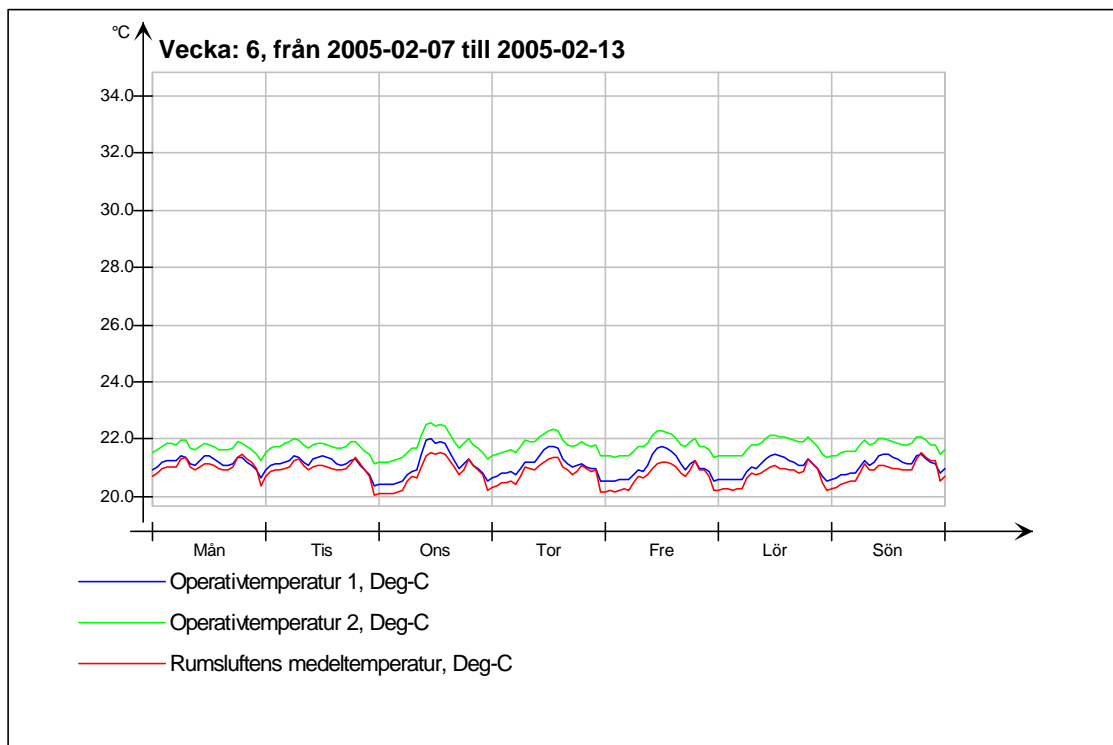
### Inomhusklimat hustyp B

Hustyp B uppvisar ett bättre termiskt inomhusklimat jämfört med hustyp A. Lufttemperaturen på bottenvåningen underskrider 21°C 1037 timmar per år, men går aldrig under 20°C.

Under vecka 6 i februari uppvisar huset inomhustemperaturer enligt Figur 39 på bottenvåningen. Medeltemperaturen under denna vecka är 20,9°C.



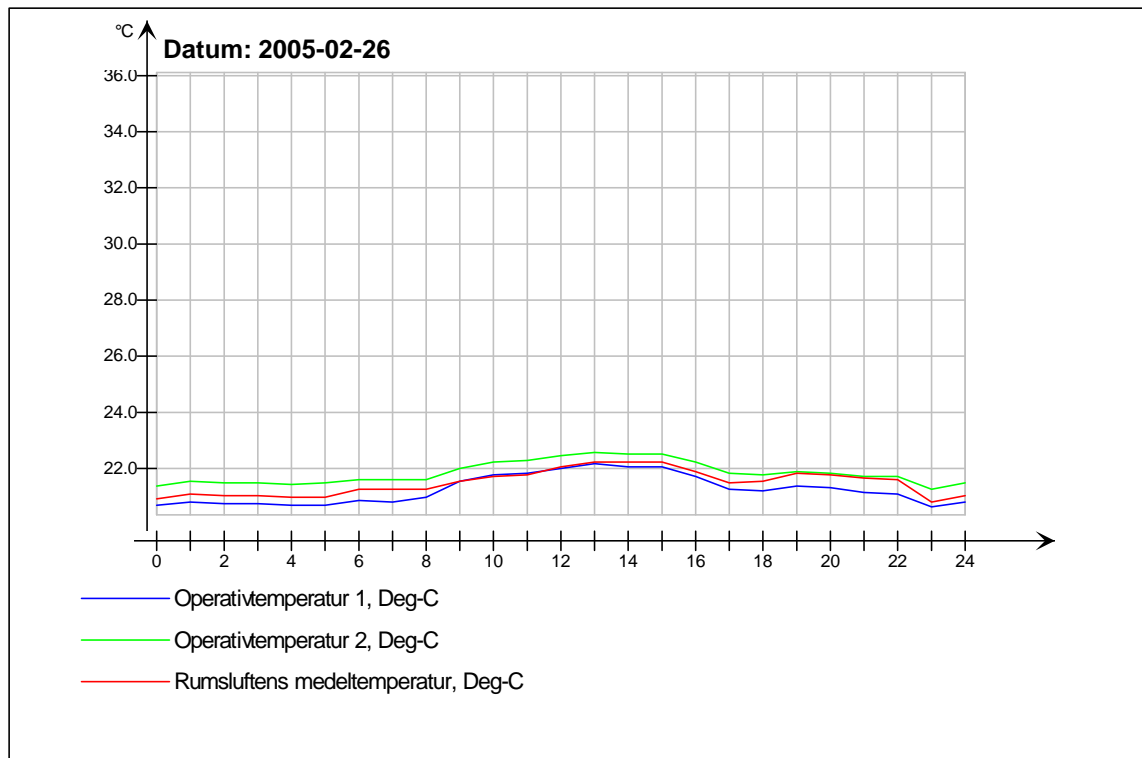
Figur 38 - Varaktighetsdiagram för temperaturen på undervåningen, hustyp B med F.



Figur 39 - Temperaturer på undervåningen hustyp B, v 6.

Huset med FTX-system uppvisar ett ännu bättre och stabilare inomhusklimat, eftersom tilluften förvärms samt att radiatorer och golvvärme finns kvar.

Lufttemperaturen på undervåningen sjunker under 21°C endast 241 timmar per år och hamnar aldrig under 20,6°C. Studeras årets kallaste dygn, som i vår simulering är den 26 februari, ses hur temperaturen är lägre då människorna är i vila under natten. Huvuddelen av timmarna med en lufttemperatur under 21°C uppkommer när personerna sover. Rumsluftens medeltemperatur för hustyp B med FTX är under vecka 6 är 21,2°C.

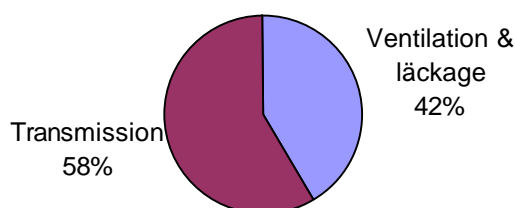


Figur 40 - Temperaturvariation för hustyp B med FTX, under årets kallaste dygn.



### 7.2.3 Analys hustyp C

I hustyp C har ytterväggarna förbättras ytterligare. Väggen består av två 145 mm regelkonstruktioner med mineralullsisolering. Uppbyggnaden är liknande Figur 35. Endast regelkonstruktionen har ändrats. I övrigt har huset likadan uppbyggnad som hustyp B. Värmeförlusterna fördelas enligt Figur 41 för fallet med frånluftsventilation. Transmissionsförlusterna fördelas enligt Tabell 16.



Figur 41 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp C under februari.

Tabell 16 - Uppdelning av transmissionsförluster för hustyp C.

Byggnadselement	Area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]	Procent av transmissionsförlusterna
Fönster	31,0		1,20	37,2	41%
Väggar	167,7	290	0,16	26,0	29%
Golv	80,5	200	0,14	11,3	13%
Tak	82,0	420	0,08	6,6	7%
Köldbryggor:				8,650	10%
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>0,25</b>	<b>89,7</b>	100%

### Energianvändning hustyp C

Värmebehovet för hustyp C **16240** kWh per år. Den totala köpta energin, med frånluftssystem, blev för hustyp C **16870** kWh, varav energin för uppvärmning stod för **9460** kWh. Förbättringarna av klimatskalet gjorde alltså att nettovärmebehovet blev **1860** kWh lägre jämfört med hustyp A.

Med frånluftsvärmepump blev den totala köpta energin **11540** kWh och med FTX-system **12690** kWh. I Tabell 17-19 åskådliggörs hur energin fördelas för varje fall.

Skulle fönstren bytas till fönster med U-värde 1,0 skulle nettovärmebehovet minska med cirka **300** kWh.

Tabell 17 - Energianvändning för Hustyp C med frånluftsventilation.

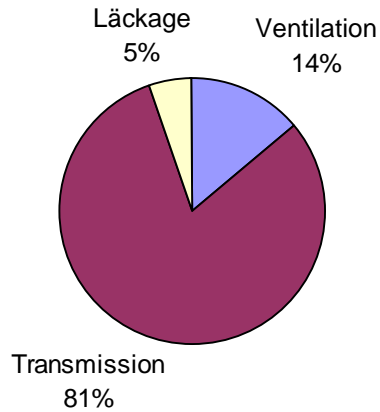
Hustyp C med F		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	<b>16240</b>	131,4
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9456</b>	76,5
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>9456</b>	76,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>16872</b>	136,5

Tabell 18 - Energianvändning för Hustyp C med frånluftsvärmepump

Hustyp C med FLVP		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9456</b>	76,5
Värmepumpsbidrag [kWh]	-4960	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1837	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6333</b>	51,2
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1298	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1502</b>	
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>11543</b>	93,4

Tabell 19 - Energianvändning för Hustyp C med FTX

Hustyp C med FTX		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9256</b>	74,9
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>5272</b>	42,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>12688</b>	102,6

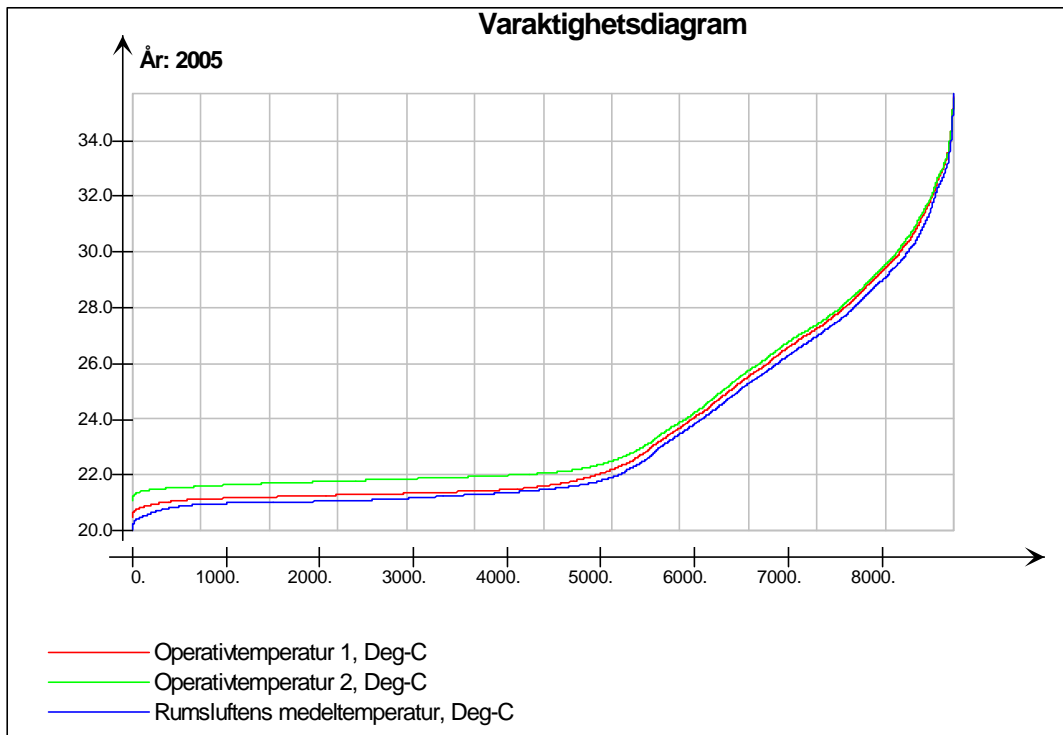


**Figur 42 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp C med FTX, under februari.  
Värmeförlusterna är beräknade efter värmeåtervinning i FTX-systemet.**

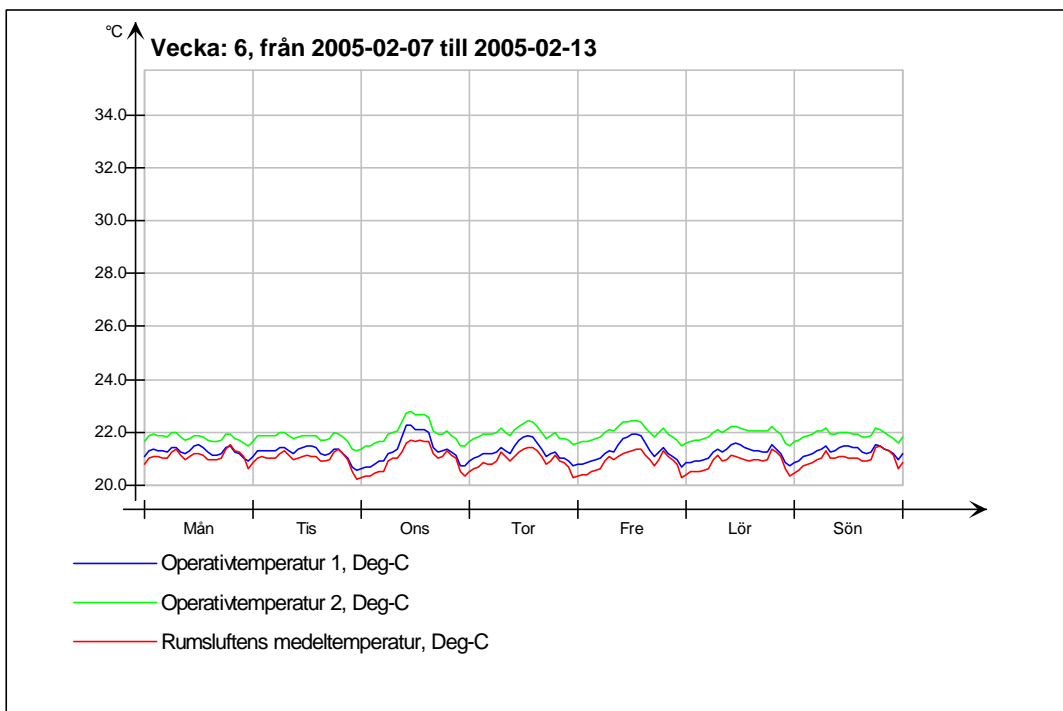
### **Inomhusklimat hustyp C**

Detta hus uppvisar ett ytterligare bättre inomhusklimat jämfört med hustyp B. Lufttemperaturen på bottenvåningen sjunker här under 21°C 908 timmar per år och går aldrig under 20°C. Under vecka 6 uppvisar hustyp C en medeltemperatur på 21°C.

För hus C med FTX-system erhålls ett liknande klimat som för hus B. Antal timmar under 21°C är på undervåningen för detta hus 239 och den lägsta temperaturen är 20,7°C under året. Medeltemperaturen under vecka 6 är för hustyp C med FTX 21,3°C.



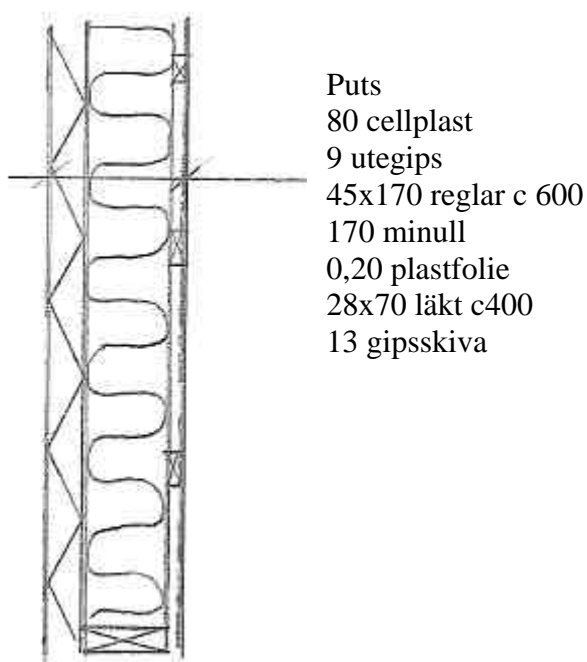
**Figur 43 - Varaktighetsdiagram för undervåningen på hustyp C.**



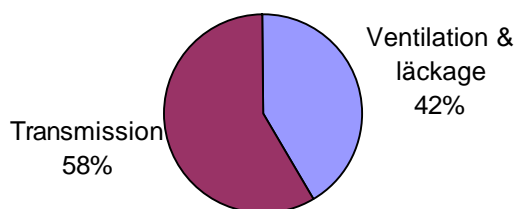
**Figur 44 - Temperaturer på under våningen hustyp C, v 6.**

## 7.2.4 Analys Hustyp D

Hustyp D har en något annorlunda uppbyggnad av ytterväggarna jämfört med de övriga husen. Fasaden är i detta fall av puts. Väggen är utifrån och in uppbyggd med puts + 80 mm cellplast + 170 mm isolerad regelkonstruktion + 28 mm oisolerat installationsutrymme, se Figur 45. Under plattan är det 200 mm isolering (under och på yttersidan av kantbalken är det 150 mm) och U-värdet på fönstren är 1,2 W/m<sup>2</sup>K. Värmeförlusterna fördelas enligt Figur 46 för fallet med frånluftsventilation. Transmissionsförlusterna fördelas enligt tabell 20.



Figur 45 - Väguppbyggnad för Hustyp D.



Figur 46 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp D under februari.

Tabell 20 – Uppdelning av transmissionsförluster för hustyp D.

Byggnadselement	Area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]	Procent av transmissionsförlusterna
Fönster	31,0		1,20	37,2	41%
Väggar	167,7	250	0,17	29,0	32%
Golv	80,5	200	0,14	11,3	12%
Tak	82,0	420	0,08	6,6	7%
Köldbryggor:				7,820	9%
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>0,25</b>	<b>91,8</b>	<b>100%</b>

### Energianvändning hustyp D

Värmebehovet för hustyp C **16160** kWh per år. Den totala köpta energin, med frånluftssystem, blev för hustyp D **16910** kWh, varav energin för uppvärmning stod för **9490** kWh. Förbättringarna av klimatskalet gjorde alltså att nettovärmebehovet blev **1830** kWh lägre jämfört med hustyp A.

Med frånluftsvärmepump blev den totala köpta energin **11570** kWh och med FTX-system **12730** kWh.

Skulle fönstren bytas till fönster med U-värde 1,0 skulle nettovärmebehovet minska med cirka **300** kWh.

Tabell 21 - Energianvändning för hustyp D med frånluftsventilation.

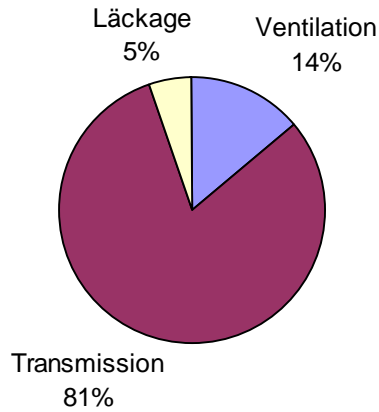
Hustyp D med F		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	<b>16159</b>	130,7
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9490</b>	76,8
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>9490</b>	76,8
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>16906</b>	136,8

Tabell 22 - Energianvändning för Hustyp D med FLVP

Energianvändning för Hustyp D med FLVP		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9490</b>	76,8
Energi från VP [kWh]	-4967	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1840	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6363</b>	51,5
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Energi från VP till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1502</b>	12,2
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	<b>11573</b>	93,6

Tabell 23 - Energianvändning för Hustyp D med FTX.

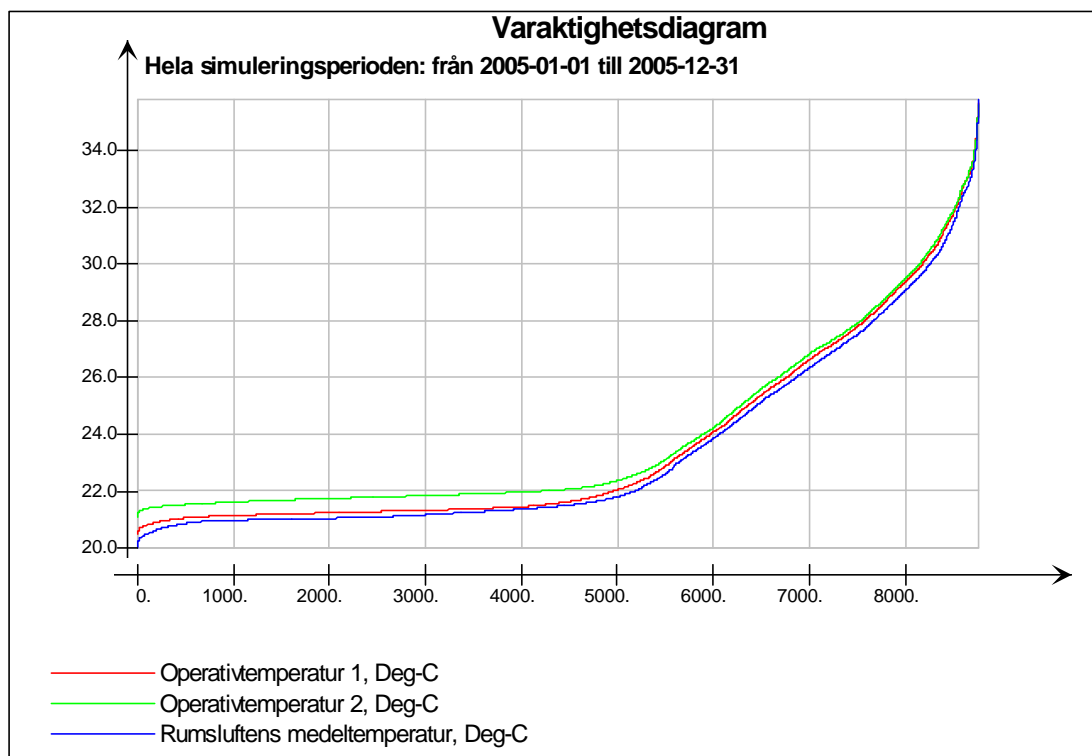
Energianvändning för Hustyp D med FTX		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9290</b>	76,8
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>5312</b>	42,7
Tappvarmvattenanvändning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftel [kWh]	618	5,0
Total köpt energi [kWh/år]	<b>12728</b>	102,7



**Figur 47 - Fördelning av värmeförlusterna för Hustyp B med FTX, under februari. Värmeförlusterna är beräknade efter värmeåtervinning i FTX-systemet.**

### Inomhusklimat hustyp D

Hustyp D uppvisar ett inomhusklimat liknande hustyp C. Antal timmar med lufttemperatur under 21°C på undervåningen är för detta hus 890 och sjunker aldrig under 20°C. Temperaturerna följer Hustyp C mycket väl under året. För Hustyp med utrustat med FTX sjunker temperaturen under 21°C endast 220 timmar per år.



**Figur 48 - Varaktighetsdiagram för temperaturen på undervåningen, hustyp D med F.**



## 7.3 Passivhuset

Passivhuset har inget traditionellt uppvärmningssystem. Extra värmertilskott, utöver internvärme, fås istället genom en eftervärmare i tilluften som har en effekt på 1500 W. Storleken på eftervärmaren beror på att den maximalt får avge en effekt på ca 12 W/m<sup>2</sup> enligt definitionen för passivhus i kapitel 3. Kraven som vi i denna rapport ställer på huset är som tidigare nämnts:

- **12 W/m<sup>2</sup> i maximal tillförd effekt för uppvärmning**
- **20 kWh/m<sup>2</sup> i maximal köpt energi för uppvärmning**
- **120 kWh/m<sup>2</sup> i maximal total energianvändning (uppvärmning, tappvarmvatten, hushållsel)**

### Förutsättningar

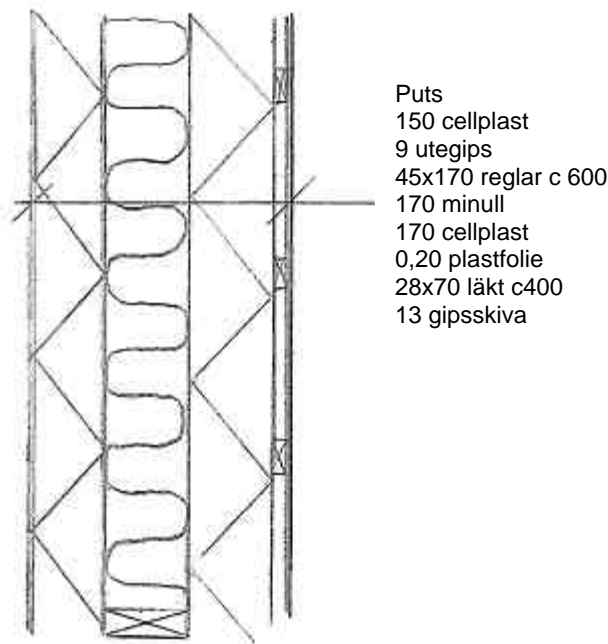
De flesta förutsättningarna är likadana som i tidigare simuleringar. Dock finns vissa skillnader, vilka redovisas nedan.

- Fönsterarean har minskat från 25 % till 16 % av golvarean, se Kapitel 7.3.1.
- Huset är utrustat med ett FTX-system som förser byggnaden med ett ventilationsflöde på 0,35 l/s m<sup>2</sup>.
- Luftläckaget vid 50 Pa för husen är 0,3 l/s, m<sup>2</sup>
- Maximal tilluftstemperaturen är 50°C.

Passivhuset är det enda av alla hus som simulerats där ett energi- och effektkrav satts. Kravet har som tidigare nämnts varit utgångspunkt för hur husets uppbyggnad kommit att se ut. Vid dimensioneringen av passivhusets uppbyggnad användes två personer istället för fyra, för att kontrollera att effektbehovet för uppvärmning inte överskreds samt att temperaturkravet uppfylldes. Vid jämförelser mellan passivhuset och de övriga hustyperna har dock samma förutsättningar använts och husen bebotts av fyra personer.

### 7.3.1 Uppbyggnad

Referenshuset har varit utgångsläget när passivhuset utformats och inga större förändringar har gjorts på arkitekturen (se referenshuset under kapitel 6.3). För att nå målet på 20 kWh/m<sup>2</sup> köpt energi för uppvärmning krävs dock att en del justeringar av det ursprungliga referenshuset görs. Uppbyggnaden av passivhuset som har utarbetats i denna rapport ser ut enligt följande: Väggen är, inifrån och ut, uppbyggd av 13 mm gips, 30 mm luftspalt, 170 mm cellplast, 170 mm isolering med stående reglar, 9 mm gips, 150 mm cellplast och 5 mm puts, enligt Figur 49.



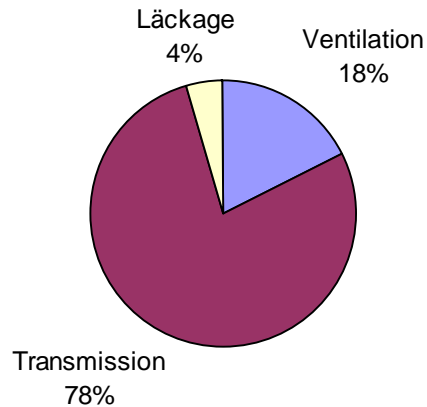
**Figur 49 - Uppbyggnad av väggen för passivhuset.**

Fönstrens U-värden är  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Under bottenplattan finns 350 mm cellplast och i taket 450 mm lösullsisolering. Uppbyggnad av väggar och grund har till stor del hämtats från Lindås och Vårgårdahuset och isoleringstjocklekar har optimerats för att uppnå passivhusdefinitionen.

Men dessa isolertjocklekar och fönster räcker inte för att komma ner i ett tillräckligt lågt totalt energibehov för uppvärmning. För att nå  $20 \text{ kWh/m}^2$  har vi valt att minska fönsterarean från en area ( $31 \text{ m}^2$ ) motsvarande 25 % i förhållande till golvarean, till en fönsterarea ( $20 \text{ m}^2$ ) motsvarande cirka 16 % i förhållande till golvarean. I Lindåshuset och Vårgårdahuset är förhållandet fönsterarea/golvarean 15 %. Transmissionsförluster genom köldbryggor är i detta hus beräknade till  $4,4 \text{ W/}^\circ\text{C}$ , vilket kan utläsas i Bilaga 2.

### 7.3.2 Analys av passivhuset

Den första analysen som görs är hur värmeförlusterna fördelas på transmissionsförluster, ventilationsförluster respektive läckageförluster. Detta redovisas i Figur 50.



Figur 50 - Uppdelning av värmeförlusterna för Passivhuset. Värmeförlusterna är beräknade efter värmeåtervinning i FTX-systemet.

Tabell 24 - Uppdelning av transmissionsförluster för passivhuset.

Byggnadselement	Area [m <sup>2</sup> ]	Tjocklek isolering [mm]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]	UA-värde [W/K]	Procent av transmissionsförlusterna
Fönster	19,7		1,000	19,7	36%
Väggar	179,0	490	0,088	15,8	29%
Golv	80,5	350	0,098	7,9	15%
Tak	82,0	450	0,077	6,3	12%
Köldbryggor				4,4	8%
<b>Totalt</b>	<b>361,2</b>		<b>0,15</b>	<b>54,0</b>	<b>100%</b>

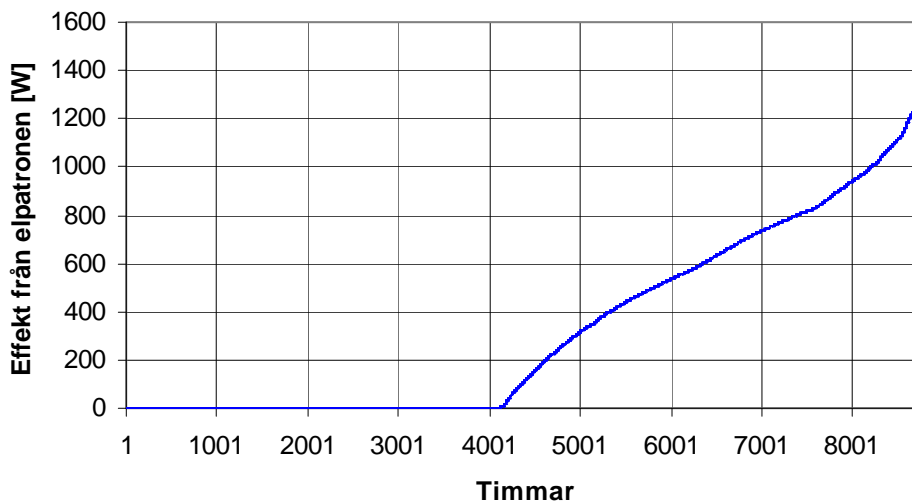
### Energianvändning passivhuset

Värmebehovet för passivhuset är **11600** kWh per år. Den totala köpta energin blev **9860** kWh, varav energin för uppvärmning stod för **2440** kWh. Förbättringarna av klimatskalet gjorde alltså att nettovärmebehovet blev **4890** kWh lägre jämfört med referenshuset.

Tabell 25 - Energianvändning för passivhuset

Passivhuset		
	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	11604	93,9
Nettovärmebehov [kWh]	6434	52,1
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	2444	19,8
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708	30,0
Hushållsel [kWh]	3090	25,0
Driftsel [kWh]	618	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	9860	79,8

Passivhuset är utrustat med ett värmebatteri som sätts in när värmeåtervinningen inte räcker till. Ur varaktighetsdiagrammet, Figur 51, visas att värmebatteriet tillför effekt till huset under hälften av årets alla timmar, dock varierar storleken på effekten under året. Till exempel är effekten över 700 W cirka 2000 timmar under ett år (80 dygn).

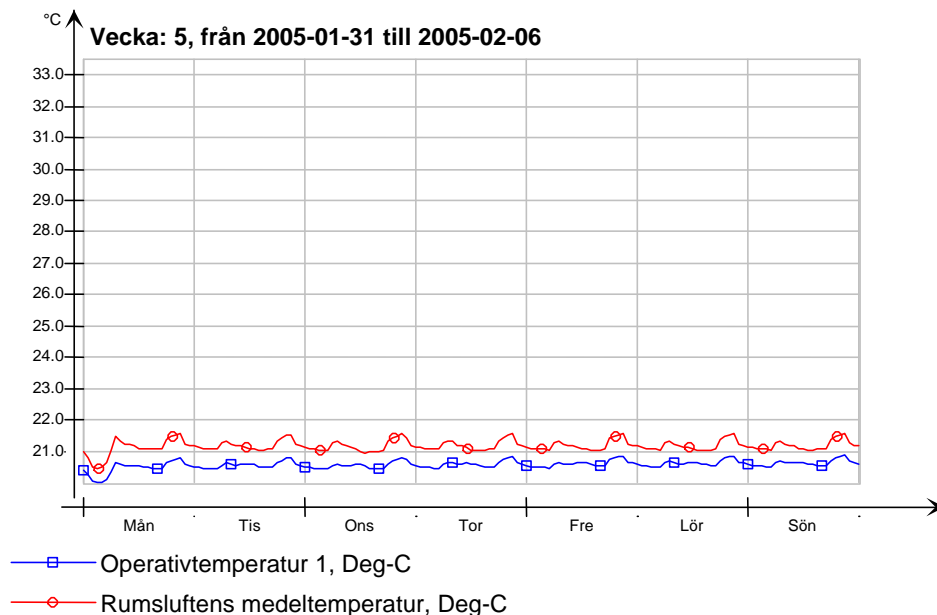


Figur 51 – Effektagivning från värmebatteri i passivhuset under ett år.

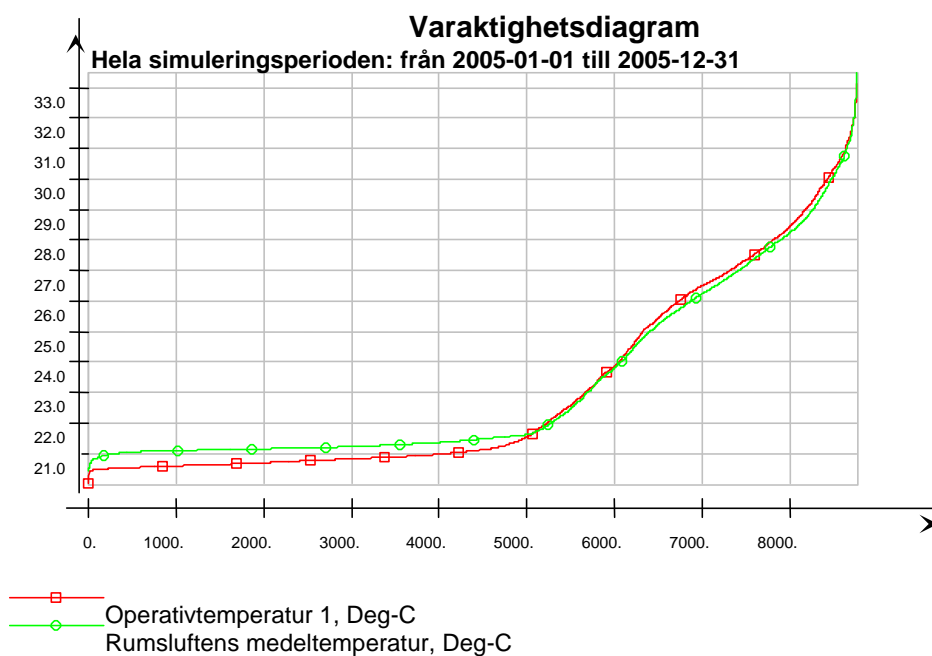
### Inomhusklimat passivhuset

Tilluftstemperaturen är satt till att som mest vara 50°C. Vid högre temperaturer kan luften bli ”bränd” och lukter kan uppkomma (Wijk, 2006). I simuleringarna hamnar tilluftstemperaturen aldrig över 42°C. Temperaturen håller sig stabilt kring 21°C under uppvärmningssäsongen och varken rumstemperaturen eller den operativa temperaturen hamnar under 20°C. Figur 52 visar temperaturen på undervåningen under årets kallaste vecka. Temperaturen håller sig kring 21°C men minskar under

nätterna eftersom människorna då är på övervåningen och den övriga aktiviteten i huset är låg. Målet att nå en lufttemperatur över 20°C uppfylls. Börkravet på 21°C underskrids dock med 240 timmar per år, vilket är 1060 timmar mindre än referenshuset.



Figur 52 - Temperaturen på övervåningen under årets kallaste vecka.



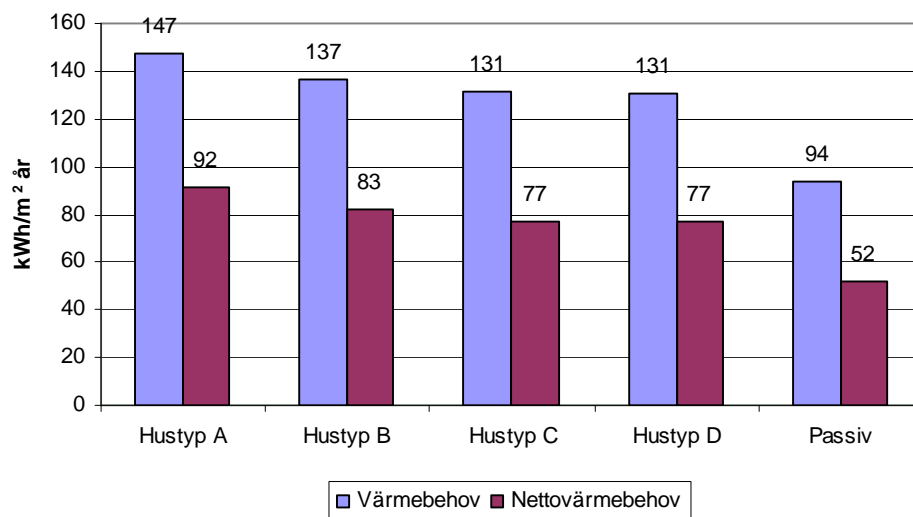
Figur 53 - Inomhustemperaturen på övervåningen, utan vädring eller solavskärmning.

## 7.4 Resultat

I detta kapitel jämförs resultaten mellan de olika hustyperna. Resultaten åskådliggörs för de flesta jämförelser i stapeldiagram för att lätt kunna bedöma skillnaderna mellan de olika hustyperna.

### 7.4.1 Energi

Värmebehovet varierar kraftigt mellan hustyperna i simuleringarna. I Figur 54 ses hur stort värmebehov, respektive nettovärmebehov de olika hustyperna har. Här ses hur värmebehovet gradvis minskar på husen som har vidareutvecklats efter referenshuset. Intressant att notera är att hustyp C och hustyp D har lika stort värmebehov trots skillnader i isolertjocklek. U-värdet är något sämre för väggen i hustyp D, men detta vägs upp av att köldbryggorna är mindre för detta hus. Skillnaden mellan referenshuset och passivhuset är 6600 kWh i värmebehov och 4900 kWh i nettovärmebehov.



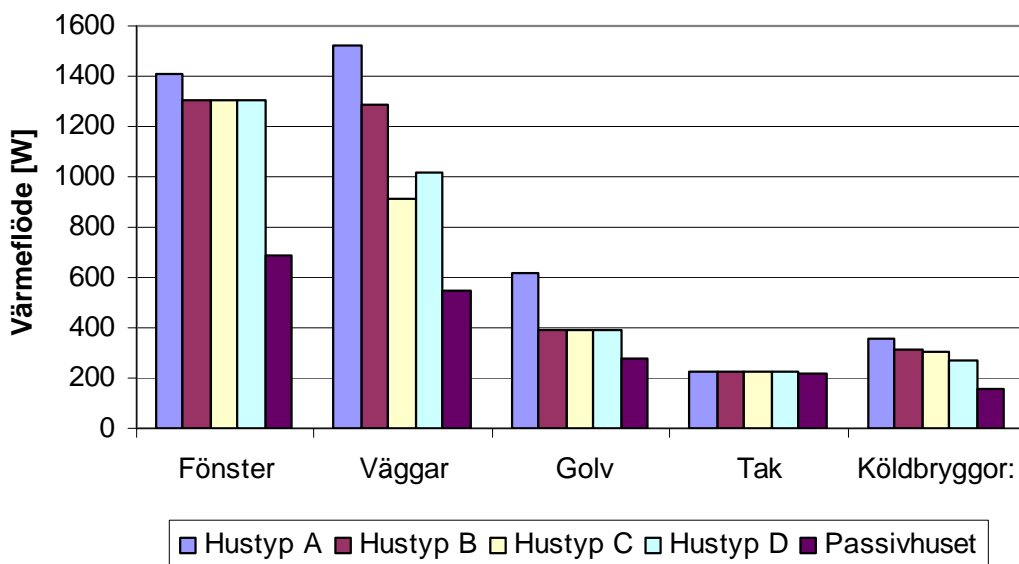
Figur 54 - Värmebehov per kvadratmeter och år för de olika hustyperna.

För att jämföra de olika klimatskalen har transmissionsförlusterna genom respektive konstruktionsdel samt via köldbryggor vid DUT beräknats. DUT är  $-14^{\circ}\text{C}$  och är vald för en lätt byggnad belägen i Göteborgsklimat (Pettersson, 2001). Inomhustemperaturen som valts är  $21^{\circ}\text{C}$ .

Värmeflödet beräknas genom:

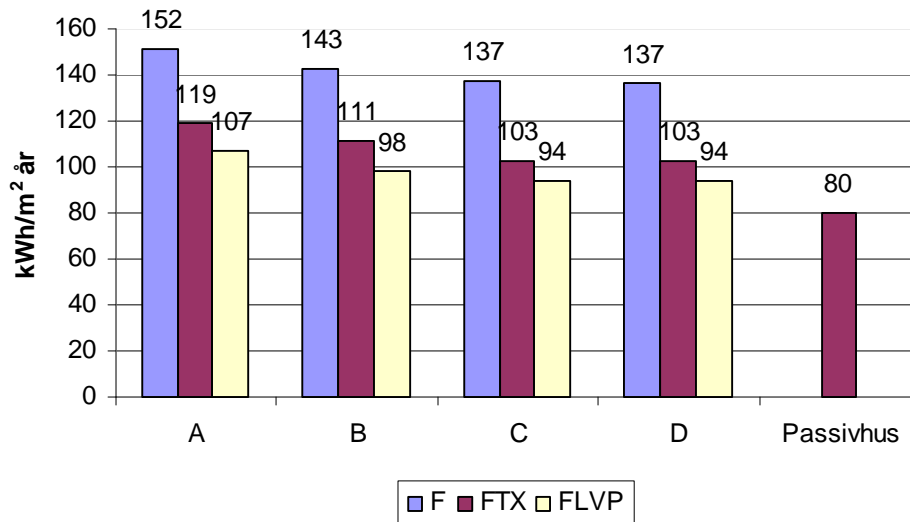
$$Q = U_{\text{konstruktionsdel}} \times A_{\text{konstruktionsdel}} \times (T_i - T_u) \quad (2)$$

I Figur 55 visas att stora förbättringar kan göras i väggar, tak och fönster. Att värmeflödet genom fönstren på passivhuset är så mycket lägre än de övriga beror både på att U-värdet har förbättrats men också till stor del på att fönsterarean är mindre.

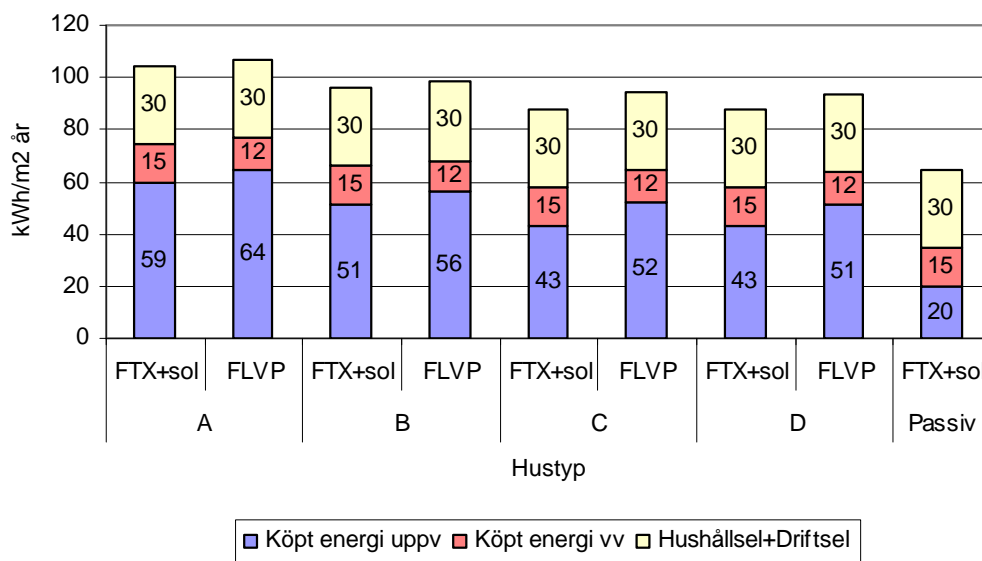


Figur 55 - Värmeflöde genom respektive konstruktionsdel vid DUT.

I Figur 56 visas att stora energibesparingar kan göras genom att byta ut frånluftssystemet mot ett FTX-system eller genom att installera frånluftsvärmepump. Att byta frånluftssystemet mot ett FTX-system ger en sänkning på 22-25 % och att installera en frånluftsvärmepump en ungefärlig sänkning med ungefär 30 %, av den totala köpta energin till huset. Att installera en frånluftsvärmepump ger alltså en större energibesparing än ett FTX-system. Det beror på att värmepumpen förutom att bidra med värme till värmesystemet, även bidrar med energi till att värma tappvarmvattnet. Energin från värmepumpen kan i stort sett på egen hand klara tappvarmvattenförsörjningen. Skillnaden i total köpt energi mellan referenshuset och passivhuset är 8900 kWh, det vill säga en besparing på nästan 50 %. Skulle dock FTX-systemet kombineras med solfångare skulle energianvändningen bli lägre än för fallet med FLVP. Den köpta energin för tappvarmvatten antas för fallet med solfångare bli halverad (Eek, 2005) och en fördelning på köpt energi enligt Figur 57 skulle fås. Den totala köpta energin är 300 – 700 kWh lägre för FTX kombinerad med solfångare jämfört med enbart FLVP.



Figur 56 - Total köpt energi per kvadratmeter och år för de olika hustyperna med frånluftssystem, FTX och frånluftsvärmepump.

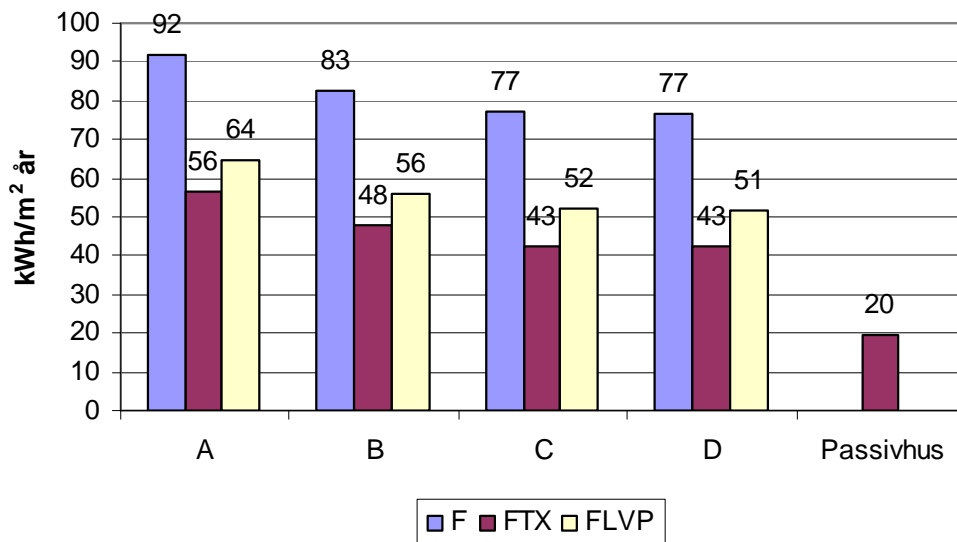


Figur 57 - Jämförelse mellan köpt energi för hus med FLVP och hus med FTX kombinerat solfångare.

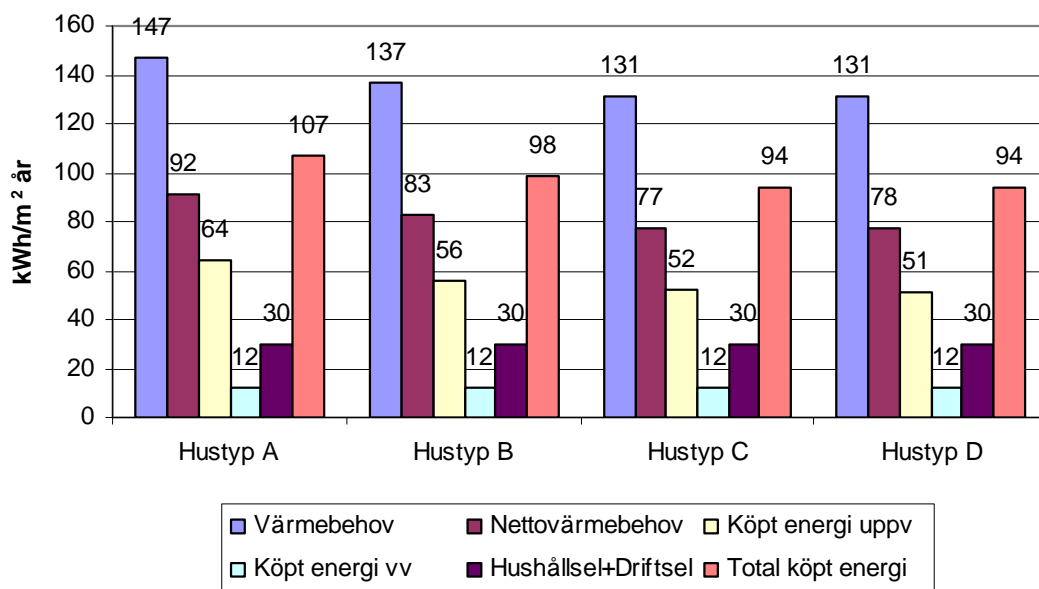
I Figur 58 redovisas den köpta energin för uppvärmning för de olika hustyperna. Skillnaden mellan referenshuset med frånluftvärmepump och passivhuset med FTX är nästan 9000 kWh. I figuren visas också att genom att installera ett FTX-aggregat minskar den köpta energin för uppvärmning mer än vad det gör genom att installera frånluftvärmepump. Värmepumpen arbetar, som beskrivits i Kapitel 6.4.6, genom att först tillgodose behovet av värme till tappvarmvattnet och därefter värme för uppvärmning. Skillnaden i köpt energi för uppvärmning mellan FTX och frånluftsvärmepump är ungefär 1000 kWh per år för hustyp A-D. I Figureerna 59 och 60



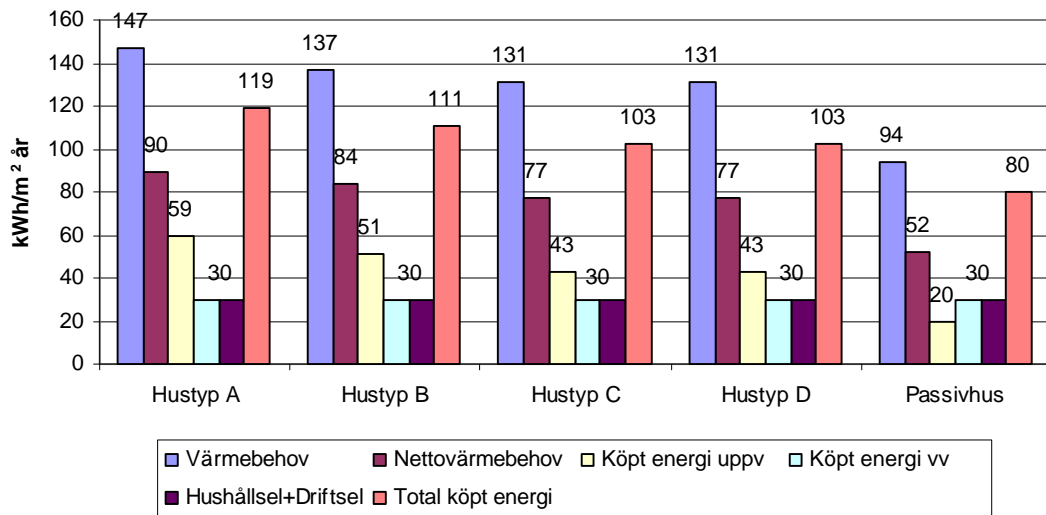
ses hur den köpta energin fördelas för de olika hustyperna med FTX-system respektive frånluftsvärmepump.



Figur 58 – Köpt energi för uppvärmning per kvadratmeter och år för de olika hustyperna.

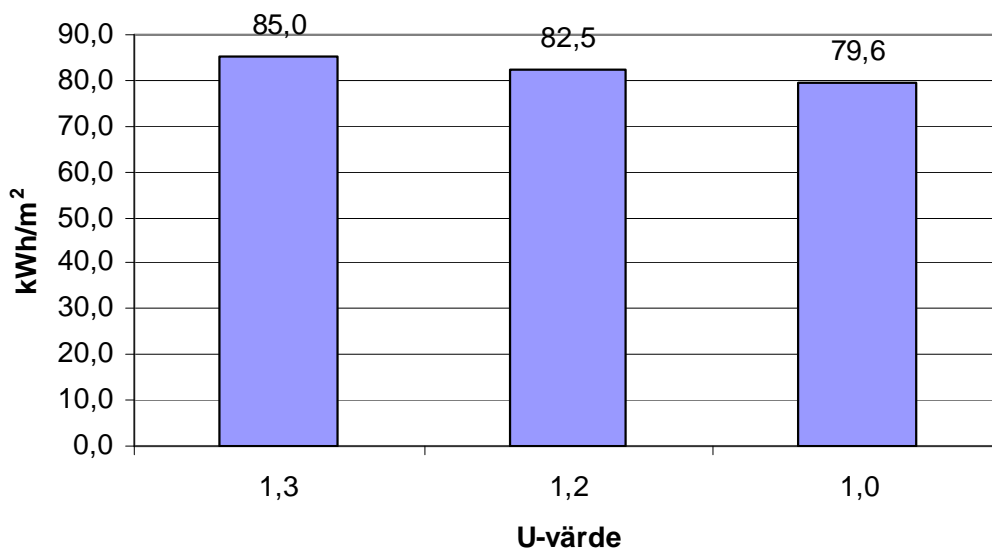


Figur 59 – Jämförelse av de olika hustyperna med frånluftsvärmepump.



Figur 60 - Jämförelse av de olika hustyperna med FTX-system.

I Figur 61 redovisas hur stor skillnad det gör att byta fönster för hustyp B. Minskningen i värmebehov genom att byta fönster är ungefär lika stor för de olika hustyperna, varför endast hustyp B redovisas. Då fönstren förbättras från 1,3 i U-värde till 1,2 minskar värmebehovet med 306 kWh per år. Förbättringen från 1,2 till 1,0 minskar värmebehovet med 360 kWh. Att inte förbättringen är större mellan 1,2 och 1,0 beror på solfaktorn och transmittansen för glasrutorna. Fönster med låga U-värden isolerar visserligen bättre, men släpper samtidigt in mindre solenergi. För mer fakta om fönstren se Bilaga 3.

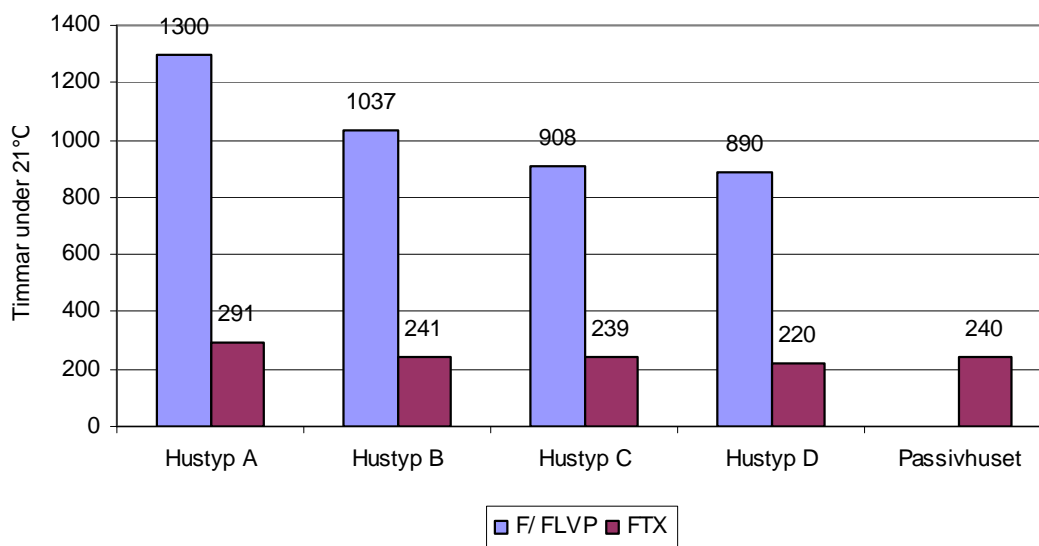


Figur 61 - Skillnaden i nettovärmebehov vid byte av fönster för hustyp B.

## 7.4.2 Termiskt klimat

I analysen har vi koncentrerat oss på att studera inomhustemperaturen under uppvärmningssäsongen. På sommaren måste alla hus vädras och genom detta kommer inomhustemperaturerna ner på ungefär samma nivåer. De huvudsakliga jämförelserna är således hur väl temperaturen hålls på rätt nivå då det är kallt ute.

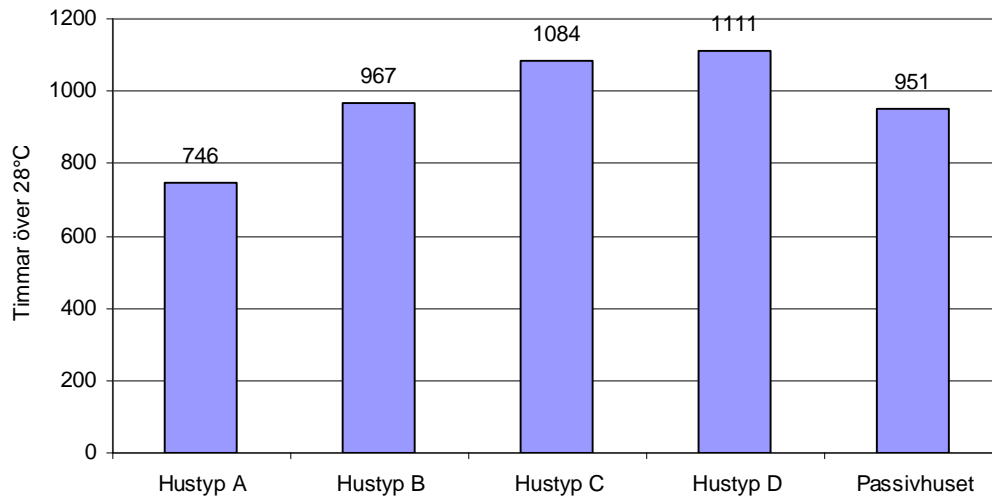
I husen har börvärdet för inomhustemperaturen varit 21°C. Vid vissa tillfällen underskrids dock detta krav. Det beror både på hur väl isolerad byggnaden är samt hur snabbt värmesystemet klarar att svara då lufttemperaturen sjunker. Ju bättre isolerad en byggnad är desto lättare är det att hålla ett stabilt inomhusklimat. Att koppla till en frånluftsvärmepump bidrar inte till att öka komforten utan är endast en energibesparande åtgärd. I Figur 62 visas hur skillnaderna varierar mellan de olika hustyperna. Där visas också att den största förbättringen för att erhålla en jämn inomhustemperatur på 21°C är att installera ett FTX-aggregat. FTX-systemet höjer tilluftstemperaturen, vilket ger ett stabilare och varmare inomhusklimat under uppvärmningssäsongen. Att installera FTX för referenshuset sänker antalet timmar under 21°C med mer än 1000 timmar, det vill säga 42 dygn. Det hus som uppvisar minst timmar med temperatur under 21°C är hustyp D med FTX. Passivhuset uppvisar ett nästan lika bra klimat, trots att det bara finns en luftvärmare i tilluften. I Figur 62 är det lufttemperaturen på undervåningen som avses, eftersom det i genomsnitt är något kallare på den våningen.



Figur 62 - Antal timmar med lufttemperatur under 21°C under ett år för de olika hustyperna.

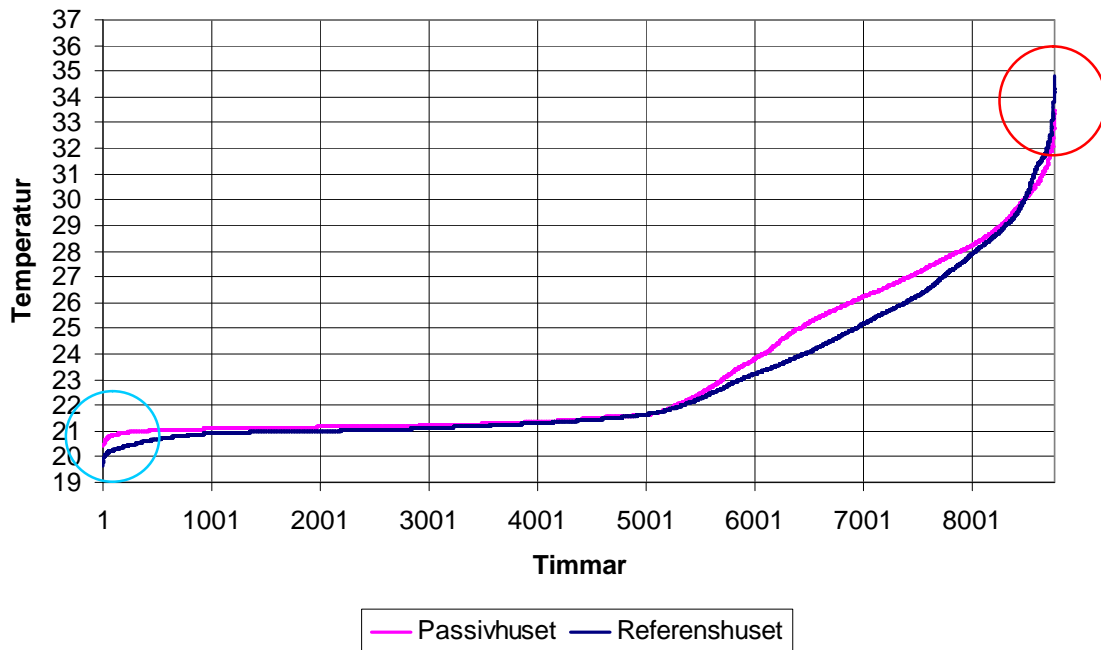
Temperaturer över 28°C på sommaren kan betraktas som olägenhet för människors hälsa. (Socialstyrelsen, 2005) I Figur 63 redovisas hur många timmar per år de olika hustyperna överskrider denna gräns. Observera att husen i detta fall simuleras utan solavskärmning och vädring. Hur många timmar som överskrider 28°C är ett mått på hur byggnaden betar sig under sommaren. Ur Figur 63 visas hur timmarna med över-

temperaturer blir fler ju bättre isolerat huset är. Dock ses hur passivhuset, trots att väggarnas isolertjocklek ökats till 490 mm, uppvisar lägre antal timmar med övertemperaturer jämfört med hustyp B, C och D. Detta beror på att fönsterarean är mindre för passivhuset, samt att solfaktorn för fönstren är lägre och därmed släpper in mindre mängd solenergi.



**Figur 63 - Antal timmar per år med temperaturer över 28°C för de olika hustyperna (utan vädring och solavskärmning).**

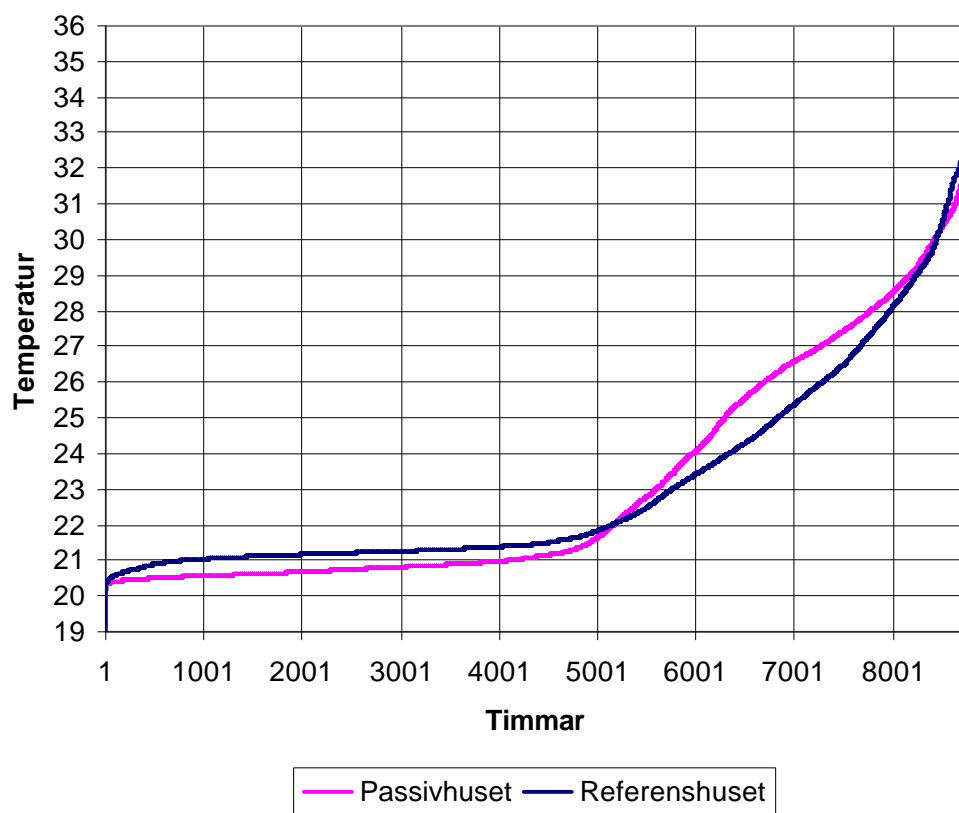
Inomhustemperaturerna i passivhuset och referenshuset kan ses i varaktighetsdiagrammet i Figur 64. Ringarna i diagrammet visar att referenshuset uppvisar både de lägsta och högsta inomhustemperaturerna under året.



**Figur 64 - Varaktighetsdiagram som redovisar inomhustemperaturen i referenshuset och passivhuset för ett år (utan vädring och solavskärmning).**

I Figur 65 redovisas den operativa temperaturen för en person belägen ca 0,5 m från fönstret i högra hörnet på undervåningen i referenshuset respektive passivhuset. Vid denna placering sker en tydlig påverkan av strålning från fönstret. I diagrammet ses även att golvvärme påverkar, vilket gör att en person i referenshuset upplever en något högre temperatur under uppvärmningssäsongen. Operativtemperaturen är mätt 0,6 meter ovan golv, vilket kan liknas med en sittande person. Detta är en höjd som vi ansatt.

## Operativtemperaturer



Figur 65 - Varaktighetsdiagram med operativtemperatur för en person på undervåningen.

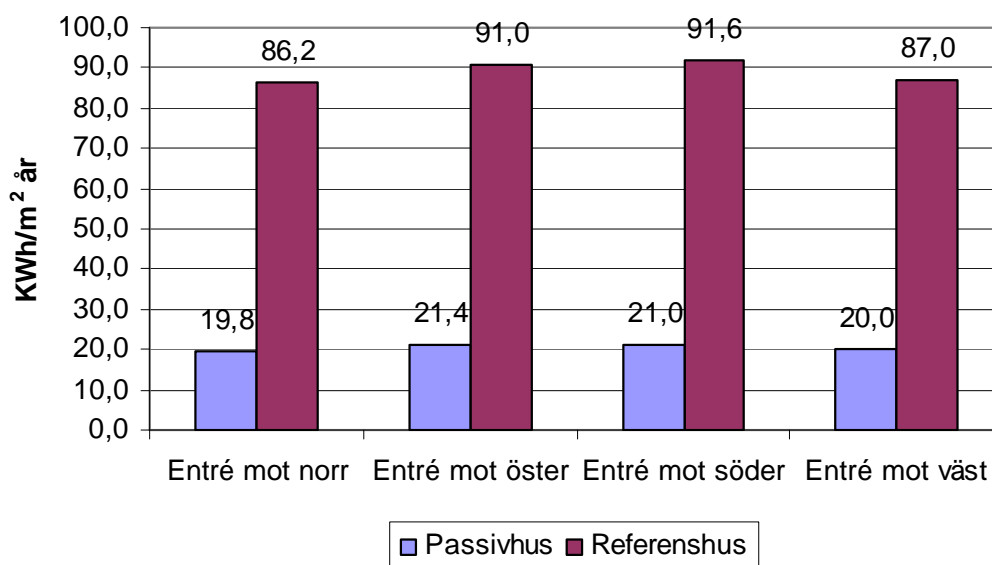
## 8 Känslighetsanalys

För att utvärdera hur husen fungerar har känslighetsanalyser gjorts. Analyserna har koncentrerats till ytterligheterna, det vill säga referenshuset och passivhuset.

### 8.1 Roterat huset

I ”grundutförande” är husen placerade med entrén åt söder, vilket medför små fönsterareor åt syd och väst samt stora fönsterareor åt nord och öst. Dessutom skuggar en carport den västra sidan. Vi simulerar att rotera på huset för att se hur stor skillnaden blir i nettovärmebehov, beroende på hur huset placeras.

Genom att rotera fås vilket läge som är mest, respektive minst gynnsamt. Det fall som gav mest gratis solenergi för båda husen är fallet med entrén åt norr och stora fönsterareor åt syd och väst. Dessa fall ger även upphov till högst övertemperaturer på sommaren, vilket också bör beaktas. Med bra solavskärmning på utsidan huset och goda vädringsmöjligheter är det dock inga problem.



Figur 66 – Nettovärmebehovet för referenshuset och passivhuset för placering i olika väderstreck.

Sämsta läget, ur energisynpunkt, är för passivhuset när entrén är mot öster medan det för referenshuset är när entrén är mot söder. Olikheten beror på att proportionerna för fönstren i olika väderstreck skiljer sig åt mellan passivhuset och referenshuset. När referenshuset roterades gjordes en energibesparing för uppvärmning på 670 kWh per år. Vid rotering av passivhuset minskade energianvändningen med 200 kWh, se Figur 66.

## 8.2 Inverkan av internlaster

Att husen skall kunna användas av olika familjesammansättningar är givetvis viktigt och en förutsättning för att de skall byggas. Husen har tidigare simulerats med samma mängd internlaster. Men internlaster är något som kan variera stort mellan olika hushåll. En barnfamilj avger mer värme till byggnaden än ett pensionärspär. Förmodligen använder en barnfamilj även mer hushållsenergi genom att mer elektrisk utrustning utnyttjas. För passivhus hyses ofta en oro, vilket kan vara obefogat, att det ska bli för kallt om det är för lite människor och aktivitet i huset. Känslighetsanalys har därför gjorts på passivhuset samt på referenshuset för att studera inverkan av antalet brukare. Studier på både energianvändningen och inomhustemperaturen har gjorts. I känslighetsanalysen har värme från hushållsenergi varit konstant och endast inverkan av olika personsammansättningar har beaktats.

Om passivhuset är bebott av en barnfamilj bestående av två vuxna och två barn, istället för att vara bebott av två vuxna minskar energianvändningen för uppvärmning med cirka 200 kWh per år. Inomhustemperaturen påverkas inte nämnvärt. Samma resultat fås i referenshuset.

Ibland står även huset tomt och ett fall har simulerats för att se så att husen, speciellt om det är fråga om passivhus, klarar en längre frånvaro utan att temperaturen sjunker alltför mycket. Endast hushållsapparater (kyl, frys) och solinstrålning bidrar med internvärmestillskott. Börvärdet i frånluftstemperaturen har i IDA minskats till 19°C. Antagandet grundar sig på att husägare ofta sänker temperaturen när de under en längre tid lämnat sina hem för att på så sätt minska sin energianvändning. Temperaturen i huset håller sig enligt beräkningarna omkring 19°C men på övervåningen är temperaturen något lägre. Detta beror troligen på att fönsterareorna är något större på övervåningen, vilket bidrar till ökad värmetransmission. En annan anledning kan vara att hushållsapparaterna som avger värme är placerade på undervåningen. Energinvändningen i denna simulering minskar när huset står tomt, vilket beror på sänkningen av börvärdet i frånluftstemperaturen.

## 8.3 Omgivning

Tidigare har endast garaget skuggat huset. I verkligheten kommer antagligen fler objekt, till exempel träd, berg eller andra byggnader att skugga delar av huset. En simulering har gjorts där ett antal skuggande objekt placerats för att skugga huset från syd och väst. I denna simulering är huset placerat med de största fönsterareorna i dessa riktningar och de skuggande objekten motsvarar fyra meter höga plank. Den instrålade solenergin minskade, vilket medförde att energianvändningen för passivhuset ökade cirka 200 kWh under ett år och att temperaturen inomhus blev något lägre. Det skuggade huset hade en temperatur under 21°C i cirka 170 timmar mer än huset utan skuggor. För referenshuset ökade energianvändningen med 400 kWh när huset skuggades. Temperaturen var under 21°C i cirka 120 timmar mer än när huset inte hade någon skuggning.



## 8.4 Fönsterareor

För att byggnaden skulle klassificeras som passivhus enligt vår definition minskades som tidigare nämnts fönsterarean till 16 % i förhållande till golvarean. Med denna reducering av fönsterarean minskar den köpta energin för uppvärmning med 400 kWh under ett år. Även det termiska inomhusklimatet blir sommartid bättre i ett hus med mindre fönsterareor. Stora fönsterareor bidrar med ett högt värmefflöde in i huset sommartid. Att minimera fönsterarean bidrar därmed till en minskad risk för övertemperaturer i huset.

Att minska fönsterarean gör att transmissionsförlusterna minskar, men medför också att den instrålade mängden solenergi blir lägre. Som ett exempel kan nämnas att under februari månad sänks transmissionsförlusterna med 170 kWh, men samtidigt minskar den instrålade solenergi med 100 kWh. Den totala energibesparningen blir alltså under denna månad 70 kWh.

## 8.5 Höjning av inomhustemperaturen

Husen har simulerats med en inomhustemperatur på 21°C men vissa personer vill ha en högre temperatur varför även ett fall med inomhustemperatur på 23°C simulerats. Den köpta energin för uppvärmning ökade i passivhuset med cirka 650 kWh under ett år. För referenshuset blev ökningen 1800 kWh/år.

## 8.6 Luftläckage

Luftläckaget är vid passivhuset satt till 0,3 l/s m<sup>2</sup> vid 50 Pa tryckskillnad. För att uppnå en så god lufttäthet krävs stor noggrannhet vid uppförandet av byggnaden. En simulering är gjord då luftläckaget istället är 0,8 l/s m<sup>2</sup>, vilket är BBR: s krav för lufttäthet. Energianvändningen ökar då med cirka 500 kWh under ett år. Inomhustemperaturen blir något lägre vintertid och hamnar vissa dagar under 20°C. För referenshuset som i grundfallet har ett läckage på 0,44 l/s m<sup>2</sup> sker ingen större förändring av det totala värmebehovet när läckaget ökar till 0,8 l/s m<sup>2</sup>. Värmebehovet ökar med endast 50 kWh per år. Tätheten spelar i detta hus alltså inte så stor roll, förutsatt att den uppfyller Boverkets krav.

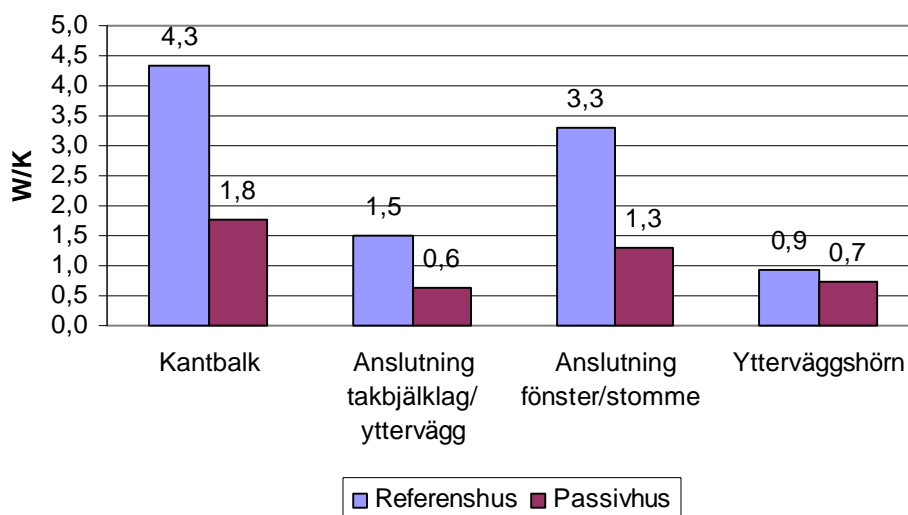
Det beror på att frånluftssystemet skapar en tryckbild som gör att okontrollerat luftläckage endast förekommer vid högre vindhastigheter samt vid mycket låga utomhustemperaturer. Hur luften kommer in, via spaltventiler eller genom läckage, har här mindre betydelse eftersom samma mängd uteluft fortfarande behöver samma mängd energi för att värmas till rumstemperatur. För hus med mekanisk till- och frånluftsventilation är däremot lufttätheten mycket viktig för att spara energi. Kommer luften in via otätheter istället för att passera värmeåtervinnaren krävs mer energi för att värma luften, vilket simuleringen av passivhuset visar. Dessutom påverkas luftomsättningen redan vid låga vindhastigheter eller små temperaturdifferenser. Det beror på att FT-systemet inte skapar något nämnvärt undertryck i bygganden som kan balansera påverkan från ett yttre klimat, i form av vindtryck och

skorstenseffekt. Redan vid måttlig påverkan kommer därför luft att läcka okontrollerat genom byggnadens otätheter.

Otätheter i klimatskalet påverkar även det termiska inomhusklimatet och kan om de förekommer på fel ställe i t ex en golvvinkel bidra till lokalt höga lufthastigheter och en viss diskomfort, även om huset uppfyller kravet på  $0,8 \text{ l/s m}^2$ . Ur denna synvinkel är det alltså fördel att ha ett lufttätt klimatskal även om man har frånluftsventilation.

## 8.7 Köldbryggor

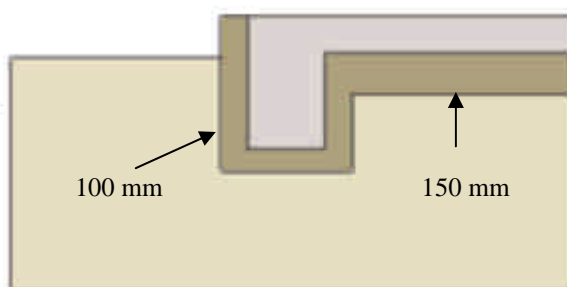
För referenshuset motsvarar köldbryggorna ett ökat värmebehov på  $10,0 \text{ W/K}$ . För passivhuset motsvarar de  $4,4 \text{ W/K}$ . Vid dimensionerade utetemperatur ( $-14^\circ\text{C}$ ) och inomhustemperaturen  $21^\circ\text{C}$  är effektförlusterna via köldbryggor  $350 \text{ W}$  för referenshuset och  $154 \text{ W}$  för passivhuset. Hur köldbryggorna är fördelade för referens- respektive passivhuset redovisas i Figur 67.



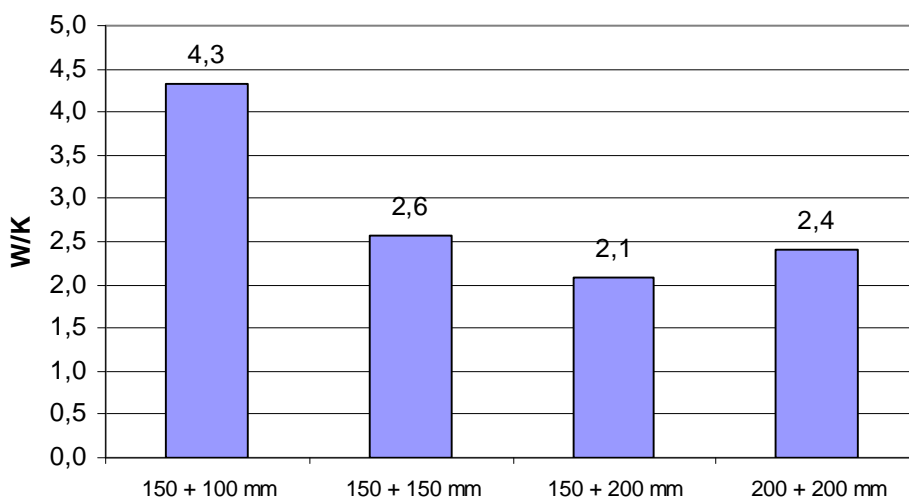
Figur 67 - Köldbryggornas fördelning i passivhuset och referenshuset

De största köldbryggorna förekommer i båda husen runt kantbalk, samt vid anslutningar mellan fönster och stomme. För referenshuset kan stora förbättringar göras genom att öka isoleringsnivån kring kantbalken. Isolertjockleken är under plattan  $150 \text{ mm}$  samt under och utanpå kantbalken  $100 \text{ mm}$ , enligt Figur 68. I Figur 69 ses hur värmeförlusterna minskar då mer isolering läggs runt kantbalken. I figuren ses att det sker en stor förbättring genom att lägga till ytterligare  $50 \text{ mm}$  isolering runt kantbalken. Att värmeförlusterna ökar runt kantbalken då mer isolering läggs under plattan, beror troligtvis på att mer värme letar sig ut genom kantbalken. De totala transmissionsförlusterna genom plattan blir dock lägre, vilket visas i Figur 70 där byggnadens totala nettovärmebehov redovisas. Genom att förbättra isoleringen till  $200 \text{ mm}$  under hela plattan och kantbalken kan värmeförlusterna runt kantbalken minskas med  $55 \%$ . Det skulle ge en besparing på  $360 \text{ kWh}$  i årlig uppvärmningsenergi. Att förbättra isoleringen under plattan skulle även vara komfortförbättrande då

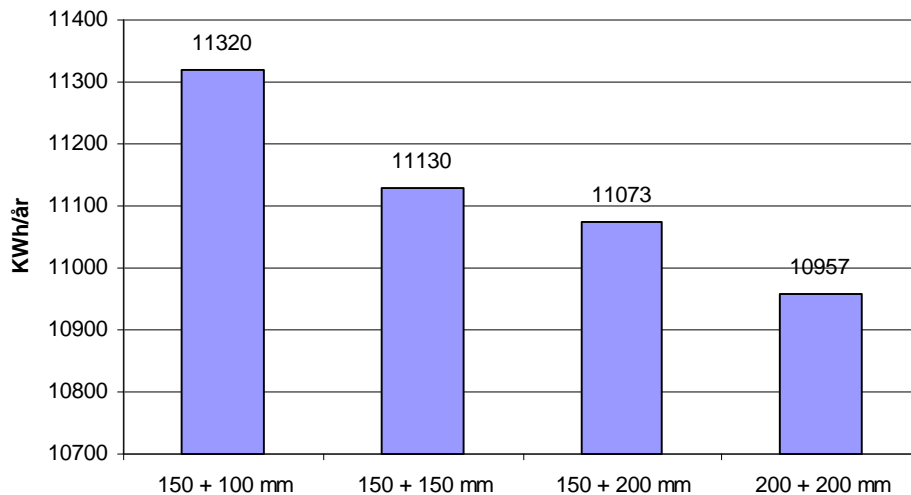
yttemperaturen på golvet skulle bli högre. Passivhuset har 350 mm isolering under plattan och 300 mm isolering runt kantbalken. Värmeförlusterna genom kantbalken är för denna konstruktion 1,77 W/K, vilket kan jämföras med referenshuset som har 4,3 W/K. Att isolera mer under passivhuset skulle inte ge nämnvärt mindre köldbryggor. Transmissionsförlusterna genom grunden är för denna konstruktion redan låga.



Figur 68 – Isolering vid kantbalk (Isolerguiden, 2004).

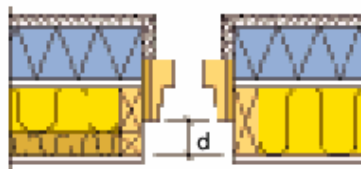


Figur 69 – Värmeförluster via köldbryggor vid kantbalk. Det första värdet på x-axeln under respektive stapel avser isoleringstjockleken under plattan. Det andra värdet visar isoleringstjockleken runt kantbalken.

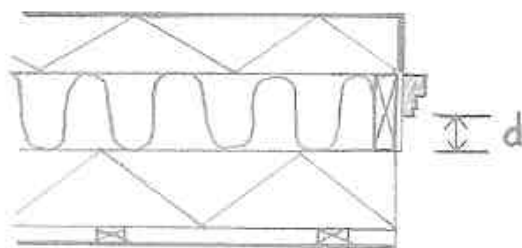


**Figur 70 – Referenshusets nettovärmebehov vid olika isolertjocklekar i grunden. Det första värdet på x-axeln under respektive stapel avser isoleringstjockleken under plattan. Det andra värdet visar isoleringstjockleken runt kantbalken.**

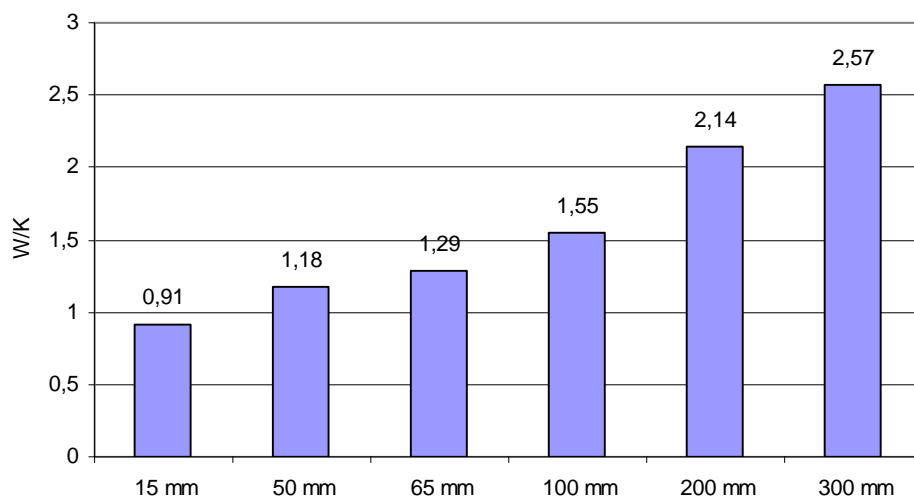
För passivhuset är det mycket viktigt hur fönstren monteras. Då väggstjockleken är större kommer en större yta av köldbryggan att exponeras mot innerluften om fönstret monteras långt ut i smygen, se Figur 71. Ju större avstånd "d", desto större värmeförluster genom detaljen. Vid stora väggstjocklekar bör istället fönstret monteras långt in eller också kan ett lager av cellplast monteras utanför de bärande reglarna för att bryta av och minska köldbryggan. I Figur 73 redovisas hur köldbryggorna ökar med ökande d-mått. Vårt passivhus har d-måttet 65 mm, enligt figur 72. För beräkningar se Bilaga 2. För referenshuset skulle köldbryggorna runt fönstren minska om fasaden skulle vara putsad. Det beror på att regelkonstruktionen med mineralull till viss del skulle vara ersatt med cellplast. För träfasaden är köldbryggorna 3,29 W/K och för den putsade fasaden 1,42 W/K. Värmeflödet vid DUT -14°C är för träfasaden 115 W och för den putsade 50 W, det vill säga 56 % lägre. Även väggens totala transmissionsförluster skulle bli lägre för detta fall. Att montera fönstret långt in i ytterväggen kan innebära en konflikt då arkitekter och de som vill bo i huset ofta vill ha en djup fönsterbänk. Att montera fönstren långt in innebär även att mindre ljus och mindre mängd solenergi kommer in.



**Figur 71 - Betydelse av fönstrens placering med hänsyn till köldbryggor i karmen. Ju större d-mått, desto större transmissionsförluster genom köldbryggor.**

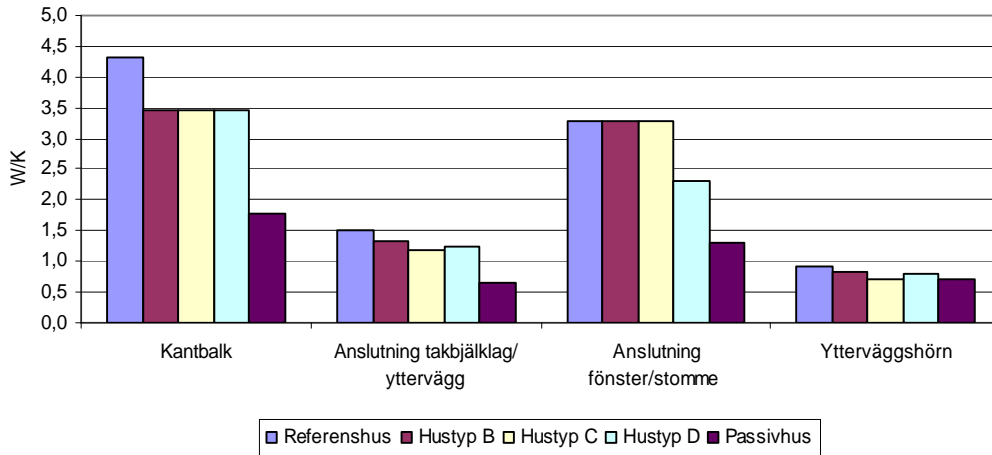


**Figur 72 - d-måttet för passivhuset**

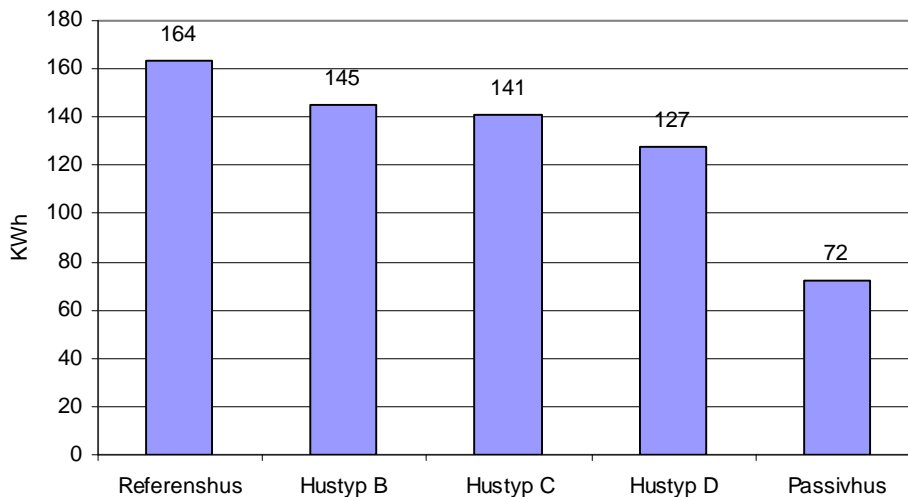


**Figur 73 - Redovisning av hur köldbryggorna tilltar med ökande d-mått för fönsterplaceringen i passivhuset.**

I Figur 74 jämförs hur köldbryggorna fördelas hos de olika hustyperna. Från Kapitel 7 kan utläsas att köldbryggornas andel av de totala transmissionsförlusterna ligger mellan 8-9 %. I Figur 75 visas hur stora transmissionsförlusterna genom köldbryggor är under januari månad för de olika husen. Medeltemperaturen under januari är 0,9°C. Mellan referenshuset och passivhuset skiljer det 92 kWh.



Figur 74 - Redovisning av hur köldbryggorna fördelas mellan de olika hustyperna.



Figur 75 – Transmissionsförluster genom köldbryggor under januari månad.

## 8.8 Öppning av dörrar

Varje gång en dörr eller ett fönster öppnas sker ett värmeutbyte med utomhusluften. Hur ofta och hur länge en dörr är öppen påverkar byggnadens energianvändning såväl som inomhusklimat. Ett fall då entrédörren öppnas ett antal gånger per dag har simulerats. I simuleringarna öppnas dörren klockan 06, 08, 14, 18, 20 och är öppen 30 sekunder varje gång. Simuleringarna visade att i passivhuset sjunker temperaturen under 20°C i 36 timmar under året och att denna temperaturminskning kommer i samband med att dörren öppnas och en tid där efter. Energianvändningen ökade med 400 kWh under ett år. I referenshuset sjönk temperaturen ner under 20°C i 64 timmar under ett år. Skillnaden i energianvändning per år blev liten. Resultatet ger oss ett bevis på att luftsluss därför är ett bra alternativ, eftersom denna bidrar till att kall luft

inte strömmar in i samma mängd och därmed inte skapar temperaturfall i samma omfattning.

Anledning till att energianvändningen inte ökade nämnvärt i referenshuset beror troligtvis på att det traditionella uppvärmningssystemet är ett ”trögt system” där kortvariga temperaturvariationer inte påverkar effekten som avges från värmesystemet. En annan anledning till att energianvändningen inte ökade i referenshuset kan vara att luften som kommer in genom dörren annars skulle komma in genom spaltventilerna. I passivhuset ökar luftvärmaren istället effekten direkt då lufttemperaturen sjunker i rummet, vilket ger upphov till en högre energianvändning. För passivhuset kommer kall uteluft in genom ytterdörren istället för att passera värmeåtervinnaren, vilket också medför högre energianvändning. Det är i båda fallen samma kalla uteluft som kommer in och samma mängd luft som ska värmas.

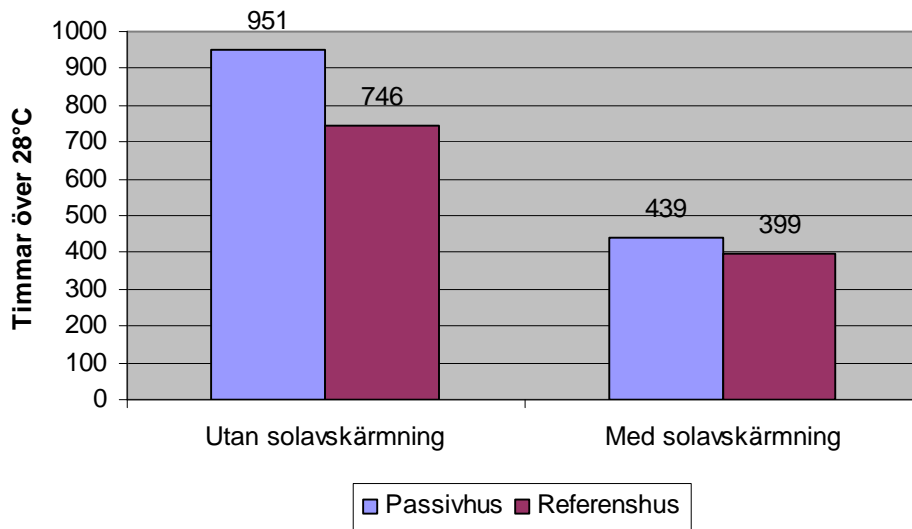
## 8.9 Vädring och solavskärmning

Under sommarmånaderna uppstår höga inomhustemperaturer bland annat på grund av solinstrålning och ett lågt värmebehov. Vid dessa tillfällen klarar inte ventilationen av att föra bort överskottsvärmen. För att undvika övertemperaturer simuleras därför vädring samt solavskärmning. Vädring simuleras under sommarmånaderna juni till mitten av augusti. De fönster som öppnas är verandadörren på undervåningen och fönstret i sovrum 1. Fönstren är öppna mellan 16 – 22. Solavskärmning simuleras genom att markiser på fönstren åt söder används sommartid.

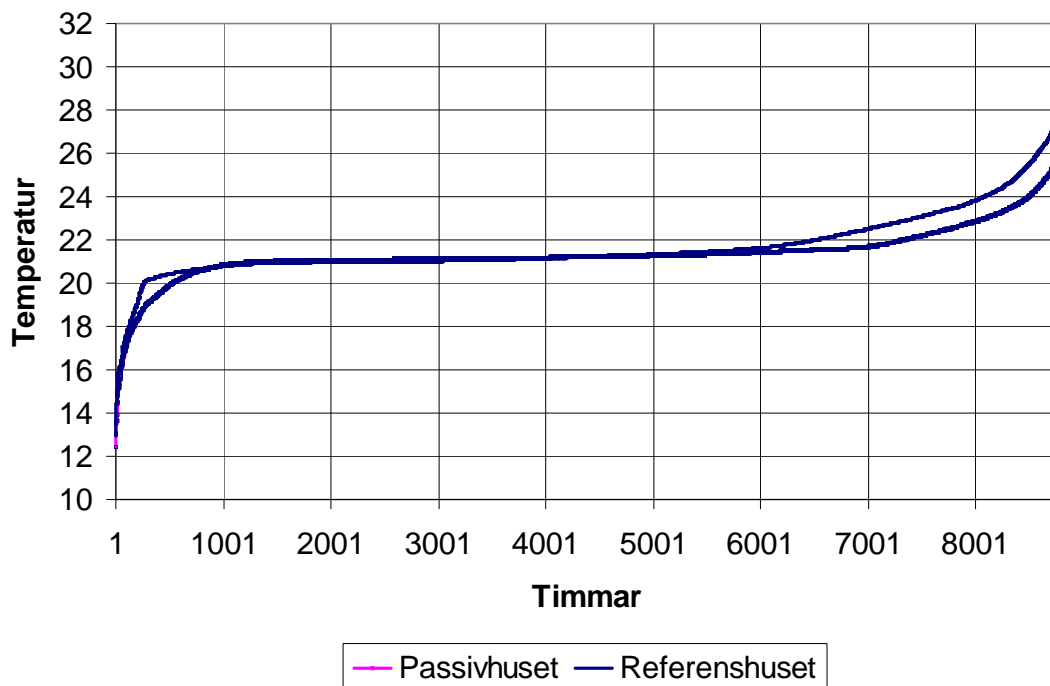
Varmast blir det på övervåningen i både passivhuset och referenshuset. Simuleringarna visade att referenshuset når en något högre temperatur än passivhuset sommartid, över 37°C. I passivhuset blir det som varmast cirka 35°C. Att referenshuset blir varmare än passivhuset under sommaren beror framförallt på att passivhuset har mindre fönsterarea än referenshuset, vilket medför att mindre mängd solenergi strömmar in. Det beror även på att referenshusets fönster har högre solfaktor och släpper därmed igenom mer solenergi än vad passivhusets fönster gör.

Vid vädring och solavskärmning håller sig temperaturerna inom rimliga gränser och överskrider inte 28°C, vilket redovisas i Figur 76. Undertemperaturerna i varaktighetsdiagrammet beror på att vädring har simulerats även under kallare dagar då vädring egentligen inte behövts.

Att använda permanent solavskärmning i form av takutsprång är något som hjälper till att hålla nere inomhustemperaturen under sommarmånaderna. Då solen står högt under sommaren gör takutsprånget att solenergin hindras att komma in i huset. Under vintermånaderna då solen står lågt kommer istället solenergin in och kan då medföra att uppvärmningsbehovet minskar. I simuleringarna är takutsprånget 0,65 m. Simuleringar gjordes även med större takutsprång men då skärmades för mycket sol bort under vintern vilket innebar en högre energianvändning. För referenshuset minskade antalet timmar med övertemperaturer med ca 350 och för passivhuset med ca 510, enligt Figur 76. Värmebehovet ökade med denna förändring med 420 kWh för referenshuset och 147 kWh för passivhuset.



Figur 76 - Antal timmar med temperatur över 28°C på undervåningen för referenshuset respektive passivhuset.



Figur 77 - Varaktighetsdiagram med vädring i passivhuset och referenshuset



## **8.10 Effektbehov under vinterdagar utan sol**

För att se hur mycket effekt som krävs för uppvärmning då ingen solenergi tillförs byggnaden har en simulering gjorts. Simuleringen gjordes under ett dygn med konstant utomhustemperatur på  $-14^{\circ}\text{C}$  och med vår brukarprofil. Effektbehovet blev för referenshuset cirka 4800 W och för passivhuset nästan 1500 W. Resultatet visar att vårt krav för att nå passivhusdefinitionen på  $12\text{W}/\text{m}^2$  därmed uppfylls.

## **8.11 Verkningsgraden i FTX- aggregatet**

Tidigare har verkningsgraden 82 % använts för båda husen. Men ett fall har simulerats när verkningsgraden är satt till 75 % för att se hur behovet av tillförd värme påverkas. I passivhuset måste ytterligare 300 kWh/år tillföras och för referenshuset 370 kWh/år. Inomhusklimatet påverkas inte av ändringen i verkningsgrad.

## 9 Slutsatser och rekommendationer

### 9.1 Slutsatser

Det finns idag stor potential att minska energianvändningen för småhus. Ändringar av klimatskalet kan minska värmebehovet och installationer kan bidra till att minska den köpta energin. Det hus från NCC som studerats i rapporten har något lägre isoleringsstandard än vad genomsnittet är för det svenska småhusbeståndet. Boverkets krav för energihushållning i bostäder känns med dagens material och teknik lågt satta. Nya byggnader uppförs idag för att precis uppfylla Boverkets regler och att höja kraven skulle därför kunna innebära en betydande sänkning av värmebehovet i nyproducerade hus.

De största besparingarna för det studerade huset erhålls genom att förbättra väggar och fönster. Isoleringen i takbjälklaget är idag tillfredställande, men i grunden kan förbättringar göras.

Genom att förbättra klimatskalet kan värmebehovet minskas med mellan 1100 – 2100 kWh per år för referenshuset. I rapporten redovisas två hustyper som båda minskar värmebehovet med cirka 2100 kWh, hustyp C och D med U-värde 1,0 W/m<sup>2</sup>K på fönster. Förutom att energianvändningen minskar uppnås även ett bättre inomhusklimat. Förbättras klimatskalet ytterligare, fönsterarean minskas, radiatorer och golvvärme byts ut mot FTX med en eftervärmare kan huset bli, enligt våra krav, ett passivhus. För detta krävs 490 mm isolering i väggarna, 350 mm under plattan, fönster med U-värde 1,0 samt 450 mm isolering i vindsbjälklaget. Värmebehovet har då minskat med 4900 kWh och den totala energianvändningen minskat med 8800 kWh per år jämfört med referenshuset.

Frånluftsvärmepump och FTX sänker båda behovet av köpt energi. Att installera en frånluftsvärmepump i referenshuset minskar den totala köpta energin med 5560 kWh och att installera FTX minskar den totala köpta energin med 4350 kWh. Att värmepumpen sänker energianvändningen mer än FTX beror på att värmepumpen även bidrar med energi till tappvarmvattenuppvärmningen. FTX-ventilation ger dock betydligt jämnare inomhusklimat. Ett hus med FTX-ventilation uppvisar cirka 700 – 1000 färre timmar med lufttemperatur under 21°C i simuleringarna, jämfört med ett hus med frånluftsvärmepump. Att kombinera FTX med solvärmesystem skulle innebära att den totala köpta energin skulle bli lägre än för samma hus utrustat med frånluftsvärmepump. Huset skulle dessutom uppvisa ett bättre inomhusklimat.

Det är viktigt att minimera köldbryggorna, eftersom dessa står för en stor del av transmissionsförlusterna. De största köldbryggorna finns vid anslutningen mellan fönster och yttervägg samt vid kantbalken. Att montera fönstren längre in i ytterväggen samt isolera mer runt kantbalken minskar dessa köldbryggor. Att använda cellplast i ytterväggarna ger, förutom lägre U-värde jämfört med lika tjock vägg med genomgående regler och mineralullsisolering, även avsevärt lägre transmission via köldbryggor runt fönster.

Inomhustemperaturerna under sommaren blir högre i ett hus med ett mer välisolerat klimatskal. Dock uppvisar passivhuset lägre antal timmar över 28°C än hustyp B, C och D. Detta beror på att fönsterarean är mindre för detta hus samt att solfaktorn är

lägre. Att det är viktigt med solavskärmning för välisolerade hus för att uppnå komfortabla inomhustemperaturer är en slutsats som dras. Permanenta takutsprång är även bra för att minska risken för rimfrost eller utvändig kondens på fönster med lågt U-värde. Såväl vanliga hus som lågenergihus behöver dock vädras sommartid och simuleringar har visat att med vädring uppnås komfortabla inomhustemperaturer sommartid. Att öppna ett fönster på vardera våningen ger snabb sänkning av temperaturen.

Att öppna dörren under uppvärmningssäsongen innebär för ett hus med luftvärme, som passivhuset, en högre ökning av energianvändningen än för ett hus med traditionellt värmesystem.

Simuleringar visar att husets orientering har betydelse för tillgodogörande av solvärme genom fönstren. Behovet av tillförd värme från uppvärmningssystemet ökade med som mest 8 % i passivhuset och 5 % i referenshuset beroende på husets orientering. Referenshuset påverkas alltså inte lika mycket av orienteringen fastän huset har större fönsterareor jämfört med passivhuset.

Tätheten för hus med styrd till- och frånluft är viktigare än för hus med enbart frånluftsventilation. Genom att förbättra tätheten från 0,8 till 0,3 l/sm<sup>2</sup> går det att spara 500 kWh under ett år för passivhuset.

## 9.2 Rekommendationer

De rekommendationer som kan ges till NCC beträffande åtgärder för att minska värmebehovet i den studerade byggnaden är uppdelade på två alternativ.

Det första alternativet är då NCC vill förbättra den befintliga hustypen och behålla det traditionella uppvärmningssystemet med golvvärme på undervåningen och radiatorer på övervåningen. I detta fall rekommenderas, av de hustyper som analyserats, hustyp C eller D eftersom dessa har lägst värmebehov och uppvisar ungefär samma inomhusklimat. Skillnaden ligger i hur ytterväggarna är uppbyggda. Hustyp C har 250 mm isolering i väggarna och putsad fasad, hustyp D har 290 mm isolering i väggarna och träfasad. Att använda cellplast som isolering ger både bättre U-värde jämfört med en regelvägg av samma tjocklek och har även lägre värmeförluster via köldbryggor. Huset bör kompletteras med antingen frånluftsvärmepump eller FTX-aggregat. Ses endast till den totala köpta energin för huset skall frånluftsvärmepump väljas, men FTX-förslaget bör beaktas då det uppvisar ett bättre inomhusklimat under uppvärmningssäsongen. Det bästa alternativet såväl energimässigt som komfortmässigt är att kombinera ett FTX-system med solfångare.

Den andra rekommendationen är att vidare utreda huruvida ett så kallat passivhus kan byggas. Efter att i denna rapport studerat ett antal passivhusprojekt som tidigare byggts, samt att vi med hjälp av simuleringar också fått en egen bild av hur passivhus kan fungera kan vi ge riktlinjer för utformandet av sådana hus.

I denna rapport har vi utgått från en befintlig hustyp när passivhuset har tagits fram. Detta är inte rätt väg att gå enligt oss, utan huset bör redan i planeringsstadiet ritas för

att bli ett passivhus. Det som framförallt bör tänkas på är att minimera husets omslutningsarea samt att undvika stora fönsterareor.

Simuleringarna av passivhuset samt tidigare projekt, visar att det fungerar utmärkt att bo i ett hus utan traditionellt värmesystem. Dock bör det tänkas på att i simuleringarna har huset endast varit uppdelat i två zoner, en undervåning och en övervåning. Innerväggar har saknats så luften har lätt kunnat spridas runt om i huset. Erfarenheter från tidigare projekt har visat att öppen planlösning är att föredra i passivhus (Eek, 2005). Inomhustemperaturen blir jämn och är inte så beroende av vart människorna och aktiviteten i huset befinner sig. Med dagens sätt att planera hus, där öppna planlösningar ofta föredras, så är troligtvis inte planlösningen något problem. Dock kan enskilda rum i passivhus som ofta är stängda, exempelvis badrummet, uppvisa kallare temperatur än övriga huset enligt vår litteraturstudie. I badrummet kan det därför vara aktuellt med elektrisk golvvärme. Även i farstun där våta skor skall torka kan detta vara aktuellt och det är också något folk efterfrågar enligt NCC. För att spara energi kan dessa vara försedda med timer.

En trend som ses i småhusbyggandet idag är stora fönsterareor. Fönstren står i ett passivhus för de största transmissionsförlusterna genom klimatskalet. Att minska fönsterarean och använda fönster med låga U-värden är ett enkelt sätt att få ner energianvändningen. Att hitta fönster med U-värden under  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  är inte alldeles enkelt. Efterfrågar de stora byggföretagen bättre fönster borde dock fönsterleverantörerna kunna erbjuda detta. Lindåshusen har visat att det går att komma ner i  $0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Boström, Glad m fl, 2003).

Eftersom höga inomhustemperaturer kan uppkomma sommartid och under vår och höst, är solavskärmning något som arkitekten bör tänka på. Avskärmningen kan till exempel bestå av stora takutsprång, balkonger eller markiser. Simuleringarna visar att med effektiv vädring uppnås snabbt komfortabla inomhustemperaturer. I Lindåshusen användes takfönstret flitigt och de boende tyckte att vädringen fungerade bra. Takfönster är ett effektivt sätt att vädra eftersom det tillsammans med att öppna ett fönster på undervåningen ger goda förutsättningar att snabbt ventilera bort den varma luften.

Tätheten i ett hus med styrd till- och frånluft spelar roll för inomhusklimat och värmebehov, vilket simuleringarna och erfarenhet från tidigare projekt visat. Det är mycket viktigt att vara noggrann vid monteringen av plastfolien, vilket snickarna bör vara informerade om. Glumslövprojektet har visat att det går att komma ner i en lufttäthet motsvarande  $0,1 \text{ l/sm}^2$  vid  $50 \text{ Pa}$  tryckskillnad.

I känslighetsanalysen simulerades dörröppning, vilket visade att låga inomhustemperaturer kan uppkomma i samband med öppningen. I passivhuset medförde detta en ökad energianvändning. Ett sätt att minimera flödet är att bygga en luftsluss som fungerar precis på samma sätt som en farstu i äldre byggnader. Med en luftsluss minskar luftutbytet och därmed minskar även behovet av att tillföra extra värme för att kompensera för de förluster som uppkommer på grund av in- och utpassager. Luftslussen kan även utnyttjas som avställningsyta för till exempel barnvagnar eller blöta ytterkläder och skor.

Köldbryggor är en viktig del som alltid bör beaktas. De största värmeförlusterna via köldbryggor sker vid kantbalk och vid anslutning fönster och stomme. I rapporten visas hur dessa kan halveras.

## 10 Diskussion

Teknik finns för att producera mer energieffektiva småhus. Dock är byggsektorn trög när det gäller att komma igång med byggandet av bostäder med lågt värmebehov. Det verkar som de stora aktörerna först vill se goda exempel på energisnåla hus innan de själva vågar satsa. Detta är förståeligt med tanke på att hus inte är något som förbrukas på kort tid utan är tänkta att hålla i årtionden.

Ett annat dilemma är att få kommuner som har egen fjärrvärme att satsa på energi-effektiva byggnader. Fjärrvärme är en stor inkomstkälla för kommunerna. Ju bättre husen blir, ur energisynpunkt, desto mindre pengar får kommunen in på fjärrvärmerna. Att ansluta hus med lågt värmebehov till fjärrvärme kan till och med vara olönsamt för kommunen.

Under arbetets gång har mycket energi lagts på att få simuleringarna att likna verkligheten så mycket som möjligt. De boendes brukarvanor spelar roll för såväl energianvändningen som inomhusklimatet. Mycket tid lades därför på att hitta en fungerande brukarprofil. Vi har konsekvent valt att inte överskatta dessa bidrag och har exempelvis valt att inte räkna med något tillskott från varmvattnet till värmebalansen samt räknat med att inte all el kommer huset tillgodo i form av värme. Man bör dock observera att brukarnas vanor starkt varierar. En förenkling som gjorts är antagandet om att driftsel till fläktar och pumpar är lika stor för de olika alternativen. Vi ansåg att denna förenkling kunde göras då vi inte räknar med någon temperaturhöjning över tilluftsfläkten. Detta kunde utredas mer. Effekten av köldbryggor visade sig vara större än vad vi först anade och dessa har räknats för hand genom Swedisols beräkningsmetoder, vilka bygger på europastandarder.

Ingen av oss hade innan detta examensarbete arbetat med IDA Klimat och Energi 3.0. Vi fick på egen hand lära oss programmet, vilket har inneburit att mycket tid lagts på detta. Då examensarbetet nästan var slut fick vi dock gå på en kurs. Kursen bekräftade att vi hade byggt upp våra modeller riktigt samt att vi använt programmet på rätt sätt för de simuleringar som redovisas i arbetet.

Att till ett lågenergihus hitta ett optimalt värmesystem för att täcka det lilla värmebehov som ändå behövs är i dagsläget inte helt lätt. Lågenergihus som byggts har ofta ett FTX-system och ett värmebatteri för extra tillskott. Förslag på andra system har varit svåra att hitta, i alla fall i Sverige. Under arbetets gång har ett förslag på en från- och tilluftsvärmepump lämnats från NCC till värmepumpföretaget IVT. Poängen med pumpen är att utnyttja energin i frånluften både till att värma tilluften samt att värma varmvatten. En vanlig frånluftsvärmepump värmer endast varmvatten, men i denna pump ska vattenburna slingor placeras i tilluftskanalen och på så sätt även värma luften.

Något som inte lagts så stor vikt vid i detta arbete är att använda solfångare. Genom att kombinera FTX med solfångare skulle detta alternativ energimässigt kunna konkurrera och ge en lägre energianvändning än frånluftsvärmepump.

Då ett hus med FTX-aggregat uppvisar mycket stabilt inomhusklimat kan man förvänta sig att brukarna "litar" på sitt system och inte ställer termostaten högre än vad som krävs. För ett hus med enbart frånluftsventilation kan det vara så att

brukarna, för att försäkra sig om att få önskad inomhustemperatur, ställer termostaten på en högre temperatur än rekommenderat börvärde. Detta skulle i så fall innebära en högre energianvändning för hus med frånluftsvärmepump än vad våra simuleringar visar.

I rapporten har husen uteslutande simulerats med en brukarfamilj. Man bör vara medveten om att brukarna uppvisar stora skillnader i beteende, varför den köpta energin till husen i verkligheten skulle uppvisa stora variationer. Detta är något att ta i beaktande då man läser sammanställningarna över energianvändningen i husen. Med hänsyn till detta bör även resultaten för passivhuset läsas med en smula försiktighet. Mer simuleringar med olika brukare, placering av huset samt väderförhållanden bör göras för att försäkra sig om att kravet på inomhustemperaturen, samt effekt- och energikrav uppfylls för passivhuset.

Passivhus är ett omdiskuterat begrepp. Även om passivhuset i denna rapport klarade våra ställda krav kan frågan ställas hur passivt huset egentligen är? Elvärmebatteriet som tillför värme i tilluften används under hälften av årets alla timmar, varför begreppet passivt kan uppfattas något missvisande.

## 11 Vidare studier

För att få fram vilka energibesparande åtgärder som NCC bör satsa på kan en LCC-analys göras för alla alternativ. Frågor som då kan besvaras är om det till exempel är ekonomiskt lönsamt att endast energieffektivisera vissa delar och inte gå hela vägen mot ett passivhus.

Det vore intressant att göra en fallstudie som byggts på de förutsättningar som vi valt för någon av de olika hustyperna. Detta för att jämföra examensarbetets beräkningsresultat med verkliga uppmätta värden.

Det bör även studeras huruvida ett passivhus kan uppföras som ett enplanshus. Förutsättningarna för ett sådant hus kan vara annorlunda.

I arbetet har vi fokuserat på lufttemperaturen inomhus. Det bör utredas djupare hur mycket den operativa temperaturen påverkas i ett bostadshus med en högre isoleringsgrad av klimatskalet. Kanske kan lufttemperaturen sänkas om den operativa temperaturen är högre och då ytterligare sänka energianvändningen?

Tungt byggande i småhus är en annan intressant byggteknik som borde studeras vidare. Studier har tidigare visat att det ger fördelar i exempelvis kontorslokaler.

Köldbryggor står för cirka 10 % av transmissionsförlusterna i de simulerade småhusen. NCC bör ta del av forskning som gjorts i ämnet och ta fram nya lösningar som kan minimera värmeförlusterna genom köldbryggor.



## 12 Referenser

### Tryckta källor

Anderlind Gunnar, Stadler Claes-Göran (2004). *Isolerguiden 04*. Swedisol, Tomelilla 2004

Bagge Hans, Elmroth Arne, Lindstrij Lotti (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*. Rapport TVBH-3048 Avdelningen för Byggnadsfysik, Lund 2004

Bergsten Bengt (2001). *Energiberäkningsprogram för byggnader- en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. Rapport EFFFEKTIV 2001:03

Boström, Glad, Isaksson, Karlsson, Persson, Werner (2003). *Tvårvetenskaplig analys av lågenergihusen i Lindås Park, Göteborg*. Program Energisystem, 2003

Boverkets byggregler BFS 1993:57 med ändringar till och med 2005:17

Boverket (2005). *Remiss: Revidering av Boverkets Byggregler avsnitt 9*. Boverket, Karlskrona 2005

Boverket (2005). *Konsekvensutredning: Revidering av avsnitten 6,7 och 9 i Boverkets byggregler (BFS 1993:57) med ändringar t.o.m. BFS 2006:XX*. Boverket, Karlskrona 2005

Boverket (2002). *Hushållning med kallt och varmt tappvatten - Individuell mätning och temperaturstyrning*. Boverket, Karlskrona 2002

Byford Jan, Borglund Magnus (2005). *"Flerbostadshus utan värmesystem" – Passivhus i flera våningar*. NCC Construction Sverige AB, White Arkitekter AB, Solna 2005

Energimyndigheten (2001). *Svensk småhusbyggnation 2001/2001*. Energimyndigheten, Eskilstuna 2001

Fasth Eva-Maria (2005). *Hyresgästerna värmer husen*. Tidskriften Vår bostad, Stockholm 2005

Fred Leif (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. NCC och Mölndals kommun, Göteborg 2005

Gustén Jan (1999). *Termodynamik och installationstekniska system*. Installationsteknik Chalmers, Göteborg 1999

Hagentoft Carl-Erik (2002). *Vandrande fukt strålade värme- så fungerar hus*. Studentlitteratur, Lund 2002

Hagentoft C-E, Svensson C (2000). *Tunga byggnader – vilka fördelar har de?* J&W Energi och Miljö, Stockholm 2000

IEA (2005). *IEA- SCH Task 28/ ECBCS Annex 38: Sustainable Solar Housing*, Landskrona 2005

International standard ISO 7730 (1994). *Moderate thermal environments -- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort*

Klittervall Torbjörn (2005). *Lågt energibehov med frånluftvärmepump och solvärme*. Energimagasinet Nr 5, Halmstad 2005

Kjellsson Elisabeth (2004). *Solvärme I bostäder med analys av kombinationen solvärme och bergvärmepump*. Licentiatavhandling 3047 LTH, Lund 2004

Miljö- och samhällsdepartementet (2005). *Förslag om hur byggnader ska energideklarerars*. Pressmeddelande 3/8-2005, Stockholm 2005

Nordell Bo & Hellström Göran. *Bergvärme- den nya folkrörelsen*. Tidskriften Miljöforskning, Nr 5-6 (2004). Formas, Stockholm 2004

Persson Tomas (2004). *Elbesparing med pelletskaminer och solvärme i direktvärmdda småhus*. Licentiatavhandling KTH Energiteknik, Stockholm 2004

Petersson Bengt-Åke (2001). *Tillämpad Byggnadsfysik*. Studentlitteratur, Lund 2001

Planeringskontoret och EFEM arkitektkontor (2003). *Översiktsplan för Mölndal – Fördjupad för delen Ingemanstorp, Fågelsten och Skäggered i Lindome*. Mölndals kommun, 2003

Ruud Svein H., Lundin Leif (2004). *Bostadshus utan traditionellt uppvärmningssystem – resultat från två års mätningar*. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås 2004

Ruud Svein H. (2003). *Reglerstrategier och beteendets inverkan på energianvändningen i bostäder*. EFFEKTIV Temarapport 2003:08

Sandberg Eje (2003). *Byggnader utan värmesystem*. Aton Teknikkonsult AB, Stockholm 2003

Sandberg Eje (2003). *Känslighetsanalyser för byggnader utan värmesystem*. Aton Teknikkonsult AB, Stockholm 2003

Smeds Johan & Wall Maria (2001). *Internal Gains – Assumptions for simulations*. Lund 2001

Socialstyrelsen (2005). *Temperaturer inomhus*. Socialstyrelsens författningssamling, Socialstyrelsen, Stockholm 2005

Statens Energimyndighet (2004). *Energiläget 20*. Eskilstuna 2004

Sundqvist Henrik, Allansson Stefan (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder Konstnadsjämförelser med hänsyn till systemlösning, hustyp och klimat*. Malmö 2005

Svensk standard SS 024310 (1999). *Dimensionerande utetemperatur – Byggnaders effektbehov*

Svensk standard SS-EN ISO 10211-1 (2002). *Köldbryggor i byggnadskonstruktioner - Beräkning av värmeflöden och yttemperaturer - Del 1: Generella metoder*

Svensk standard SS-EN ISO 14683 (2000). *Köldbryggor i byggnadskonstruktioner – Linjär värmeövergångskoefficient – Förenklade metoder och schablonvärden*

Svensk standard SS-EN ISO 10211-1 (2001). *Köldbryggor i byggnadskonstruktioner - Beräkning av värmeflöden och yttemperaturer - Del 2: Linjära köldbryggor*

Tysk standard DIN EN 1946 (1999). *Thermal performance of building products and components - Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties*

Warfvinge Catarina (2005). *Kv Jöns Ols i Lund- energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik*. LTH och Statens energimyndighet, Lund 2005

Wijk Svante, Karin Engvall, Stina Landén (2005). *Marknadens intresse för energi-effektiva småhus*. NCC och Mölndals kommun, Göteborg 2005

## Elektroniska källor

Beakertfilms (*Fönsterfakta*), [www.beakertfilms.com](http://www.beakertfilms.com). Hämtad 2005-12-02

Ecoenergi- oberoende värmemäklare för framtidens värme [www.ecoenergi.se/solvarme\\_villa.html](http://www.ecoenergi.se/solvarme_villa.html). Hämtad 2006-02-06

Energimyndigheten (*energikonsument/ventilation*), [www.stem.se](http://www.stem.se). Hämtad 2005-11-10

Energimyndigheten (*vanliga frågor om pellets*), [www.stem.se](http://www.stem.se). Hämtad 2005-11-10

Equa (*IDA*), [www.equa.se](http://www.equa.se)

Ringhals, [www.ringhals.se](http://www.ringhals.se). Hämtad 2006-01-05

SCB, *Statistiska Centralbyrån*, [www.scb.se](http://www.scb.se)

SP- Sveriges Provnings och forskningsinstitut, *Fakta om fönster* [www.sp.se/energy/ffi/fakta\\_fonster.asp](http://www.sp.se/energy/ffi/fakta_fonster.asp). Hämtad 2005-10-05

Sveriges arkitekter Werner Strolz, [www.arkitekt.se/s15240](http://www.arkitekt.se/s15240). Hämtad 2005-04-19,

Verket för näringslivsutveckling, [www.nutek.se](http://www.nutek.se). Hämtad 2006-01-15

## Personliga kommunikation

Adalberth Karin, Prime Project – frågor rörande passivhus

Alexandersson Stefan, Elitfönster AB – frågor rörande fönster

Alvebratt Hans, NCC Teknik – frågor rörande konstruktionslösningar

Bergsten Björn, NCC Boende – frågor rörande projekt Fågelsten, hustyper, mm

Björkqvist Per-Olof, NCC Teknik – bistått med luftläckagemätningar

Caverö Maria, NCC Teknik – frågor rörande konstruktionslösningar

Eek Hans, IVL – studiebesök Lindås

Fahlén Per, Chalmers – frågor rörande värmepumpar

Holmberg John, *Det hållbara boendet – trivsamt och energismart för alla*  
Föreläsningsserie Miljöperspektiv 2005 Göteborgs Miljövetenskaplig centrum,  
föreläsning 2005-11-10

Isacson Anna-Lena, NCC Boende – frågor rörande projekt Fågelsten, hustyper, mm

Johnsson Hans – frågor rörande IDA

Kranström Urban, IVT – frågor rörande värmepump

Lindholm Torbjörn, Chalmers – frågor rörande värmepumpar

Mattsson Björn, Chalmers – frågor rörande det mesta

Ruud Svein, SP – frågor rörande internlast, Lindåsmätningar

Sandberg Eje, ATON Teknikkonsult AB – frågor rörande passivhusdefinition,  
simulerat boende

Sandberg Martin, NCC teknik – frågor rörande tekniska system

Svensson Anders, Vårgårdahus – frågor rörande passivhus

Wall Maria, LTH – frågor rörande simulerat boende, passivhusdefinition

Wijk Svante, NCC Teknik – frågor rörande energieffektiva småhus

# **Bilagor**

Bilaga 1 – Beräkning av läckagearea för IDA

Bilaga 2 – Köldbryggeberäkningar

Bilaga 3 – Fönsterdata

Bilaga 4 – Resultat från simuleringar

Bilaga 5 – Beräkning av lägsta tilluftstemperatur för FTX utan luftvärmare

## Bilaga 1 – Beräkning av läckagearea för IDA

Med utgångspunkt i nedanstående mätdata interpoleras ett läckage vid 4 Pa tryckskillnad. Utifrån detta läckageflöde beräknas sedan en ekvivalent area, motsvarande den hålarea i en tunn skiva som skulle ge upphov till samma läckage vid 4 Pa tryckskillnad.

NCC:s småhus har vid provtryckning visat sig ha ett läckage på 0,48 l/s m<sup>2</sup> (träfasad) – 0,44 l/s m<sup>2</sup> (puts) vid 50 Pa övertryck. (P-O)

$$\text{Detta ger att } \frac{R_a}{A_{oms}} = 0,44 \text{ l/s}$$

$$R_a = \text{Luftflödet (m}^3/\text{s)}$$

$$A_{oms} = \text{Omslutningsarean (m}^2\text{)}$$

$$A_{oms} = 62 + 62 + 9,96 * 5,4 * 2 + 6,2 * 5,4 * 2 = 298$$

$$\Rightarrow R_a (50 \text{ Pa}) = 0,44 * 298 = 131 \text{ l/s}$$

$$R_a = C * \Delta P^g, \quad g = 0,7$$

$$\Rightarrow C = \frac{131}{50^{0,7}} = 8,48$$

$$R_a (4 \text{ Pa}) = 8,48 * 4^{0,7} = 22,38 \text{ l/s}$$

R<sub>a</sub> kan beräknas med nedanstående formel, nu kallad R<sub>a</sub>'

$$R_a' = C_d * A_{ekv} * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{r_a}}$$

C<sub>d</sub> = 1,0 enligt asrae handbook

$$A_{ekv} = \frac{R_a'}{C_d * \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{r_a}}} = \frac{22,38 * 10^{-3}}{1 * \sqrt{\frac{2 * 4}{1,2}}} = 0,0088 \text{ m}^2$$

I IDA skall läckagearean delas upp på varje våning varför den blir 0,0088/2 = 0,0044 m<sup>2</sup>

För BBR:s krav på 0,8 l/s m<sup>2</sup> blir , enligt likadan beräkning som ovan, läckagearean som används i IDA 0,008 m<sup>2</sup>

För passivhusberäkningar med ett läckage på 0,3 l/s m<sup>2</sup> blir läckagearean 0,003 m<sup>2</sup>

## Bilaga 2 – Köldbryggeberäkningar

### Grund

#### B4.1 Kantbalk vid platta på mark

##### Konstruktion

Betongplatta på mark hopgjuten med en rektangulär kantbalk och isolerad enligt figur.

##### Beteckningar:

$\lambda$ -värde för mark

$\lambda_{\text{mark}}$

$\lambda$ -värde för kantbalksisolering

$\lambda_{\text{kb}}$

$\lambda$ -värde för plattans isolering

$\lambda_{\text{pl}}$

Kantbalkens höjd

$h_{\text{kb}}$

Värmemotstånd för kantbalksisolering

$$R_{\text{kb}} = d_{\text{kb}} / \lambda_{\text{kb}}$$

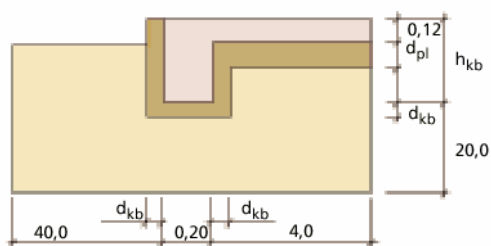
Värmemotstånd för plattans isolering

$$R_{\text{pl}} = d_{\text{pl}} / \lambda_{\text{pl}}$$

##### Gör så här:

Beräkna parametrarna  $R_{\text{kb}}$  och  $R_{\text{pl}}$  och läs av

$f$  i diagrammet. Beräkna sedan  $\psi$  ur sambandet



$$\psi = f + 0,0244 \lambda_{\text{mark}} h_{\text{kb}}$$

#### Referenshuset (Hustyp A)

$$\lambda_{\text{mark}} = 2,3$$

$$\lambda_{\text{kb}} = 0,036$$

$$\lambda_{\text{pl}} = 0,036$$

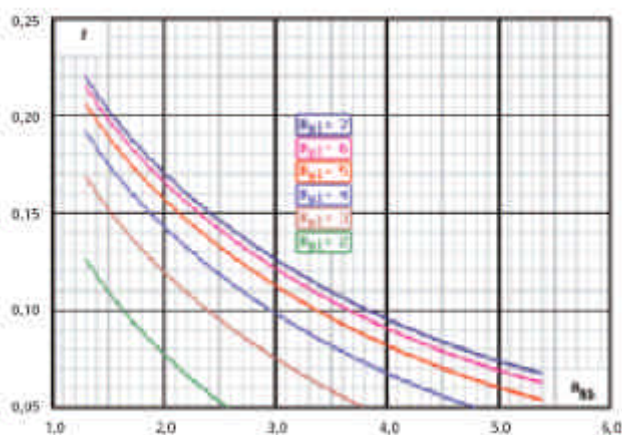
$$h_{\text{kb}} = 0,45 \text{ m}$$

$$d_{\text{kb}} = 0,1 \text{ m}$$

$$d_{\text{pl}} = 0,15$$

⇒

$$R_{\text{kb}} = 0,1/0,036 = 2,78, R_{\text{pl}} = 0,15/0,036 = 4,17$$



Ur diagrammet fås att  $f = 0,11$ , vilket ger att

$$\Psi = 0,11 + 0,0224 \cdot 2,3 \cdot 0,45 = 0,135$$

Längden kantbalk runt hela huset är 32 m, vilket ger en total köldbrygga på  $0,14 \cdot 32 = 4,33 \text{ W/K}$

**Köldbrygga för huset med 200 mm isolering under plattan.**

$$\lambda_{\text{mark}} = 2,3$$

$$\lambda_{\text{kb}} = 0,036$$

$$\lambda_{\text{pl}} = 0,036$$

$$h_{\text{kb}} = 0,45 \text{ m}$$

$$d_{\text{kb}} = 0,15 \text{ m}$$

$$d_{\text{pl}} = 0,20$$

⇒

$$R_{\text{kb}} = 0,15/0,036 = 4,17, R_{\text{pl}} = 0,20/0,036 = 5,56$$

Ur diagrammet fås att  $f = 0,085$ , vilket ger att

$$\Psi = 0,085 + 0,0224 \cdot 2,3 \cdot 0,45 = 0,108$$

Längden kantbalk runt hela huset är 32 m, vilket ger en total köldbrygga på  $0,108 \cdot 32 = \mathbf{3,46 \text{ W/K}}$

### **Förbättringsförslag: 200 mm isolering under plattan och även runt kantbalken**

$$\lambda_{\text{mark}} = 2,3$$

$$\lambda_{\text{kb}} = 0,036$$

$$\lambda_{\text{pl}} = 0,036$$

$$h_{\text{kb}} = 0,45 \text{ m}$$

$$d_{\text{kb}} = 0,20 \text{ m}$$

$$d_{\text{pl}} = 0,20$$

⇒

$$R_{\text{kb}} = 0,15/0,036 = 4,56, R_{\text{pl}} = 0,20/0,036 = 5,56$$

Ur diagrammet fås att  $f = 0,06$ , vilket ger att

$$\Psi = 0,06 + 0,0224 \cdot 2,3 \cdot 0,45 = 0,0832$$

Längden kantbalk runt hela huset är 32 m, vilket ger en total köldbrygga på  $0,0832 \cdot 32 = \mathbf{2,66 \text{ W/K}}$

### **Passivhuset**

$$\lambda_{\text{mark}} = 2,3$$

$$\lambda_{\text{kb}} = 0,036$$

$$\lambda_{\text{pl}} = 0,036$$

$$h_{\text{kb}} = 0,45 \text{ m}$$

$$d_{\text{kb}} = 0,300 \text{ m}$$

$$d_{\text{pl}} = 0,350$$

⇒

$$R_{\text{kb}} = 0,3/0,036 = 8,33, R_{\text{pl}} = 0,35/0,036 = 9,72$$

Ur diagrammet (genom att interpolera) fås att  $f = 0,03$  vilket ger att

$$\Psi = 0,03 + 0,0224 \cdot 2,3 \cdot 0,45 = 0,055$$

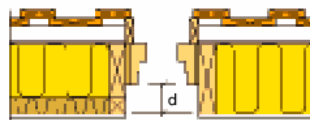
Längden kantbalk runt hela huset är 32 m, vilket ger en total köldbrygga på  $0,055 \cdot 32 = \mathbf{1,77 \text{ W/K}}$



## Fönster

### B5.1 Träregelvägg med träfasad.

$$\psi = 0,02565 + 0,09392 d + 0,00005802 / d$$



I normala fall ligger  $\psi$ -värdet inom intervallet 0,030 – 0,040

Denna beräkning har tagits med för att visa skillnaden om man har träfasad istället. Karmen antas monterad längst ut på regeln. Bättre värden skulle fås om den monterades längre in.

### Referenshuset (Hustyp A)

$$d = 0,170 - 0,105 = 0,065 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,02565 + 0,09392 \cdot 0,065 - 0,00005802/0,065 = 0,0309$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 106,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

$$0,0309 \cdot 106,8 = \mathbf{3,29 \text{ W/K}}$$

### Köldbrygga för huset med 170+45 mm isolering i väggarna (om fönstret placeras längst ut på karmen) (Hustyp B)

$$d = 0,215 - 0,105 = 0,11 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,02565 + 0,09392 \cdot 0,11 + 0,00005802/0,11 = 0,0232$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 106,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

$$0,0232 \cdot 106,8 = \mathbf{3,78 \text{ W/K}}$$

### Köldbrygga för huset med 145+145 mm isolering i väggarna (om fönstret placeras längst ut på karmen) (Hustyp C)

$$d = 0,290 - 0,105 = 0,185 \text{ m}$$

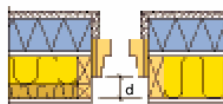
$$\Psi = 0,02565 + 0,09392 \cdot 0,185 + 0,00005802/0,185 = 0,0433$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 106,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

$$0,0433 \cdot 106,8 = \mathbf{4,63 \text{ W/K}}$$

### B5.2 Träregelvägg med putsad fasad

$$\psi = 0,01159 + 0,1187 d - 0,1136 d^2$$



I normala fall ligger  $\psi$ -värdet inom intervallet 0,015 – 0,030

### Om referenshuset hade haft puts

$$d = 0,120 - 0,105 = 0,015 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,01159 + 0,1187 \cdot 0,015 - 0,1136 \cdot 0,015^2 = 0,01334$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 106,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  
 $0,01334 \cdot 106,8 = 1,42 \text{ W/K}$

*Karmen antas monteras på regeln, med hela cellplastisoleringen utanför.*

**Köldbrygga för huset med 80+170 mm isolering i väggarna + 28 mm installationsläkt (Hustyp D)**

$$d = 0,198 - 0,105 = 0,093 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,01159 + 0,1187 \cdot 0,093 - 0,1136 \cdot 0,093^2 = 0,02166$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 106,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

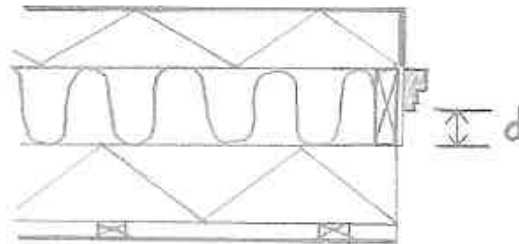
$$0,02166 \cdot 106,8 = 2,31 \text{ W/K}$$

*Karmen antas monteras på regeln, med hela cellplastisoleringen utanför.*

### Passivhuset

För vårt passivhus ser fönsterdetaljen ut enligt skiss nedan.

Köldbryggorna uppkommer vid 170 mm regelkonstruktionen med mineralullsisolering. Cellplasten som är placerad innanför regelkonstruktionen antas inte ge något bidrag till köldbryggan.



Detta ger:

$$d = 0,170 - 0,105 = 0,065 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,01159 + 0,1187 \cdot 0,065 - 0,1136 \cdot 0,065^2 = 0,0121$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 68,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

$$0,0188 \cdot 68,8 = 1,29 \text{ W/K}$$

Skulle istället isolering enligt traditionellt sätt med reglar och mineralull användas fås:

$$d = 0,470 - 0,105 = 0,365 \text{ m}$$

$$\Psi = 0,01159 + 0,1187 \cdot 0,365 - 0,1136 \cdot 0,365^2 = 0,0398$$

Längden fönsterkarmar som finns på hela huset är 68,8 m. Detta ger en total köldbrygga på

$$0,0398 \cdot 68,8 = 2,74 \text{ W/K}$$

Här ses att det uppkommer stora köldbryggor genom att montera fönsterkarmen långt ut i ytterväggen. Sätts istället fönstret längre in, fås köldbryggor enligt nedan:

- För  $d = 0,015$  fås en total köldbrygga på  $0,91 \text{ W/K}$
- För  $d = 0,050$  fås en total köldbrygga på  $1,18 \text{ W/K}$
- För  $d = 0,100$  fås en total köldbrygga på  $1,55 \text{ W/K}$
- För  $d = 0,200$  fås en total köldbrygga på  $2,14 \text{ W/K}$
- För  $d = 0,300$  fås en total köldbrygga på  $2,57 \text{ W/K}$

Detta är något att ta i beaktning vid uppförande av husen, så att snickarna informeras.

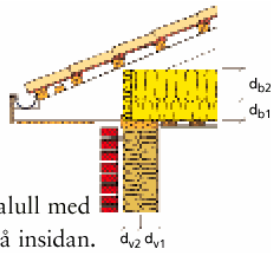
# Takbjälklag/yttervägg

## B3. Takbjälklag/yttervägg

### B3.1 Takbjälklag/yttervägg i trä

*Konstruktion:*

Väggen består av korslagda 45 mm träreglar c 600 med tjockleken  $d_{v1}$  och  $d_{v2}$ . Bjälklaget är uppbyggt av 45 mm takstolar c 1200 med höjden  $d_{b1}$  samt heltäckande mineralull med tjockleken  $d_{b2}$ . Gipsskivor och 22 mm glespanel används på insidan.



*Beteckningar:*

Isolertjocklekar i vägg och bjälklag	$d_{v1}, d_{v2}$ och $d_{b1}, d_{b2}$
Värmekonduktivitet mineralull	$\lambda$
Värmemotståndet för mineralull i väggen	$R_{iv} = (d_{v1} + d_{v2}) / \lambda$
Värmemotståndet för mineralull i taket	$R_{ib} = (d_{b1} + d_{b2}) / \lambda$

*Gör så här:*

I diagrammet anges  $\psi$  som funktion av  $R_{iv}$  och  $R_{ib}$ . Beräkna dessa värmemotstånd och läs av  $\psi$ -värdet i diagram.

Läs av  $\psi$ -värdet i diagram

Kommentar: Har ej tagit hänsyn till takstolarna i vår modell.

## Referenshuset (Hustyp A)

$$d_{v1} = 0,170$$

$$d_{v2} = 0$$

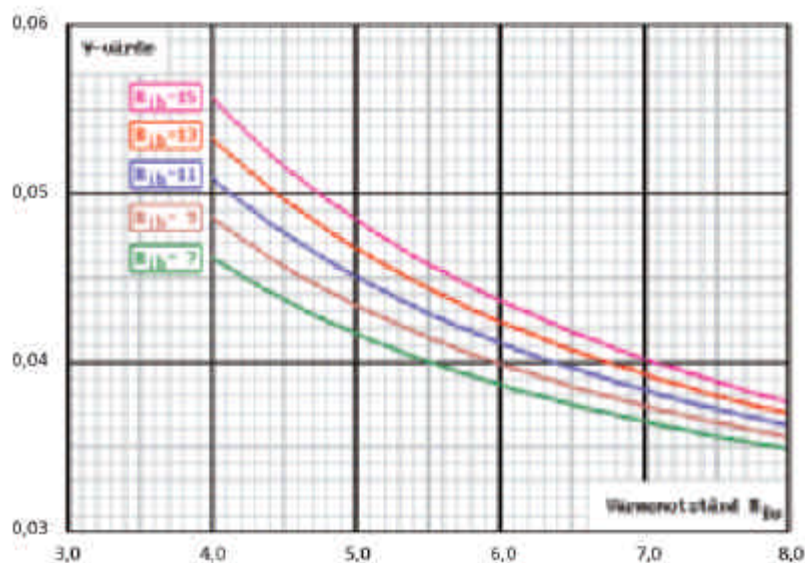
$$d_{b1} = 0,420$$

$$d_{b2} = 0$$

$$\lambda = 0,036$$

$$R_{iv} = 0,170/0,036 = 4,72$$

$$R_{ib} = 0,420/0,036 = 11,67$$



Ur diagrammet utläses  $\Psi$  till 0,047. Längden takbjälklag/ytterväggsom finns på hela huset är 32 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,047 \cdot 32 = 1,504 \text{ W/K}$

### **Köldbrygga för huset med 170+45 mm isolering i väggarna (Hustyp B)**

$$d_{v1} = 0,045$$

$$d_{v2} = 0,170$$

$$d_{b1} = 0,420$$

$$d_{b2} = 0$$

$$\lambda = 0,036$$

$$R_{iv} = 0,215/0,036 = 5,97$$

$$R_{ib} = 0,420/0,036 = 11,67$$

Ur diagrammet utläses  $\Psi$  till 0,0415. Längden takbjälklag/ytterväggsom finns på hela huset är 32 m. Detta ger en total köldbrygga på  
 $0,0415 \cdot 32 = \mathbf{1,328 \text{ W/K}}$

### **Köldbrygga för huset med 145+145 mm isolering i väggarna (Hustyp C)**

$$d_{v1} = 0,145$$

$$d_{v2} = 0,145$$

$$d_{b1} = 0,420$$

$$d_{b2} = 0$$

$$\lambda = 0,036$$

$$R_{iv} = 0,290/0,036 = 8,06$$

$$R_{ib} = 0,420/0,036 = 11,67$$

Ur diagrammet utläses  $\Psi$  till 0,037. Längden takbjälklag/ytterväggsom finns på hela huset är 32 m. Detta ger en total köldbrygga på  
 $0,037 \cdot 32 = \mathbf{1,18 \text{ W/K}}$

### **Köldbrygga för huset med 80+170 mm isolering i väggarna (Hustyp D)**

$$d_{v1} = 0,170$$

$$d_{v2} = 0,080$$

$$d_{b1} = 0,420$$

$$d_{b2} = 0$$

$$\lambda = 0,036$$

$$R_{iv} = 0,250/0,036 = 8,06$$

$$R_{ib} = 0,420/0,036 = 11,67$$

Ur diagrammet utläses  $\Psi$  till 0,039. Längden takbjälklag/ytterväggsom finns på hela huset är 32 m. Detta ger en total köldbrygga på  
 $0,039 \cdot 32 = \mathbf{1,25 \text{ W/K}}$

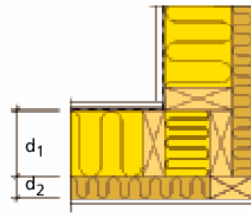
# Ytterväggshörn

## B1.2 Ytterväggshörn i träregelvägg. Bärande regler på insidan.

*Konstruktion:* Korslagda regler c 600, bärande regler innerst. Det yttre skiktet med tjockleken  $d_2$  kan också vara heltäckande mineralull utan regler.

*Beteckningar:*

Köldbryggans linjära	
värmeigenomgångskoefficient	$\psi$
Isolertjocklek stomme	$d_1$
Isolertjocklek utvändigt	$d_2$
Värmeledningsförmåga	$\lambda$



*Gör så här:*

Bestäm  $f$  ur diagrammet med hjälp av isolertjocklekarna. Beräkna  $\psi$ -värdet ur sambandet

$$\psi = f + 0,38 (\lambda - 0,037)$$

I alla normala fall ligger  $\psi$ -värdet inom intervallet 0,035 – 0,050

## Referenshuset (Hustyp A)

$$d_1 = 0,120$$

$$d_2 = 0,050$$

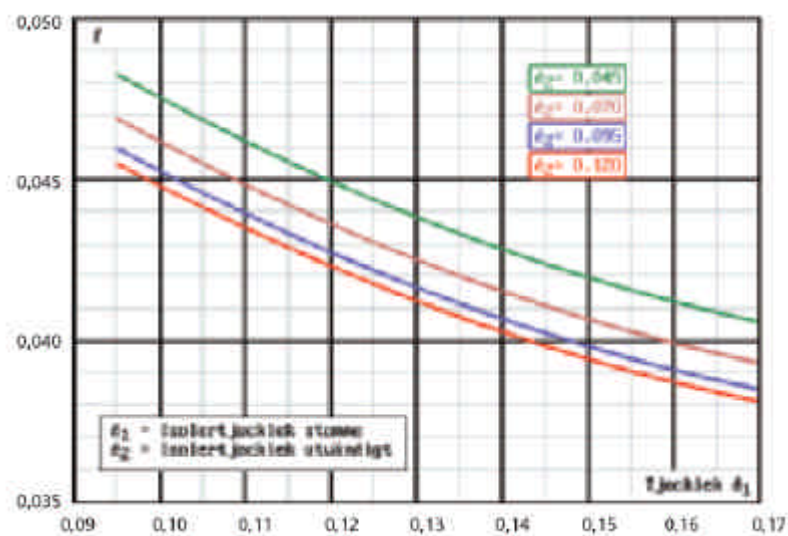
$$\lambda = 0,036$$

Ur diagrammet utläses  $f$  till 0,0445

Detta ger

$$\Psi = 0,0445 + 0,38 \cdot (0,036 - 0,037) = 0,04412$$

Längden ytterväggshörn på hela huset är 20,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,04412 \cdot 20,8 = 0,92 \text{ W/K}$



### **Köldbrygga för huset med 170+45 mm isolering i väggarna (Hustyp B)**

$$d_1 = 0,170$$

$$d_2 = 0,045$$

$$\lambda = 0,036$$

Ur diagrammet utläses  $f$  till 0,0405

Detta ger

$$\Psi = 0,0405 + 0,38 \cdot (0,036 - 0,037) = 0,04012$$

Längden ytterväggshörn på hela huset är 20,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,04012 \cdot 20,8 = \mathbf{0,83 \text{ W/K}}$

### **Köldbrygga för huset med 145+145 mm isolering i väggarna (Hustyp C)**

$$d_1 = 0,145$$

$$d_2 = 0,145$$

$$\lambda = 0,036$$

Ur diagrammet utläses  $f$  till 0,035

Detta ger

$$\Psi = 0,035 + 0,38 \cdot (0,036 - 0,037) = 0,03462$$

Längden ytterväggshörn på hela huset är 20,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,03462 \cdot 20,8 = \mathbf{0,72 \text{ W/K}}$

### **Köldbrygga för huset med 80+170 mm isolering i väggarna (Hustyp D)**

$$d_1 = 0,170$$

$$d_2 = 0,080$$

$$\lambda = 0,036$$

Ur diagrammet utläses  $f$  till 0,039

Detta ger

$$\Psi = 0,039 + 0,38 \cdot (0,036 - 0,037) = 0,03862$$

Längden ytterväggshörn på hela huset är 20,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,03862 \cdot 20,8 = \mathbf{0,803 \text{ W/K}}$

### **Passivhuset**

$$d_1 = 0,420$$

$$d_2 = 0,07$$

$$\lambda = 0,036$$

Ur diagrammet utläses  $f$  till 0,035. Detta väljes för att vara på den säkra sidan, vilket ger:  $\Psi = 0,035 + 0,38 \cdot (0,036 - 0,037) = 0,035$

Längden ytterväggshörn på hela huset är 20,8 m. Detta ger en total köldbrygga på  $0,035 \cdot 20,8 = \mathbf{0,72 \text{ W/K}}$

## Sammanställning

### 1. Totalt för referenshuset (Hustyp A)

Kantbalk:	4,33 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,50 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,92 W/K</u>
Summa:	<b>10,04 W/K</b>

### 1b. För referenshuset med 200 mm isolering under plattan

Kantbalk:	3,46 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,50 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,92 W/K</u>
Summa:	<b>9,17 W/K</b>

### 2. För 170+45 med 200 mm isolering under plattan (Hustyp B)

Kantbalk:	3,46 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,33 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,83 W/K</u>
Summa:	<b>8,91 W/K</b>

### 4b. För 170+45 med 150 mm isolering under plattan

Kantbalk:	4,33 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,33 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,83 W/K</u>
Summa:	<b>9,78 W/K</b>

### 13. För 145+145 med 200 mm isolering under plattan (Hustyp C)

Kantbalk:	3,46 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,18 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,72 W/K</u>
Summa:	<b>8,65 W/K</b>

### 13. För 145+145 med 150 mm isolering under plattan

Kantbalk:	4,33 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,18 W/K
Fönster i träfasad:	3,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,72 W/K</u>
Summa:	<b>9,52 W/K</b>

### 17. För 80+170 med 200 mm isolering under plattan (Typhus D)

Kantbalk:	3,46 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	1,25 W/K
Fönster i träfasad:	2,31 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,80 W/K</u>
Summa:	<b>7,82 W/K</b>



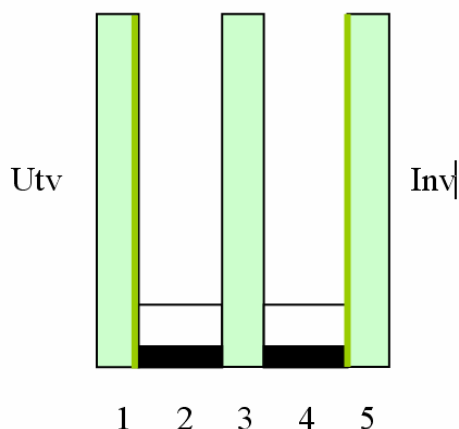
**Totalt för passivhuset**

Kantbalk:	1,77 W/K
Takbjälklag/Yttervägg:	0,64 W/K
Fönster i putsad fasad:	1,29 W/K
Ytterväggshörn:	<u>0,72 W/K</u>
Summa:	<b>4,42 W/K</b>

**Kommentar:** För att uppnå ovanstående köldbryggor för väggar med träfasad krävs att fönstren monteras på samma avstånd från innerväggen som i referenshuset. Annars blir köldbryggorna större. Att montera fönstren längre in hade gjort att köldbryggorna hade blivit mindre, se beräkningsexempel för köldbryggor fönster.

## Bilaga 3 – Fönsterdata

Nedan redovisas data för de fönster som använts i simuleringarna. Värdena kommer från Elitfönster AB som är NCC:s huvudleverantör i Göteborg. Fönstren är alla av 3-glastyp.



Figur 1 - Schematisk bild över uppbyggnaden av fönstren.

### Fönster med totalt U-värde på 1,3 alternativt 1,2 W/m<sup>2</sup>K

#### UPPBYGGNAD

Placering (utifrån)	Tjocklek Glastyp / Gasfyllning	(mm)
Glas 1	Klart Floatglas	4 mm
Spalt 2	Luft	12 mm
Glas 3	Klart Floatglas	4 mm
Spalt 4	Argon	12 mm
Glas 5	Pilkington Optitherm SN	4 mm

#### PRESTANDA

Dagsljus:	Transmittans	LT0,72	
	Reflektans utåt	LRut	0,17
Solenergi:	Solfaktor	g0,56	
	Direkt transmittans	ST0,44	
	Reflektans	SR0,24	
	Absorptans	SA0,32	
Ljudreduktion	Rw dB	32	
	RA,tr dB	26	
U-värde	W/m <sup>2</sup> K	1,041	

**Ljus / Sol / U-värde: 72 / 56 / 1,0**

## Fönster med totalt U-värde på 1,0 W/m<sup>2</sup>K

### UPPBYGGNAD

Placering (utifrån)	Tjocklek Glastyp / Gasfyllning	(mm)
Glas 1	K Glas (hårdbelagt energiglas)	4 mm
Spalt 2	Argon 90%	12 mm
Glas 3	Klart Floatglas	4 mm
Spalt 4	Argon 90%	12 mm
Glas 5	Pilkington Optitherm SN	4 mm

### PRESTANDA

Dagsljus:	Transmittans	LT0,67	
	Reflektans utåt	LRut	0,18
Solenergi:	Solfaktor	g0,50	
	Direkt transmittans	ST0,38	
	Reflektans	SR0,22	
	Absorptans	SA0,39	
Ljudreduktion	Rw dB	32	
	RA,tr dB	26	
U-värde	W/m <sup>2</sup> K	0,836	

**Ljus / Sol / U-värde: 67 / 50 / 0,8**

## Bilaga 4 – Resultat från simuleringar

Alternativen som analyserats											
Hustyp	Körning	Isolering	Uppvärmning + ventilation			Fönster			Platta	Tak	Kommentar
			F	FLVP	FTX	1,0	1,2	1,3	Cellplast	Lösull	
A	1	170	X					X	150 mm	420 mm	Referenshus 1
	1b	170	X					X	200 mm	420 mm	Kontroll av platta
	1c	170		X				X	150 mm	420 mm	Referenshus med FLVP
	1d	170			X			X	150 mm	420 mm	Referenshus med FTX
	2	170+45	X					X	200 mm	420 mm	
B	3	170+45	X				X		200 mm	420 mm	Kontroll av värmeförluster genom fönster
	4	170+45	X			X			200 mm	420 mm	Kontroll av värmeförluster genom fönster
	4b	170+45	X					X	150 mm	420 mm	Kontroll av platta, fönster
	5	170+45		X			X		200 mm	420 mm	
	6	170+45		X		X			200 mm	420 mm	
	7	170+45			X		X		200 mm	420 mm	
	8	170+45			X	X			200 mm	420 mm	
C	13	145+145	X				X		200 mm	420 mm	
	13b	145+145		X			X		200 mm	420 mm	
	13c	145+145	X					X	150 mm	420 mm	Kontroll platta, fönster
	14	145+145			X		X		200 mm	420 mm	
D	17	170+80	X				X		200 mm	420 mm	Putsad fasad med 80 mm cellplast
	18	170+80		X			X		200 mm	420 mm	
	19	170+80			X		X		200 mm	420 mm	
Passivhuset		170+170+150			X	X	X		350 mm	450 mm	

## Redovisning resultat

Area: 123,6

### Simulering 1 Referenshuset, A

	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Värmebehov [kWh]	<b>18202,0</b>	<b>147,3</b>
Nettovärmebehov[kWh]	<b>11320,2</b>	91,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>11320,2</b>	91,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>18736,2</b>	151,6

### Simulering 1b

	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11072,7</b>	89,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>11072,7</b>	89,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>18488,7</b>	149,6

### Simulering 1c

	Totalt för huset	Per m <sup>2</sup>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11320,2</b>	91,6
Värmepumpsbidrag [kWh]	-5327,0	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1973,0	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>7966,1</b>	64,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297,8	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1501,8</b>	
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>13175,9</b>	106,6

**Simulering 1d,  $\eta = 0,75$** 

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11072,7</b>	89,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>7337,5</b>	59,4
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>14753,5</b>	119,4

**Simulering 1d,  $\eta = 0,82$** 

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>11072,7</b>	89,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6966,9</b>	56,4
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>14382,9</b>	116,4

**Simulering 2**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10506,6</b>	85,0
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>10506,6</b>	85,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>17922,6</b>	145,0

**Simulering 3, B**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Värmebehov [kWh]	<b>16925,0</b>	<b>136,9</b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10197,9</b>	82,5
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>10197,9</b>	82,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>17613,9</b>	142,5

**Simulering 4**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9838,2</b>	79,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>9838,2</b>	79,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>17254,2</b>	139,6

**Simulering 4b**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10752,0</b>	87,0
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>10752,0</b>	87,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>18168,0</b>	147,0

**Simulering 5**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10197,9</b>	82,5
Värmepumpsbidrag [kWh]	-5181,2	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1918,9	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6935,7</b>	56,1
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297,8	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1501,8</b>	
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>12145,5</b>	98,3

**Simulering 6**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9837,9</b>	79,6
Värmepumpsbidrag [kWh]	-5181,2	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1918,9	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6575,7</b>	53,2
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297,8	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1501,8</b>	
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>11785,5</b>	95,4

**Simulering 7, ? = 0,75**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Värmebehov [kWh]	<b>10338,8</b>	83,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	6297,7	51,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>13713,7</b>	111,0



**Simulering 7,  $\eta = 0,82$** 

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10338,8</b>	83,6
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	5929,1	48,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>13345,1</b>	108,0

**Simulering 8**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9978,8</b>	80,7
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	5937,7	48,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>13353,7</b>	108,0

**Simulering 13, C**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Värmebehov [kWh]	<b>16240,0</b>	<b>131,4</b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9456,0</b>	76,5
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>9456,0</b>	76,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>16872,0</b>	136,5

**Simulering 13b**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9456,0</b>	76,5
Värmepumpsbidrag [kWh]	-4959,8	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1837,0	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6333,2</b>	51,2
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297,8	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1501,8</b>	
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>11543,0</b>	93,4

**Simulering 13c**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>10006,6</b>	81,0
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>10006,6</b>	81,0
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>17422,6</b>	141,0

**Simulering 14, ? = 0,75**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9456,0</b>	76,5
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>5633,7</b>	45,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>13049,7</b>	105,6

**Simulering 14,  $\eta = 0,82$** 

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9256,0</b>	74,9
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>5271,5</b>	42,6
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>12687,5</b>	102,6

**Simulering 17, D**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Värmebehov [kWh]	<b>16159,0</b>	<b>130,7</b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9490,2</b>	76,8
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>9490,2</b>	76,8
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>16906,2</b>	136,8

**Simulering 18**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9490,2</b>	76,8
Värmepumpsbidrag [kWh]	-4967,0	
Driftel till VP för uppvärmning [kWh]	1839,6	
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>6362,8</b>	51,5
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Värmepumpsbidrag till tappvarmvatten [kWh]	-3504	
Driftel till VP för tappvarmvatten [kWh]	1297,8	
Köpt energi för tappvarmvatten [kWh]	<b>1501,8</b>	
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>11572,6</b>	93,6

**Simulering 19 ? = 0,82**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>9290,2</b>	75,2
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>5271,6</b>	42,7
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>12687,6</b>	102,7

**Passivhuset**

	<b>Totalt för huset</b>	<b>Per m<sup>2</sup></b>
Värmebehov [kWh]	<b>11604,0</b>	<b>93,9</b>
Nettovärmebehov [kWh]	<b>6434,0</b>	52,1
Köpt energi för uppvärmning [kWh]	<b>2444,0</b>	19,8
Tappvarmvattensförbrukning [kWh]	3708,0	30,0
Hushållsel [kWh]	3090,0	25,0
Driftsel [kWh]	618,0	5,0
Total energianvändning per hus [kWh/år]	<b>9860,0</b>	79,8

## Bilaga 5 – Beräkning av lägsta tilluftstemperatur för FTX utan luftvärmare

Beräkning av lägsta tilluftstemperatur efter värmeväxlaren, då dimensionerande temperatur (DUT=-16°C) råder. Detta används för husen med både FTX utan eftervärmare i tilluftskanalen.

? = värmeväxlarens verkningsgrad

$$h = \frac{t_T - t_u}{t_F - t_u}$$

$t_T$  = tilluftens temperatur (den luft som tillförs rummet)

$t_u$  = utomhustemperaturen (DUT = -16°C)

$t_F$  = frånluftens temperatur (21°C)

$$t_T = t_u + h_T(t_F - t_u)$$

? = 0,82 (Temovex) =>  $t_T = -16 + 0,82(21-16) = 14,34$  avrundas nedåt till 14

? = 0,75 (Östberg) =>  $t_T = -16 + 0,75(21-16) = 11,75$  avrundas nedåt till 11

För att vara på säkra sidan valdes 10 grader.