

Avdelningen för Byggnadsfysik

Examensarbete TVBH-5056

Lund 2007

# Energieffektiviserande åtgärder i trähus

En studie om: Energisimuleringsprogrammet VIP+, Energibehov för två trähus samt Effekten och Samverkan av energieffektiviserande åtgärder

S. Olof Hägerstedt



**LUNDS UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

# Energieffektiviserande åtgärder i trähus

En studie om: Energisimuleringsprogrammet VIP+, Energibehov för två trähus samt Effekten och Samverkan av energieffektiviserande åtgärder

S. Olof Hägerstedt

Avdelningen för Byggnadsfysik  
Lunds universitet  
Box 118  
221 00 Lund  
Sverige

ISRN LUTVDG/TVBH--07/5056--SE(203)  
©2007 S. Olof Hägerstedt

## Förord

Då så sitter man här, sex och ett halvt år senare, 17 erfarenheter rikare och en massa goa vänner samt kursare i bagaget. Examina är inte långt borta och jag kan redan nu känna doften av den.

Tiden på teknis har varit enormt roligt och givande på många sätt. Visst har jag studerat och lärt mig en hel del men minnena jag tar med mig från Lund handlar om något annat än studier. Allt kul, alla roliga och givande upplevelser och alla vännerna för livet. Minnena är just det som jag kommer sakna nu när det är dags att flytta till människobyggen och börja jobba i en annan stad.

Minnen och upplevelser kommer också att finnas från den tiden jag fått med sol i Lund. Efter sex och ett halvt år i dimman drömmer jag om mer solsken. "Vintervädret" som råder fem månader om året i Lund är redan förträngt.

När jag kom till Lund för sex och ett halvt år sedan trodde jag aldrig jag skulle komma så här långt. Kändes helt enkelt inte som om jag var tillräckligt smart. Som för så många andra är det matten som varit den största muren att klättra över. Under ett och ett halvt års tid försvann många veckor i biblioteket högst upp i mattehuset. Även om det just är matten som varit svårast så är det nog ändå den, tillsammans med mina fördjupningsämnen, som jag behärskar bäst idag. Var helt enkelt tvungen att lära mig matten så ordentligt för att klara den.

Även om det varit mycket som kretsat runt teknis under min tid i Lund så har det många gånger känts som en befrielse att komma bort från skolan och allt teknologokononistiskt. IK Eos basketbollklubb har inte bara varit en plats med vänner och mycket skoj utan även en plats att andas och hämta nya krafter på. Utan all den tid jag tillbringat i Eoshallen hade jag aldrig orkat hela den utbildning som nu vilar bakom mig.

Basiatio Tobbe och Snygg Tobbe är också två personer som alltid kommer att ligga mig varmt om hjärtat. Allt vi gjort tillsammans och alla minnen vi delar. Mitt i alla upptåg, spaningar och galenskaper tror jag också att vi utvecklats samt lärt oss mycket, både av och med varandra.

Karnevals- sektions- och kårlivet är också en del som varit betydelsefull under tiden i Lund. Visst har den genererat mycket vänner och skojsigt men mitt i allt det så har jag faktiskt lärt mig mycket. Det som skiljer mig från många andra är nog det att jag inte bara haft skoj utan också gjort mycket av de betungande och seriösa delar som sektions- och kårverksamheten faktiskt innefattar. Visst har dessa bitar varit sura många gånger men för mig har det också varit stimulerande att leda andra människor till glädje. Att jag dessutom skaffat mig många värdefulla kontakter och lärt mig massor är bara en bonus.

*Stocksund i februari 2007*



*S. Olof Hägerstedt*



## Tack till

Resan med denna rapport har varit lång och det finns många att rikta ett varmt och stort tack till.

Jag vill börja med att tacka mina huvudhandledare som varit ett stort stöd på alla tänkbara sätt.

Karin Adalberth – För du tog tillvara på mitt intresse, den tid du lagt ner men framförallt all den glädje, entusiasm och energi du förmedlar. Fortsätt smitta din omgivning med glädje!

Lars B. Bergman – För du gav mig möjlighet att göra det jag ville, för alla papper samt intressanta och givande diskussioner. För du alltid tar dig tid att lyssna.

Stefan Holmberg – För ditt intresse, din ödmjuka stil samt att du genom ord och uttryck visar att ni faktiskt har haft en nytta av det jag gjort.

Givetvis vill jag rikta ett stort tack till personalen på LB Hus AB. Jag uppskattar det vänliga mottagandet, trevliga samtalen samt det stöd och handledning ni gett mig i olika skeden.

Utöver huvudhandledare och personal på LB Hus AB vill jag tacka de delhandledare som hjälp till och kommit med värdefulla kommentarer i mitt arbete.

Stephen Burke – För att du fått HEAT3 att göra som jag vill samt [läng:wi'tch sup'ärt'-en]

Björn Karlsson – För solhjälpen.

Maria Wall – För korrekturläsning, korrigering och kluriga kommentarer.

Catarina Warfvinge – För frågor och svar om VIP+.

Beträffande VIP+ så har även Sune Häggbom och Mats Ola Rasmusson varit till mycket stor hjälp. Bättre support än Er får man leta efter.

Ett speciellt tack vill jag rikta till Hans Bagge för den hjälp jag fått med mätdata och de rapporter du varit med och skrivit. Du har bidragit med mycket som underlättat veriferingen av VIP+.

Henrik Sundqvist och Stefan Allansson ska ha en stor eloge för ett bra exjobb som varit till stor hjälp när jag försökte hitta strukturen i mitt eget.

Vill tacka familj och flickvän för hjälpen med boendet under perioden. För en skön säng, god sömn och ett hjärtligt bemötande i samband med att övernattningar under hösten 2006 vill jag också framföra ett stort tack till Susanne och Ronny Berggren.

*Stocksund i februari 2006*



*S. Olof Hägerstedt*



## Sammanfattning

- Titel:** Energieffektiviserande åtgärder i trähus – En studie om: Energisimuleringsprogrammet VIP+, Energiebehov för två trähus samt Effekten och Samverkan av energieffektiviserande åtgärder
- Författare:** S. Olof Hägerstedt, Civilingenjörsutbildningen i Väg- och vattenbyggnad vid Lunds Tekniska Högskola.
- Huvudhandledare:** Karin Adalberth, Prime Project AB samt Avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola.  
Lars B. Bergman, Bridgemill Consulting AB.  
Stefan Holmberg, LB Hus AB
- Delhandledare:** Stephen Burke, Avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola.  
Björn Karlsson, Avdelningen för Energi- och Byggnadsdesign vid Lunds Tekniska Högskola.  
Maria Wall, Avdelningen för Energi- och Byggnadsdesign vid Lunds Tekniska Högskola.  
Catarina Warfvinge, Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära, Lunds Tekniska Högskola.
- Examinator:** Jesper Arfvidsson, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Tekniska Högskola.
- Språk:** Svenska
- Rapport:** Examensarbete vid avdelningarna Byggnadsfysik, Energi- och Byggnadsdesign samt Installations- och klimatiseringslära vid Lunds Tekniska Högskola i samarbete med LB Hus AB i Bromölla. Utfört under hösten 2006 samt våren 2007
- Syfte:** Arbetet avser att studera konsekvenserna av olika energibesparande åtgärder för två enbostadshus i trä. För att säkerställa resultaten inleds arbetet med att energiberäkningsprogrammet VIP+ verifieras mot uppmätt energianvändning. Vidare syftar rapporten till att studera energiebehovet för två trähus som studeras samt jämföra detta mot andra studier för samma hus. Slutligen avser rapporten att studera konsekvenserna om flera energibesparande åtgärder införs samtidigt i en byggnad.
- Metod:** Simuleringsprogrammet VIP+ verifieras genom att ett befintligt hus modelleras i programmet. Uppmätt energiebehov för befintligt hus jämförs med simulerat energiebehov. Två enfamiljshus i trä väljs ut och studeras närmare. Dessa modelleras i VIP+ för energiebehovsberäkningar. Resultatet jämförs därefter mot Boverkets krav på energianvändning samt andra energiebehovsberäkningar för samma hus.



En rad olika energieffektiviserande åtgärder införs genom att grundmodellen för simulerade hus förändras. Resultatet från en ny energibehovssimulering jämförs med energibehovet för grundmodellen.

Samverkan mellan olika energieffektiviserande åtgärder studeras genom att flera åtgärder införs samtidigt i studerade hus. Resultatet från simuleringen jämförs med energibesparingen som uppstår om de införts enskilt.

Resultat:

Simulerat energibehov från den modell som byggts i simuleringsprogrammet VIP+ stämmer väl överens med uppmätta värden för samma byggnad.

Simulerat energibehov i VIP+ för studerade trähus klarar Boverkets krav men avviker från andra undersökningar. I andra studier överskattas tillgodogjord solvärme. Vidare tas inte tillräcklig hänsyn till negativ inverkan från köldbryggor. Studerade energieffektiviserande åtgärder har blandad påverkan på totala energibehovet. Mindre enskilda åtgärder som att bryta enstaka köldbryggor eller byte av installationssystem ger liten påverkan på energibehovet. Åtgärder genom extra isolering, bättre isolerade fönster, tätare klimatskal samt förändringar av värmedistributionen påverkar energibehovet i större utsträckning.

Samverkan mellan energieffektiviserande åtgärder på klimatskalet gör att uppvärmningssäsongen blir kortare. Detta får till följd att enskilda åtgärder inte kan summeras. Positiva synergieffekter för förändringar i värme- och värmedistributionssystemet förekommer.

Slutsats:

VIP+ är ett bra simuleringsprogram som väl lämpar sig för energibehovsbräkningar i enfamiljshus.

Studerade trähus uppfyller Boverkets krav på energianvändning. Avvikelser i beräknat energibehov förekommer dock jämfört mot andra undersökningar.

Genom att införa en rad olika enskilda åtgärder kan energibehovet i studerade hus sänkas påtagligt. Åtgärderna som avser förbättringar av klimatskalet ger dock mindre total påverkan på energibehovet om de införs tillsammans. Om förändringar genomförs i värme- och värmedistributionssystemet samtidigt påvisas mindre synergieffekter.

Nyckelord:

Energianvändning, energibehov, energieffektivisering, enfamiljshus, villa, trähus, HEAT3, VIP+, synergieffekter.

## Summary

- Project title:** Optimising the energy use for a wood frame single family dwelling using the energy simulation program VIP+.  
A study of: the energy simulation program VIP+, energy demand for two wood framed houses, the effect of measures to reduce energy usage, the relationship between these measures.
- Author:** S. Olof Hägerstedt, Civil Engineering, Lund University.
- Main supervisor:** Karin Adalberth, Prime Project AB and Division of Building Physics, Lund University.  
Lars B. Bergman, Bridgemill Consulting AB.  
Stefan Holmberg, LB Hus AB
- Second supervisor:** Stephen Burke, Division of Building Physics, Lund University.  
Björn Karlsson, Division of Energy and Building Design, Lund University.  
Maria Wall, Division of Energy and Building Design, Lund University.  
Catarina Warfvinge, Division of Building Services, Lund University.
- Examiner:** Jesper Arfvidsson, Division of Building Physics, Lund University.
- Language:** Swedish
- Report:** Master of Science Thesis at the Divisions of Building Physics, Division of Building Services and Energy and Building Design, Lund University, in cooperation with LB Hus AB, Bromölla. This report was written during the autumn of 2006 and spring of 2007.
- Aim:** This work looks at the consequences of different energy savings measures for two single-family wood frame houses. To verify the results, the energy simulation program VIP+ was compared to measured energy use. Furthermore, this paper also studies the two wood framed houses and compares them to others. Finally this paper looks at the effect of implementing several energy savings measures at the same time in a building.
- Method:** The simulation program VIP+ was verified by simulating an existing building. The measured energy use was compared to the results of the simulated energy use. Two wood framed single family houses were chosen and studied further. They were simulated in VIP+ and the result was compared to the Swedish Building Code's requirements for energy use. A number of different energy savings measures were simulated by modifying the base model in VIP+. The new result was then compared to the result with no measures. The relationships between the different measures were examined by first simulating the effect from one

measure, and then simulating the effect from implementing a number of measures. The results were then compared to one another.

Results:

The simulated energy use agreed with the measured energy use in the testbuilding.

The simulated energy in the two wood framed single family houses use met the Swedish Building Code's requirement however, differs from other studies. In the other studies the solar gain is over estimated. In addition, the heat loss from thermal bridging is ignored. The studied measures have a mixed effect on the total energy use. Small measures such as removing the thermal bridges or changing the ventilation system yield small or negative effects, respectively. Measures including extra insulation, better windows, a tighter building envelope and changing the heating distribution have a much larger impact on the reduction of energy use.

The result of implementing these measures results in the shortening of the heating season. This means that the single measures cannot be simply added together. There is a positive synergistic effect regarding changes with the heating system.

Conclusion:

VIP+ is a good simulation tool which is suitable for calculating the energy demand for a single family house. The studied object fulfills the Swedish Building Code's requirements for energy use in buildings. However, there are some differences in energy use when compared to other studies.

By implementing a number of energy savings measures, the energy demand in the studied house can be reduced. All the energy savings apply to the house skill gives higher effect if they been used singel compares to all att the same time. It depends of the shorter heating seson the make. If changes are made to the heating system, small synergetic effects can be observed.

Key words:

Energy use, energy need, energy efficient, single family house, wood framed house , HEAT3, VIP+, synergism effect.

## Terminologi

*Viktiga begrepp och beteckningar definieras samt förklaras. Dessa förekommer i den löpande texten, ofta utan utförligare förklaring.*

BBR 12	Boverkets Byggregler gällande från och med 1 juli 2006. Föreskrifter och allmänna råd för bland annat nybyggnad, utgivna av Boverket. <sup>1</sup>
Boendekostnad	Totala kostnaden, inklusive energianvändning, lån, amorteringar, som en person eller familj betalar för sitt boende per månad.
BOA	Boarea. Area som nyttjas som bostadsutrymmen. Trapphus, garage och andra gemensamhetsutrymmen räknas inte som BOA
BRA	Bruksarea. Area av utrymmen som nyttjas eller annan grupp av sammanhörande utrymmen. Denna begränsas av omslutande byggnadsdelars insida.
Brukarvanor	Sammanfattande definition för en boendes levnadssätt beträffande användning av vitvaror, brunvaror, vädring, belysning, kall- och varmvatten med mera, som kräver energi.
Brunvaror	Elektroniska mindre maskiner som inte är fast installerade i ett hus. Utgörs bland annat av TV, datorer, stereo samt mindre hushållsmaskiner.
DUT	Dimensionerande utomhustemperatur.
Energianvändning	Energi som behöver tillföras till en byggnad. Inkluderar utvunnen, till exempel solvärme och återvunnen energi under förutsättning att energin ut- eller återvunnits i byggnaden. <i>Energianvändning</i> ≠ Köpt energi.
FTX- system	Från- och tilluftsventilationssystem med värmeåtervinning. Mekaniska till och frånluft där värmen i frånluften tillvaratas i värmeväxlare som överför denna till kall tilluft.
FVP- system	Frånluftsvärmepump system. Ett ventilations- och värmesystem som utvinner värme ur frånluften och återför denna till uppvärmning av radiatorvärme och, eller tappvarmvatten.
Klimatskal	Benämns även klimatskärm. De delarna av en byggnad som utgör gränsen mellan inom- och utomhus. Utgörs huvudsakligen av tak, grundläggning, väggar, fönster och dörrar.

---

<sup>1</sup> Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12*. Internet.

---

Köpt energi	Energi vilken tillförs utifrån till byggnaden. Köpt energi $\neq$ Energianvändning.
Köldbrygga	Försvagning i klimatskalets isolerförmåga. Beror ofta av pelare, regler eller andra genomföringar och förändringar i klimatskalet.
Normalår	Avser klimatdata för ett normalår. Genomsnittlig klimat eller klimatdata baserat på en 30 års period, vanligtvis 1961-1991 eller 1971-2001.
Normalårstemperatur	Genomsnittlig temperatur för ett normalår.
Vistelsezon	Den del av ett rum eller lokal där människor i regel vistas <sup>2</sup> . Denna begränsas av två horisontella plan från 0,1 m höjd till 2,0 m höjd. Vertikala plan på 0,6 m från ytterväggar eller andra yttre begränsningar. Vid fönster och dörrar gäller 1,0 m i vertikalt led <sup>3</sup>
Vitvaror	Utgörs vanligen av befintliga maskiner i ett hushåll såsom tvätt- och diskmaskin samt kyl och frys.
Voter	Kantförstyvningar i betongplattan som syftar till att ta ner och fördela laster från ovanstående väggar.
U- värde	Värde som anger en byggnadsdels värmeisolerande förmåga. U-värdet anges i $W/m^2K$ och visar hur mycket värme som transporteras genom byggnadsdel per kvadratmeter vid en grads temperaturskillnad mellan byggnadsdelens båda sidor. <sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Leif Davidsson, Ahlsells kyl. Fuktig luft – Termisk komfort, Molliardiagrammet. Internet.

<sup>3</sup> Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12*. Internet.

<sup>4</sup> Elmandersson, Bengt, Nevander, Lars Erik. *Fukt – handbok*.

# Innehållsförteckning

<b>FÖRORD</b> .....	<b>I</b>
<b>TACK TILL</b> .....	<b>III</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>V</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>VII</b>
<b>TERMINOLOGI</b> .....	<b>IX</b>
<b>INNEHÅLLSFÖRTECKNING</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 INLEDNING</b> .....	<b>1</b>
1.1 BAKGRUND .....	1
1.2 SYFTE.....	2
1.3 FRÅGESTÄLLNING .....	3
1.4 AVGRÄNSNINGAR.....	3
1.5 FÖRUTSÄTTNINGAR.....	5
1.5.1 <i>Ingående parametrar</i> .....	5
1.5.2 <i>Boverkets krav från och med 1 juli 2006</i> .....	5
1.5.3 <i>Socialstyrelsens krav</i> .....	6
1.5.4 <i>P-märkeskrav</i> .....	7
1.6 RAPPORTSTRUKTUR .....	7
1.7 MÅLGRUPP .....	8
1.8 KÄLLHÄNVISNINGAR.....	8
<b>2 TEORIER</b> .....	<b>9</b>
2.1 ENERGIANVÄNDNING .....	9
2.2 VÄRMETRANSPORT OCH TRANSMISSIONSFÖRLUSTER.....	10
2.3 ENERGIBALANS .....	10
2.4 ENERGIEFFEKTIVISERING .....	11
2.5 BERÄKNINGSMETODER.....	11
2.5.1 <i>Kvadratmetermetoden</i> .....	11
2.5.2 <i>Effektsignaturmetoden</i> .....	11
2.5.3 <i>Gradtimmemetoden</i> .....	12
2.5.4 <i>Förlustfaktormetoden</i> .....	12
2.5.5 <i>Beräkningsmetoder genom simulering</i> .....	12
2.6 BERÄKNINGSMODELL.....	12
2.7 VÄRMEEFFEKTBEHOV .....	13
2.7.1 <i>Vägg, tak och golv</i> .....	13
2.7.2 <i>Köldbryggor</i> .....	13
2.7.3 <i>Fönster och dörrar</i> .....	14
2.7.4 <i>Ventilation och luftläckage</i> .....	15
2.7.5 <i>Gratisvärmeeffekt</i> .....	15
2.7.6 <i>Övriga energiberoende parametrar</i> .....	15
2.7.7 <i>Gränstemperatur</i> .....	16
2.8 VÄRMEENERGIBEHOV .....	16
2.8.1 <i>Gradtimmar</i> .....	17
2.9 NORMALÅRSKORRIGERING AV ENERGIANVÄNDNING .....	17
2.9.1 <i>Effektsignaturmetoden</i> .....	18
2.9.2 <i>Gradtimmemetoden</i> .....	18

2.10	FÖRLUSTFAKTOR.....	19
2.11	TAPPVARMVATTENBEHOV.....	20
2.12	TILLFÖRD ENERGI.....	20
2.13	INOMHUSTEMPERATUR.....	21
2.14	KLIMAT OCH KLIMATDATA.....	21
2.15	SIMULERINGSPROGRAM .....	22
2.16	PASSIVHUS SAMT HUS UTAN VÄRMESYSTEM .....	26
<b>3</b>	<b>METOD.....</b>	<b>27</b>
3.1	ALLMÄNT.....	27
3.2	LITTERATURSTUDIE.....	27
3.3	MOMENTSTUDIE.....	27
3.4	UTREDNINGSMETODER.....	28
3.5	VAL UNDERSÖKTA HUS OCH ORTER.....	28
3.6	VAL AV INGÅENDE PARAMETRAR.....	29
3.6.1	<i>Klimatdata.....</i>	29
3.6.2	<i>Allmänt om brukarvanor .....</i>	30
3.6.3	<i>Personvärme.....</i>	30
3.6.4	<i>Tappvarmvattenanvändning.....</i>	31
3.6.5	<i>Hushållsel.....</i>	32
3.6.6	<i>Fördelning av ingående brukarvanor .....</i>	33
3.6.7	<i>Val av materialdata.....</i>	39
3.6.8	<i>Maximalt effektbehov .....</i>	40
3.6.9	<i>Modellering.....</i>	40
3.6.10	<i>Övriga parametrar.....</i>	40
3.7	VAL AV ÅTGÄRDER .....	40
3.8	VAL AV SIMULERINGSPROGRAM.....	40
3.9	DISKUSSION OCH KRITIK AV VALDA METOD .....	41
<b>4</b>	<b>TIDIGARE UNDERSÖKNINGAR.....</b>	<b>43</b>
4.1	ENERGIANVÄNDNING OCH INNEKLIMAT I TVÅ ENERGIEFFEKTIVA SMÅHUS I VÄSTRA HAMNEN I MALMÖ .....	43
4.2	UTFORMNING AV ENERGIEFFEKTIVA BYGGNADER .....	43
4.3	SOLVÄRME I BOSTÄDER MED ANALYS AV KOMBINATIONEN AV SOLFÅNGARE OCH BERGVÄRMEPUMP .....	44
4.4	INVESTERINGSKALKYL BASERAD PÅ ETT FLERBOSTADSHUS ENERGIPRESTANDA.....	44
4.5	KÖLDBRYGGORS INVERKAN PÅ ENERGIANVÄNDNINGEN.....	45
4.6	MARKNADENS INTRESSE FÖR ENERGIEFFEKTIVA SMÅHUS.....	45
4.7	UTVÄRDERING AV INOMHUSMILJÖ – EN STUDIE AV TERMISK KOMFORT OCH LUFTKVALLITET I TVÅ LÅGENERGIHUS .....	46
<b>5</b>	<b>VERIFIERING AV SIMULERINGSPROGRAM .....</b>	<b>47</b>
5.1	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	47
5.1.1	<i>Beskrivning av befintligt hus .....</i>	47
5.1.2	<i>Klimatdata.....</i>	49
5.1.3	<i>Mätperiod.....</i>	49
5.2	TEORIER.....	50
5.2.1	<i>Beräkning av skuggfaktorer .....</i>	50
5.3	METOD.....	50
5.3.1	<i>Ingående parametrar.....</i>	50
5.3.2	<i>Klimatdata.....</i>	51

5.3.3	<i>Simuleringsprogram</i> .....	51
5.4	MODELLERING AV LB Bo01 HUS .....	51
5.4.1	<i>Allmän data</i> .....	51
5.4.2	<i>Brukarvanor</i> .....	52
5.4.3	<i>Uppbyggnad av klimatskal</i> .....	54
5.4.4	<i>Värme- och ventilationssystem</i> .....	56
5.5	BEARBETNING AV UPPMÄTT OCH SIMULERAD DATA .....	57
5.5.1	<i>Korrigerering av uppmätt data</i> .....	57
5.5.2	<i>Förändrad indata</i> .....	57
5.5.3	<i>Modell för jämförelse av energianvändning</i> .....	58
5.6	RESULTAT – UPPMÄTT OCH SIMULERAD ENERGIANVÄNDNING .....	59
5.6.1	<i>Förändrad indata</i> .....	59
5.6.2	<i>Årsvärden</i> .....	60
5.6.3	<i>Månadsvärden</i> .....	61
5.6.4	<i>Veckovärden</i> .....	62
5.6.5	<i>Dygnsvärden</i> .....	62
5.6.6	<i>Timvärden</i> .....	62
5.7	ANALYS .....	63
5.7.1	<i>Förändrad indata</i> .....	63
5.7.2	<i>Årsvärden</i> .....	65
5.7.3	<i>Månadsvärden</i> .....	66
5.7.4	<i>Veckovärden</i> .....	67
5.7.5	<i>Dygnsvärden</i> .....	67
5.7.6	<i>Timvärden</i> .....	68
5.7.7	<i>Felkällor</i> .....	68
5.8	SLUTSATSER AV VERIFIERING.....	68
<b>6</b>	<b>UNDERSÖKNING AV BEFINTLIGA HUS</b> .....	<b>71</b>
6.1	SYFTE.....	71
6.2	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	71
6.2.1	<i>Beskrivning av befintliga hus</i> .....	71
	<i>Ugglan 135</i> .....	71
	<i>Steglitsen</i> .....	73
	<i>Klimatskal</i> .....	74
	<i>Värme- och ventilationssystem</i> .....	75
6.3	METOD .....	75
6.3.1	<i>Allmänt</i> .....	75
6.3.2	<i>Klimatdata</i> .....	75
6.3.3	<i>Simuleringsprogram</i> .....	75
6.4	MODELLERING AV UGGLAN 135 SAMT STEGLITSEN .....	76
6.4.1	<i>Allmän data</i> .....	76
6.4.2	<i>Brukarvanor</i> .....	76
6.4.3	<i>Uppbyggnad av klimatskal</i> .....	76
6.4.4	<i>Värme- och ventilationssystem</i> .....	78
6.5	MODELL FÖR JÄMFÖRELSE AV RESULTAT .....	78
6.6	RESULTAT .....	79
6.6.1	<i>Malmö – Ugglan 135</i> .....	80
6.6.2	<i>Malmö – Steglitsen</i> .....	81
6.6.3	<i>Växjö – Ugglan 135</i> .....	82
6.6.4	<i>Växjö – Steglitsen</i> .....	83



6.6.5	<i>Stockholm – Ugglan 135</i> .....	84
6.6.6	<i>Stockholm – Steglitsen</i> .....	85
	<i>Sundsvall – Ugglan 135</i> .....	86
6.6.7	<i>Sundsvall – Steglitsen</i> .....	87
6.7	ANALYS .....	88
6.7.1	<i>Simulerat energibehov i VIP och uppfyllelse av krav i BBR 12</i> .....	88
6.7.2	<i>Skillnad i simulerat energibehov för undersökta hus</i> .....	88
6.7.3	<i>Energibehovets inverkan av brukarvanor</i> .....	88
6.7.4	<i>Resultat av energibesparande åtgärder i LB Bo01 huset</i> .....	88
6.7.5	<i>Jämförelse mellan simulerat energibehov i VIP+ och Enorm</i> .....	89
6.7.6	<i>Felkällor</i> .....	90
6.8	SLUTSATSER.....	91
<b>7</b>	<b>ENERGIEFFEKTIVISERANDE FÖRÄNDRINGAR.....</b>	<b>93</b>
7.1	FÖRUTSÄTTNINGAR.....	94
7.2	METOD.....	95
7.3	ISOLERTJOCKLEK I KLIMATSKAL .....	95
7.3.1	<i>Syfte</i> .....	95
7.3.2	<i>Metod</i> .....	95
7.3.3	<i>Resultat</i> .....	96
7.3.4	<i>Analys</i> .....	98
7.3.5	<i>Slutsatser</i> .....	99
7.4	KÖLDBRYGGOR.....	100
7.4.1	<i>Syfte</i> .....	100
7.4.2	<i>Metod</i> .....	100
7.4.3	<i>Resultat</i> .....	101
7.4.4	<i>Analys</i> .....	125
7.4.5	<i>Slutsatser</i> .....	128
7.5	FÖNSTER .....	130
7.5.1	<i>Syfte</i> .....	130
7.5.2	<i>Metod</i> .....	130
7.5.3	<i>Resultat</i> .....	131
7.5.4	<i>Analys</i> .....	135
7.5.5	<i>Slutsatser</i> .....	136
7.6	LUFTLÄCKAGE .....	136
7.6.1	<i>Syfte</i> .....	136
7.6.2	<i>Teorier</i> .....	136
7.6.3	<i>Metod</i> .....	137
7.6.4	<i>Resultat</i> .....	137
7.6.5	<i>Analys</i> .....	140
7.6.6	<i>Slutsatser</i> .....	140
7.6.7	<i>Förslag till förändringar för att sänka luftläckage</i> .....	140
7.7	GOLVVÄRMENS INVERKAN PÅ ENERGIBEHOVET .....	142
7.7.1	<i>Syfte</i> .....	142
7.7.2	<i>Metod</i> .....	142
7.7.3	<i>Resultat</i> .....	142
7.7.4	<i>Analys</i> .....	143
7.7.5	<i>Slutsatser</i> .....	143
7.8	HÖGPRESTERANDE FRÅNLUFTSVÄRMEPUMPAR.....	144
7.8.1	<i>Syfte</i> .....	144

7.8.2	<i>Metod</i> .....	144
7.8.3	<i>Modellering av värmesystem</i> .....	144
7.8.4	<i>Resultat</i> .....	144
7.8.5	<i>Analys</i> .....	144
7.8.6	<i>Slutsatser</i> .....	145
7.9	ÅTERVINNING MED VÄRMEPUMP ELLER VENTILATIONSVÄRMEVÄXLARE.....	145
7.9.1	<i>Syfte</i> .....	145
7.9.2	<i>Teorier</i> .....	145
7.9.3	<i>Metod</i> .....	146
7.9.4	<i>Modellering av FTX- system</i> .....	147
7.9.5	<i>Resultat</i> .....	147
7.9.6	<i>Analys</i> .....	149
7.9.7	<i>Slutsatser</i> .....	150
7.10	SOLVÄRME.....	150
7.10.1	<i>Syfte</i> .....	150
7.10.2	<i>Teorier</i> .....	150
7.10.3	<i>Metod</i> .....	152
7.10.4	<i>Modellering av solvärmesystem</i> .....	153
7.10.5	<i>Resultat</i> .....	155
7.10.6	<i>Analys</i> .....	156
7.10.7	<i>Slutsatser</i> .....	157
7.11	PRODUKTIONS- OCH BYGGSYSTEM.....	157
7.11.1	<i>Bakgrund</i> .....	157
7.11.2	<i>Metod</i> .....	157
7.11.3	<i>Förutsättningar</i> .....	157
7.11.4	<i>Förslag till förändringar</i> .....	158
7.12	SAMMANFATTANDE SLUTSATSER.....	159
7.12.1	<i>Initiala åtgärder</i> .....	161
7.12.2	<i>Framtida åtgärder</i> .....	161
7.12.3	<i>Åtgärder som inte bör genomföras</i> .....	162
<b>8</b>	<b>SYNERGIEFFEKTER VID FLERA ENERGIEFFEKTIVISERANDE</b>	
	<b>ÅTGÄRDER</b> .....	<b>163</b>
8.1	<b>SYFTE</b> .....	163
8.2	<b>METOD</b> .....	163
8.3	<b>RESULTAT</b> .....	164
8.4	<b>ANALYS</b> .....	166
8.5	<b>SLUTSATSER</b> .....	167
<b>9</b>	<b>FORTSÄTTA STUDIER</b> .....	<b>169</b>
	<b>REFERENSER</b> .....	<b>173</b>
	TRYCKTA KÄLLOR.....	173
	DIGITALA KÄLLOR.....	175
	MUNTLIGA KÄLLOR.....	178
	<b>BILAGOR</b> .....	<b>181</b>
	BILAGA 1.....	182



# 1 Inledning

*Inledningen avser främst att ge en bakgrund till varför studien genomförts. Vidare presenteras syftet och frågeställning med tillhörande avgränsningar. Även rådande förutsättningar förtydligas. Rapportens struktur beskrivs för att underlätta för läsaren. Slutligen presenteras rapportens målgrupp och källhänvisningarnas upplägg.*

## 1.1 Bakgrund

Stora delar av världens energianvändning baseras idag på fossila bränslen. Vid förbränning av dessa bildas bland annat växthusgaser, som i sin tur påverkar klimatet genom ökad växthuseffekt. Energitillskottet från förnyelsebara energikällor är långt ifrån tillräckligt för att täcka dagens behov. För att begränsa klimatpåverkan måste hela samhället minska sin användning av energi som utvinns från fossila bränslen. Samtidigt måste utrymme ges för en ökad användning av förnyelsebar energi. Såväl enskilda individer som offentlig- och privat sektor måste arbeta för en effektivare energianvändning.

Sektorn för lokal- och bostäder står för ungefär 40 procent av Sveriges totala energianvändning. Inom sektorn åtgår cirka 60 procent till uppvärmningen av ytor och tappvarmvatten i byggnader. Flerfamiljshusen står för ca 30 procent och enfamiljshusen för 44 procent. Övriga lokaler står för de resterande 26 procenten.<sup>5</sup> Detta innebär att energianvändningen för uppvärmning av ytor och tappvarmvatten i enfamiljshus står för cirka 10 procent av Sveriges totala energianvändning. Andelen fossila bränslen som används för försörjning av fastigheter är alltför stor för att energiförsörjningen ska vara tryggad<sup>6</sup>.

Samtidigt som riksdagen godkände Sveriges klimatstrategi 2002 skärptes även kraven för miljö kvalitetsmålet rörande begränsad klimatpåverkan. Beslutet innebar att Sverige godkände Kyotoprotokollet. Samma år antog Europaparlamentet ett nytt EU-direktiv för byggnaders energiprestanda. Även detta hänger samman med Kyotoprotokollet och problemen med ökade utsläpp av växthusgaser. EU-kommissionen har identifierat lokal- och bostadssektorn som ett av de områden där energibesparingar kan göras. Sveriges åtaganden innebär bland annat att mängden växthusgaser ska ha minskat med 4 procent 2012 jämfört med 1990. I delmålen framgår det att energianvändningen för bostäder och lokaler ska minska och vara lägre 2010 jämfört med 1995. Detta ska bland annat ske genom att effektivisera energianvändningen samt öka mängden energi från förnyelsebara energikällor.<sup>7 8 9</sup> Energiminuskningen från fossila bränslen kommer leda till att efterfrågan på energi kommer öka. I sin tur leder detta till att en ökning av energipriset även kommer ske på förnyelsebar energi.

Med hjälp av lagstiftning ställer riksdag och regering högre krav på en effektivare energihushållning. I senaste upplagan av Boverkets byggregler, BFS 2006:12, BBR 12 vilken trädde i kraft den 1 juli 2006, ökar kraven på energianvändning i eluppvärmda byggnader. En stor andel av både befintliga och nyproducerade enfamiljshus använder någon form el för uppvärmning. Av nya enfamiljshus värms 8 procent med direktverkande el och 80 procent av

---

<sup>5</sup> Energimyndigheten (2003). *Effektiv energianvändning*. Internet.

<sup>6</sup> Boverket. (2005). *Bygga-bo-dialogen*.

<sup>7</sup> Energimyndigheten (2003). *Energi- och klimatpolitik*. Internet.

<sup>8</sup> Schultz, Linda (2003). *Energicertifiering – EU direktiv om byggnaders energiprestanda*. Internet.

<sup>9</sup> Energimyndigheten (2003). *Miljömål, God bebyggd miljö*. Internet.

vattenburen elvärme<sup>10</sup>. Kravet på minskad energianvändning i eluppvärmda hus berör således 88 procent av de nyproducerade enfamiljshusen. Trots hårdare krav på nya byggnaders energieffektivitet diskuteras ytterligare lagförslag i syfte att främja en effektivare energianvändning i byggnader<sup>11 12</sup>.

Projekt och utredningar visar att det går att bygga energieffektiva bostäder utan att boendekostnaden ökar eller intäkterna minskar för byggentreprenören. Undersökningar gör också gällande att det finns ett stort kundunderlag så länge boendekostnaden inte ökar. Intresset för energieffektiva hus visar att det finns en efterfrågan och även en betalningsvilja vilken byggherrar och byggbolag borde tillvarata.<sup>13</sup>

Flera, från varandra fristående, projekt har visat att det går att bygga energieffektiva bostäder med dagens byggmetoder och byggsystem. Byggnaderna går dessutom att göra såväl robusta och underhållsvänliga som lönsamma.<sup>14</sup> Det finns flera olika sätt att göra en byggnad energieffektiv. Beroende på en rad olika förutsättningar, tex. arkitektoniska, geografiska och byggnadstekniska, kan tillvägagångssätten skilja sig åt. En byggnad kan göras energieffektiv både genom att spara energi inom byggnaden, till exempel genom minskade transmissionsförluster, och använda sig av effektiva installationer som tillför eller återvinner energi, till exempel värmepumpar.

Ovan påvisas att det finns miljömässiga, lagstadgade och ekonomiska incitament att bygga energieffektiva bostäder. Byggmetoder och byggsystem är kända samt beprövade. Undersökningar för enfamiljshus visar att övergripande energieffektiviserande åtgärder är att föredra ur ett ekonomiskt perspektiv<sup>15</sup>. Högre insatser jämnas ut av lägre energikostnader vilket gör boendekostnaden densamma som för hus som inte energieffektiviserats.

## 1.2 Syfte

Arbetet avser att se till helheten av energianvändning beträffande värme, och tappvarmvatten för enfamiljshus. Genom simuleringar och statistiska beräkningar visas energianvändning hos projekterade hus samt effekten av energibesparande åtgärder. Arbetet ska också visa om och hur olika energieffektiviserande åtgärder kan samverka. Både energibesparande åtgärder samt möjligheten att utnyttja förnyelsebar och återvunnen energi beaktas. Begränsningarna för hur energisnåla hus det går att bygga beror på hur långt utvecklingen har nått installations- och byggnadstekniskt<sup>16</sup>. I samband med att samverka mellan effektiviserande åtgärder undersöks ämnar arbetet visa hur mycket energisnålare det går att bygga idag. Tanken är att påvisa möjligheter som finns och hur de kan och inte kan utnyttjas. Simuleringsprogrammet verifieras genom att ett av LB-Hus AB uppfört hus på Bo01 området i västra hamnen i Malmö, LB Bo01 hus, modelleras och simuleras. Resultaten från simuleringen jämförs sedan med uppmätt data från samma hus. Arbetet kommer således även ge mått på simuleringsprogrammets tillförlitlighet.

---

<sup>10</sup> SCB, Statistiska CentralByrån. (2004). *Energistatistik för småhus 2003*. Internet.

<sup>11</sup> Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation.

<sup>12</sup> Energimyndigheten (2006), *Energideklarationer av byggnader*. Internet.

<sup>13</sup> Energimyndigheten (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Internet.

<sup>14</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

<sup>15</sup> Energimyndigheten (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Internet.

<sup>16</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

### 1.3 Frågeställning

Arbetets upplägg gör flera frågeställningar aktuella. Delvis är dessa beroende av varandra. Frågeställningarna presenteras i turordning nedan, med en kort kommentar om hur de undersöks.

- Är använt simuleringsprogram tillförlitligt?  
Simulerad data för modellerat LB Bo01 hus jämförs med uppmätt data från det uppförda huset.
- Hur väl uppfyller två projekterade enfamiljshus dagens energikrav enligt BBR 12?  
Projekterade hus ur LB-Hus AB utbud för 2006 modelleras och simuleras. Data jämförs med energianvändningskrav enligt BBR 12.
- Vilken inverkan har energieffektiviserande åtgärder på projekterade hus?  
Tidigare modellerade hus tillförs ett utvalt antal energieffektiviserande förändringar. Inverkan av dessa jämförs genom simulering, statistiska beräkningar och diskussioner.
- Hur samverkar olika energieffektiviserande åtgärder?  
Olika energieffektiviserande åtgärder tillförs tillsammans och simuleras i tidigare modellerade hus.

### 1.4 Avgränsningar

Rapportens syfte, innehåll, upplägg och genomförandeform har resulterat i flera från varandra skilda avgränsningar.

Rapportens syfte och innehåll gör att teorierna till delmomenten inte studeras i detalj. Dessa saknar därför i många fall en fullständig fördjupning. De har inte heller undersökts utan är hämtade från befintliga utredningar, rapporter och underökningar. Motivet till detta är att det inte är rimligt att detaljstudera detta inom ramen för den arbetsbörda studien ska omfatta. Fördjupningen ligger i att studera resultatet om de olika delmomenten samverkar med varandra. I princip skulle ett arbete motsvarande storleken på detta kunna genomföras för var och ett av de delmoment som rapporten tar upp. Såväl kapitel 5, Verifiering av simuleringsprogram, som kapitel 6, Undersökning av befintliga hus och kapitel 7 Energieffektiviserande förändringar, skulle kunna detaljstuderas. Utöver detta skulle samtliga förändringar som tas upp i kapitel 7 kunna detaljstuderas, vilket förvisso redan tidigare skett för många av fallen. Även kapitel 8, Samverkan av energieffektiviserande åtgärder, skulle kunna studeras ytterligare i detalj.

Ämnesrådets bredd har gjort att långt ifrån alla delmoment och hur de samverkar har studerats. I huvudsak utgår rapporten från begränsningsområdena:

- Byggnadsfysik – Passivhusteknik, såsom värmeisolering i golv, väggar och tak
- Byggnadsfysik – Fukt
- Byggnadsfysik – Köldbryggor
- Byggnadsfysik – Luftläckage
- Byggnadsfysik – Fönster
- Installationsteknik – Värmeåtervinningssystem
- Installationsteknik – Ventilationssystem
- Installationsteknik – Systemlösningar
- Solenergi – Solvärme

Åtgärder ska vara anpassade till de produktionstekniska förutsättningar som råder i LB-Hus AB anläggning. Flera alternativa lösningsmetoder har med anledning av detta utelämnats trots att de skulle kunna fungera. Ekonomiska och marknadsmässiga aspekter av föreslagna åtgärder inkluderas inte i arbetet. Åtgärdsförslag ska dock om så är möjligt definieras på ett sådant sätt att det underlättar för framtagande av ekonomiska och marknadsmässiga kalkyler. Vidare behandlas inte konstruktions- och installationstekniska lösningar med orimliga ekonomiska och marknadsmässiga konsekvenser i arbetet. Metoder och åtgärdsförslag vilka inte bedöms fungera i den sammansatta systemlösningen utesluts utan att närmare kommenteras. Åtgärder och metoders rimlighet diskuteras och bedöms i rapporten.

Arbetet berör byggnads- och installationsteknik samt arkitektur ur ett tekniskt perspektiv. Hus betraktas som ett system där arkitektur, byggnadsteknik och installationer samverkar<sup>17</sup>. Arkitektoniska perspektiv, både ur utformning av byggnaden och stadsplaneringshänseende, samt klimatförutsättningar spelar ofta en betydande roll för energianvändningen<sup>18</sup>. Olika förutsättningar har inte studerats i detalj då arbetet inte syftar till att undersöka aktuella hus och inte deras omgivning eller boende. Brukarvanor studeras inte i arbetet utan hämtas från annan litteratur. Arkitektoniska, klimat och brukarvanor ansätts och motiveras då inte är givna. Direkt hänsyn har inte tagits till komfort-, akustiska-, visuella- och hygieniska perspektiv. Förslag på förändringar som föreslås ska dock ge goda förutsättningar för att luft- och vattenkvalitet samt ljus-, fukt-, temperatur- och hygienförhållande blir tillfredställande<sup>19</sup>. Vidare ska föreslagna åtgärder ge förutsättningar för att goda akustiska- och visuella förhållande ska kunna råda samt att byggnadens övriga funktioner och prestanda upprätthålls under dess livslängd<sup>20</sup>.

Studien syftar till att analysera energianvändningen för byggnader. Beräkningar av effekttoppar, det vill säga maximalt effektbehov vid en specifik tidpunkt, för värmesystem inkluderas således inte i denna studie.

Arbetet har också helt utelämnat möjligheter kring bergvärmesystem, både enskilt och i kombination med andra system.

---

<sup>17</sup> Byggteknikförlaget, *Bygg & teknik*, nr 1 januari 2006.

<sup>18</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

<sup>19</sup> Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12*. Internet.

<sup>20</sup> Byggteknikförlaget, *Bygg & teknik*, nr 1 januari 2006.

## 1.5 Förutsättningar

### 1.5.1 Ingående parametrar

En förutsättning för att arbetet ska kunna genomföras är att en rad olika parametrar antas eller hämtas från tidigare undersökningar. Främst handlar det om olika former av klimatdata och uppskattningar om boendes vanor, kallat brukarvanor. Värden som inte kunnat hämtas från tidigare undersökningar motiveras i samband med att de ansätts. Parametrar och mätdata från befintliga undersökningar presenteras och diskuteras i kapitel 3.5, Val av ingående parametrar. I detta kapitel redovisas även efter vilka förutsättningar och hur de behandlats.

Klimatdata för statiska beräkningar baseras på mätningar utförda av SMHI. För dynamiska beräkningsprogram finns klimatdata lagrat i programmet sedan tidigare. Närmare beskrivning för hur de behandlas finns i manual till simuleringsprogrammet. Även egna klimatfiler kan skapas och läggas in manuellt i programmet<sup>21</sup>.

Under verifiering av simuleringsprogram används uppmätt data från tidigare genomförd undersökning av LB Bo01 hus i så stor utsträckning som möjligt. Avvikelse kommenteras och motiveras i samband med att de realiserats.

Ansatta värden för boendes brukarvanor baseras på tidigare undersökningar.

Vid modellering av hus, både befintliga och projekterade, används befintliga konstruktionsritningar som underlag. Eventuella avvikelser redovisas och modelleras i samband med att huset modelleras.

### 1.5.2 Boverkets krav från och med 1 juli 2006

BBR 12 anger att byggnader skall utformas på ett sådant sätt att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kyl användning samt effektiv elanvändning. Kortfattat gäller för bostäder från den 1 juli 2006 att specifik energianvändningen för värme, tappvarmvatten och driftel inte får överstiga 110 kWh/m<sup>2</sup> och år golvyta i klimatzon söder och 130 kWh/m<sup>2</sup> och år i klimatzon norr. För enfamiljshus med direktverkande el får energianvändningen för värme och tappvarmvatten inte överstiga 75 kWh/m<sup>2</sup> och år för klimatzon söder och 90 kWh/m<sup>2</sup> och år för klimatzon norr. Utöver detta finns detaljerade anvisningar för hur energianvändningen ska beräknas.<sup>22</sup>

Trots att kraven för byggnaders energianvändning nyligen skärpts diskuteras ytterligare en åtstramning. Det är inte realistiskt att vi inom de närmsta åren kommer ha krav på byggnaders energianvändning för värme, tappvarmvatten och driftsel som ligger runt 65 kWh/m<sup>2</sup> och år.<sup>23</sup>

---

<sup>21</sup> Structural Design Software. (2006) *VIP+*. Manual Version 4.1.1. Malmö.

<sup>22</sup> Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12*. Internet.

<sup>23</sup> Weidemanis, Peter, LB-Hus AB. Personlig kommunikation.



Utöver ovan angivna energianvändningskrav finns det flera regler i BBR 12 beträffande byggnader och deras installationer som bör beaktas i arbetet. Kortfattat kan dessa sammanfattas enligt nedan<sup>24</sup>.

- Tillfredställande luft- och vattenkvalitet.
- Tillfredställande ljus-, fukt-, temperatur- och hygienförhållanden.
- Uteluftsventilationsflöde motsvarande minst 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvarea.
- Kontinuerlig luftväxling i hela vistelsezonen.
- Frånluft skall tas från rum med lägre krav på luftens kvalitet.
- Återluft till rum ska ha såpass god kvalitet att inga negativa hälsoeffekter uppstår.
- Möjlighet till forcerad ventilation eller vädring ska finnas i alla vistelserum.
- Installationer ska utformas och placeras så de är åtkomliga för underhåll.
- Fönster arean bör utgöra minst 10% av golvarean. Vid glas med låg ljusgenomsläpplighet bör fönsterarean ökas.
- Riktad operativ temperatur ska överstiga 18 °C i bostadsutrymmen samt 20 °C i hygienutrymmen.
- Yttertemperatur på golv ska ligga mellan 16 – 26 °C i bostadsutrymmen. I hygienutrymmen lägst 18 °C.
- Lufthastigheten i vistelsezonen får inte överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsong och 0,25 m/s under övrig tid på året.
- Besvärande strålningssymmetri, drag och kallras ska undvikas.
- Fukt får inte orsaka skador, elak lukt eller andra olägenheter i form av bland annat mikrobiell tillväxt som kan påverka människors hälsa negativt.
- Tappvarmvatten skall ha en vattentemperatur på lägst 50 °C och högst 60 °C vid tappstället.

BBR 12's dokument innehåller ytterligare regler och detaljer vilka inte nämns ovan men som ändå kommer beaktas i arbetet, till exempel beträffande brand och hållfasthet.

### 1.5.3 Socialstyrelsens krav

Utöver BBR 12 finns det andra myndigheter som ställer komfortkrav på byggnader. För arbetet relevanta rikt- och rekommenderade värden från Socialstyrelsen presenteras nedan<sup>25</sup>.

- Operativ temperatur rekommenderas ligga mellan 20 – 23 °C och inte understiga 18 °C.
- Varaktig operativ temperatur bör inte överstiga 24 °C.
- Kortvarig operativ temperatur bör inte överstiga 26 °C.
- Skillnad i operativ temperatur vertikalt led mellan 0,1 m och 1,1 m rekommenderas att inte överstiga 3 °C.
- Strålningstemperaturskillnad rekommenderas inte överstiga 10 °C mellan fönster och motsatt vägg samt 5 °C mellan tak och golv.
- Yttertemperatur på golv bör inte understiga 16 °C och rekommenderas ligga mellan 20 – 26 °C

<sup>24</sup> Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12*. Internet.

<sup>25</sup> Socialstyrelsens författningssamling (2005) *Temperatur inomhus*. Internet.

Socialstyrelsen har även särskilda rekommendationer och regler för känsliga grupper som till exempel äldre och barn. Vidare finns ytterligare regelverk som anger krav på byggnader. Arbetet kommer att beakta dessa, dock utan att beskriva dem närmare.

### 1.5.4 P-märkeskrav

P-märkning är en certifierad funktionskvalitet för hela byggprocessen, från försäljning till färdig byggnad. Systemet är öppet för alla husföretag och kan tillämpas på samtliga byggnader som uppfyller kraven för att bli godkända. P-märknings kraven är ampassade till och bygger även i stor utsträckning på redan gällande byggnorm. LB-Hus AB tillämpar P-märkningen på sina hus. För att ampassa arbetet till rådande förutsättningar på LB-Hus AB finns krav som bör innefattas i arbetet. För arbetet relevanta krav beträffande termisk komfort presenteras kortfattat nedan.<sup>26</sup>

- Luft- och operativtemperatur skall under uppvärmningssäsong vara möjlig att hålla mellan 20 – 24 C.
- Golvvärme temperatur skall vara möjlig att hålla lägst 19 C och högst 27 C. Vid längre perioder med låga utomhustemperaturer kan lägre värden tillfälligt accepteras.
- Temperaturgradient i rummet mellan 0,1 och 1,1 m över golv ska inte vara större än 3 C vid DUT.
- Mindre än 0,8 l/s och m<sup>2</sup> läckageflöde per omslutande area.
- Lufthastigheten i vistelsezonen får inte överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsong.
- Strålningsasymmetri ska vara mindre än 10 C på 0,6m höjd över golv.

Notera att kraven ovan delvis innefattas i BBR 12 och Socialstyrelsens regler samt att P-märkningen innefattar betydligt fler riktlinjer än vad som presenteras ovan.

## 1.6 Rapportstruktur

Rapporten börjar med en inledning. Efter denna beskrivs övergripande teorier om hur en byggnad fungerar energitekniskt. Specifika teorier inom områden som behöver fördjupad beskrivning ges i samband med att de behandlas. Därefter beskrivs och diskuteras använd metod. Nästkommande kapitel behandlar tidigare undersökningar och deras resultat. Rapporten viktigaste del är uppdelad i fyra stycken huvudmoment. Det första huvudmomentet, kapitel 5, Verifiering av simuleringsprogram, ämnar verifiera använda simuleringsprogramms prestanda. Det andra huvudmomentet, kapitel 6, Undersökning av befintliga hus, syftar till att med hjälp av simuleringar undersöka hur mycket energi två av LB-Hus AB hustyper använder. I huvudmoment tre, kapitel 7, Energieffektiviserande förändringar, föreslås en rad energieffektiviserande förändringar. Dessa undersöks och deras effekt studeras. I det avslutade huvudmomentet, kapitel 8, Samverkan av energieffektiviserande åtgärder, studeras vilka energibesparande effekter som uppkommer om olika åtgärder används tillsammans. Varje huvudmoment är i sin tur uppdelat i en rad underkapitel. Dessa syftar till att studera och utreda olika delar av respektive huvudmomentet. Framförallt förekommer dessa under kapitel 7, Energieffektiviserande förändringar, där flera, från varandra skiljda, moment undersöks. Avslutningsvis ges förslag på fortsatta studier.

---

<sup>26</sup> SP. (2002). *SPs Certifieringsregler för P-märkning av prefabricerade byggnader – SPCR 008.*

## 1.7 Målgrupp

Rapporten är skriven för personer som har grundläggande byggnads- och installationsteknisk kompetens.

Företrädesvis skall rapporten ge LB-Hus AB och dess medarbetare förslag till- och kunskap om energieffektiviserande åtgärder på företagets hustyper.

Rapporten är även tänkt att fungera som litteratur till personer inom byggbranschen som är intresserad av energieffektiviserande åtgärder. Vidare ska den kunna användas i undervisningssyfte eller som kompletterande litteratur till studenter vid de tekniska högskolorna i Sverige.

## 1.8 Källhänvisningar

Nedan förklaras hur källhänvisningarna är ordnade. Fotnoter vilka avslutas med ”Internet” respektive ”Personlig kommunikation” innebär att informationen är hämtad från en digital respektive muntlig källa. Övriga hänvisningar härstammar från tryckt material. Fotnoter placerade före en menings punkt avser aktuell mening. Källhänvisningar vilka avser ett helt stycke har fotnoten placerad efter punkten i styckets avslutande mening. I stycken där flera källhänvisningar förekommer innebär fotnoter placerade efter punkt att de gäller bakåt till och med föregående hänvisning eller till styckets början. Fotnoter mitt i en mening avser den definition, ord eller siffra som den står i direkt anslutning till. För figurer och tabeller är fotnoten placerade i tillhörande text. Citat kännetecknas av att de är omslutna av citationstecken samt kursiverade, deras källhänvisningar återfinns innanför det sista citationstecknet. Fotnoter för ekvationer och text i punktform placeras före den information de avser.

## 2 Teorier

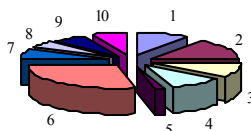
*Byggnadstekniska teorier som ligger till grund för studien förklaras övergripande. Detaljerade teorier presenteras i förekommande fall tillsammans med respektive kapitel.*

### 2.1 Energianvändning

Under 2004 uppgick den totala energianvändningen inom bostadssektorn till 647 TWh<sup>27</sup>. Av denna stod enfamiljshus för ca 10 procent, vilket motsvarar cirka 65 TWh. En normalfamilj i ett enbostadshus förbrukar cirka 25.000 kWh per år till värme, tappvarmvatten och hushållsel. Energianvändning mellan olika hushåll kan variera kraftigt. Skillnaderna kan ha flera olika orsaker. Givetvis har husets isoleringsförmåga och konstruktion betydelse, vilket många gånger är åldersberoende. I regel gäller att äldre hus är har sämre isoleringsförmåga än nyare<sup>28</sup>. Vidare har de boendes brukarvanor stor betydelse. Genom att förändra brukarvanor kan energianvändningen sänkas märkbart hos många familjer. Merparten av energianvändningen går till uppvärmning, men även tappvarmvatten och hushållsel står för en stor del. Hus får i regel även ett energitillskott som alstras genom bland annat solinstrålning, personenergi och hushållsapparater.<sup>29</sup> Beroende på skillnader i energianvändning mellan olika hushåll förekommer även stora skillnader mellan angivna värden i litteratur. Överlag påpekas dock att brukarvanorna har stor betydelse för hushållets energianvändning. Nedan ges ett exempel på hur tillförd och avgiven energi skulle fördela sig i ett enfamiljshus.

Tabell 2.1 Genomsnittlig energifördelningen<sup>30</sup>.

Energianvändning	[kWh/år]	[%]	Tillskottsvärme	[kWh/år]	[%]
1. Fönster	3 000	10	Solinstrålning	5 000	50
2. Ytterväggar	4 500	15	Personer	1 300	13
3. Yttertak	3 200	10	Hushållsapparater	3 700	37
4. Golv	3 200	10	Summa	10 000	100
5. Dörrar	600	2			
6. Övriga förluster	1 500	5			
7. Ventilation	9 000	29			
8. Läckage p.g.a. otätheter	2 000	7			
9. Personlig hygien, tappvarmvatten	2 000	6			
10. Textiltvätt och disk	2 000	6			
Summa	31 000	100			



Figur 2.1 Grovt illustrerad genomsnittlig energifördelningen [kWh/år]<sup>31</sup>.

<sup>27</sup> Energimyndigheten (2005), *Energilägret i siffror 2005*. Internet.

<sup>28</sup> Andréén, Lars. (2002), *Solenergi- Praktiska tillämpningar i bebyggelse*.

<sup>29</sup> Miljöteknikdelegationen (1999), *Förstudie över positiva miljöeffekter hos "intelligenta hus"*. Internet.

<sup>30</sup> Ibid.

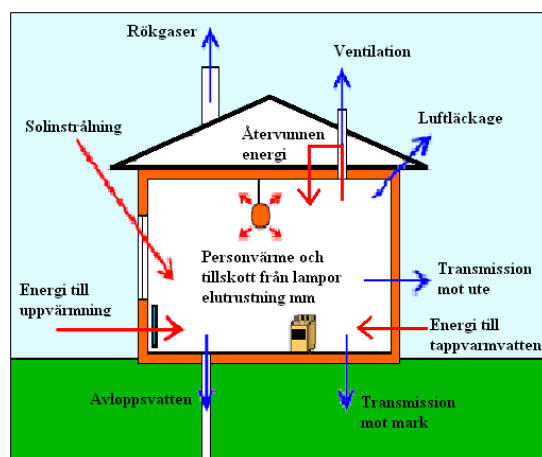
## 2.2 Värmetransport och transmissionsförluster

Värmetransport sker genom konvektion, ledning och strålning. Normalt görs ingen skillnad mellan dessa utan då benämns alla med begreppet värmeledning vid tekniska beräkningar.<sup>32</sup> De tre fenomenen beskrivs inte närmare och benämns som värmeledning då de behandlas under respektive byggkomponent.

Värmeledningsförluster genom byggnaders klimatskal kallas med ett gemensamt namn för transmissionsförluster. Deras storlek beror både av temperaturdifferensen mellan ute och inne temperaturen samt klimatskalets isolerförmåga. Genom minimera antalet hörn på en byggnad minskar den omslutande arean, och på så vis även transmissionsförlusterna, per kvadratmeter golvvarea.<sup>33</sup> Transmissionsförlusterna omfattar värmeledningsförluster genom klimatskalets alla delar, väggar, tak, golv, köldbryggor, fönster och dörrar. Vid detaljerad beskrivning diskuteras de under respektive byggkomponent.

## 2.3 Energibalans

Energibalansen i bostäder uppstår genom in- och utflöden. För att upprätthålla komforten i en bostad förändras denna genom att föra till eller ta bort energi. Värmeenergi tillförs ofta i bostäder för att upprätthålla en komfortabel temperatur inne i byggnaden. Tillförd värme kan komma från köpt, återvunnen eller utvunnen energi. Köpt energi tillförs via någon form av distributionsnät. Återvunnen kan komma från värmeenergi i ventilationsluft som återvinns till byggnaden. Utvunnen syftar till lokalt utvunnen energi och kommer från sol, mark eller bergvärmesystem vilka omvandlar energi så att den kan utnyttjas för värmebehovsändamål. Byggnader tillförs även gratis energi. Denna kommer från personer, solinstrålning samt belysning och apparater vilka genererar värme. Definitionen gratis energi innebär egentligen inte att den är gratis utan snarare att den tillförs oavsett om så önskas eller inte. Energiflödena ut ur en byggnad sker huvudsakligen genom transmission samt ventilation och luftläckage<sup>34</sup>. Även spillvatten för med sig energi genom avlopp<sup>35</sup>.



Figur 2.2 Schematisk bild av energibalans i ett bostadshus<sup>36</sup>.

<sup>31</sup> Miljöteknikdelegationen (1999), *Förstudie över positiva miljöeffekter hos "intelligenta hus"*. Internet.

<sup>32</sup> Sandin, Kenneth. *Värme och Fukt*.

<sup>33</sup> Nilsson, Annika. (2003). *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*.

<sup>34</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>35</sup> Nilsson, Annika. (2003). *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*.

<sup>36</sup> Bülow- Hübé, Helena. Föreläsningsmaterial i kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*. Internet.

För att en byggnad ska ha god komfort krävs, förutom en viss temperatur, även god luftkvalitet. Se även kapitel 1.5.2, Boverket och socialstyrelsens krav. Ventilation, och även luftläckage, gör att energi flödar ut ur byggnaden. Energiflöden genom transmission sker genom byggnadens väggar, tak, golv, fönster och dörrar. Energiförlusterna som sker genom spillvatten är begränsade vilket gör att dessa ibland försummas. Värmeenergi i spillvatten har i vissa projekt också visat sig vara olönsamt att återvinna<sup>37</sup>.

## 2.4 Energieffektivisering

Genom att studera energibalansen i föregående avsnitt konstateras att det finns två olika sätt att energieffektivisera en byggnad. Antingen sänks energiförlusterna eller så minskas andelen köpt energi. Energiförlusterna kan sänkas genom att transmissions-, ventilations- och läckage-samt avloppsförlusterna minskas. Bäst inverkan, både ekonomiskt och energimässigt, nås om samtliga detaljer hos en byggnad som orsakar energiförluster åtgärdas<sup>38</sup>. Kraftfulla åtgärder mot enskilda detaljer som står för stora energiförluster behöver på grund av värmeutjämning inte leda till stora energibesparingar. Jämförelse kan göras mot människan. Denne fryser i regel om den bär mössa och övriga klädesplagg saknas. Detta trots att upp till 75 procent av värmeavgivningen kan ske genom huvudet<sup>39 40</sup>.

## 2.5 Beräkningsmetoder

Energianvändningen för byggnader kan beräknas genom flera olika metoder.

### 2.5.1 Kvadratmetermetoden

Kvadratmetermetoden kallas även nyckeltalsmetoden och är bland de enklare beräkningsmetoderna. Beräkningarna utförs med hjälp av antaganden om specifik energianvändning per bostadsyta och ges i enheten [Wh/m<sup>2</sup>]. Metoden lämpar sig för fastighetsbestånd med tydligt definierad energianvändning och likartade driftförhållanden. Beräkningsmodellen kan inte användas vid simulering av energianvändning för bebyggelse där driftförutsättningarna ändras.<sup>41</sup>

### 2.5.2 Effektsignaturmetoden

Med effektsignaturmetoden kan en byggnads värmetekniska beteende studeras. Metoden bygger på statistiska modeller och beräkningarna kräver långa tidssteg för att dynamiska effekter som till exempel värmelagring ska kunna försummas. Genom att plotta uppmätt eller beräknad medeleffekt mot utomhustemperatur erhålles två linjära funktioner. Där de korsar varandra anges byggnadens gränstemperatur. Med hjälp av effektsignaturmetoden kan en byggnads gränstemperatur och effektbehov vid en viss rådande utomhustemperatur beräknas.<sup>42 43</sup> Gränstemperatur definieras närmare under kapitel 2.7.7, Gränstemperatur.

<sup>37</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

<sup>38</sup> Energimyndigheten (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Internet.

<sup>39</sup> Svenning, Stephan. Örebro universitet (2005). *Vinterfriluftsliv*. Internet.

<sup>40</sup> Engström, Christer. Gefab AB. Personlig kommunikation

<sup>41</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>42</sup> Schulz, Linda. Effektiv. (2003). *Normalårskorrigerad energianvändningen i byggnader*. Internet.

<sup>43</sup> Haryd, Jenny. (2005). *Energianvändning i två flerbostadshus av trä*. Internet.

### 2.5.3 Grattimmesmetoden

Grattimmesmetoden uttrycker värmeenergibehovet i grattimmar. Ibland används begreppet graddagar vilket är beräknade på samma sätt som grattimmar men har en upplösning på dygn i stället för timmar. Grattimmarna anger specifikt värmeenergibehov som tillsammans med en byggnads gränstemperatur ger förväntad energianvändning. Gränstemperaturen är i sin tur framtagen utifrån en statisk modell vilken inte tar hänsyn till värmelagring i byggnaden.<sup>44 45</sup> Beräkningsgången för metoden beskrivs närmare i kapitel 2.8, Värmeenergibehov.

### 2.5.4 Förlustfaktormetoden

Förlustfaktormetoden är en mätmetod som syftar till att kontrollera värmeanvändningen i befintliga byggnader samt ge möjlighet att jämföra denna mot beräknad. Metoden kan även användas för byggnader där förlustfaktorn inte tidigare är beräknad. Teorierna bakom förlustfaktormetoden baseras till stor del på samma teorier som gäller för beräkning av värmeeffektbehov, se kapitel 2.7, Värmeeffektbehov. Skillnader är att en förlustfaktor beräknas avslutningsvis. Metoden baseras på skillnaden mellan inne- och utomhustemperatur. Genom att utnyttja tillfällen då stabila förhållanden råder kan enklare mätutrustning användas. Stabila förhållanden uppnås bland annat genom att mätningar genomförs nattetid, då solstrålning inte inverkar och minimal variationer av internlast sker, samt vid stabil väderlek. Metoden är applicerbar på en-, en och en halv- samt tvåplans hus med trästomme uppförda på kryppgrund, platta på mark eller över källare/ sluttningsvåning med tung stomme.<sup>46 47</sup>

### 2.5.5 Beräkningsmetoder genom simulering

Dagens datorverktyg har gjort det möjligt att göra komplicerade beräkningar där flera parametrar kan beaktas tillsammans. Förutom de vanliga parametrarna i form av transmissions- och ventilationsförluster kan inverkan av bland annat internlast, solinstrålning, vindbelastning samt byggnadens värmelagringsförmåga inkluderas. Datorverktygen utför beräkningarna mer detaljerade och stor precision. Handberäkningar görs ofta dygnsbaserade. Simuleringsprogrammen kan oftast på enkelt sätt ta hänsyn till förändringar i internlast och klimat med upplösning på timmar. Oftast går det att få ännu mer detaljerade resultat över kortare perioder.

## 2.6 Beräkningsmodell

Vanligtvis sker en rad antaganden i samband med att en byggnads energibehov, prestanda eller motsvarande beräknas. Antaganden görs för att förenkla beräkningarna eller anpassa dem till eventuella brister i arbetsutförandet. Antagande och förändringar presenteras och motiveras i samband med att de införs.

Boverket har genom BBR 12 fastställt en beräkningsmetod där byggnadsdelar i klimatskalet utgör gränsen mellan inne och ute. Byggnadsdelarnas värmeisolerande förmåga beräknas för hela klimatskalet. Brister i utförandet kompenseras av schablonvärde. Köldbryggorna beräknas och tillförs till byggnadens totala värmeisoleringsförmåga.

<sup>44</sup> Haryd, Jenny. (2005). *Energianvändning i två flerbostadshus av trä*. Internet.

<sup>45</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>46</sup> Jansson, Stig, Energidoktorn konsult HB. *Tråteks förlustfaktormetod med förenklad registrering*.

<sup>47</sup> SP. Christer Johansson. (1995). *Definition av förlustfaktor och anvisning för beräkning*.

## 2.7 Värmeeffektbehov

För att behålla konstant temperatur i en byggnad måste energiflödena in och ut vara lika stora. Vid kontroll mot gällande krav om energianvändning behövs ett hus energibehov för att upprätthålla god komfort kunna beräknas innan det byggs. Genom att beräkna mängden energiförluster, återvunnen energi och gratis energi kan den energimängd som behöver tillföras uppskattas. Energiförlusterna är beroende av temperaturskillnaden mellan inne och omgivningen. Värmeeffektbehovet för en byggnad kan i ekvationsform sammanfattas enligt<sup>48</sup>:

$$P = Q_{tot} (T_{inne} - T_{ute}) - P_{gratis} \quad [W] \quad (1)$$

där:

- P = Värmeeffektbehov [W]
- $Q_{tot}$  = Totala specifika värmeeffektörlust [W/°C]
- $T_{inne}$  = Inomhustemperatur [°C]
- $T_{ute}$  = Utomhustemperatur [°C]
- $P_{gratis}$  = Gratisvärmeeffekt [W]

Totala specifika värmeeffektörlust kan även benämnas totala specifika värmeeffektbehovet eller byggnadens förlustfaktor<sup>49</sup>. Specifika byggnadsdelar och deras värmeeffektörlust beskrivs nedan. Summerade ger de tillsammans den totala specifika värmeeffektörlusten enligt ekvation nedan<sup>50</sup>.

$$Q_{tot} = \sum Q_{trans} + Q_{vent+läck} \quad [W/°C] \quad (2)$$

Dåligt eller slarvigt utförda detaljer och anslutningar medför i regel en högre värmeeffektörlust både genom ökat luftläckage och högre transmissionsförluster i klimatskalet.

### 2.7.1 Vägg, tak och golv

Transmissionsförlusterna sker genom klimatskalet. För väggar, tak och golv beräknas dessa med hjälp av respektive vägg, tak eller golvs U- värde samt dess area, se ekvationen nedan<sup>51</sup>:

$$Q_{trans,vägg,tak,golv} = \sum_i U_i A_i \quad [W/°C] \quad (3)$$

där:

- $U_i$  = U- värde för byggnadsdel  $i$  [W/°Cm<sup>2</sup>]
- $A_i$  = Area för byggnadsdel  $i$  [m<sup>2</sup>]

### 2.7.2 Köldbryggor

Köldbryggor är försvagningar av värmeisolering i klimatskalet. Dessa leder till en lokalt ökad värmetransport i klimatskalet och ökar på så vis uppvärmningsbehovet. De orsakas genom att värmeisolerande material bryts av till exempel pelare, regler och balkar. Förekomsten av köldbryggor är således vanligast kring fönster, dörrar och andra genomföringar i klimatskalet. Beroende på hur konstruktionens bärande del är utformad förekommer de med varierande

<sup>48</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>49</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>50</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>51</sup> Ibid.



mängd i resterande delen av klimatskalet. Värmeförluster genom köldbryggor är en del av transmissionsförlusterna som finns i väggar, golv och tak men markeras oftast enskilt för att förtydliga deras betydelse.<sup>52</sup> Det finns olika sätt att beräkna köldbryggor. Precis som för väggar, golv och tak kan köldbryggornas area mot inneluft beräknas och multipliceras med materialets U- värde. Vid handberäkningar är det dock vanligast att köldbryggorna beräknas som linje- och punktköldbryggor genom ekvation 4.<sup>53</sup>

$$Q_{trans,köldbrygga} = \sum_i \Psi_i l_i + \sum_j X_j \quad [W/^\circ C] \quad (4)$$

där:  $\Psi_i$ = Värmegenomgångskoefficient för den linjära köldbryggan  $i$  [ $W/^\circ C m$ ]  
 $l_i$ = Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan  $i$  [m]  
 $X_j$ = Värmegenomgångskoefficient för den punktformiga köldbryggan  $j$  [ $W/^\circ C$ ]

Ett alternativ till handberäkningarna är att studera köldbryggorna i två- eller tre dimensionella värmeledningsprogram. Dessa baseras på differens- eller finitaelementmetoden och kan genom beräknade värmeflöden få fram U- värde för detaljer<sup>54</sup>.

Undersökningar har gjort gällande att köldbryggorna står för mellan 5 och 39 procent av transmissionsförlusterna och kan öka energianvändningen med upp till 29 kWh/m<sup>2</sup> och år<sup>55</sup>. Köldbryggor kan även orsaka lokal temperatursänkning på klimatskalets insida vilket i sin tur kan leda till kondens med fuktskador och missfärgningar som följd<sup>57 58</sup>.

### 2.7.3 Fönster och dörrar

Precis som köldbryggor är värmeförlusterna genom fönster och dörrar en del av transmissionsförlusterna. I allmänhet ger de också försvagningar av värmeisoleringen i klimatskalet. Förutom att de ger upphov till köldbryggor både vid karmar andra infästningar i väggen så har de i regel sämre U- värde än kringliggande delar av klimatskalet. Värmeeffektörlusterna genom fönster och dörrar beräknas med hjälp av ekvation 3. Vid beräkningar bör noteras att man kan få två U-värden. Ett som enbart gäller för fönsterglasat och ett som anger hela fönstret, inklusive karm.

$$Q_{trans,dörr/fönster} = \sum_i U_i A_i \quad [W/^\circ C] \quad (5)$$

där:  $U_i$ = U- värde för fönster/ dörr  $i$  [ $W/m^2, ^\circ C$ ]  
 $A_i$ = Area för fönster/ dörr  $i$  [ $m^2$ ]

<sup>52</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>53</sup> Swedisol (2004). *Isolerguiden 04*.

<sup>54</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>55</sup> Svensson, Jimmy, Westerberg, Andreas. (2006). *Köldbryggors inverkan på energianvändningen*.

<sup>56</sup> Guofeng, Mao mfl. *The Importance of Thermal Bridges in new Swedish Multi-Family Buildings*.

<sup>57</sup> Adalberth, Karin. Prime Project AB. Personlig kommunikation.

<sup>58</sup> Elmarsson, Bengt, Nevander, Lars Erik. *Fukt – handbok*.

### 2.7.4 Ventilation och luftläckage

Specifik värmeeffektförbrukning genom luftläckaget beror av hur stort detta är. Förluster genom ventilation beror av mängden ventilerad luft samt hur stor andel energi som återvinns från denna. Specifik värmeeffektförbrukning för ventilation och luftläckage beräknas enligt<sup>59</sup>:

$$Q_{vent+läck} = \rho c_p q_{vent} (1 - v) d + \rho c_p q_{läck} \quad [W/°C] \quad (6)$$

där:

- $\rho$ = Luftens densitet, normalt 1,2 [kg/m<sup>3</sup>]
- $c_p$ = Luftens värmekapacitet, normalt 1000 [J/kg,°C]
- $q_{vent}$ = Utluftsförbrukning [m<sup>3</sup>/s]
- $v$ = Verkningsgrad för ventilationens värmeåtervinning [-]
- $d$ = relativ drifttid för ventilationsaggregat, vid ständig drift är  $d=1$  [-]
- $q_{läck}$ = läckageförbrukning [m<sup>3</sup>/s]

### 2.7.5 Gratisvärmeeffekt

Gratisvärmeeffekten benämns  $P_{gratis}$  i ekvation 1. Den kan utgöras av olika sorters tillförd energi. Nedan presenteras några av dessa kortfattat.

En byggnad och dess fönster bör placeras på ett sådant sätt att gratis energi från infallande solstrålning kan utnyttjas maximalt. Det betyder också att värmeutstrålning genom fönstren bör förhindras. Generellt sätt bör byggnaden placeras med den sida som har störst fönsterarea mot söder. Värmeenergin från solen kan få negativ effekt om den är för stor. Då kan en byggnad i stället behöva kylas. För att förhindra detta samt även minska mängden värmeutstrålning mot himlen under klara nätter kan taksprånget göras längre.

Alla material i en byggnad lagrar värmeenergi. Genom att utnyttja husets värmelagringsförmåga tillsammans med intelligenta termostater kan en jämnare inomhustemperatur åstadkommas samtidigt som energi sparas. Vidare kan lagrad värme från varma dagar och återföras till luften under en kommande kall natt. Värmelagringen bidrar oftast till att det maximala energibehovet i en byggnad blir något lägre.<sup>60</sup> Hur mycket lägre beror på de interna lasternas variation samt vilka material och termostatsystem som finns i huset.

Gratisenergin från belysning och apparater är inte alls gratis som antyds. Energin innefattas dock inte i värmeenergin utan går under benämningen hushållsel, vilken mäts för sig. Gamla apparater förbrukar oftast mer energi än modernare. De genererar i sin tur mer värme till omgivningen men då de är mindre effektiva samt sommartid då uppvärmningsbehov inte föreligger blir de ändå en extra belastning för brukaren. Alla vitvaror på den Svenska marknaden är idag EU-märkta ur energieffektivitetssynpunkt<sup>61</sup>.

### 2.7.6 Övriga energiberoende parametrar

Spillvatten för med sig värmeenergi ut ur byggnaden genom avloppet. Detta sker både genom att kallt spillvatten värms av ineluften och att tappvarmvatten spolas ut. Energiförlusterna genom spillvatten kan minskas genom snålspolande armatur vilken minskar flödet. Försök

<sup>59</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>60</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>61</sup> Ibid.

som genomförts med att värmeväxla spillvatten har med tveksamhet visat sig lönsamma<sup>62</sup>. I flerbostadshus har det visat sig vara lönsamt att installera individuell mätning och prissättning för värme och tappvarmvatten<sup>63</sup>.

### 2.7.7 Gränstemperatur

Gratisvärmeeffekten gör att köpt energi inte behövs för att täcka hela värmebehovet för en byggnad. Istället beräknas en gränstemperatur, även kallat balanstemperatur, vilken baseras på den utomhustemperatur där värme måste tillföras en byggnad för att upprätthålla rådande inomhus temperatur. Gränstemperaturen kan beräknas genom ekvation nedan<sup>64</sup>.

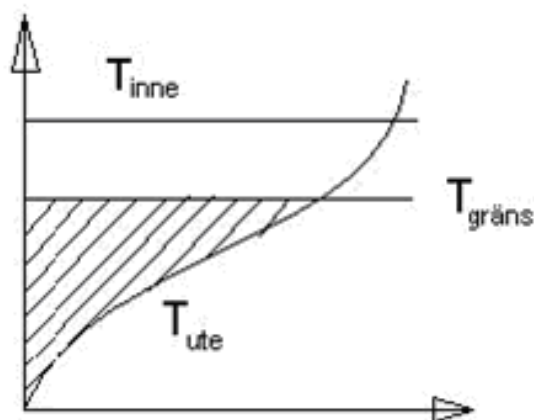
$$T_g = T_{inne} - \frac{P_{gratis}}{Q_{tot}} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7)$$

där:  $T_g$  = Gränstemperatur [ $^{\circ}\text{C}$ ]

Övriga beteckningar enligt ovan.

## 2.8 Värmeenergibehov

Värmeenergibehovet för en byggnad anges i enheten [Wh] och beräknas genom att värmeeffektbehovet integreras över tiden, vanligtvis ett år. Nedan illustreras värmeenergibehovet som är summan av det markerade området i figuren nedan. Figuren visar även tillskottet av gratisenergi, vilket är området ovanför det markerade som innesluts av axlarna  $T_{inne}$ ,  $T_{ute}$  och  $T_{gräns}$ .



Figur 2.3 Inne-, gräns- och utomhustemperatur som funktion av tiden. Markerat område anger den tid som aktuellt hus måste värmas. Området ovan det markerade visar tillskottet av gratisenergi<sup>65</sup>.

<sup>62</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

<sup>63</sup> Berndtsson, Lennart. (2003). *Individuell mätning i Svenska flerbostadshus – en lägesrapport*. Internet.

<sup>64</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>65</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

Genom att använda gränstemperaturen istället för inomhustemperaturen kan värmeenergiebehovet för ett år beräknas enligt ekvationen 8 nedan<sup>66</sup>

$$E = Q_{tot} \int_{\text{året}} (T_g - T_{ute}) dt \quad [\text{Wh}] \quad (8)$$

där:  $E$  = Värmeenergiebehovet för ett år [Wh]

Övriga beteckningar enligt ovan.

### 2.8.1 Grattimmar

Grattimmarna anger det specifika värmebehovet över tiden. De anges i [°Ch] och utgör en specifik del i ekvation 8 enligt nedan<sup>67</sup>.

$$G_t = \int_{\text{året}} (T_g - T_{ute}) dt \quad [^\circ\text{Ch}] \quad (9)$$

där:  $G_t$  = Grattimmar [°Ch]

Övriga beteckningar enligt ovan.

För handberäkningar finns såkallade varaktighetsdiagram som beskriver en variation över ett givet tidsintervall. För grattimmar eller graddagar beskrivs vanligtvis temperaturvariationen mellan ute och inneluft alternativt ute och gränstemperatur över tiden ett år.

Ekvationen för värmeenergiebehov för ett år kan således skrivas som<sup>68</sup>

$$E = Q_{tot} G_t \quad [\text{Wh}] \quad (10)$$

Beteckningar enligt ovan.

## 2.9 Normalårskorrigerig av energianvändning

Vid jämförelse mellan uppmätt och beräknad energianvändning är det av relevant att ingående klimatdata överrensstämmer. Beroende på vilken klimatdata som används kan beräknad och uppmätt energianvändning behöva korrigeras mot varandra. Om ingående klimatdata är ekvivalent vid beräkning och mätning kan beräknade och uppmätta resultat jämföras direkt. När det förekommer skillnader mellan klimatdata vid mätning och simulering är det dock nödvändigt att korrigera simulerade värden mot uppmätta. Vid beräkning av energianvändning används ofta klimatdata i form av normalår. Även medelvärden för perioder om 10 år förekommer i simuleringsprogram. Korrigerig av beräknad och uppmätt energianvändning kan ske med effektsignaturmetoden och grattimmemetoden.

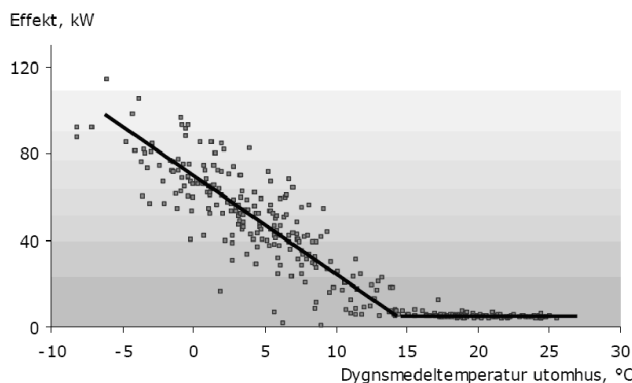
<sup>66</sup> Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning*. Internet.

<sup>67</sup> Ibid.

<sup>68</sup> Ibid.

## 2.9.1 Effektsignaturmetoden

Effektsignaturmetoden utgår från att byggnadens värmetekniska beteende studeras. Genom att plotta uppmätt medeleffekt mot utomhustemperaturen fås två linjära funktioner. Från mätdatapunkterna tas energisignaturen fram med linjär regression. Punkten där den sluttande kurvan korsar Effektbehovets ”noll” axel anger byggnadens gränstemperatur. Ekvationerna för den linjära funktionen som anger uppvärmningsbehovet kan sedan korrigeras mot ett normalår.<sup>69 70</sup>



Figur 2.4 Exempel på effektsignatur. Energibehov som funktion av utomhustemperatur<sup>71</sup>

## 2.9.2 Gradtimmesmetoden

Korrigerad av energianvändning med gradtimmesmetoden utförs på den klimatberoende delen av den totala energianvändningen vilket ger ekvation enligt nedan.

$$E_{korr} = E_{klimat} + (E_{total} - E_{klimat}) \frac{G_{normalår}}{G_{taktuell}} \quad [\text{Wh}] \quad (11)$$

där:

- $E_{korr}$  = normalårskorrigerat energibehov [Wh]
- $E_{klimat}$  = klimatberoende delen av energibehovet [Wh]
- $E_{total}$  = totala energibehovet [Wh]
- $G_{normalår}$  = antalet gradtimmar under ett normalår [°Ch]
- $G_{taktuell}$  = antalet gradtimmar under aktuellt år [°Ch]

Statiska centralbyrån använder en modell där 50 procent av energianvändningen andas vara direkt proportionell mot antalet gradtimmar.

$$E_{korr} = E_{total} \frac{1}{1 + 0,5 \frac{G_{taktuell} - G_{normalår}}{G_{normalår}}} \quad [\text{Wh}] \quad (12)$$

Beteckningar enligt ovan

<sup>69</sup> Schulz, Linda. Effektiv. (2003). *Normalårskorrigerad av energianvändningen i byggnader*. Internet.

<sup>70</sup> Haryd, Jenny. (2005). *Energianvändning i två flerbostadshus av trä*. Internet.

<sup>71</sup> Ibid.

Ytterligare en ekvation för korrigering av energianvändningen med hjälp av gradtimmesmetoden är

$$E_{korr} = E_{total} \frac{G_{normalår} + G_{tk\ lim\ at}}{G_{ttaktuell} + G_{tk\ lim\ at}} \quad [\text{Wh}] \quad (13)$$

där:  $G_{tklimat}$  = antalet graddagar för klimatberoende energibehov

Övriga beteckningar enligt ovan.

Klimatberoende energianvändning avser tappvarmvatten och varmvattencirkulation.<sup>72</sup>

## 2.10 Förlustfaktor

I förlustfaktormetoden räknas en förlustfaktor vilken syftar till att ge ett mått på den värmeeffekt som måste tillföras en byggnad som kompensation för värmeförlusterna. Effekten som måste tillföras uppvärmningssystemet beskrivs med en förlustfaktor vilken korregerar den specifika värmeförlusten med en verkningsgrad  $\eta$ . Verkningsgraden beskriver värmesystemets förmåga att avge värme till byggnaden samt distributionsförluster. Ökade förluster beroende av inbyggda värmekällor och förbränning inkluderas inte<sup>73 74</sup>. Byggnadens förlustfaktor uttrycks som<sup>75</sup>:

$$f = \frac{1}{h} Q_{tot} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (14)$$

där:  $f$  = förlustfaktor  $[\text{W}/^\circ\text{C}]$   
 $\eta$  = verkningsgrad  $[-]$

Övriga beteckningar enligt ovan.

Vid mätning i bebodda hus kommer gratisvärme stå för en del av värmebehovet. Således kommer inte hela byggnadens behov tillföras via värmesystemet. Ekvation 14 kompletteras därför med tilläggstermer vilka kompenserar för gratisvärmens enligt nedan<sup>76</sup>.

$$f = \frac{1}{h} Q_{tot} - \left( \frac{h_2}{h_1} - 1 \right) \frac{P_{gratis}}{T_{inne} - T_{ute}} \quad [\text{W}/^\circ\text{C}] \quad (15)$$

där:  $\eta_1$  = verkningsgrad hos distributionsnät  $[-]$   
 $\eta_2$  = verkningsgrad hos tillskottsvärme  $[-]$

Övriga beteckningar enligt ovan.

<sup>72</sup> Schulz, Linda. Effektiv. (2003). *Normalårskorrigering av energianvändningen i byggnader*. Internet.

<sup>73</sup> Jansson, Stig, Energidoktorn konsult HB. *Trätekts förlustfaktormetod med förenklad registrering*.

<sup>74</sup> SP, Sveriges provnings och forskningsinstitut (1995). *Definition av förlustfaktor och anvisning för beräkning*.

<sup>75</sup> Ibid.

<sup>76</sup> Ibid.

## 2.11 Tappvarmvattenbehov

Tappvarmvattenbehovet kan variera kraftigt mellan olika hushåll. Oftast används ett gemensamt system till värme och tappvarmvatten. Värmesystemets uppbyggnad varierar och är beroende av vilka förutsättningar som ges. Varmvattnet värms oftast i varmvattenberedare vilken i sin tur får sin energi på olika sätt.

För beräkning av effektbehov för tappvarmvatten kan ekvation enligt nedan användas<sup>77</sup>.

$$P_{vwb} = \rho_{h_2o} c_p q_{h_2o} (T_{ut} - T_{in}) \quad [W] \quad (16)$$

där:  $\rho_{h_2o}$  = Vattnets densitet, cirka 1000 [kg/m<sup>3</sup>] vid 20 °C  
 $c_p$  = Vattens värmekapacitet, normalt 4180 vid 21°C och 60°C<sup>78</sup> [J/kg,°C]  
 $q_{h_2o}$  = Vattenflöde [m<sup>3</sup>/s]  
 $T_{ut}$  = Utgående vattentemperatur [°C]  
 $T_{in}$  = Ingående vattentemperatur [°C]

Genom omskrivning kan ekvation 13 skrivas om och total energianvändning räknas ut direkt enligt nedan<sup>79</sup>.

$$E_{vwb} = 1,16 V (T_{ut} - T_{in}) \quad [kWh] \quad (17)$$

där:  $V$  = Total varmvattenanvändning per år [m<sup>3</sup>]  
 $E_{vwb}$  = Energibehovet per år [kWh]

Övriga beteckningar enligt ovan.

## 2.12 Tillförd energi

Energi som tillförs värmesystemet kan delas upp i köpt, åter- eller utvunnen energi. De olika formerna kombineras ofta med varandra. Många gånger fungerar köpt energin som komplement eller tillsammans med åter- eller utvinningssystem. Som regel gäller att en mindre mängd köpt energi ska kunna återvinna eller utvinna energi i större mängd.

Köpt energi levereras till byggnaden via någon form av distributionsnät. Energin kan utgöras av till exempel el, fjärrvärme, olja eller pellets. Precis som namnet anger så betalar man för den.

Återvunnen energi är energi som är på väg att lämna byggnaden men tas omhand och återförs. Idag är det vanligt att utgående värmeenergi i ventilationsluften återvinns genom värmepumpar eller ventilationsvärmväxlare. Värmepumparna behöver köpt elenergi för att kunna återvinna värme i ventilationsluften. Båda systemen kräver också energi till fläktar och vissa andra komponenter. Återvinningen blir dock så stor att den mer än väl täcker behovet av köpt energi. Övergripande gäller att värmepumpar levererar tre gånger så mycket energi i värme än vad som tillförs i el.

<sup>77</sup> Bülow- Hube, Helena. Föreläsningmaterial i kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*. Internet.

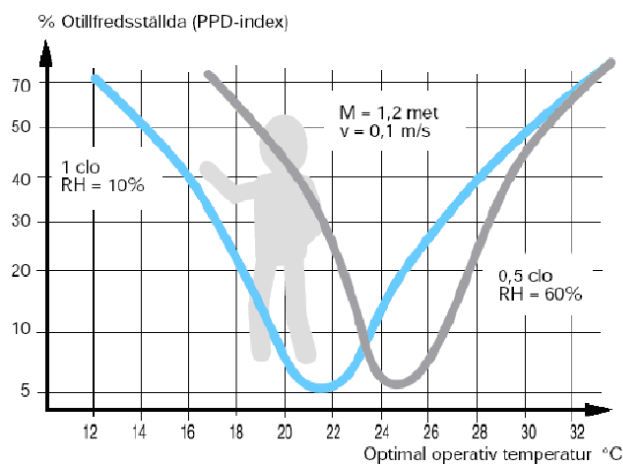
<sup>78</sup> Mörstedt, Sten-Erik, Hellsten, Gunnar. (2005) *Data och diagram. Energi – och kemitekniska tabeller*.

<sup>79</sup> Bülow- Hube, Helena. Föreläsningmaterial i kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*. Internet.

Utvunnen energi kommer från solfångare samt mark- eller bergvärmesystem vilka tillvaratar, och omvandlar, energin för värme eller tappvarmvattenbehov. I mark- eller bergvärmesystem används i regel värmepumpar för att utvinna energi. Värmepumparna kräver i sin tur köpt energi i form av el.

## 2.13 Inomhustemperatur

Inomhustemperaturen är avgörande för byggnadens värmeenergibehov. Krav på minsta och högsta tillåtna inomhustemperatur anges i kapitel 1.5.2, Boverket och socialstyrelsens krav. För att klara energikraven projekteras många byggnader med den lägsta tillåtna inomhustemperaturen. Resultatet blir att huset förbrukar mer energi än vad som beräknats då användarna har högre inomhustemperatur än vad som beräknats i projekteringsstadiet. Inomhustemperaturen är en viktig faktor för att de boende ska känna sig tillfredsställda med sin miljö. Nedan visas hur andelen tillfredsställda personer påverkas av den operativa temperaturen<sup>80</sup>.



Figur 2.5 Andelen tillfredsställda personer beroende av operativ temperatur<sup>81</sup>.

där: M= Metabolism [met], 1,2 met motsvarar aktivitet vid kontorsarbete.  
 RH= Relativ fuktighet [%]  
 V= Vindhastighet [m/s]  
 Clo= mått på tjocklek av klädsel [clo], 1,0 clo motsvarar normal klädsel, 0,5 clo motsvarar lätt sommarklädsel

## 2.14 Klimat och klimatdata

Klimatet i Sverige varierar förhållandevis kraftigt mellan de norra och södra delarna. Årsmedeltemperaturen kan skifta mellan -3°C i norr till 8°C i söder. Detta ställer givetvis olika krav på byggnaders prestanda beroende på var i Sverige de är placerade. Bortsett från medelvärden så kan temperaturen också variera ganska kraftigt över dygnet.<sup>82</sup>

<sup>80</sup> Jagemar, Lennart. Effektiv. (2001). *Individuell reglering av rumsklimat*. Internet

<sup>81</sup> Ibid.

<sup>82</sup> SMHI, *Årsmedeltemperatur 1961-1990*. Internet.



Vid studier av klimatdata finns det flera tecken som tyder på att klimatet håller på att förändras jämfört med årsmedeltemperaturen mellan 1961 och 1990. Förutom en större temperaturvariation visar även mätningar att årsmedeltemperaturen ökat med cirka 1°C de senaste 20 åren.<sup>83 84</sup>

Med anledning av variationer är det viktigt att använda detaljerad klimatdata vid simuleringar för värmebehovs beräkningar. Vid val av intervall för den tid klimatdata baseras på finns det flera aspekter att beakta. SMHI erbjuder olika parametrar för klimatdata med en detaljeringsgrad ner till värden per timme för flera olika orter.

## 2.15 Simuleringsprogram

För effekt- och värmebehovs beräkningar genom simulering finns ett flertal program att välja mellan. Valet av simuleringsprogram framgår och motiveras under kapitel 3.9, Val av simuleringsprogram. Nedan ges en kort beskrivning av olika program vilka återfinns på den nordiska marknaden. Där inget annat anges är informationen hämtad från Bengt Bergstens rapport *Energiberäkningsprogram för byggnader – en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*<sup>85</sup>. För utförligare beskrivning över nedan beskrivna simuleringsprogramms funktion och prestanda hänvisas till respektive programs användaremanual eller motsvarande.

### BSim2000

BSim2000 är ett generellt simuleringsprogram som kan beräkna energi- och effektbehov samt termiskt klimat-, dagsljus- och belysningsnivåer. Det kan beräkna värme och masstransport mellan flera olika zoner, eller rum. Användningsområdet är främst för projektering av komplicerade konstruktioner eller byggnadsverk där höga krav på dagsljus eller energieffektivitet ställs. Programmet kan importera byggritningar i CAD-format, DXF-format.

### BV<sup>2</sup>

BV<sup>2</sup> är en förkortning av Byggnadens Värmebalans i Varaktighetsdiagram. Beräkningar av byggnaders värmebalans har som huvudsakligen utomhustemperaturens varaktighet som utgångspunkt. Modellen är inte lika komplex som timvisa beräkningar där finita differensmetoden används. Programmet beräknar energi- och effektbehov samt byggnaders zoners inomhustemperatur. Det tar hänsyn till värmelagring samt solstrålning och kan visa värme- och kylbehov tillsammans med utomhustemperatur i varaktighetsdiagram. Användningsområdet lämpar sig för beräkningar vid förvaltning samt ny- eller ombyggnad för både kommersiella och bostadsfastigheter. Jämförelser mellan olika byggnadsutföranden och klimatsystem kan studeras.

### DEROB-LTH

Programmet Dynamic Energy Respons of Buildings genererar energi- och effektbehov samt luft- och yttemperaturer över året med en detaljerings grad på timmar. Det har en detaljerad modell för beräkning av solstrålningens inverkat på energibalansen. Speciellt lämpar sig

<sup>83</sup> SMHI, *Ser vi en klimatförändring idag?* Internet.

<sup>84</sup> SMHI, *Klimatet förändras*. Internet.

<sup>85</sup> Bergsten, Bengt, Effektiv. (2001). *Energiberäkningsprogram för byggnader – en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*.

programmet för projektering av både ny- och ombyggnad för såväl bostäder som lokaler.<sup>86 87</sup>

## **EiB**

EiB står för Energi i Byggnader och är ett program för effekt-, energi och lönsamhetsberäkningar vid ny och ombyggnad av generella byggnader. Vid lönsamhetsberäkningar kan programmet beräkna inverkan av olika energibesparingsåtgärder. Programmets användningsområde är inom förvaltning samt ny- och ombyggnad av kommersiella eller bostadsfastigheter.

## **Energikiosken**

Energikiosken är ett program som bäst lämpar sig för befintliga enfamiljshus. Det kan beräkna energianvändning och även koldioxidhalt som resultat av energianvändning. Programmet är gratis och kan användas via Internet. Förutom energiberäkningar kan även energibesparande åtgärder föreslås.

## **Energilotsen**

Energilotsen är ett handledningsprogram för byggprocessens olika aktörer. Programmet är anpassat till de nya reglerna för energianvändning från och med 1 juli, 2006 i BBR 12. Byggherren får hjälp med att formulera kravspecifikation för energi och inneklimat. Specifikationen kan antingen göras övergripande för hela huset eller på detaljnivå och beröra enskilda komponenter. För arkitekter och konstruktörer finns sedan handledningsdokument om hur byggherrens krav kan undersökas och kontrolleras. Entreprenörer ges tillgång till relationshandlingar samt information om hur provning och kontroller ska genomföras. Programmet innehåller även stöd och handledning till förvaltningsprocessen om i form av verifiering och uppföljning av energianvändning och inneklimat.<sup>89</sup>

## **ENORM1000**

Programmet beräknar energianvändning i byggnader som även kan jämföras med referensbyggnader. Det är ett generellt beräkningsprogram med fokus på bostäder och jämförelser av beräkningar mot referenshus enligt BBR 94. Programmet begränsas av att det endast kan genomföra simuleringar för en sorts klimatsystem där konstant tilluftflöde krävs. Noggrannheten är baserad på dygnsvärden vilket gör det opålitligt vid miljöer där temperatur och internlast förändras över dygnet.

## **HEAT3**

Heat3 beräknar stationära värmeflöden i tre dimensioner. Det syftar till att kontrollera försvagningar i klimatskalet samt beräkna storleken på köldbryggor. Geometriska konstruktioner ritas upp i programmet. Värmeledningsförmåga och specifika värmekapacitet för material i konstruktionen definieras samt temperaturdifferensen mellan konstruktionens in- och utsida anges.

---

<sup>86</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>87</sup> Andersson, Sara, Nordström, Johanna (2005). *Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda*.

<sup>88</sup> Wall, Maria, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

<sup>89</sup> Energilotsen. För utformning av energieffektiva byggnader. Internet.

## Huset

Är ett Internetbaserat energiberäkningsprogram som är gratis. Det riktar sig till småhusägare med fokusering på friliggande villor. Förutom energianvändningsberäkningar ger programmet energieffektiviseringsråd. Det är enkelt uppbyggt och få parametrar som indata.

## IDA Indor Climate and Energy

IDA ICE är ett generellt program för energi- och effektbehovsberäkningar för byggnader. Programmet kan också beräkna koldioxidhalter, termiskt inneklimat samt fuktbalanser i rumsluft. Vidare kan det beräkna värme- och masstransport mellan flera zoner. Programmet kan också skapa individuella beräkningsmodeller för speciella komponenter. IDA ICE lämpar sig främst inom ny- och ombyggnad av kommersiella fastigheter. Programmets komplexa struktur gör att det kräver en erfaren användare.

## OPERA

Programmet syftar till att optimera energirelaterade reparations och ombyggnadsåtgärder till en så låg livscykelkostnad, LCC, som möjligt. Huvudsakligen är det inriktat mot flerbostadshus men även byggnader med enklare klimatsystem kan simuleras. Energianvändningen fås som ett delresultat av LCC-beräkningen. Cirka tio olika byggnadsåtgärder och värmesystem finns. Även byggnader med bivalenta värmesystem, system med flera värmekällor, kan behandlas, däribland solfångare.

## Parasol

Simuleringsprogram som är anpassat för beräkning av solskydd och solavskärmningens inverkan på energibalans samt termisk och visuellkomfort. Programmet baseras på DEROB-LTH<sup>90</sup>

## TRNSYS

TRNSYS är ett omfattande simuleringsprogram där hela energisystem kan byggas upp och simuleras. Programmet kan skapa individuella beräkningsmodeller för speciella komponenter. Det är så pass omfattande att det i regel tar minst ett år att lära sig.<sup>91</sup>

## VIP+

VIP+ är ett generellt beräkningsprogram som är dynamiskt uppbyggt. Det fokuserar på energiberäkningar av bostäder och jämförelseberäkningar mot referenshus enligt BBR 12. Programmet beräknar enbart årsenergianvändningen och kan inte användas för dimensionering av värme eller kylsystem. De genomförs med noggrannhet baserad på timvärden och kan göras för upp till tio olika zoner. Programmet har även separata funktioner där bland annat köldbryggor i hörn, fönstersmygar samt vid syll och hammarband kan modelleras. Vidare kan samansatta väggelement, till exempel lättreglar och korsregelväggar, sammanfogas och beräknas som ett gemensamt material. Vid beräkning av byggnadsdelar behandlar VIP+ volymer och olika ytor på element, exempelvis väggar, golv samt tak, var för sig. Klimatskalets element påverkar således inte byggnadens volym vid beräkning. Beroende

---

<sup>90</sup> Wall, Maria, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

<sup>91</sup> Ibid.



## 2.16 Passivhus - hus utan värmesystem

Passivhus benämns ofta även som hus utan värmesystem. Definitionerna är likställda och syftar till hus med mycket lågt energibehov. Uppvärmningsbehovet tillgodogörs av solinstrålning samt internlasterna i form av värme från personer och hushållsel. En mindre mängd energi för tillskottsvärme tillförs ofta genom att tilluften eftervärms.

Passivhus definieras av att de uppfyller en rad olika delkrav beträffande transmissions- och läckageförluster samt helhetskrav beträffande husets värmebehov. De tyska kraven för passivhus presenteras i punktform enligt nedan<sup>98, 99</sup>.

Delkrav:

- Värmeisolering ska ha ett lägre genomsnittligt U-värde för klimatskalet, inklusive fönster  $0,15 \text{ W/m}^2 \text{ och K}$ . För friliggande enfamiljshus ska samma U-värdet understiga  $0,10 \text{ W/m}^2 \text{ och K}$
- Konstruktionen ska utföras utan köldbryggor med hänsyn taget till utvändiga mått
- Luftläckage vid 50 Pascals tryckskillnad ska understiga  $0,6 \text{ oms/h}$
- Fönster ska ha lägre U-värden än  $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ och K}$
- Värmeåtervinning från frånluft ska ha en verkningsgrad som överstiger 75 procent
- Låga värmeförluster vid uppvärmning samt distribution av tappvarmvatten
- Högeffektivt utnyttjande av hushållsel

Helhetskrav:

- Effektbehov för uppvärmning max  $10 \text{ W/m}^2$
- Karakteristiskt helhetsvärde för uppvärmning understiger  $15 \text{ kWh/m}^2$  och år
- Luftväxling vid provtryckning understiger  $0,6 \text{ oms/h}$
- Karakteristiskt energivärde för primärenergi understiger  $120 \text{ kWh/m}^2$  och år

Byggnadstekniken hos passivhus bygger på att klimatskalet och återvinning ska vara så pass bra att byggnaden inte behöver ett separat uppvärmningssystem. Extra uppvärmning utöver de interna lasterna ska kunna ske genom eftervärmning av tilluften. Genom att minska effektbehovet så minskas också energianvändningen.<sup>100</sup>

---

<sup>98</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

<sup>99</sup> Wall, Maria, Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

<sup>100</sup> Ibid.

### 3 Metod

*Metodiken som studien är uppbyggd efter presenteras. Initialt ges en allmän beskrivning vilken följs av litteratur och momentstudie. Utredningsmetoder för olika moment presenteras. Val av ingående parametrar redovisas och motiveras. Även de hus som studien kommer att omfatta presenteras kortfattat med förklaring till varför just de undersöks. Val av åtgärder och simuleringsprogram presenteras. Avslutningsvis diskuteras och kritiseras vald metod.*

#### 3.1 Allmänt

Arbetet har genomförts i fyra stycken huvudmoment vilka är beroende av varandra. I den första delen verifieras simuleringsprogrammets säkerhet genom jämförelse av uppmätt data mot dynamiskt beräknade värden för samma hus. Huset där data inhämtats byggdes till Bo01 i Malmö med syfte att vara ett energisnålt enfamiljshus. Det andra huvudmoment syftar till att genom dynamiska beräkningar undersöka två hus som LB-Hus AB producerar. I det tredje delmomentet ges förslag på och utreds möjligheter till energibesparande förändringar. Avslutningsvis studeras om föreslagna förändringar samverkar och vilken energibesparing det kan ge.

#### 3.2 Litteraturstudie

En omfattande litteraturstudie för inhämtande av fördjupad teoretisk kunskap samt kännedom av tidigare undersökningar har genomförts. Litteraturstudien har bland annat innefattat rapporter och utredningar om undersökta hus samt examensarbeten, avhandlingar och utbildningsmaterial inom de ämnesområden som studerats. Vidare har stora delar av LB-Hus AB interna arbetsmaterial och systemhandlingar granskats. Flera tidigare undersökningar har studerats extra noga då de delvis legat till grund för arbetet. Framförallt rapporter rörande det befintliga hus där mätdata inhämtats. Användaremanualer till simuleringsprogram har betraktats i samband med att programmen nyttjats.

Inhämtade teorier presenteras i kapitel 2, Teorier, samt vid fördjupade teoretiska resonemang i samband med att energibesparande förändringar föreslås i kapitel 7. Resultat från tidigare undersökningar presenteras under kapitel 4 med samma namn. För beskrivning av använda simuleringsprogram hänvisas till respektive programs användaremanual.

#### 3.3 Momentstudie

För att få en inblick i LB-Hus AB verksamhet samt produktionstekniska förutsättningar har en arbetsplatsförlagd studie genomförts. Under tre dagar har arbetsmoment, huvudsakligen byggnation av väggelement, takstolar samt bjälklag, studerats genom aktivt deltagande i produktionen. Vidare har markarbeten, grundläggning, husmontage samt efterarbeten som installationer, tapetsering med mera beskådats under färdigställande av hus till företagets kunder. Logistiska förhållanden och förutsättningar hos LB-Hus AB har studerats teoretiskt i interna utredningar. Vidare har flera interna dokument rörande företagets byggsystem granskats. Projekteringsmomenten el, VVS och statik har diskuterats löpande med personal på arbetsplatsen.

### 3.4 Utredningsmetoder

För samtliga utredningsmetoder gäller att fakta och formler inhämtas från litteratur och tidigare genomförda utredningar och rapporter. Hämtat material visas stor tillförlitlighet och analyseras inte närmare i samband med att det används.

Energibehov samt återvunnen energi uppskattas genom dynamiska beräkningar i simuleringsprogram. I programmet tas hänsyn till laster samt husets värmelagringsförmåga. U-värde för ytterväggar beräknas genom föreskrivna metoder i BBR 12.

Behov av köpt energi summeras genom att energibehov vägs samman mot utvunnen och återvunnen energi. Detta sker med hjälp av byggda modeller för statistiska beräkningar i Matlab och Excel.

Tillvaratagen energi genom solvärme beräknas med solsimuleringsprogram.

Systemet för solvärmedriven ventilation grundas på beräkningar som genomförts i byggda modeller i Matlab och Excel. I beräkningarna tas hänsyn till skillnaden i ute och inne temperatur, vind samt global- direkt- och diffus strålning.

Installationssystem beräknas i simuleringsprogram samt genom statistiska beräkningar. Formler, tabellvärden och övrig beräkningsinformation hämtas från kurslitteratur eller produktblad. Beräkningarna genomförs både enskilt och med hjälp av modeller som konstrueras i Matlab och Excel.

Vid behov beaktas såväl inne- som utomhustemperatur, dimensionerande utomhustemperatur, relativ fuktighet, vind samt global- direkt- och diffus strålning.

Lufttäthet för byggnader utreds endast och analyseras inte djupare genom beräkningar.

Köldbryggor i klimatskalet undersöks och analyseras i simuleringsprogram.

### 3.5 Val undersökta hus och orter

Studien omfattar endast hus med avseende på nyproduktion. Undersökta hus finns producerade men rapporten berör endast hustypen i projekteringsstadiet.

LB Bo01 hus och mätdata från detta utgör en av förutsättningarna för studien. Huset används i första hand för delmomentet när simuleringsprogrammet ska verifieras men även vid jämförelse av hus av liknande storlek.

Ett av de två andra husen som innefattas i studien kallas Steglitsen och är mycket likt LB Bo01 hus. Det är cirka 10 m<sup>2</sup> större samt saknar extra energieffektiviseringsåtgärder. Steglitsen har valts för att det till utformning och utseende är mycket likt Bo01 huset samt har en närliggande yta. Simulerad energianvändning med och utan energieffektiviseringsåtgärder kan jämföras. Energibesparingen kan beräknas och jämföras med den ökade produktionskostnaden.

Det andra huset som undersöks i arbetet är ett av LB-Hus AB standardhus. Huset heter Villa Ugglan 135 och har valts då det är ett standard hus som produceras i stor skala. Sedan årsskiftet 2006, när det introducerades, är det LB-Hus AB mest sålda hus<sup>101</sup>. BOA är ungefär lika stor som på de andra undersökta husen. En väsentlig skillnad är mot Steglitsen är att huset är i ett plan vilket gör den omslutande arean större och således ger ökade värmeförluster.

Undersökta hus beskrivs närmare i kapitel 6, Undersökning av befintliga hus.

Studien har medvetet begränsats till orterna Malmö, Växjö, Stockholm och Sundsvall vid simulering. Valet bygger på de orter där det fanns bred tillgång på klimatdata från SMHI. Med anledning av variationer i klimatet önskades en spridning över Sverige samt både kust och inlandsstäder. Brister i klimatdata samt studiens omfattning gör att beräkningar för uppbyggda modeller i Matlab och Excel begränsas till en ort vid kust och en i inlandet. Tillgänglig klimatdata gör att dessa orter valts till Stockholm och Växjö.

## 3.6 Val av ingående parametrar

### 3.6.1 Klimatdata

Om inget annat anges så bearbetas ingående klimatdata med ett intervall på en timme.

Klimatdata för dynamiska beräkningar av energianvändning i simuleringsprogram utgår från befintliga värden i valt program. För närmare beskrivning om hur de behandlas hänvisas till simuleringsprogrammets manual<sup>102</sup>.

Vid verifiering av simuleringsprogram används uppmätt klimatdata från samma period som energianvändningen studerats.

Klimatdata för beräkningar som genomförts genom modeller i Matlab och Excel är hämtat från SMHI. Mätningarna gäller för parametrarna utomhustemperatur, vindhastighet, relativ fuktighet samt global-, direkt- och diffusstrålning. Begränsningar i mätdata gör att en period har definierats till tio år, 1 januari 1996 – 31 december 2005. Timvärden för olika parametrar har uppmätts och beräknats på varierande sätt. För relativ fuktighet och utomhustemperaturen har mätning genomförts under en minut respektive timme. Medelvärden av fuktigheten respektive temperaturen under denna minut används. Data för vindhastigheten baseras på ett medelvärde av en 10 minuter lång mätning under respektive timme. Global-, direkt- och diffusstrålning är uppmätt var 10 minut varpå värdena har integrerats över intervallet en timme. SMHI's placering av mätstationer begränsar undersökningarna till de orter där mätdata kan inhämtas<sup>103</sup>.

Klimatdata vilken används för verifiering av simuleringsprogram samt vid beräkningar av modeller i Matlab och Excel har kontrollerats och överrensstämmer i stort med parallella mätningar. I enstaka fall förekommer brister i klimatdata vilka kompletteras av parallella mätningar alternativt föregående värden.

---

<sup>101</sup> Berglund, Lars-Göran. LB-Hus AB. Personlig kommunikation.

<sup>102</sup> Structural Design Software. (2006) *VIP+*. Manual Version 4.1.1. Malmö.

<sup>103</sup> SMHI. (2005). *Luft och mark*. Internet.



### 3.6.2 Allmänt om brukarvanor

Energianvändningen kan variera mycket kraftigt mellan olika hushåll trots att de består av lika många personer. Anledningen är att deras brukarvanor kan skilja sig från varandra. Utöver att brukarvanorna mellan olika individer och familjer skiljer sig åt kan även husets armatur och vitvaror göra skillnader i energianvändningen. Undersökningar visar att byte av armatur kan minska vattenförbrukningen med upp till 48 procent och energianvändningen för tappvarmvatten med 38 procent<sup>104</sup>. Vidare kan energisnåla vit- och brunvaror bidra till att användningen av hushållsel minskar kraftigt.

Vid beräkningar av brukarvanor och andra variabla parametrar som är individberoende utgår denna studie från en familj bestående av fyra personer, två vuxna och två barn. Antagandet baseras på att de hus som undersökts i studien väl lämpar sig väl för en familj av just denna uppbyggnad<sup>105</sup> samt att en svensk kärnfamilj antas se ut på detta sätt av många.

### 3.6.3 Personvärme

Energitillskottet från personer varierar mellan individer. Saker som fysisk aktivitet, kön, ålder och storlek hos individer är några av de saker som avgör hur mycket värme en person avger till sin omgivning. Energitillskott från personer baseras på tabell enligt nedan.

Tabell 3.1 Avgiven kroppsvärme. Kroppsarea och producerad värme från sovande person<sup>106</sup>.

Ålder [år]	Man			Kvinna		
	Värme [W]	Area [m <sup>2</sup> ]	Värme/Area	Värme [W]	Area [m <sup>2</sup> ]	Värme/Area
Nyfödd	16	0,45	36	16	0,45	36
1	32	0,50	64	30	0,50	60
2	37	0,57	65	35	0,57	61
5	44	0,72	61	43	0,71	61
12	65	1,20	54	60	1,22	49
20	86	1,76	49	69	1,65	42
40	80	1,82	44	68	1,67	41
70	70	1,70	41	59	1,60	37

Tabell 3.2 Avgiven kroppsvärme beroende på aktivitet<sup>107</sup>.

Aktivitet	Avgiven energi, [W/m <sup>2</sup> ]
Liggande	46
Sittande, avslappnad	58
Ståendes, avslappnad	70
Stillasittande aktivitet	70
Ståendes lätt aktivitet	93
Ståendes tung aktivitet	116
Medelstor fysisk aktivitet	165
Elitidrotts aktivitet	870

<sup>104</sup> SP, Energy Technology, Wahlström, Åsa. (2000). *Water and energy saving by installation of new water taps*. Internet.

<sup>105</sup> Holm, Caroline. LB-Hus AB. Personlig kommunikation.

<sup>106</sup> Bülow- Hübe, Helena. Föreläsningmaterial i kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*. Internet.

<sup>107</sup> Hansen, Kjerulf-Jensen, Stampe (1997) *Danvak Grundbok – Varme og klimatteknik, 2 Udgave*.

### 3.6.4 Tappvarmvattenanvändning

Undersökningar över tappvarmvattenanvändning i svenska hushåll har varit svåra att hitta. Mätningarna är ofta dyra varför det inte gjorts många och framförallt inga övergripande undersökningar över tappvarmvattenanvändningen i Sverige under de senaste åren<sup>108</sup>. Större delen av de undersökningar som påträffats är mer än 15 år gamla, vissa är utförda så tidigt som 1965<sup>109</sup>. Nedan sammanställs och diskuteras resultatet från olika undersökningar och personliga interjuver inom området. Utifrån dessa har sedan ett värde för energianvändning till tappvarmvatten antagits.

En norsk undersökning 1996 (Haugen) baserad på endast fyra enfamiljshushåll visar att energianvändningen för tappvarmvatten låg mellan 3400 och 4900 kWh/år, med ett medelvärde på 4100 kWh. Bostadsytan och storleken för de aktuella husen anges inte.<sup>110</sup>

SP utförde 2000 en studie rörande energibesparing vid byte tappvarmvattenarmatur. Bland annat tappvarmvattenanvändningen mättes i ett flerbostadshus i Göteborg. Genom angivna värden i rapporten kan medelenergiförbrukningen per hushåll, person och kvadratmeter beräknas. Undersökningen visar att hushållen i snitt använde 4454 kWh/ hushåll och år för värmning av tappvarmvatten när befintlig äldre armatur användes. Utslaget per person samt ytenhet gav användningen 2481 kWh/person och år respektive 69 kWh/m<sup>2</sup> och år. Efter införande av modern och energibesparande armatur sänktes ovan angivna värden med upp till 38 procent.<sup>111</sup>

Energimyndigheten utgår från total energianvändning för värme och tappvarmvatten. Uppvärmning av enbart tappvarmvatten antas stå för 30 till 40 procent av den totala<sup>112</sup>. Statistik över total energianvändning hämtas från SCB, Statistiska Centralbyrån. År 2004 användes i snitt 144 kWh/m<sup>2</sup> och år<sup>113</sup> till uppvärmning samt tappvarmvatten i svenska enfamiljshus. Mängden använd energi de senaste fyra åren är relativt jämn. Undersökta hus i denna studie har en BOA på cirka 140 m<sup>2</sup>. Vid antagande att tappvarmvattnet står för 30 procent av total energianvändning motsvarar detta cirka 6000 kWh/ år och hushåll. Motsvarande antagande för 40 procent ger en energianvändning för tappvarmvatten på cirka 8000 kWh/år och hushåll.

SCB anger även att energianvändning för tappvarmvatten i flerbostadshus kan uppskattas till 40 kWh/m<sup>2</sup><sup>114</sup> och år. Med en BOA på 140 m<sup>2</sup> ger detta en årsförbrukning på 5600 kWh/år och hushåll.

Tappvarmvattenförbrukningen kan också beräknas efter förutsättningen att en person använder cirka 70 liter tappvarmvatten/ dygn<sup>115</sup>. Om varmvattnet ska höjas 50°C och det är fyra personer i ett hushåll innebär det en energianvändning på cirka 5900 kWh/år.

<sup>108</sup> Andreasson, Johanna . Energimyndigheten. Personlig kommunikation.

<sup>109</sup> Dyrstad Pettersen, Trine. (1997). *Uncertainty Analyses of energy consumption in dwellings*.

<sup>110</sup> Ibid.

<sup>111</sup> SP, Energy Teknology, Wahlström, Åsa. (2000). *Water and energy saving by installation of new water taps*. Internet.

<sup>112</sup> Andreasson, Johanna . Energimyndigheten. Personlig kommunikation.

<sup>113</sup> SCB. (2005). *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2004*. Internet.

<sup>114</sup> Ibid.

<sup>115</sup> Bennich, Peter. Energimyndigheten. Personlig kommunikation.

Fallen ovan visar på en stor variation i tappvarmvattenförbrukning beroende på vilka värden som antas och vilken undersökning som används. Den stora variationen kan till stor del härledas till de verkliga variationer som finns i brukarvanor och armatur. Ovan visas att energianvändningen för tappvarmvatten kan variera mellan 2800 till 8000 kWh/år och hushåll. Två av fallen visar en energianvändning på cirka 6000 kWh/år och hushåll. Ett fall visar något lägre, 5600 kWh/år och hushåll. De andra två visar lägre värden men bygger å andra sidan på endast fyra enfamiljshus eller ett flerbostadshus. I moderna byggnader installeras idag automatiskt energisnål armatur. Energinvändning för tappvarmvatten kommer med detta som bakgrund att ansättas till 5000 kWh/år och hushåll. Den något höga energianvändningen motiveras med att det är bättre att överdimensionera ett system och visa att det klarar ett svårare fall med hög användning. Fördelningen för tappvarmvattenanvändningen över året redovisas i kapitel 3.6.6, Fördelning av ingående brukarvanor.

### 3.6.5 Hushållsel

Energibesparingsvinster för hushållsel ligger utanför denna studie. Däremot bidrar vitvaror, brunvaror och belysning med värme till resten av huset som räknas med i byggnadens energibalans. Precis som för tappvarmvattenförbrukningen i svenska hushåll saknas omfattande undersökningar över elanvändningen. Däremot finns det betydligt fler och i viss mån även säkrare undersökningar att tillgå för elanvändningen.

Samma undersökning som under föregående kapitel från Norge 1996 (Haugen) visar för en energianvändning för enfamiljshus mellan 2300 kWh/år och 7400 kWh/år med ett medelvärde på 5300 kWh/år och hushåll. Dessa värden har jämförts med simulerade värden vilka visar på ett intervall mellan 2500 kWh/år och 6700 kWh/år samt ett medelvärde på 4700 kWh/år och hushåll.<sup>116</sup>

SCB redovisar att användningen av hushålls el år 2004 uppgick till 6100 kWh/år<sup>117</sup> och hushåll. Användningen av hushållsel har successivt ökat de senaste 35 åren trots att energieffektivare vitvaror finns på marknaden.

En ännu icke presenterad mätning av energianvändning i enfamiljshus visar på något lägre siffror än de som SCB presenterar. Mätningen som omfattar 200 enfamiljshus och har pågått under ett år visar på en energianvändning för hushållsel på cirka 5000 kWh/år och hushåll.<sup>118</sup>  
<sup>119</sup>

Energimyndigheten anger att användningen av hushållsel kan uppskattas till 40 kWh/m<sup>2</sup> och år. För undersökta hus i denna studie motsvarar det cirka 5600 kWh/år och hushåll.<sup>120</sup>

För att kunna precisera energianvändningen över tiden används uppgifter från pågående undersökning hos Statens energimyndighet beträffande elanvändning i bostadshus. Mätningar visar att energianvändningen uppgår till cirka 5000 kWh/år och hushåll, vilket stämmer överens med några undersökningar som presenterats ovan. I de fall där undersökningar visar

<sup>116</sup> Dyrstad Pettersen, Trine. (1997). *Uncertainty Analyses of energy consumption in dwellings*.

<sup>117</sup> SCB. (2005). *Energistatistik för småhus 2004*. Internet.

<sup>118</sup> Bennich, Peter. Energimyndigheten. Personlig kommunikation.

<sup>119</sup> Bennich, P. Persson, A. Energimyndigheten (2006). *Methodology and first result from end – use metering in 400 Swedish households*. Opublicerad rapport.

<sup>120</sup> Andreasson, Johanna . Energimyndigheten. Personlig kommunikation.

på en högre energianvändning kan det något lägre antagandet i detta fall motiveras med att undersökningen avser hus i nyproduktion där energisnålare vit och brunvaror bör vara standard. Vidare finns mätdata för olika komponenters förbrukning specificerad i pågående undersökning från Statens energimyndighet. Detta underlättar arbetet vid inmatning av data i simuleringsprogrammet för energianvändning. Hur elanvändningen fördelats över dagar och året redovisas i kapitel 3.6.6, Fördelning av ingående brukarvanor

Andelen värme från hushållsel som tillgodogör byggnaden uppskattas automatiskt i simuleringsprogrammet. Uppskattningsvis är det ungefär 80<sup>121</sup> procent av tillförd hushållsel som genereras som värme i hushållet.

### 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor

Fördelningen av ingående parametrar baseras till stor del på vanor och vistelsetid i bostaden. För att kunna ansätta värden har en rad antaganden, utöver de som presenterats ovan, gjorts. Dessa avser att efterlikna en svensk normalfamilj bestående av två vuxna, en man och en kvinna, i 40 års ålder samt två barn, en pojke och en flicka, i tolv års ålder. Antaganden av detta slag kan alltid diskuteras och kritiseras. Notera att ingående parametrar i kapitel 5, Verifiering av simuleringsprogram, inte baseras på dessa antaganden utan på uppmätt data.

För att göra antagen vistelsetid och aktivitet lättöverskådliga har dessa samlats i tabell 3.4, Antagande om vistelsetid och aktivitet i hemmet. Helgdagar avser samtliga dagar där familjemedlemmar inte arbetar.

Tabell 3.3 Antagen vistelsetid och aktivitet i hemmet.

<b>Vardagar</b>				
<b>Start tid</b>	<b>Sluttid</b>	<b>Tid</b>	<b>Personer i hushållet</b>	<b>Aktivitet</b>
00:00	06:00	6	4	Sömn
06:00	07:00	1	4	Sittande, avslappnad
07:00	17:00	10	0	Arbete/ skola
17:00	19:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet
19:00	23:00	4	4	Sittande, avslappnad
23:00	00:00	1	4	Sömn

<b>Helgdagar</b>				
<b>Start tid</b>	<b>Sluttid</b>	<b>Tid</b>	<b>Personer i hushållet</b>	<b>Aktivitet</b>
00:00	09:00	9	4	Sömn
09:00	10:00	1	4	Sittande, avslappnad
10:00	12:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet
12:00	16:00	4	0	Ej i hemmet
16:00	20:00	4	4	Ståendes lätt aktivitet
20:00	00:00	4	4	Sittande, avslappnad

<sup>121</sup> Warfvinge, Catarina. Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

Tillskottsenergi från personvärme till byggnaden har beräknats med hjälp av värden i tabell 3.2, Avgiven kroppsvärme. Kroppsarea och producerad värme från sovande person och tabell 3.3, Avgiven kroppsvärme beroende på aktivitet, tillsammans med antagna värden i tabell 3.4, Antagen vistelsetid och aktivitet i hemmet. Värden i tabell 3.2, Avgiven kroppsvärme. Kroppsarea och producerad värme från sovande person, och tabell 3.3, Avgiven kroppsvärme beroende på aktivitet, överrensstämmer inte helt med varandra. Mindre justeringar utan större inverkan på resultatet har därför gjorts vid beräkning av energitillskott från personer. Beräknat energitillskott för indata till energisimuleringarna från personer fördelat över dygnet presenteras i tabell 3.5, Energitillskott och fördelning från personvärme.

Tabell 3.4 Energitillskott och fördelning från personvärme.

<b>Vardagar</b>									
Start tid	Sluttid	Tid	Personer i hushållet	Aktivitet	Man	Kvinna	Pojke	Flicka	Summa personvärme
[h]	[h]	[h]	[st]		[W/h]	[W/h]	[W/h]	[W/h]	[W/h]
00:00	06:00	6	4	Sömn	80	68	65	60	273
06:00	07:00	1	4	Sittande, avslappnad	106	97	70	70	343
07:00	17:00	10	0	Arbete/ skola	0	0	0	0	0
17:00	19:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet	169	155	112	113	550
19:00	23:00	4	4	Sittande, avslappnad	106	97	70	70	343
23:00	00:00	1	4	Sömn	80	68	65	60	273

<b>Helgdagar</b>									
Start tid	Sluttid	Tid	Personer i hushållet	Aktivitet	Man	Kvinna	Pojke	Flicka	Summa personvärme
[h]	[h]	[h]	[st]		[W/h]	[W/h]	[W/h]	[W/h]	[W/h]
00:00	09:00	9	4	Sömn	80	68	65	60	273
09:00	10:00	1	4	Sittande, avslappnad	106	97	70	70	343
10:00	12:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet	169	155	112	113	550
12:00	16:00	4	0	Ej i hemmet	0	0	0	0	0
16:00	20:00	4	4	Ståendes lätt aktivitet	169	155	112	113	550
20:00	00:00	4	4	Sittande, avslappnad	106	97	70	70	343

Antagen kropps area enligt tabell 3.1	[m <sup>2</sup> ]	1,82	1,67	1,2	1,22	
---------------------------------------	-------------------	------	------	-----	------	--

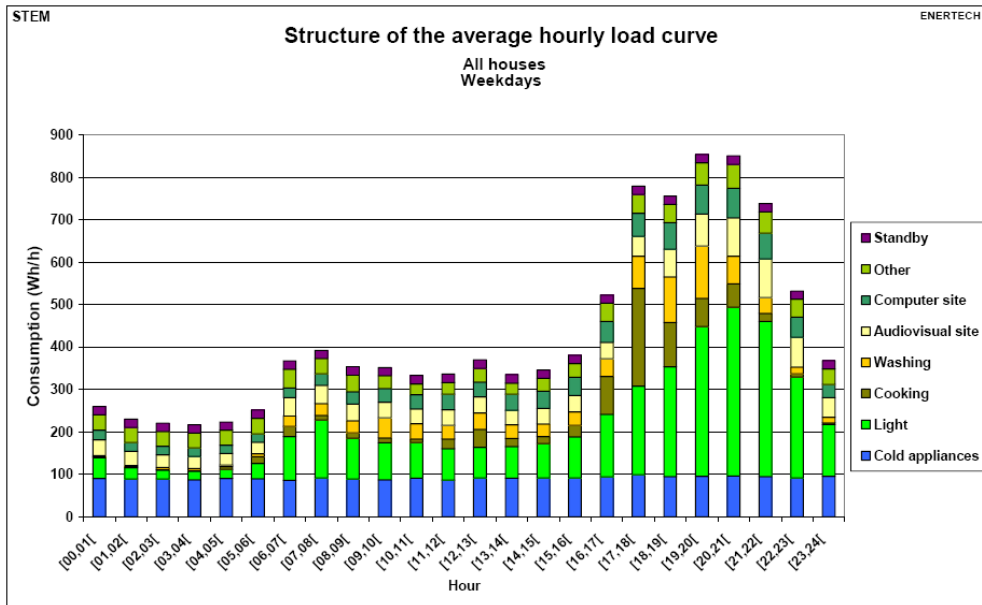
Energianvändning för uppvärmning av tappvarmvatten har ansatts till 5000 kWh/år och hushåll enligt ovan. Användningen har fördelats jämt över årets alla dagar vilket innebär att lika mycket varmvatten antas användas både på helgdagar och på vardagar. För respektive dag har användningen fördelats mellan de timmar då aktivitet pågår i hemmet. Ansatt fördelning för energianvändningen till tappvarmvatten redovisas i tabell 3.5.

Tabell 3.5 Antagen användning av tappvarmvatten.

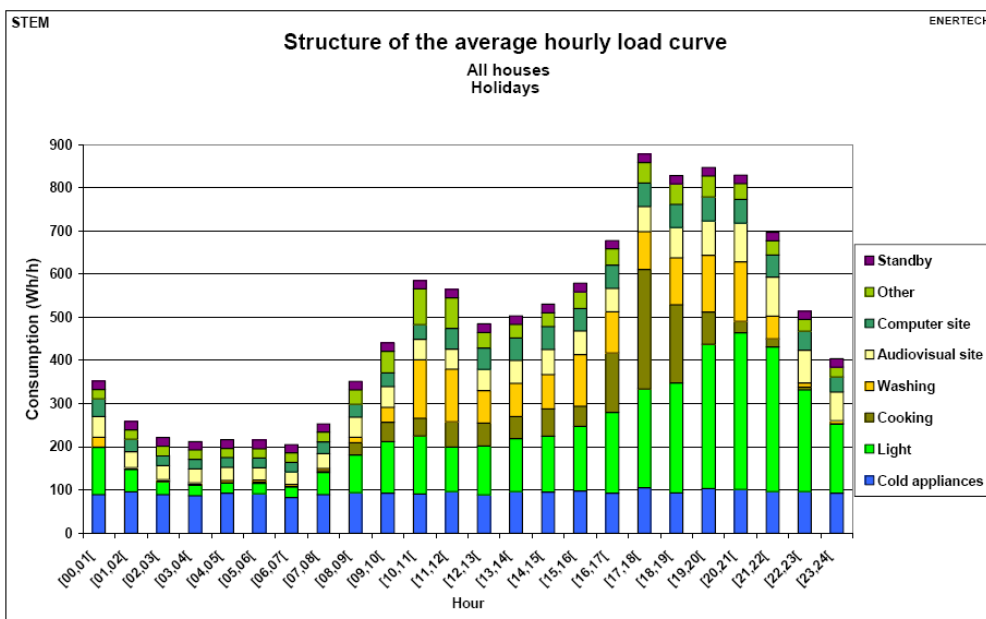
<b>Vardagar</b>					
<b>Start tid</b>	<b>Sluttid</b>	<b>Tid</b>	<b>Personer i hushållet</b>	<b>Aktivitet</b>	<b>Energi till tappvarmvatten</b>
[h]	[h]	[h]	[st]		[kWh/h]
00:00	06:00	6	4	Sömn	
06:00	07:00	1	4	Sittande, avslappnad	1,96
07:00	17:00	10	0	Arbete/ skola	
17:00	19:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet	1,96
19:00	23:00	4	4	Sittande, avslappnad	1,96
23:00	00:00	1	4	Sömn	

<b>Helgdagar</b>					
<b>Start tid</b>	<b>Sluttid</b>	<b>Tid</b>	<b>Personer i hushållet</b>	<b>Aktivitet</b>	<b>Energi till tappvarmvatten</b>
[h]	[h]	[h]	[st]		[kWh/h]
00:00	09:00	9	4	Sömn	
09:00	10:00	1	4	Sittande, avslappnad	1,25
10:00	12:00	2	4	Ståendes lätt aktivitet	1,25
12:00	16:00	4	0	Ej i hemmet	
16:00	20:00	4	4	Ståendes lätt aktivitet	1,25
20:00	00:00	4	4	Sittande, avslappnad	1,25

Användning av hushållsel samt tillskotts värme från detta baseras på mätningar utförda av Energimyndigheten. Värderna vilka ansatts i simuleringsprogram för användning av hushållsel presenteras i figur 3.1, Användningen av hushållsel i enfamiljshus under veckodagar, samt figur 3.2, Användningen av hushållsel i enfamiljshus under helgdagar. VIP+ räknar sedan själv ut hur mycket av tillförd hushållsel som övergår i värme och tillförs byggnaden.



Figur 3.1 Användningen av hushållsel i enfamiljshus under vardagar<sup>122</sup>.



Figur 3.2 Användningen av hushållsel i enfamiljshus under helgdagar<sup>123</sup>.

<sup>122</sup> Bennich, P. Persson, A. Energimyndigheten (2006). *Methodology and first result from end – use metering in 400 Swedish households*. Opublicerad rapport.

<sup>123</sup> Ibid.

Fördelningen över ingående parametrar vilka används vid simulering har sammanställts i tabeller enligt nedan. Användningen av hushållsel är manuellt införd baserad på Figur 3.1 samt 3.2.

Tabell 3.6 *Antagen fördelning över ingående parametrar för vardagar .*

Vardagar		Personvärme			Tillförd hushållsel			Värmning av tappvarmvatten			
Start tid	Slut tid	Hushåll	Steglitsen	Ugglan	Hushåll	Steglitsen	Ugglan	Hushåll	Hushåll	Steglitsen	Ugglan
		[Wh/h]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[Wh/h]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	[kWh/h]	[Wh/h]	[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]
00:00	01:00	273	1,8	2	265	1,8	2	0	0	0	0
01:00	02:00	273	1,8	2	235	1,6	1,7	0	0	0	0
02:00	03:00	273	1,8	2	220	1,5	1,6	0	0	0	0
03:00	04:00	273	1,8	2	220	1,5	1,6	0	0	0	0
04:00	05:00	273	1,8	2	225	1,5	1,7	0	0	0	0
05:00	06:00	273	1,8	2	250	1,7	1,9	0	0	0	0
06:00	07:00	343	2,3	2,5	370	2,5	2,7	2	1960	13,1	14,5
07:00	08:00	0	0	0	395	2,6	2,9	0	0	0	0
08:00	09:00	0	0	0	355	2,4	2,6	0	0	0	0
09:00	10:00	0	0	0	350	2,3	2,6	0	0	0	0
10:00	11:00	0	0	0	330	2,2	2,4	0	0	0	0
11:00	12:00	0	0	0	330	2,2	2,4	0	0	0	0
12:00	13:00	0	0	0	375	2,5	2,8	0	0	0	0
13:00	14:00	0	0	0	330	2,2	2,4	0	0	0	0
14:00	15:00	0	0	0	340	2,3	2,5	0	0	0	0
15:00	16:00	0	0	0	380	2,5	2,8	0	0	0	0
16:00	17:00	0	0	0	520	3,5	3,9	0	0	0	0
17:00	18:00	550	3,7	4,1	780	5,2	5,8	2	1960	13,1	14,5
18:00	19:00	550	3,7	4,1	755	5	5,6	2	1960	13,1	14,5
19:00	20:00	343	2,3	2,5	860	5,7	6,4	2	1960	13,1	14,5
20:00	21:00	343	2,3	2,5	860	5,7	6,4	2	1960	13,1	14,5
21:00	22:00	343	2,3	2,5	730	4,9	5,4	2	1960	13,1	14,5
22:00	23:00	343	2,3	2,5	520	3,5	3,9	2	1960	13,1	14,5
23:00	00:00	273	1,8	2	375	2,5	2,8	0	0	0	0



Tabell 3.7 Antagen fördelning över ingående parametrar för helgdagar.

Helger		Personvärme			Tillförd hushållsel			Värmning av tappvarmvatten			
Start tid	Slut tid	Hushåll	Steglitsen	Ugglan	Hushåll	Steglitsen	Ugglan	Hushåll	Hushåll	Steglitsen	Ugglan
		[Wh/h]	[W/m2]	[W/m2]	[Wh/h]	[W/m2]	[W/m2]	[kWh/h]	[Wh/h]	[W/m2]	[W/m2]
00:00	01:00	273	1,8	2	350	2,3	2,6	0	0	0	0
01:00	02:00	273	1,8	2	250	1,7	1,9	0	0	0	0
02:00	03:00	273	1,8	2	220	1,5	1,6	0	0	0	0
03:00	04:00	273	1,8	2	210	1,4	1,6	0	0	0	0
04:00	05:00	273	1,8	2	215	1,4	1,6	0	0	0	0
05:00	06:00	273	1,8	2	215	1,4	1,6	0	0	0	0
06:00	07:00	273	1,8	2	200	1,3	1,5	0	0	0	0
07:00	08:00	273	1,8	2	250	1,7	1,9	0	0	0	0
08:00	09:00	273	1,8	2	340	2,3	2,5	0	0	0	0
09:00	10:00	343	2,3	2,5	435	2,9	3,2	1,3	1250	8,3	9,3
10:00	11:00	550	3,7	4,1	580	3,9	4,3	1,3	1250	8,3	9,3
11:00	12:00	550	3,7	4,1	570	3,8	4,2	1,3	1250	8,3	9,3
12:00	13:00	0	0	0	480	3,2	3,6	0	0	0	0
13:00	14:00	0	0	0	500	3,3	3,7	0	0	0	0
14:00	15:00	0	0	0	535	3,6	4	0	0	0	0
15:00	16:00	0	0	0	580	3,9	4,3	0	0	0	0
16:00	17:00	550	3,7	4,1	670	4,5	5	1,3	1250	8,3	9,3
17:00	18:00	550	3,7	4,1	885	5,9	6,6	1,3	1250	8,3	9,3
18:00	19:00	550	3,7	4,1	825	5,5	6,1	1,3	1250	8,3	9,3
19:00	20:00	550	3,7	4,1	840	5,6	6,2	1,3	1250	8,3	9,3
20:00	21:00	343	2,3	2,5	835	5,6	6,2	1,3	1250	8,3	9,3
21:00	22:00	343	2,3	2,5	700	4,7	5,2	1,3	1250	8,3	9,3
22:00	23:00	343	2,3	2,5	510	3,4	3,8	1,3	1250	8,3	9,3
23:00	00:00	343	2,3	2,5	400	2,7	3	1,3	1250	8,3	9,3

Fördelningen för semesterperioder har behandlats i samband med att de ingående parametrarna applicerats i simuleringsprogrammet. Utöver lördagar och söndagar antas familjen antas ha åtta veckors semester per år. Dessa avser att inkludera högtidsdagar och simuleras som helgdagar. Fem veckor antas vara i juli samt början av augusti och tre i samband med jul.

### 3.6.7 Val av materialdata

Valda simuleringsprogram behöver materialdata för att kunna utföra beräkningar. Förutom materialens värmeledningsförmåga och densitet behöver programmen även data för bland annat värmekapacitet.

Materialdata är i så stor utsträckning som möjligt hämtade från interna dokument hos LB Hus AB. Data förekommer även i form av tabellvärden från litteratur eller använda simuleringsprogram. Då inget annat anges används den materialdata som redovisas i tabell nedan.

Tabell 3.9 Materialdata vilken huvudsakligen används i studien.

	Värme ledningsförmåga	Densitet	Värmekapacitet	Volym värmekapacitet <sup>E</sup>
	$\lambda$	$\rho$	$c_p$	
Material	[W/m,K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[Ws/kg, K] = [J/kg, K]	[MJ/m <sup>3</sup> , K]
Stenullsisolering	0,037 <sup>1,D</sup>	28 <sup>1</sup>	840 <sup>1</sup>	0,02352
Trä <sup>A</sup>	0,14 <sup>3</sup>	500 <sup>5</sup>	2380 <sup>5,C</sup>	1,19
Trä <sup>B</sup>	0,3 <sup>5</sup>	500 <sup>5</sup>	2380 <sup>5,C</sup>	1,19
Gips	0,220 <sup>4</sup>	900 <sup>4</sup>	1100 <sup>4</sup>	0,99
Betong grund	1.2 <sup>5,7</sup>	2300 <sup>5,7</sup>	840 <sup>5,7</sup>	1,932
Cellplastisolering grund	0,038 <sup>7,8</sup>	18 <sup>7,8</sup>	1400 <sup>5,8</sup>	0,0252
Stålprodukter	60 <sup>4,6</sup>	7800 <sup>4,6</sup>	460 <sup>4,6</sup>	3,588
Dränerat grus	1,4 <sup>4</sup>	1800 <sup>4</sup>	1000 <sup>4</sup>	1,8
Puts	1 <sup>4</sup>	1800 <sup>4</sup>	800 <sup>4</sup>	1,44

1. Olsson, Anders. Paroc AB. Personlig kommunikation.
2. Tell, Erik. LB Hus AB. Personlig kommunikation
3. Interna dokument LB Hus AB.
4. VIP+
5. Nevander, Lars Erik, Elmarsson, Bengt. (1994). *Fukthandbok. Praktik och teori.*
6. Lindberg, Urban. CSC, Construction Software Center Europe AB. Personlig kommunikation.
7. TermiSol AB. Villagrunder. Internet.
8. Haglund, Tommy. TermiSol AB. Personlig kommunikation.

A. Vinkelrätt mot fibrer

B. Parallellt med fibrer

C. Antagit fuktkvot,  $u = 12$  procent

D. Ny mätmetod under början av 2000-talet förändrade  $\lambda$ -värdet på Paroc AB stenull från  $\lambda = 0,036$  W/m, K till  $0,037$  W/m, K trots att det är samma produkt<sup>124</sup>. Delar av interna dokument hos LB Hus AB visar på  $\lambda = 0,036$  W/m, K

E. Handberäknat med hjälp av densitet och värmekapacitet.

<sup>124</sup> Olsson, Anders, Paroc AB. Personlig kommunikation.

### 3.6.8 Maximalt effektbehov

Beräkningar av maximalt effektbehov för värmesystem i undersökta hus inkluderas inte i denna studie. Vid behov antas undersökta hus i Malmö/ Lund ha ett maximalt effektbehov på 4 kW<sup>125</sup> för värme och tappvarmvatten. För undersökt hus i Växjö antas maximalt effektbehov till 8 kW och i Stockholm samt Borlänge är motsvarande effektbehov ansatt till 10 respektive 13 kW.

### 3.6.9 Modellerings

Samtliga mängder, areor och volymer hämtas från befintliga konstruktionsritningar hos LB Hus AB. Eventuella avvikelser redovisas i samband med att huset modelleras. Sekretess gör att ritningarna inte publiceras i studien.

### 3.6.10 Övriga parametrar

Inomhustemperatur ansätts så den uppfyller BBR 12-, Socialstyrelsens och P-märkeskrav. Med hänvisning till figur 2.5 eftersträvas en operativ temperatur på 22°C. Detta uppfyller även krav enligt BBR 12 samt Socialstyrelsens och P-märkeskrav. Således ansätts en operativ inomhustemperatur på 22°C.

Framledningstemperatur för tappvarmvatten ansätts till 60°C.

För övriga parametrar gäller att BBR 12, Socialstyrelsens, och P-märkeskrav ska uppfyllas.

## 3.7 Val av åtgärder

Åtgärder som utreds har valts med bakgrund till kriterier enligt nedan.

- Åtgärderna ska gå att tillämpa på undersökta hus.
- Åtgärderna ska inte påverka inomhuskomforten negativt.
- Åtgärderna ska tillsammans kunna undersökas i ett helhetsperspektiv för energibesparing, energiutvinning och energiåtervinning.
- Undersökta åtgärder ska i största möjliga mån kunna samverka för att minska behovet av köpt energi.

## 3.8 Val av simuleringsprogram

Valet av energiberäkningsprogram baseras till stora delar på tillgängligheten till program samt Bengt Bergstens rapport *Energiberäkningsprogram för byggnader – en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. För energibehovs beräkningar finns simuleringsprogrammen ENORM, DEROB-LTH samt VIP+ tillgängliga genom handledare. Vidare kan Huset, Energikiosken och en demonstrations version av Villa energi hämtas gratis på Internet. Genom jämförelse av tillgängliga program i rapporten *Energiberäkningsprogram för byggnader – en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter* faller valet på VIP+. Motivet är främst beräkningssteg med noggrannhet på en timme samt möjligheten att

<sup>125</sup> Abaravičius, Juozas, (2004). *Load Management in Residential Buildings*. Internet

modellera installationssystem i programmet. För detaljer om tillvägagångssättet för införande av parametrar hänvisas till VIP+ användaremanual. Parametrarna som inte redovisats ovan redovisas vid respektive delmoment.

Genom handledare ges tillgång till HEAT2 och HEAT3, där köldbryggor studeras.

Solvärme studeras genom simuleringar i Winsun Villa vilket erhålls genom handledare.

Upprepade statistiska beräkningar med varierande inparametrar genomförs i Matlab och Excel. Programmen är enkla och tillhandahålles av Lunds tekniska högskola.

Samtliga program har använts tidigare i samband med undervisning.

### **3.9 Diskussion och kritik av valda metod**

Inom ramen för arbetet innefattas varken ekonomiska eller LCC- kalkyler. Åtgärders ekonomiska konsekvenser bedöms därför inte. Detta gör att aspekter som är oekonomiska kan få allt för stort utrymme.

Trots att simuleringsprogrammet verifieras mot uppmätt data skiljer sig alltid verkligheten från beräknade värden. Undersökningar visar också att simulerad energianvändning ofta blir lägre än den verkliga som mäts upp i efterhand<sup>126</sup>. Val av annan ort eller hustyp leder till förändrade parametrar vilket också påverkar resultatet. Simuleringsprogrammet begränsas även av dess förmåga att ta emot och behandla mängden ingående parametrar.

Vid jämförelse av energianvändning, energiåtervinning och energiutvinning kan i vissa sammanhang statistiska och dynamiska beräkningar blandas med varandra. Detta kan i sin tur orsaka felaktigheter i resultatet. De olika parametrarna kan ge varandra både positiva och negativa synergieffekter för det område de studeras. Om dessa hade baserats på olika intervall hade det gett ännu sämre förutsättningar.

Beräkningar för uppbyggda modeller i Matlab och Excel baseras på klimatdata över de senaste tio åren. Perioden kan anses vara något kort och begränsas av tillgången på mätdata från SMHI. Klimatförändringar gör dock att data för de senaste tio åren kan vara mer representativ i framtiden än om perioden hade varit längre. Högre årsmedeltemperaturer och större variationer i vädret är en orsak som talar för detta. För dessa beräkningar gäller även att klimatförutsättningarna aldrig överrensstämmer från år till år.

Antagna värden baserade på brukarvanor kan alltid diskuteras då skillnaderna mellan olika hushåll kan vara mycket stora. Armatur kan bidra till att göra variationen ännu större mellan olika hushåll. Antagna värden är inte alls realistiska och ligger inom uppmätt intervall. I grunden baseras de på någon form av medelvärde som är tilltagna i överkant. Detta för att antagna värden inte ska bidra till glädjekalkyler vilka i sin tur gör att studien förlorar sin trovärdighet.

---

<sup>126</sup> Dyrstad Pettersen, Trine. (1997). *Uncertainty Analyses of energy consumption in dwellings*.

Genom att beräkna samma hustyp med och utan energibesparande åtgärder ges ett mått på deras inverkan. Utanför denna studie kan besparingens storlek vägas mot dess kostnad. På så vis kan även en avbetalningstid för de extra energikostnaderna beräknas.

Simulering av ett enplanshus och ett tvåplanshus med ungefär samma BOA ger en uppfattning om hur mycket som skiljer i energianvändning beroende på omslutande area. Denna påverkar i sin tur transmissions och luftläckaget. Flera plan ger en mindre omslutande area per BOA som kan studeras och jämföras mot ett enplans hus med större omslutande area per BOA. Noterbart är att husen skiljer sig åt på en rad olika parametrar men är byggda efter förutsättningar från samma byggsystem.

Stor tillförlitlighet har visats till befintliga rapporter och undersökningar. Felaktigheter och feltolkningar får således konsekvenser i detta arbetet.

## 4 Tidigare undersökningar

*Studier och resultatet från tidigare undersökningar, vilka ligger till grund för rapporten, presenteras. Vidare redogörs för andra relevanta rapporter som har studerats i samband med arbetet.*

### 4.1 Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö

Undersökningen är en rapport utförd av Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi vid Lunds tekniska högskola<sup>127</sup>. Delar i rapporten som är intressanta för detta arbete sammanfattas nedan.

Rapporten utreder hur väl två energieffektiva enfamiljshus i Västra Hamnen i Malmö uppfyller ställda energikrav. Husen var en del i bomässan Bo01 vilken hade särskilda krav på energianvändning. LB-Hus AB producerade det ena av de två undersökta husen.

Mätningar av energi- och vattenanvändning samt temperaturer har skett kontinuerligt under perioden maj 2003 till mars 2005 för LB Bo01 huset. Mätdata från huset används för verifiering av simuleringsprogrammet i kapitel 5, Verifiering av simuleringsprogram. Husets uppbyggnad beskrivs närmare i samband med verifieringen.

Undersökningen visar att den totala energianvändningen, inklusive hushållsel, varit cirka 87 kWh/m<sup>2</sup> och år efter korrigering mot normalårsvärden. Detta är 7 kWh/m<sup>2</sup> och år över det mål som energimyndigheten och Bo01 satt upp. Om energianvändningen för mätdata samt förhöjd inomhustemperaturen, som beräknats två grader lägre, drogs av uppfylldes dock kraven<sup>128</sup>. Trots en energianvändning på 87 kWh/m<sup>2</sup> förbrukar LB Bo01 huset ca 30 procent mindre energi än liknande nybyggda hus. Uppmätt elanvändning för uppvärmning och tappvarmvatten skiljer sig endast 2 procent mot antagen. Användningen av hushållsel är däremot 36 procent högre än beräknat. Den höga förbrukningen hushållsel kan delvis förklaras med onormalt hög användning av apparater. Beräkning av värmefaktor visar att avluftens temperatur är något högre än beräknat. Justering av värmepump bör således kunna minska energianvändningen något.

Utöver den uppmätta låga energianvändningen bör det framhåvas att inomhuskomforten har upplevts som bra av de boende. Se även kapitel 4.7, Utvärdering av inomhusmiljö – En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus.

### 4.2 Utformning av energieffektiva byggnader

Undersökningen utgörs av ett examensarbete<sup>129</sup> omfattande 20 poäng. Arbetet är utfört vid Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Skanska Teknik i Malmö. Nedan anges delar som är intressanta för detta arbete.

---

<sup>127</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>128</sup> Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation.

<sup>129</sup> Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*.

Arbetet syftar till att göra en kostnadsjämförelse ur ett LCC- perspektiv med hänsyn till systemlösning, hustyp och klimat. Ett småhus, ett mindre flerbostadshus i vinkel samt ett större flerbostadshus har studerats. Detta har skett genom att energieffektiviserande åtgärder har applicerats på klimatskalet och installationerna. Åtgärderna har sedan undersökts var för sig och tillsammans.

Studien visar att undersökta hus främst skiljer sig åt ur LCC och energianvändning på grund av dess storlek. Investeringar i bättre isolering och solvärmesystem lämpar sig bäst för enfamiljshus. Skillnaderna i energianvändning och LCC är marginella mellan Malmö och Stockholm men betydande mellan södra och norra Sverige. Studien visar också att FTX system är mest lönsamma i norra Sverige medan från- och uteluftsvärme pumpar är mer lönsamma i södra Sverige.

### **4.3 Solvärme i bostäder med analys av kombinationen av solfångare och bergvärmepump**

Studien är en licentiatavhandling<sup>130</sup> utförd vid Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Intressant innehåll presenteras kortfattat nedan.

Avhandlingen är uppdelad i två delar. I den första delen beskrivs flera huvuddrag som gäller för solvärme i Sverige. Instrålningens variationer både mellan år och under år tas upp. Vidare diskuteras förutsättningar och möjligheter samt solfångarens betydelse i framtiden. Solfångaresystem och dess komponenter beskrivs samt sätt att applicera solfångaren på olika delar av klimatskalet berörs.

I den andra delen utreds några olika alternativ för hur ett solfångaresystem kan fungera tillsammans med ett bergvärmesystem. Här beskrivs även komponenter vilka berör bergvärmesystem. Borrhål, köld- och värmebärare, olika värmepumpar samt andra förutsättningar diskuteras.

Avhandlingen visar att återladdning av bergvärmesystem med hjälp av solvärme inte är lönsamt om ett nytt system ska installeras. Däremot är återladdning med solvärme ett alternativ för att förbättra förångartemperaturen i bergvärmesystem med underdimensionerat borrhål. Solvärme som återladdning kan också vara lönsamt i områden där flera befintliga borrhål ligger för nära och påverkar varandra negativt.

### **4.4 Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda**

Undersökningen utgörs av ett examensarbete<sup>131</sup> omfattande 20 poäng utförd vid Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö samt Avdelningen för byggnadsekonomi, Institutionen för byggvetenskaper vid Lunds tekniska högskola. Nedan redovisas fakta som kortfattat fakta som är av intresse för detta arbete.

---

<sup>130</sup> Kjellsson, Elisabeth. (2004). *Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump*.

<sup>131</sup> Andersson, Sara, Nordström, Johanna (2005). *Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda*.

Utredningen syftar att studera hur en investeringsbedömning kan förbättras med avseende på driftskostnader vilka baseras på simuleringar istället för schablonvärden. Vidare ska visar studien om energieffektiva byggkomponenter blir konkurrenskraftiga mot dagens standardlösningar. Noterbart är att studien är utförd på ett flerbostadshus vilket gör att resultatet kan vara missvisande för detta arbete som endast behandlar småhus.

Utredningen visar att olika alternativa lösningar framträder beroende på om fokus läggs på energianvändning, produktionskostnad eller driftskostnad. Låg energianvändning erhålls genom fokus på byggnadstekniska komponenter. Produktionskostnaden styrs av installationssystemet och driftskostnaderna av individuell mätning.

I studien har en metod beprövats och visat sig fungera. Metoden är tänkt att användas i projekteringsstadiet och bygger i huvudsak på:

- Identifiering av betydande energiaspekter.
- Bestämma förändringar av huset som ska beprövas.
- Energisimulera förändringar var för sig och i kombination.
- Räkna om energibehovet till driftskostnad.
- Beräkna ny produktionskostnad.
- Applicera drifts och produktionskostnad i årsbaserad vinstkalkyl.
- Gör en ny investeringsbedömning.

#### 4.5 Köldbryggors inverkan på energianvändningen

Denna undersökning är ett examensarbete<sup>132</sup> om 20 poäng utfört vid Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Midroc Construction. För detta arbete intressant fakta redovisas nedan.

Byggnadstekniska lösningar studerades i två olika bostadsprojekt med avseende på köldbryggor. Värmeflöden genom köldbryggor studerades i det tvådimensionella värmeflödesprogrammet HEAT2. Till viss del studerades även effekten av förändringar för köldbryggor från tidiga skisser till färdigt utförande. Förutom HEAT2 har även termografering och energibalansberäkningar i VIP+ genomförts.

Studien visar att energianvändningen ökar med upp till 29 kWh/m<sup>2</sup> och år när köldbryggorna räknas med. Hänsyn till köldbryggornas inverkan bör beaktas i större utsträckning än idag då de har en stor inverkan på byggnaders energianvändning.

#### 4.6 Marknadens intresse för energieffektiva småhus

Undersökningen är en rapport för samarbetsforum Effektiv<sup>133</sup>. Organet är ett kunskapsprogram vilket syftar till att vara en kunskapsbas för energi-, miljö- och kostnadseffektiva energisystem i bostäder och lokaler. Både näringslivet och myndigheter står bakom Effektiv.<sup>134</sup>

<sup>132</sup> Svensson, Jimmy, Westerberg, Andreas. (2006). *Köldbryggors inverkan på energianvändningen*.

<sup>133</sup> Energimyndigheten (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Internet.

<sup>134</sup> Effektiv. (2005). *Om Effektiv*. Internet.



Utredningen visar att det finns en efterfrågan på energieffektiva enfamiljshus så länge boendekostnaden är den samma eller lägre som för ett vanligt hus. Av studien framgår det även att en stor andel presumtiva köpare ställer sig positiva till obeprövade energieffektiviseringsmetoder.

Vid analys av bostäder visar rapporten att kraftfulla åtgärder ger bäst effekt både ur energi och ekonomiska perspektiv. Ur investeringssynpunkt är extremt energieffektiva hus, motsvarande passivhusen i Lindås, dock inget ekonomiskt alternativ till dagens frånluftsvärmepump. Beräknat ur ett LCC perspektiv kan det dock vara lönsamt. Undersökningen visar också att det finns stor acceptans för det underhåll som frånluftsvärmepump, pellets panna, FTX- och solfångaresystem kräver.

#### **4.7 Utvärdering av inomhusmiljö – en studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus**

Undersökningen är ett examensarbete<sup>135</sup> utfört vid Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi vid Lunds tekniska högskola. Delar i rapporten som är intressanta för detta arbete sammanfattas nedan.

Rapporten utreder den termiska komforten och luftkvaliteten i två lågenergihus i Västra Hamnen i Malmö. Husen var en del i bomässan Bo01 vilken hade särskilda krav på energianvändning. LB-Hus AB producerade det ena av de två undersökta husen.

Mätningar av bland annat temperaturer har skett kontinuerligt under ett drygt år för LB Bo01 huset. Vidare har ytemperaturer, operativa temperaturer, strålningsasymmetri, vertikal temperaturgradient, lufthastigheter samt till och frånluftslöden studerats.

Undersökningen visar att den termiska komforten över lag är god för LB Bo01 huset. Sommartid förekommer dock mycket höga tilluftstemperaturer, framförallt för dom på östfasaden. Vidare uppfyller LB Bo01 huset inte BBR råd för ventilation i specifika utrymmen.

Vidare bör tilläggas att LB Bo01huset är ett av de få husen som klarade Bo01 energikrav. Husets använder cirka 30 procent mindre energi än andra nybyggda hus. Se även kapitel 4.1, Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malm

---

<sup>135</sup> Bagge, Hans, Lindström Lotti, (2003). *Utvärdering av inomhusmiljö – En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus.*

## 5 Verifiering av simuleringsprogram

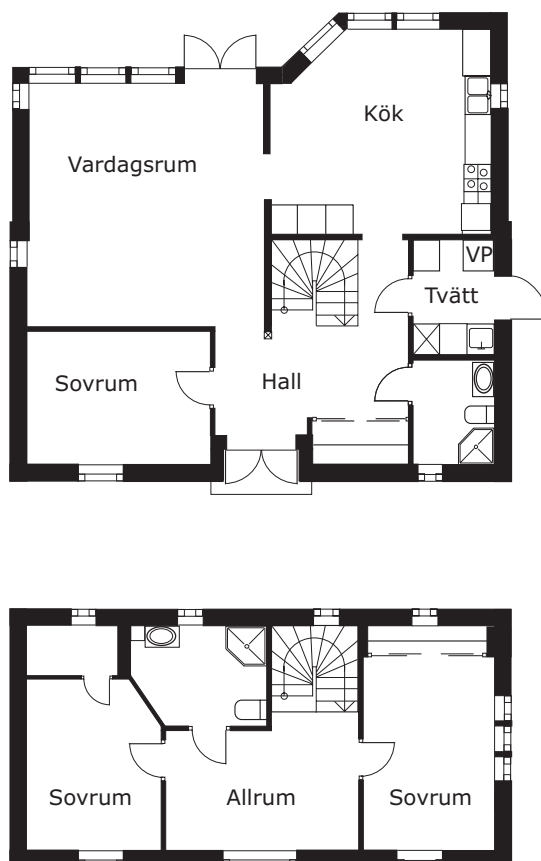
Genom att studera hur väl simulerad energianvändning överrensstämmer med uppmätt data verifieras simuleringsprogrammets förmåga för ett enskilt fall. Förutsättningar för klimatförhållanden inhämtas och kommenteras. Genomförandet för modellering och simulering framställs. Felkällor, avvikelser och likheter mellan såväl uppmätt som simulerad data identifieras och beskrivs. Slutligen diskuteras simuleringsprogrammets precision.

### 5.1 Förutsättningar

#### 5.1.1 Beskrivning av befintligt hus

Nedan ges en kort beskrivning av LB Bo01 hus. Ytterligare detaljer framgår successivt i kapitlet vartefter de bearbetas.

Huset har två våningar med en bruksarea på sammanlagt 138 m<sup>2</sup>. Stora delar av den totala fönsterarean är riktad mot norr. Över kök och vardagsrum finns ett ryggåstak vilket ger en hög rumshöjd. Även på övervåningen gör ett sluttande snedtak att det blir högt i tak. Utöver huvudentrén mot söder utgång finns en groventré genom tvättrum riktad mot öst. Via vardagsrummet finns entré till uteplats. Installationstekniska detaljer som pumpar och aggregat är placerade i rummet markerat med tvätt i figur 5.1.<sup>136</sup>



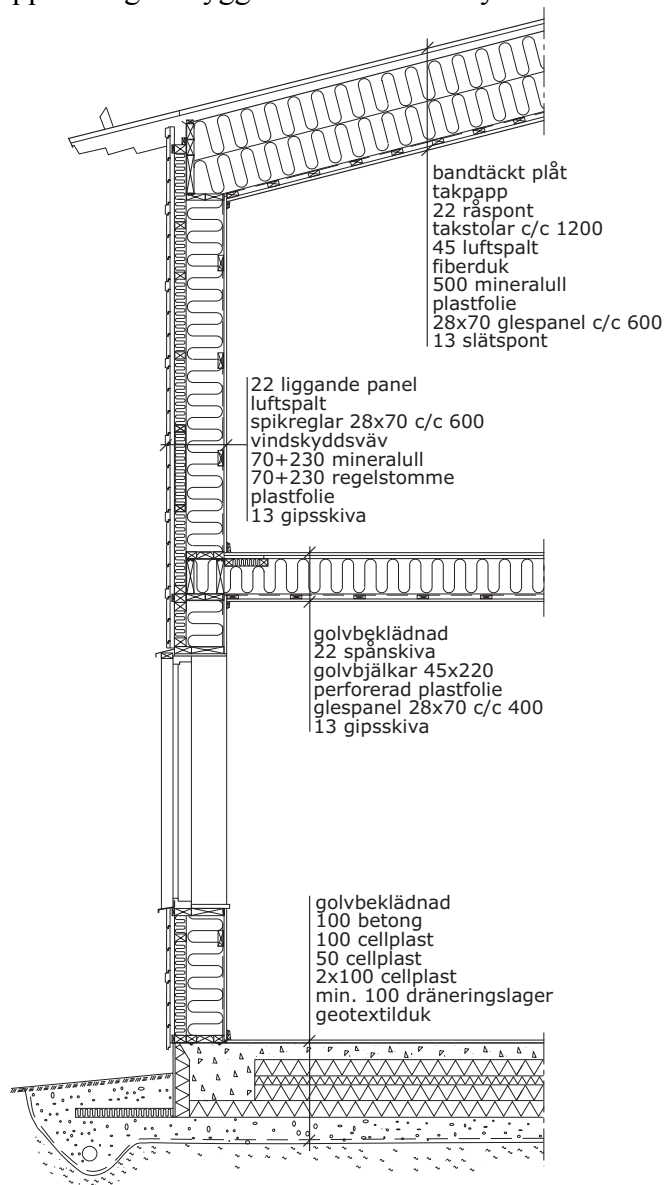
Figur 5.1 Planlösning LB Bo01 hus<sup>137</sup>.

<sup>136</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrie Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>137</sup> Ibid.

## Klimatskal

LB Bo01 huset är fabrikstillverkat med träregelstomme som har tillverkats i LB Hus AB anläggning i Bromölla. Väggarna är uppbyggda av en lättregelstomme som även försetts med korslagda regler mot utsidan. Mellan reglarna ligger 300 mm isolering. Utsidan är försedd med 22 mm liggande panel och insidan 13 mm gips. Grundläggningen består av platta på mark med 300 till 350 mm underliggande cellplastisolering. Yttertaket är uppbyggt av två olika sorters regler med vardera 500 mm tjock stenullsisolering emellan. Huset har lågenergifönster med ett U-värde på  $1,0 \text{ W/m}^2, \text{K}$ . I fönstersmygarna har även extra isolering mot köldbryggor applicerats.<sup>138</sup> Under kapitel 5.4.3, Uppbyggnad av klimatskal, redovisas byggnadens klimatskal mer detaljerat. Figurer över byggnadsdelar i LB Bo01 hus kan även studeras i figur 5.4. Uppdelning av byggnadsdelar för analys.



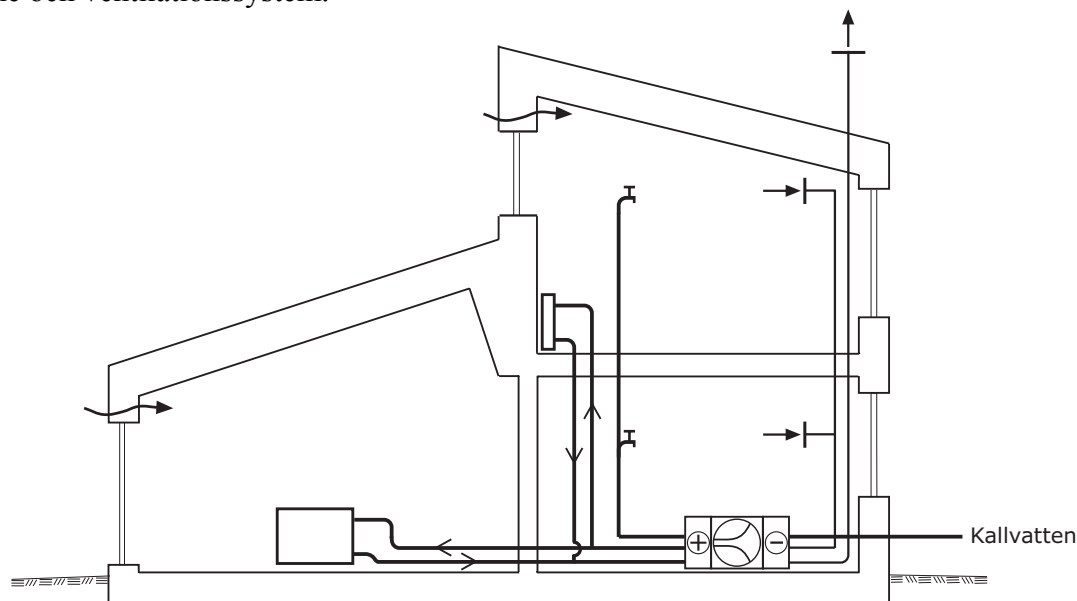
Figur 5.2 Sektion av huskonstruktion för LB Bo01 hus<sup>139</sup>.

<sup>138</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrij Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>139</sup> Ibid.

## Värme- och ventilationsystem

Huset har ett vattenburet värmesystem som fördelar värmen med hjälp av radiatorer i varje rum. Ventilation sker via ett mekaniskt frånluftsvärmesystem med utsug både i sovrum samt badrum och kök. Tilluft tas in via don efter det att den förvärmats i luftspalten bakom träpanelen. Återvinning av frånluften sker genom en frånluftsvärmepump som i sin tur återför värme till det vattenburna radiatorsystemet och beredningen av tappvarmvatten. Då stort energibehov behövs fås spetsenergi från värmesköldar och elpatron. Värmesystem är konstruerat så att det snabbt ska reagera på svängningar i energiflöden och på så vis minska andelen onödig uppvärmning.<sup>140</sup> Nedan presenteras en schematisk skiss över LB Bo01 husets värme och ventilationssystem.



Figur 5.3 Schematisk skiss över LB Bo01 värme och installationsystem<sup>141</sup>.

### 5.1.2 Klimatdata

Uppmätta värden över energianvändning i LB Bo01 huset beror av rådande utomhusklimat under mätperioden. Vid simuleringarna för energianvändning i LB Bo01 kan flera olika sorters klimatdata användas. Förutom befintlig klimatdata som finns i programmet kan klimatdata för aktuell period användas. Denna finns i form av utomhustemperatur från en angränsande byggnad. Klimatdata för utomhustemperatur, relativfuktighet samt vindhastighet finns från mätstationer på byggnadens ort. Data för globalstrålning, utetemperatur, relativfuktighet samt vindhastighet finns för angränsande ort.

### 5.1.3 Mätperiod

Mätperioden som presenteras i kapitlet sträcker sig under perioden 2003-04-14 till 2004-04-13. Fullständiga mätningar då huset varit bebott har dock endast skett mellan 2003-05-01 till 2004-03-31. För att studera energianvändningen över ett år har detta brutits mellan den 13 och 14 april. Detta innebär att redovisade resultat i form av årsdata sträcker sig från 1 januari 2004 till 13 april 2004 samt från 14 april 2003 till 31 december 2003. På så vis täcks ett helt år in. Mätningarna har utförts i samband med utvärdering av husets energianvändning och

<sup>140</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrij Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>141</sup> Ibid.

inneklimat. Resultatet av utvärderingen presenteras i två rapporter utgivna av Avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola.<sup>142 143</sup> I denna studie har data från ovan nämnd undersökning legat till grund för jämförelserna mellan uppmätt och simulerad energianvändning. Såväl mät- som simuleringsresultaten presenteras i kapitel 5.6, Resultat – Uppmätt och simulerad energianvändning.

## 5.2 Teorier

Teorier som inte tidigare redovisats men är nödvändiga för modellering av LB Bo01 huset presenteras nedan.

### 5.2.1 Beräkning av skuggfaktorer

Vid modellering av fönster i VIP+ behöver skuggfaktorerna F1 och F2 definieras. F1 anger hur stor andel av värmen som transmittas till rummet medan F2 anger hur stor andel som når rummet i form av långvågigstrålning. Då definierade värden för F1 och F2 saknades har dessa beräknats enligt ekvation 18 och 19 nedan<sup>144</sup>.

$$F1 = \frac{\text{Solfaktor}}{0,78} \quad [\%] \quad (18)$$

där: Solfaktorn hämtas från produktblad  
0,78 = standardvärde för 2 glas fönster

$$F2 = \frac{\text{Direktenergitrans}}{0,78} \quad [\%] \quad (19)$$

där: Direktenergitrans = Direkt energitransmittans vilken hämtas från produktblad  
0,78 = standardvärde för 2 glas fönster. Notera att konstanten 0,78 ändras beroende på antal glas och de glasbeläggning fönstret försetts med

## 5.3 Metod

### 5.3.1 Ingående parametrar

Ingående parametrar samt hur dessa ansatts redovisas i kapitel 5.4, Modellering av LB Bo01 Hus.

Ingående materialparametrar i modellen har ansatts på ett sådant sätt att de överrensstämmer med befintligt hus.

Variabla parametrar i modellen har ansatts så de överrensstämmer med uppmätta värden. För att undvika intrång i de boendes personliga integritet följer parametrar för brukarvanor samma fördelning som presenteras i kapitel 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor. Observera att brukarvanorna inte är de samma utan att de endast fördelas lika.

<sup>142</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö.*

<sup>143</sup> Bagge, Hans, Lindström Lotti, (2003). *Utvärdering av inomhusmiljö – En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus.*

<sup>144</sup> Boström, Anders. SCC Skellefteå Snickericentral. Personlig kommunikation.

### 5.3.2 Klimatdata

Uppmätt klimatdata för samma mätperiod som energianvändning har använts vid simulering. Anledningen är främst att större precision vid studier av enskilda dagar erhålls. Vidare behöver inte simulerade värden korrigeras mot uppmätta på grund av varierande klimat.

För att undersöka brister i klimatdata har denna kontrollerats och överrenstämmer i hög grad med parallella mätningar för samma eller angränsande orter. I enstaka fall förekommer brister i klimatdata. Värden från parallella mätningar har vid dessa tillfällen kompletterat data som saknas. Noterbart är att utomhustemperaturen påverkar energianvändningen i betydligt större utsträckning än globalstrålning, vindhastighet och relativfuktighet.

För utomhustemperatur har klimatdata från angränsande byggnad använts. Data för vindhastighet samt relativ fuktighet baseras på mätdata från byggnadens ort. Använd globalstrålning är hämtad från angränsande ort.

### 5.3.3 Simuleringsprogram

Huvudsakligen genomförs simuleringar för energianvändning i beräkningsprogrammet VIP+. Vid modelleringen har det i vissa fall underlättat att lyfta ut sammansatta material och analysera dessa närmare i HEAT3. Anledningen är att det kan vara lättare att bygga upp komplexa sammansatta material i HEAT3 än i VIP+.

För att undersöka eventuella skillnader mellan HEAT3 och VIP+ har flera olika sammansatta material modellerats identiskt i båda programmen. Resultatet från simulering i olika program överensstämmer väl då skillnaden i värmeledningsförmågan för samma modell är nästintill obefintlig.

## 5.4 Modellering av LB Bo01 Hus

För att kunna föra in data till simuleringen har husets byggnadselement och tekniska system brutits ner i mindre delar. Nedan redogörs för hur husets brutits ned, vilken indata som använts och sättet denna applicerats i simuleringsprogrammet.

### 5.4.1 Allmän data

Ansatt allmän data för simulering av LB Bo01 huset redovisas och motiveras.

- Mörka ytan på tak och väggar gör att solabsorptionen på klimatskalets yttre del har ansatt till 70 procent.
- Markmaterial kring byggnaden har studerats på plats. Solreflektion mot mark har med avseende på kringliggande markmaterial ansatts till 25 procent.
- Horisontvinkeln i olika väderstreck har uppmätts på plats 2006-10-20 och presenteras i tabell 5.1 nedan

Tabell 5.1 Horisontvinklar LB Bo01 huset i Malmö.

Nord	Nordost	Öst	Sydost	Syd	Sydväst	Väst	Nordväst
28	43	58	49	49	76	72	59

- Byggnadens utsatta läge nära havet i västra hamnen i Malmö har gjort att vindhastigheter kring byggnaden antas vara 95 procent av det värde från klimatdatafil.
- LB Bo01 husets geografiska läge gör att Malmö har använts som referensstad.

## 5.4.2 Brukarvanor

Brukarvanor som används vid verifiering av simuleringsprogrammet baseras både på antaganden och uppmätta värden. Dessa motiveras i punktform efter presentationen av ansatta värden i tabell 5.2 och 5.3.

Tabell 5.2 Fördelning över ingående parametrar vid simulering av LB Bo01 hus för vardagar .

Vardagar		Personvärme		Tillförd hushållsel		Energi till tappvarmvatten	
Start tid	Slut tid	Hushåll	LB Bo01	Hushåll	LB Bo01	Hushåll	LB Bo01
		[Wh/h]	[W/m2]	[Wh/h]	[W/m2]	[Wh/h]	[W/m2]
00:00	01:00	232	1,7	331	1,9	0	0,0
01:00	02:00	232	1,7	294	1,7	0	0,0
02:00	03:00	232	1,7	275	1,6	0	0,0
03:00	04:00	232	1,7	275	1,6	0	0,0
04:00	05:00	232	1,7	281	1,6	0	0,0
05:00	06:00	232	1,7	313	1,8	0	0,0
06:00	07:00	291	2,1	463	2,7	783	5,7
07:00	08:00	0	0,0	494	2,9	0	0,0
08:00	09:00	0	0,0	444	2,6	0	0,0
09:00	10:00	0	0,0	438	2,5	0	0,0
10:00	11:00	0	0,0	413	2,4	0	0,0
11:00	12:00	0	0,0	413	2,4	0	0,0
12:00	13:00	0	0,0	469	2,7	0	0,0
13:00	14:00	0	0,0	413	2,4	0	0,0
14:00	15:00	0	0,0	425	2,5	0	0,0
15:00	16:00	0	0,0	475	2,8	0	0,0
16:00	17:00	0	0,0	650	3,8	0	0,0
17:00	18:00	467	3,4	975	5,7	783	5,7
18:00	19:00	467	3,4	944	5,5	783	5,7
19:00	20:00	291	2,1	1075	6,2	783	5,7
20:00	21:00	291	2,1	1075	6,2	783	5,7
21:00	22:00	291	2,1	913	5,3	783	5,7
22:00	23:00	291	2,1	650	3,8	783	5,7
23:00	00:00	232	1,7	469	2,7	0	0,0

Tabell 5.3 Fördelning över ingående parametrar vid simulering av LB Bo01 hus för helgdagar .

Helger		Personvärme		Tillförd hushållsel		Energi till tappvarmvatten	
Start tid	Slut tid	Hushåll	LB Bo01	Hushåll	LB Bo01	Hushåll	LB Bo01
		[Wh/h]	[W/m2]	[Wh/h]	[W/m2]	[Wh/h]	[W/m2]
00:00	01:00	232	1,7	438	2,5	0	0,0
01:00	02:00	232	1,7	313	1,8	0	0,0
02:00	03:00	232	1,7	275	1,6	0	0,0
03:00	04:00	232	1,7	263	1,5	0	0,0
04:00	05:00	232	1,7	269	1,6	0	0,0
05:00	06:00	232	1,7	269	1,6	0	0,0
06:00	07:00	232	1,7	250	1,4	0	0,0
07:00	08:00	232	1,7	313	1,8	0	0,0
08:00	09:00	232	1,7	425	2,5	0	0,0
09:00	10:00	291	2,1	544	3,2	498	3,6
10:00	11:00	467	3,4	725	4,2	498	3,6
11:00	12:00	467	3,4	713	4,1	498	3,6
12:00	13:00	0	0,0	600	3,5	0	0,0
13:00	14:00	0	0,0	625	3,6	0	0,0
14:00	15:00	0	0,0	669	3,9	0	0,0
15:00	16:00	0	0,0	725	4,2	0	0,0
16:00	17:00	467	3,4	838	4,9	498	3,6
17:00	18:00	467	3,4	1106	6,4	498	3,6
18:00	19:00	467	3,4	1031	6,0	498	3,6
19:00	20:00	467	3,4	1050	6,1	498	3,6
20:00	21:00	291	2,1	1044	6,1	498	3,6
21:00	22:00	291	2,1	875	5,1	498	3,6
22:00	23:00	291	2,1	638	3,7	498	3,6
23:00	00:00	291	2,1	500	2,9	498	3,6

- Tappvarmvattenanvändningen är uppmätt till cirka 2 m<sup>3</sup> per månad, vilket är mycket lågt. Energianvändning för att värma tappvarmvattnet beräknats till 1450 kWh/år. Temperaturen på ingående respektive utgående vatten har vid beräkningen antagits till 8°C respektive 60°C. Beräknad energianvändning för tappvarmvatten tar inte hänsyn till förluster i rör och beredare. För att kompensera för dessa har energianvändning för tappvarmvatten ansatts till 2000 kWh/år<sup>145</sup>.
- Varmvattenanvändningen antas ske på morgon och kvällen.
- Total uppmätt processenergi för LB Bo01 huset är cirka 400 kWh per månad<sup>146</sup>. Denna har fördelats över dygnet på samma sätt som framgår i figur 3.1 och 3.2 vilka visar användningen av hushållsel i enfamiljshus.
- Beräknad vistelsetid för boende i LB Bo01 huset baseras på antaganden kapitel 3.6.6, Fördelning av ingående brukarvanor, figur 3.4, Antagen vistelsetid och aktivitet i hemmet. Sekretess gör att antalet boende och individuell personvärme inte redovisas.

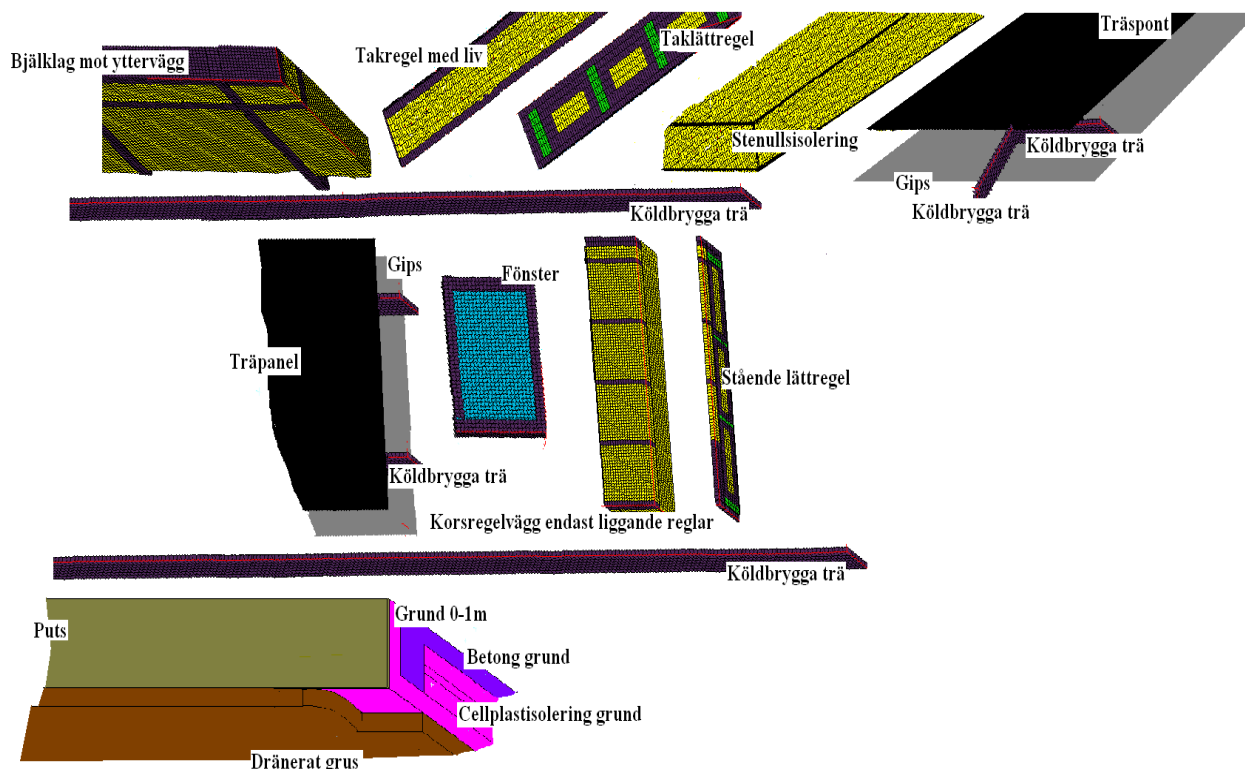
<sup>145</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrie Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>146</sup> Ibid.



### 5.4.3 Uppbyggnad av klimatskal

Huvudsakligen utgörs klimatskalet av grund, tak samt väggar inkluderande fönster och dörrar. Dessa komponenter har i sin tur delats upp i ytterligare mindre undergrupper och detaljer. Nedan ges en illustration över hur byggnaden har delats upp. Givetvis kunde uppdelningen ha genomförts på flera andra sätt.



Figur 5.4 Uppdelning av byggnadsdelar för analys.

Modell av klimatskalet baseras på konstruktions- och produktions ritningar för LB Bo01 hus. Sekretesskäl gör att dessa inte redovisas närmare. Material parametrar följer tabell 3.9, Materialdata som huvudsakligen används i studien. Mindre avvikelser för byggnadsmaterialen och byggkomponenterna i LB Bo01 hus kan förekomma jämfört mot LB Hus AB standardvärden material. Orsakerna är dels att komponenter och material utvecklas men även att LB Bo01 huset är specifikt framtaget för att vara energisnålt. Trots avvikelserna innefattas LB Bo01 huset av LB Hus AB byggsystem och går att serietillverka.

Vid modellering av LB Bo01 har rena material, enligt tabell 3.9, Materialdata som huvudsakligen används i studien, används. Genom att använda dessa har komplexa sammansatta material analyserats separat. Metoden för sammansatta material baseras på en tredimensionell modell av olika rena material som sedan räknar om värmeflödet för ett endimensionellt fall. För analys av de enskilda komponenterna har HEAT3 samt funktionerna sammansatta material och tvådimensionella byggdelar i VIP+ används. Resultaten från beräkningar för de komplexa byggnadsdelars sammansatta materials värme flöde i LB Bo01 huset redovisas i tabell 5.4.

Tabell 5.4 Data för sammansatta materia i LB Bo01 huset.

	Värmeledningsförmåga	Densitet	Värme kapacitet	Volym värmekapacitet <sup>3</sup>	Program
	$\lambda$	$\rho$	$c_p$		
Sammansatta material	[W/m,K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg, K]	[MJ/m <sup>3</sup> , K]	
Korsregelvägg endast liggande regel	0,04	68	400	0,0272	VIP+
Stående lättregel <sup>1</sup>	0,09	324 <sup>2</sup>	1547 <sup>2</sup>	0,501	HEAT3
Stående lättregel <sup>1</sup>	1,04	338 <sup>2</sup>	1852 <sup>2</sup>	0,626	HEAT3
Stående lättregel <sup>1</sup>	1,33	373 <sup>2</sup>	1762 <sup>2</sup>	0,594	HEAT3
Bjälklag mot yttervägg	0,046	71	980	0,0696	VIP+
Takregel med liv	0,074	245	1548	0,8	HEAT3
Tak lätt regel	0,08	396	2041	0,8	HEAT3
HÖRN	0,15	179	1899	0,357	VIP+
Grund 0-1 m <sup>4</sup>	0,09	1359	1619	2,2	HEAT 3

1. I huvudsak har tre stycken olika lättreglar används i LB Bo01 huset.
2. Handberäknat genom med hjälp av andelen ingående material för respektive lättregel.
3. Handberäknat med hjälp av densitet och värmekapacitet.

Utöver presenterade värden ovan har data för klimatskalet enligt nedan ansatts i modellen

- Flödesmätningar utförda Byggnadsingenjörerna Hesselholmen AB visar ett läckage genom väggar på 0.3 l/s, m<sup>2</sup>. Därefter har ytterligare täthetsåtgärder genomförts vilket gör att läckageflödet satts till 0,1 l/s, m<sup>2</sup>.<sup>147 148</sup>
- Glasandelen i fönstren är enligt produktblad samt undersökning av Träteck 77 procent<sup>149 150</sup> vilket även är det värde som ansatts.
- U-värden för fönster, inklusive karm, har ansatts till 1.0 W/m<sup>2</sup> och K<sup>151</sup>.
- U-värden för dörrar har ansatts till 1.0 W/m<sup>2</sup> och K.
- Skuggfaktorer F1 och F2 har beräknats, enligt ekvation 18 samt 19, och ansatts till 67 respektive 53 procent. Underlag för beräkningen har hämtats från fönstertillverkaren<sup>152</sup>

<sup>147</sup> Karlsson, Greger. Byggnadsingenjörerna Hesselholmen AB. Rapport/ Täthetsprovning

<sup>148</sup> Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation.

<sup>149</sup> SCC Skellefteå Snickericentral. Produktblad fönster.

<sup>150</sup> Sandberg, Karin. Träteck. Rapport – Uppdrag – Beräkning av U-värde.

<sup>151</sup> Sandberg, Karin. Träteck. Rapport – Uppdrag – Beräkning av U-värde.

<sup>152</sup> SCC Skellefteå Snickericentral. Produktblad fönster.

#### 5.4.4 Värme- och ventilationssystem

LB Bo01 husets värme och ventilationssystem redovisas schematiskt i kapitel 5.1.1  
Beskrivning av befintligt hus.

- Ventilerad volym i byggnaden har av Svensk Byggledning AB<sup>153</sup> samt med hjälp av ritningar beräknats och även ansatts till 404 m<sup>3</sup>.
- Mätningar ger ett frånluftsventilationsflöde motsvarande 58,3 l/s<sup>154</sup>. Enligt krav i BBR 12 ska ventilationsflödet minst vara 48,3 l/s. Uppmätt flöde uppfyller således krav enligt BBR 12. Detta motsvarar 0,52 oms/h vilket även ansatts vid simulering.
- Ventilationsflödet antas vara konstant över hela året.
- Undersökningar av frånluftsvärmepumpen visar värmefaktorn varierar beroende på utomhustemperaturen. Vid utomhustemperatur 4°C ges värmefaktorn 2 och 11°C utomhustemperatur ger värmefaktorn 4,2. Vid årsmedeltemperaturen 8°C fås värmefaktorn 2,4 vilket även tester utförda av tillverkaren visar<sup>155</sup> <sup>156</sup>. Trots att det kan anses lågt har värmefaktorn, med hänvisning till tidigare undersökning satts till 2,4.
- Med hänvisning till mätningar utförda av tillverkare har frånluftsvärmepumpens kondensoreffekten ansatts till 1100 W<sup>157</sup>.
- Frånluftsvärmepumpens värmefaktor för tappvarmvattensystemet hänger samman med systemet för uppvärmning. En väsentlig skillnad är dock att betydligt högre temperaturer krävs för uppvärmning av tappvarmvatten jämfört radiatorsystemet. Detta i sin tur medför att värmefaktorn i regel blir lägre för värmning av tappvarmvatten än för uppvärmning av byggnaden. Värmefaktorn för tappvarmvatten är satt till 1,5. Simulerad energianvändning för tappvarmvatten stämmer då väl överens med energi behovet för de dagar på året då inget energibehov för uppvärmning föreligger.
- Tidigare studier visar att inomhustemperaturen huvudsakligen ligger i intervallet 21°C till 27 °C<sup>158</sup>. Under sommaren förekommer temperaturer upp till 31°C. LB Bo01 hus har inget kylsystem<sup>159</sup> vilket innebär att övertemperaturer måste vädras bort. För att spara energi förvärms tilluften bakom panelen innan den släpps in genom tilluftsdon i huset. På detta sätt antas cirka 1°C<sup>160</sup> sparas i uppvärmning. För att kompensera uppvärmningsvinsterna av att leda tilluften bakom panelen har lägsta tillåtna inomhustemperatur ansatts till 20°C. Maximal tillåten inomhustemperatur har ansatts till 40°C med motivet att undvika att uppmätta övertemperaturer kyls bort vid simulering.

<sup>153</sup> Hector Clarence M. Svensk Byggledning AB. *Bo01- Kontroll av energibehovsberäkningar för Yxhult AB och LB-Hus AB.*

<sup>154</sup> Bagge, Hans, Lindström Lotti, (2003). *Utvärdering av inomhusmiljö – En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus.*

<sup>155</sup> Thermia värme AB, de la Rose, Anders. *Sammanställning testresultat propan i Solvik.*

<sup>156</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö.*

<sup>157</sup> Ibid.

<sup>158</sup> Ibid.

<sup>159</sup> Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation.

<sup>160</sup> Ibid.

## 5.5 Bearbetning av uppmätt och simulerad data

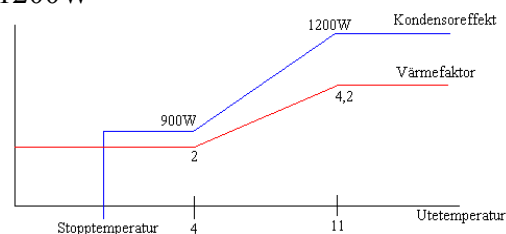
### 5.5.1 Korrigering av uppmätt data

Uppmätt data är hämtat från tidigare undersökningar av LB Bo01 huset. Tyvärr saknas mätdata för tre, från varandra skilda, dygn samt ytterligare 11 spridda timmar. För att korrigera detta har data föregående dygn respektive timme ersatt de uteblivna värdena. Eftersom klimatdata för mätperioden används direkt i simuleringarna behöver varken uppmätta eller simulerade värden korrigeras med beräkningsmetoder.

### 5.5.2 Förändrad indata

Förändringar i ansatta värden gör att inverkan av avvikelser i indata har kunnat studeras. Nedan redogörs för olika fall där indata förändrats från tidigare angivet i kapitel 5.4, Modellering av LB Bo01 hus. Notera att endast indata som anges för respektive fall har förändrats vid simulering. För resterande indata gäller de förutsättningar som presenteras i kapitel 5.4, Modellering av LB Bo01 hus. Kombinationer för de olika fallen har inte studerats.

- Fall 1 – Grundfall. Förutsättningar enligt kapitel 5.4, Modellering av LB Bo01 hus
- Fall 2 – Klimatdata för mätperioden har ersatts med simuleringsprogrammets befintliga klimatdata
- Fall 3 – Tappvarmvattenanvändningen är ansatt till uppmätt värde, 1450 kWh/år, utan hänsyn taget till förluster i rör och varmvattenberedare. Tidigare värde 2000 kWh/år
- Fall 4 – Värmefaktorn för tappvarmvattnet har ansatts till samma värde som värmefaktorn för uppvärmning. Ändrat värmefaktor för tappvarmvatten till 2,4 mot tidigare 1,5
- Fall 5 – Frånluftsflödet har förändrats från uppmätta 0,52 oms/h till 0,43 oms/h vilket använts vid projektering samt är det lägsta krav på antalet omsättningar enligt BBR 12
- Fall 6 – Minsta tillåtna inomhustemperatur har ansatts till 21°C mot tidigare 20°C
- Fall 7 – Maximal tillåten inomhustemperatur har ansatts till 27°C enligt krav i BBR 12. Med anledning av de uppmätta övertemperaturer var tidigare värde 40°C
- Fall 8 – Kondensoreffekten har sänkts från 1100W till 800W
- Fall 9 – Kondensoreffekten har ökats från 1100 W till 1500W
- Fall 10 – Värmefaktorn och kondensoreffekten har antagits variera beroende på utomhustemperaturen. Utetemperaturen 4°C ger värmefaktorn 2 och kondensoreffekten 900W medan utomhustemperaturen 11°C ger värmefaktorn 4,2 och kondensoreffekten 1200W



Figur 5.5 Skiss över förhållandet mellan utomhustemperatur samt värmefaktor och kondensoreffekt<sup>161</sup>.

- Fall 11 – Läckageflöde genom väggar ansatts till 0,3 l/s, m<sup>2</sup> jämfört med tidigare 0,1 l/s, m<sup>2</sup>.

<sup>161</sup> Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006) VIP+. Manual Version 4.0.1. Malmö.

### 5.5.3 Modell för jämförelse av energianvändning

Studien syftar huvudsakligen till att jämföra uppmätt och simulerad energianvändning som tillförts värmesystemet för uppvärmning av tappvarmvatten och byggnaden. Vid både mätning och simulering har hänsyn tagits till värmestillskott från bland annat hushållsel, personvärme och solinstrålning. Notera att det endast är simulerad och uppmätt energianvändning till värme och tappvarmvatten som jämförs. Detta ska inte förväxlas med tidigare studier som berört LB Bo01 husets totala energianvändning.

Tidigare studier<sup>162</sup> samt detaljeringsgraden i använt simuleringsprogram ger möjlighet till ytterligare jämförelser av beräknade och uppmätta värden på årsbasis.

Nedan redovisas vad som jämförts för olika tidsintervall.

#### År

- Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten
- Transmissionsförluster
- Ventilationsförluster
- Elanvändning till fläktar och pumpar
- Återvunnen värme från frånluftsvärmepump
- Värmestillskott från solinstrålning
- Värmestillskott från personer
- Värmestillskott från hushållsel samt pumpar och fläktar

#### Månad

- Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten

#### Vecka

- Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten

#### Dygn

- Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten

#### Timme

- Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten

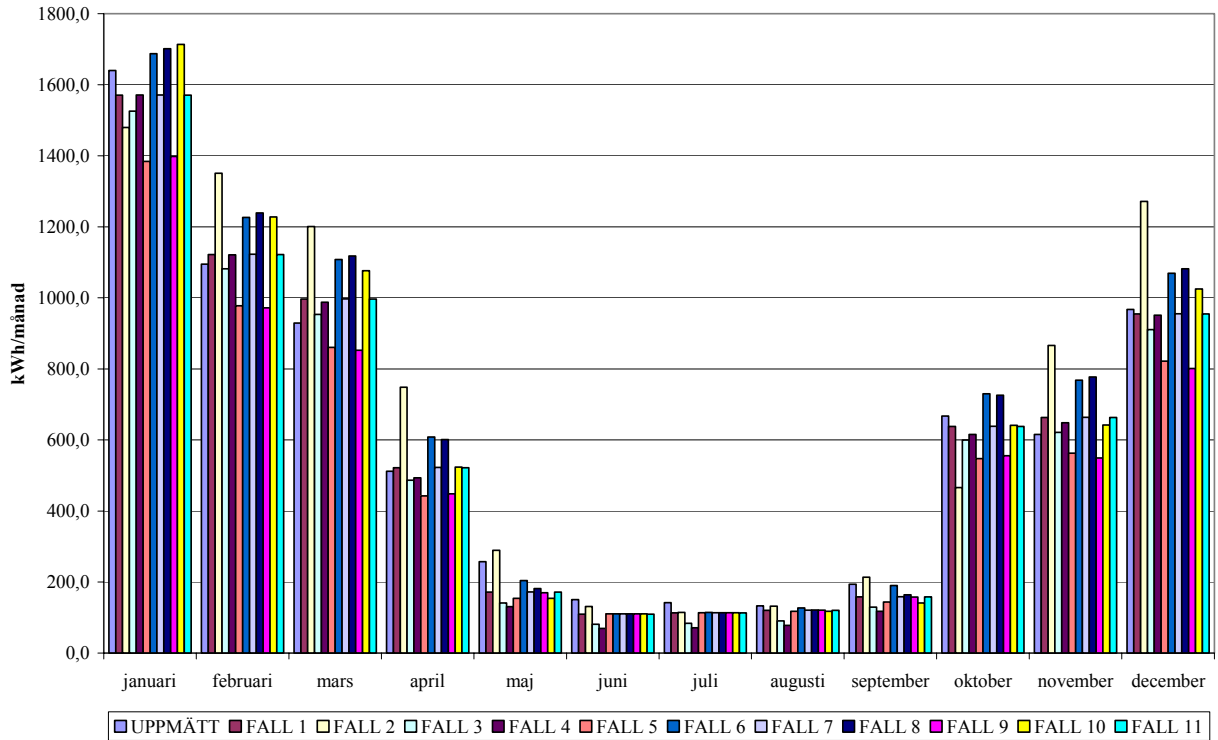
---

<sup>162</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

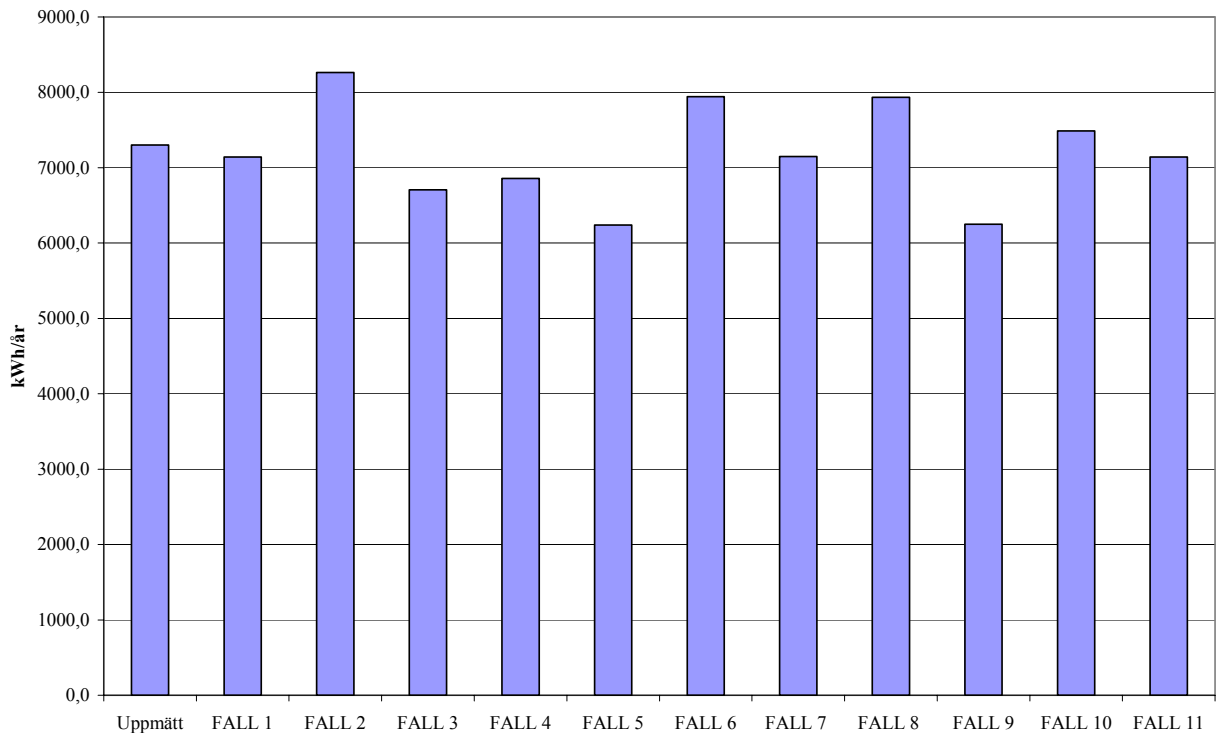
## 5.6 Resultat – Uppmätt och simulerad energianvändning

### 5.6.1 Förändrad indata

Förändringar i indata för studerade fall ställs mot varandra i tabell och figurer nedan.



Figur 5.6 Energianvändning för olika månader vid varierande fall av indata för LB Bo01 huset.



Figur 5.7 Total energianvändning per år för olika fall av indata för LB Bo01 huset.

Tabell 5.5 Simulerade värden per år för olika fall av indata till LB Bo01 huset i kWh/år.

	Fall 1	Fall 2	Fall 3	Fall 4	Fall 5	Fall 6	Fall 7	Fall 8	Fall 9	Fall 10	Fall 11
	Grund fall [kWh/år]	Klimatfil Simprog. [kWh/år]	Varm H <sub>2</sub> O anv = 1450W [kWh/år]	Värmefakt varm H <sub>2</sub> O = 2,4 [kWh/år]	oms/h = 0,43 [kWh/år]	Tempe min 21°C [kWh/år]	Tempe max 27°C [kWh/år]	Kond.effekt 800W [kWh/år]	Kond.effekt 1500W [kWh/år]	Ny värmefakt & kondeffekt [kWh/år]	Läckflöde 0,3 l/s m <sup>2</sup> [kWh/år]
Tillförd energi	7141	8264	6706	6857	6239	7944	7148	7936	6249	7488	7143
Transförluster	8844	9542	8844	8844	8988	9365	8684	8844	8844	8844	8844
Ventförluster	7267	7819	7274	7274	6110	7690	7146	7274	7274	7274	7267
Värme-solstrål	1848	1734	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848	1848
Åter från FVP	3482	3723	3391	3773	3374	3623	3482	2694	4381	3142	3482
El pump & fläktar	2985	3118	2810	2701	2951	3058	2985	2370	3732	2693	2985
Tillförd värme	4156	5146	3897	4156	3288	4886	4156	5566	2518	4795	4157
Passiv kyla	0	0	0	0	0	0	288	0	0	0	0

### 5.6.2 Årsvärden

Årsvärden från tidigare undersökning i relation till simulerade värden sammanställs i tabell nedan.

Tabell 5.6 Årsvärden från tidigare undersökning jämfört med simulerade värden för denna studie i kWh/år.

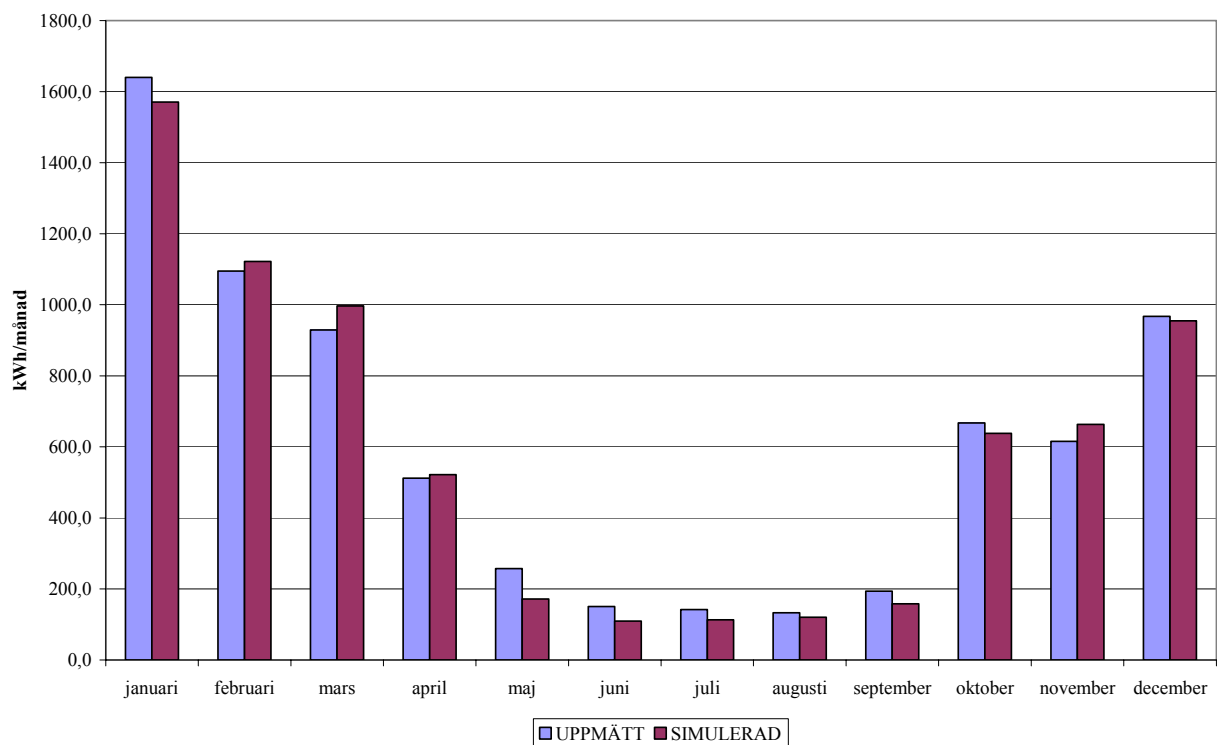
	Tidigare undersökning <sup>1 163</sup> [kWh/år]	I denna studie simulerade värden [kWh/år]
Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten	7303 <sup>2</sup>	7141
Transmissionsförluster	10100 <sup>3</sup> 9850 <sup>4</sup>	8844 <sup>11</sup>
Ventilationsförluster	7300 <sup>5</sup>	7267
Elanvändning till fläktar och pumpar	800 <sup>6</sup>	2985
Återvunnen värme från Frånluftsvärmepump	7500 <sup>7</sup>	3482
Värmetillskott från solinstrålning	1550 <sup>8</sup>	1848
Värmetillskott från personer	900 <sup>9</sup>	1715
Värmetillskott från hushållsel samt pumpar och fläktar	2400 <sup>10</sup>	3931

<sup>163</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrie Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö.*

1. Beräknade och uppmätta värden från tidigare undersökning
2. Uppmätt energi som tillförts värmesystemet
3. Beräknade transmissionsförluster med inomhustemperatur 21°C
4. Beräknade transmissionsförluster med inomhustemperatur 20°C
5. Beräknade ventilationsförluster med hänsyn taget till 21°C inomhustemperatur samt att tilluften förvärmats bakom träpanelen
6. Beräknad genom att anta att den lägsta uppmätta effekten till värmesystemet är den som används till fläktar och pumpar
7. Beräknad med hjälp uppmätta värden från den värme som tillförts radiatorer samt tappvarmvatten och den el som tillförts värmesystemet
8. Beräknad genom att använda andra beräknade värden och ansätta en energibalans för LB Bo01 huset
9. Beräknat värde
10. Beräknat värde baserat på att hushållsel, fläktar och pumpar nyttjas 220 dagar per år samt 80 procent av tillförd el kan nyttjas som värmetillskott
11. Simulerat med inomhustemperatur 20°C

### 5.6.3 Månadsvärden

Uppmätt och simulerad energianvändning per månad för LB Bo01 huset visas i figur nedan.

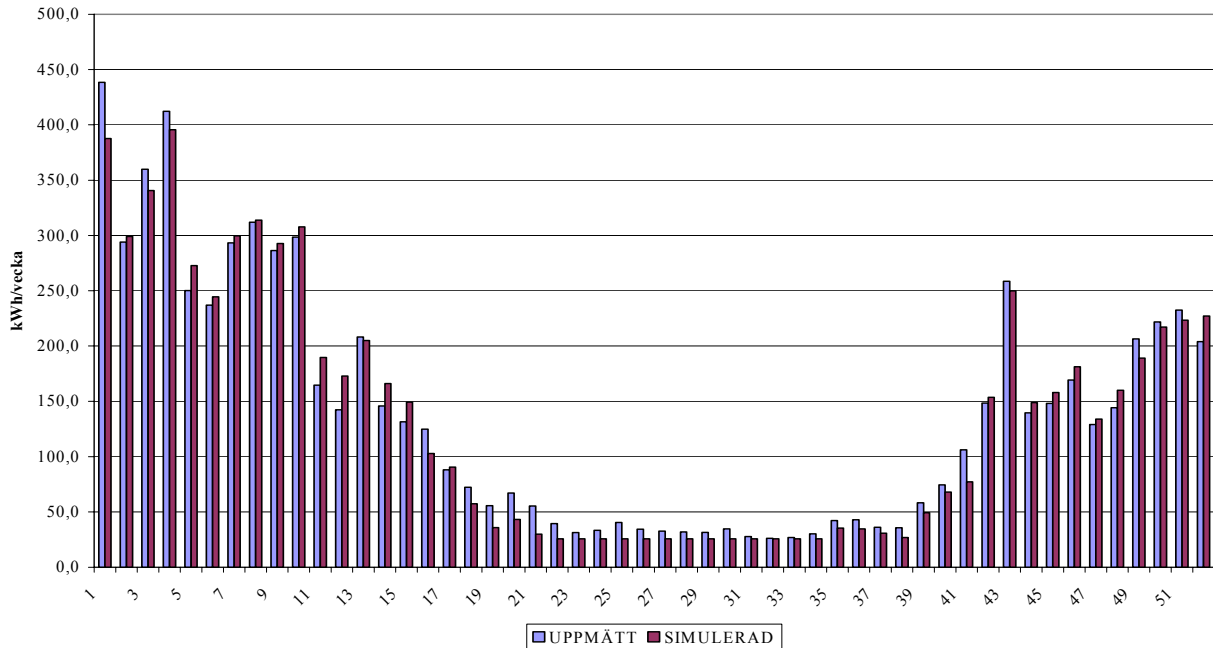


Figur 5.8 Uppmätt och simulerad energianvändning per månad för LB Bo01 huset.



### 5.6.4 Veckovärden

Uppmätt och simulerad energianvändning per vecka för LB Bo01 huset återges i figur nedan.



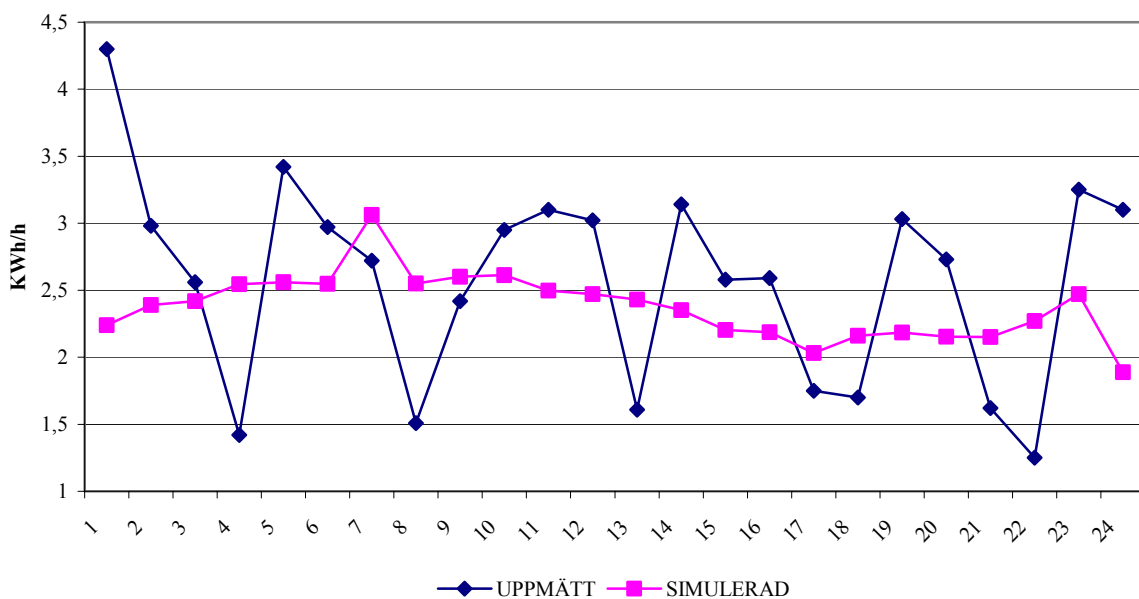
Figur 5.9 Uppmätt och simulerad energianvändning per vecka för LB Bo01 huset.

### 5.6.5 Dygnsvärden

Uppmätt och simulerad energianvändning per dygn för LB Bo01 huset redovisas för respektive månad i bilaga 1.

### 5.6.6 Timvärden

Uppmätt och simulerad energianvändning per timme för LB Bo01 huset har inte studerats i detalj. För att kunna jämföra hur uppmätt och simulerad energianvändning varierar över dygnet presenteras ett specifikt dygn under uppvärmningssäsong, 12 februari 2004, nedan.



Figur 5.10 Uppmätt och simulerad energianvändning den 12 februari 2004 för LB Bo01 huset.

## 5.7 Analys

### 5.7.1 Förändrad indata

Förändringen av indata visar att simulerad energianvändning för fall 1, som huvudsakligen används vid simulering, följer uppmätt energianvändning. Resultatet från simuleringar för fall 7 och 11 överensstämmer i princip lika bra som fall 1 med uppmätta värden.

#### Fall 2 – Befintlig klimatdatafil i simuleringsprogram

Simulering med klimatdata från simuleringsprogrammet påvisar en högre energianvändning om cirka 1100 kWh/år jämfört med fall 1. Det varma klimatet under mätperioden, jämfört med ett normalår 1961-1990<sup>164</sup>, kan förklara delar av den ökade energianvändningen som fall 2 ger. Notera att VIP+ inte använder klimatdata för normalår 1961-1990.

Kallare klimatet ger högre transmissions och ventilationsförluster som i sin tur skapar ett större energibehov från tillförd energi. Även solinstrålningen är lägre för fall 2.

Skillnaderna i energianvändning per månad är också uppenbara. Simulerade värden för fall 2 följer en förväntad årsanvändning jämfört med både fall 1 och uppmätta värden. Detta visar sig tydligast för november där en lägre energianvändning uppmäts än för oktober. Samtidigt åskådliggör fall 2 att en betydligt högre energianvändning november, vilket även borde vara fallet vid en normal årscykel.

#### Fall 3 – Tappvarmvattenanvändning ansatt till uppmätt värde utan hänsyn till förluster

Vid sänkning av energi till tappvarmvattenanvändningen sjunker helt naturligt det totala energibehovet. Energitillbehovet minskar lika mycket för varje månad. Simuleringar visar också att energibehovet sommartid är lägre än uppmätt. Eftersom det inte finns något uppvärmningsbehov sommartid är det rimligt att all tillförd energi till värmesystemet används för uppvärmning av tappvarmvatten. Simuleringarna visar att så inte sker för fall 3, vilket gör att högre energibehov för värmning av tappvarmvatten eller en lägre värmefaktor bör användas, se fall 4.

#### Fall 4 – Ökad värmefaktor för tappvarmvatten från 1,5 till 2,4

Höjning av värmefaktorn för tappvarmvatten resulterar i en lägre energianvändning som också fördelar sig lika över alla månader. Precis som tidigare nämnts utgörs energibehovet sommartid endast av uppvärmning till tappvarmvatten. Simuleringarna visar att så inte är fallet jämfört mot uppmätta värden. Således är antingen värmefaktorn för hög eller energibehovet till tappvarmvatten för lågt. Högre temperatur på tappvarmvatten jämfört radiatorvärmern gör att värmefaktorn för tappvarmvatten borde vara lägre än för resterande del av systemet.

---

<sup>164</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrij Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

**Fall 5 – Sänkt frånluftsflöde från 0,52 oms/h till 0,43 oms/h**

Sänkning av frånluftsflödet till krav enligt BBR 12 och även projekterat värde ger lägre ventilationsförluster med ett lägre energibehov som följd. Resultatet från simuleringar visar att en uppmätt ventilationsflöde, som är 20 procent högre jämfört projekterat, ger ett ökat energibehov med cirka 14 procent.

**Fall 6 – Höjning av lägsta inomhustemperatur från 20°C till 21°C**

Höjningen av lägsta tillåtna inomhustemperatur från 20°C till 21°C ger naturligt högre transmissions och ventilationsförluster och därmed ökat energibehov. Simuleringarna visar att temperaturhöjningen ger ett ökat energibehov med cirka 800 kWh/år. För LB Bo01 huset motsvarar det en höjning av energianvändningen med 11 procent.

**Fall 7 – Sänkning av högsta tillåtna inomhustemperatur från 40°C till 27°C**

Sänkning av högst tillåtna inomhustemperatur visar mängden värme som kyls bort om temperaturer över 27°C ska undvikas. Byggnadens energibalans förändras utan att påverka den totala energianvändningen. Passiv kyla tillkommer 288 kWh/år samtidigt som transmissions och ventilationsförlusterna sänks lika mycket tillsammans.

**Fall 8 – Sänkning av kondensoreffekt från 1100W till 800W**

Sänkning av kondensoreffekt med 300W ger totalt ett högre energibehov då den tillförda värmeenergin måste öka. Samtidigt sjunker både återvinningen och elbehov från frånluftsvärmepumpen.

**Fall 9 – Höjning av kondensoreffekt från 1100W till 1500W**

Högre kondensoreffekt sänker det totala energibehovet. Följden av förändringen blir att både återvunnen och tillförd energi till frånluftsvärmepumpen ökar. Andelen tillförd värmeenergi sjunker.

**Fall 10 – Variabel värmefaktor och kondensoreffekt**

Konsekvensen av att låta värmefaktor och kondensoreffekt variera beroende på utomhustemperatur gör att andelen tillförd och återvunnen energi från frånluftsvärmepumpen minskar. Således ökar även andelen tillförd energi.

**Fall 11 – Ökat läckageflöde genom klimatskal**

Energianvändningen förändras inte märkbart om läckageflödet ökas genom klimatskalet. Orsaken till att förändringen är liten beror av två sammanhängande orsaker. Även vid läckflödet 0,3 l/s och m<sup>2</sup> är huset att anse som mycket tätt. Detta i kombination med ett simulerat högt undertryck inomhus gör att luft inte tillåts gå ut genom fasaden utan tvingas ut via frånluftsvärmepumpen. Det höga undertrycket som uppstått vid simulering kan diskuteras som en felkälla, men det visar också att läckageförlusterna kan minskas genom ett kraftigt undertryck inomhus.

Delar av förändringen som sker beror på att tilluften tas in via don i husets fasad. Möjligheten att utnyttja förvärmningen av tilluften i husets luftspalt minskar samtidigt som risken för bland annat fuktskador och sämre inneklimat ökar. Vid ett kraftigt undertryck inomhus finns också risk att luft tar felaktiga vägar in i byggnaden och på så vis kan orsaka skador.

## 5.7.2 Årsvärden

Vid hänvisning till uppmätta värden samt tidigare studie och beräkningar, avses studien beträffande energianvändningen och inneklimatet i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö som utförs av Avdelningen för byggnadsfysik vid Lunds Tekniska Högskola<sup>165</sup>. Simulerade värden avser värden som framtagits i denna studie. Värden från tidigare studie och simulering redovisas även i tabell 5.6, Uppmätta och simulerade värden per år för LB Bo01 huset.

### Tillförd energi för uppvärmning av byggnaden samt tappvarmvatten

Uppmätt energianvändning visar en årsförbrukning som är 155 kWh/år högre än simulerad. Detta motsvarar en skillnad på cirka 2 procent och bör ses som ett mycket bra värde.

### Transmissionsförluster

Beräkningar i tidigare studie visar på högre transmissionsförluster än vid simulering av uppbyggd modell. Vid jämförelse av tidigare beräkning och simulering bör det lägre värdet, 9850 kWh/år, användas eftersom det baseras på samma inomhustemperatur som vid simulering. Skillnaden mellan tidigare beräknad och simulerade transmissionsförluster blir då cirka 1000 kWh/år vilket motsvarar ungefär 10 procent.

### Ventilationsförluster

Beräknade ventilationsförluster från tidigare studie tar hänsyn till att tilluften förvärms i luftspalten bakom träpanelen samt baseras på inomhustemperaturen 21°C. Förvärmningen av tilluften motsvarar cirka en grad<sup>166</sup>. Detta leder till att en inomhustemperatur på 20°C till viss del tar ut effekten av förvärmningen bakom träpanelen<sup>167</sup>.

Simulerat värde baseras på inomhustemperatur 20°C. Om tidigare beräknade transmissionsförluster och simulerade jämförs direkt är skillnaden cirka 3,5 promille.

Om jämförelsen i stället görs för simuleringar med inomhustemperaturen 21°C blir avvikelserna ungefär 5 procent.

### Elanvändning till fläktar och pumpar

Den stora skillnaden mellan tidigare beräknad och simulerad energianvändning beror på att olika parametrar innefattas av definitionen ”fläktar och pumpar”. I tidigare studie som används för jämförelse kan utläsas att ”fläktar och pumpar” endast avser frånluftsfläkt och eventuellt även en cirkulationspump. Vid simulering avser begreppet ”fläktar och pumpar” även tillförd energi till frånluftsvärmepumpen.

Energi till fläktar samt pumpar, bortsett energi till frånluftsvärmepump, simulerades i ett försök separat. Detta gav en årsförbrukning som avviker med 8 procent från den som anges i tidigare studie. Värden från denna simulering redovisas inte närmare.

<sup>165</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrij Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

<sup>166</sup> Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation.

<sup>167</sup> Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindstrij Lotti, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*.

### **Återvunnen värme från frånluftsvärmepumpen**

Olikheterna i återvunnen värme från frånluftsvärmepumpen kan härledas till flera orsaker. Vid simulering har en relativt låg värmefaktor ansatts för uppvärmning av huset. Värmefaktorn är i sin tur hämtad från samma studie som redovisar att 7500 kWh/år återvinns genom frånluftsvärmepump. Orsaken till att simuleringarna visar på en låg värmefaktor i förhållande till tidigare beräkningar beror i troligtvis på att frånluftsvärmepumpen för LB Bo01 huset är överdimensionerad. För att ta hand om all värme som frånluftsvärmepumpen levererade kopplades ett bypass system där värme avleddes utan att kunna tillnyttiggöras. Om temperaturerna som används vid beräkning i tidigare studie är mätta innan det att överskotts värme schuntats bort har betydligt högre uttemperaturer från frånluftsvärmepumpen används vid beräkning än vad som i verkligheten levererats till radiatorer och tappvarmvatten. Detta har i sin tur lett till att en högre återvinning beräknats än vad som skett i verkligheten. Ytterligare en anledning till den låga värmefaktorn som ansatts är dåliga driftsförhållanden och den ojämna gång som fås vid överdimensionerad frånluftsvärmepump. Bypassystemet syftar just till att göra driftsförhållandena bättre. Tidigare studie har också konstaterats att driftsförhållandena för frånluftsvärmepumpen kan förbättras.

### **Värmetillskott från solinstrålning**

Tidigare beräknat och simulerat värmetillskott från solinstrålning skiljer sig med cirka 300 kWh/år. Beräkningen från tidigare undersökning har gjorts genom att se hur mycket energi som saknas vid upprättande av en energibalans för LB Bo01 huset. Även om skillnaden inte är betydande så bör simulerat värde ses som det mest korrekta.

### **Värmetillskott från personer**

Avvikelserna mellan tidigare beräknat och simulerat tillskott beror av att olika antaganden används för bland annat vistelsetid och aktivitetsgrad.

### **Värmetillskott från hushållsel samt fläktar och pumpar**

Antaganden i tidigare studie baseras på att 80 procent av värmetillskottet kan nyttjas 220 dagar per år. Vid simulering har uppmätt elanvändningen fördelats över året för att se hur stor del av energin som tillgodogörs som värme. Även om avvikelsen är betydande ses simulerat värde som mer korrekt.

## **5.7.3 Månadsvärden**

Uppmätt och simulerad energianvändning stämmer i stora drag väl överens för respektive månad. Mindre avvikelser förekommer under månaderna januari till mars.

Osäkerheter i mätdata samt att huset började bebos under april månad gör att denna inte studeras närmare. Noterbart är dock att det är den månad där uppmätta och simulerade värden bäst stämmer överens. Troligt vis beror detta på de stabila förhållanden som rådde under perioden då huset var obebott.

Avvikelserna mellan uppmätt och simulerad energianvändning för maj månad är relativt stora. En förklaring kan vara att det var första månaden i mätperioden. Vidare hade de boende precis flyttat in vilket kan leda till byggnadsfysikaliska omställningar i huset som påverkar energianvändningen. Uttorkning av byggfukt skulle kunna vara en orsak till skillnaderna men är knappast troligt eftersom LB Bo01 huset färdigställdes och har stått uppvärmt i mer än ett år före mätperiodens start. Injustering av installationssystemet kan också ha förekommit under

månaden. Trots att söderfasaden är försedd med förhållandevis antal få fönster skulle brister i beräkning av soltillskott i kombination med uppvärmningsbehov kunna vara en ytterligare en felkälla. Maj är dessutom en av de mest sol intensiva månaderna då uppvärmningsbehov samtidigt föreligger<sup>168</sup>.

Uppmätt energianvändning visar en mindre variation under sommarmånaderna medan simulerade värden är konstanta. Oregelbundna brukarevanor under sommaren förklarar troligtvis dessa avvikelser.

Från september till december förekommer endast små skillnader mellan uppmätt och simulerad energianvändning. Både uppmätta och simulerade värden tyder på att oktober månad varit kallare samt november varmare än normalt.

#### **5.7.4 Veckovärden**

Energianvändning som uppmätts och simulerats överrensstämmer huvudsakligen per vecka.

Den högre energianvändning som uppmätts under vecka ett kan bero av oregelbundna brukarvanor under nyår och trettondagshelgen.

Energianvändningen under vecka 11 och 12 jämfört med kringliggande veckor beror av rådande klimat.

Skillnaderna under vecka 16 kan ha orsakats av oregelbundna brukarvanor i samband med påsk.

Precis som för månadsvärdena förekommer avvikelser mellan uppmätt och simulerad energianvändning för veckorna 18 till 22 i maj månad.

Uppmätt och simulerad energianvändningen för veckorna under sommaren följer samma mönster som beskrivits i analysen för månadsvärden.

Under vecka 41 förekommer en relativt stor avvikelse mellan uppmätta och simulerade värden som inte kan härledas närmare. Troligtvis beror den av förändringar i brukarvanor.

Den kraftiga ökning i tillförd energi som både mätningar och simuleringar påvisar för vecka 43 beror av klimatet. Den kalla perioden gör i sin tur att energianvändningen för oktober blivit högre än för november.

#### **5.7.5 Dygnsvärden**

Undantaget maj månad samt ytterligare enstaka dygn så stämmer uppmätt och simulerad energianvändning per dygn väl överens.

Överlag följer staplarna för uppmätta och simulerade värden varandra även för maj månad. Skillnaden är dock att uppmätta värden visar på en högre energianvändning än vad simuleringen. Orsak utöver de som angetts vid analys av månadsvärdena kan inte ses.

---

<sup>168</sup> Wall, Maria. Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation.

Dygnsvärden för april månad visar att det förekommer variationer mellan uppmätt och simulerad energianvändning. Likheter på månadsbasis styrker således inte simuleringsprogrammets precision.

Under sommaren följer dygnsvärden samma mönster som beskrivits tidigare.

### **5.7.6 Timvärden**

Timvärden har inte studerats specifikt för hela året. Ett dygn, 12 februari 2004, under uppvärmningssäsongen har dock lyfts ut för att åskådliggöra fördelningen av använd energi över dygnet.

Aktuellt dygn visar att tillförd energi enligt simulering fördelar sig relativt jämt över dygnet medan uppmätta värden visar på en betydligt större omväxling. Variationerna i uppmätta värden har jämförts med timdata för rådande klimat. De kraftiga förändringarna kan endast delvis härledas till uteklimatet. Däremot är det troligt att de boendes brukarvanor kan ha påverkat variationerna i uppmätta värden. Tydligt är dock att husets värmesystem reagerar snabbt vid förändringar i energiflöden i förhållande till den reaktionsförmåga som simuleringsprogrammet medför.

En brist i studien är att jämförelse endast skett mellan uppmätt samt simulerat energibehov enskilt och inte i kombination tillsammans med uppmätt och simulerad inomhustemperatur.

### **5.7.7 Felkällor**

Avsaknad av klimatdata för enstaka dygn och timmar kan ha medfört en felaktig energianvändning vid simulering. Begränsningar för mätning av klimatdata har gjort att mätdata från angränsande platser och ort har sammanförts till en klimatfil. Variationer i klimatet mellan mätplatserna kan medföra att data som används vid simulering inte passar med mätdata från annan plats. Trots jämförelse mellan olika klimatdata kan mätfel ha förekommit.

Direkta mätfel för uppmätt energianvändning kan finnas men är knappast troligt.

De stora felkällorna ligger i ansatta värden för indata. Framst kan värmefaktor hos frånluftsvärmepumpen diskuteras. Vidare är det omöjligt att få ansatta brukarvanor att stämma överens med verkligheten.

Jämförelse av årsvärden har även visat att tolkning av vilka parametrar som ingår i olika begrepp kan leda till missförstånd.

## **5.8 Slutsatser av verifiering**

Likheterna mellan uppmätt och simulerat energibehov gör gällande att valt simuleringsprogram lämpar sig väl för studien. Förutom att förändringarna i indata ger förväntade resultat vid simuleringarna styrker även dessa att initialt ansatta parametrar för fall 1 är rimliga.

Simuleringar visar att ansatt kondensoreffekten och värmefaktor för frånluftsvärmepumpen har stor betydelse för simulerad energianvändning. Små förändringar i kondensoreffekt och

värmefaktor leder till stora förändringar i resultatet. Valt simuleringsprogram är således känsligt för indata fel för dessa parametrar.

Ansatta brukarvanor gör att minskat energibehov till tappvarmvatten ger en konstant sänkning för respektive dag, vecka och månad. Brukarvanorna har även stor betydelse för den slutgiltiga energianvändningen.

Inomhustemperaturen har stor påverkan för energianvändningen. En höjning av med en grad, från 20°C till 21°C, ökar energibehovet med cirka 11 procent.

Frånluftsflödet och med det antalet omsättningar per timme har en ansenlig betydelse för byggnadens energibehov. Om det ökar med 20 procent blir energibehovet cirka 14 procent högre för LB Bo01 huset. Vid en sänkning av frånluftsflödet så kommer det inte bara ge en lägre energianvändning utan även att det kan påverka inomhusklimatet negativt.

Rådande klimat visar sig ha stor inverkan på byggnadens energibehov. Simulering med VIP+ klimatdatafiler antyder en normalfördelning för energianvändningen. Vidare är energibehovet större vid simulering med VIP+ klimatdata vilket säger att det varit varmare än normalt under mätperioden. Vid undersökning av projekterade hus energianvändning bör befintliga klimatdata i VIP+ nyttjas.

Simuleringar visar att förändringar i läckageflöde från 0,1 l/s och m<sup>2</sup> till 0,3 l/s och m<sup>2</sup> inte påverkar energianvändningen nämnvärt för LB Bo01 huset. Förvärmningen av tilluften minskar dock. Förklaringen till att läckageflödet har så liten inverkan beror dels på att huset fortfarande är mycket tät vid ett läckage på 0,3 l/s och m<sup>2</sup> men också på att undertrycket i huset är högt. Risken för bland annat fuktskador och sämre inneklimat ökar med större läckageflöde.

Precis som tidigare undersökning visar så utnyttjas LB Bo01 husets frånluftsvärmepump dåligt. En mindre frånluftsvärmepump borde ha installerats från början.

Precis som tänkt reagerar husets värmesystem snabbt på förändringar i energiflödet.

Tabell 5.7 Uppmätt och simulerat energibehov samt avvikelse mot grundfallet för LB Bo01 huset

Fall	Förändring från grundfall	Energibehov	Avvikelse från grundfall	
		[kWh/ år]	[kWh/ år]	[%]
Fall 0	Uppmätt	7303	162	2
Fall 1	Grundfall	7141	0	0
Fall 2	Klimadata enligt simuleringsprogram	8264	1123	16
Fall 3	Varm H <sub>2</sub> O användning 1450W	6706	-435	-6
Fall 4	Värmefaktor tappvarm H <sub>2</sub> O = 2,4	6857	-284	-4
Fall 5	Luftomsättning 0,43 oms/h	6239	-902	-13
Fall 6	Inomhustemperatur minst 21°C	7944	803	11
Fall 7	Inomhustemperatur max 27°C	7148	7	0
Fall 8	Kondensoreffekt 800W	7936	795	11
Fall 9	Kondensoreffekt 1500 W	6249	-892	-12
Fall 10	Variabel värmefaktor och kondensoreffekt	7488	347	5
Fall 11	Läckageflöde 0,3 l/s och m <sup>2</sup>	7143	2	0





## 6 Undersökning av befintliga hus

*Två av LB Hus AB kataloghus samt LB Bo 01 huset modelleras och simuleras enligt respektive konstruktion. Resultatet från simuleringarna jämförs med varandra, mot krav i BBR 12, tidigare undersökningar samt med avseende på brukarvanor. Avvikelser, likheter och felkällor identifieras och diskuteras.*

### 6.1 Syfte

Undersökning av befintliga hus syftar huvudsakligen till att se om och i så fall med vilken marginal de två valda kataloghusen klarar energikraven enligt BBR 12. Kapitlet ämnar också jämföra energibehovs simuleringar utförda i Enorm av LB Hus AB mot samma simuleringar i VIP+. Vidare syftar kapitlet till att ge en jämförelse mellan energibehovet för ett av kataloghusen och LB Bo01 huset som studerats i föregående kapitel.

### 6.2 Förutsättningar

Undersökningen av två befintliga huskonstruktioner medför en rad olika förutsättningar för olika områden. Sekretess gör att inga utförligare beskrivningar av husens konstruktion eller det byggsystem som ligger till grund för husen redovisas.

#### 6.2.1 Beskrivning av befintliga hus

På kommande sidor ges en kort redogörelse av grundutförandet för de studerade kataloghus som valts. Genom diverse tillval kan husen nedan till viss del individanpassas efter kundens önskemål. Beträffande undersökningen av LB Bo01 huset har den modell som presenteras i föregående kapitel använts även i denna jämförelse.

#### Ugglan 135

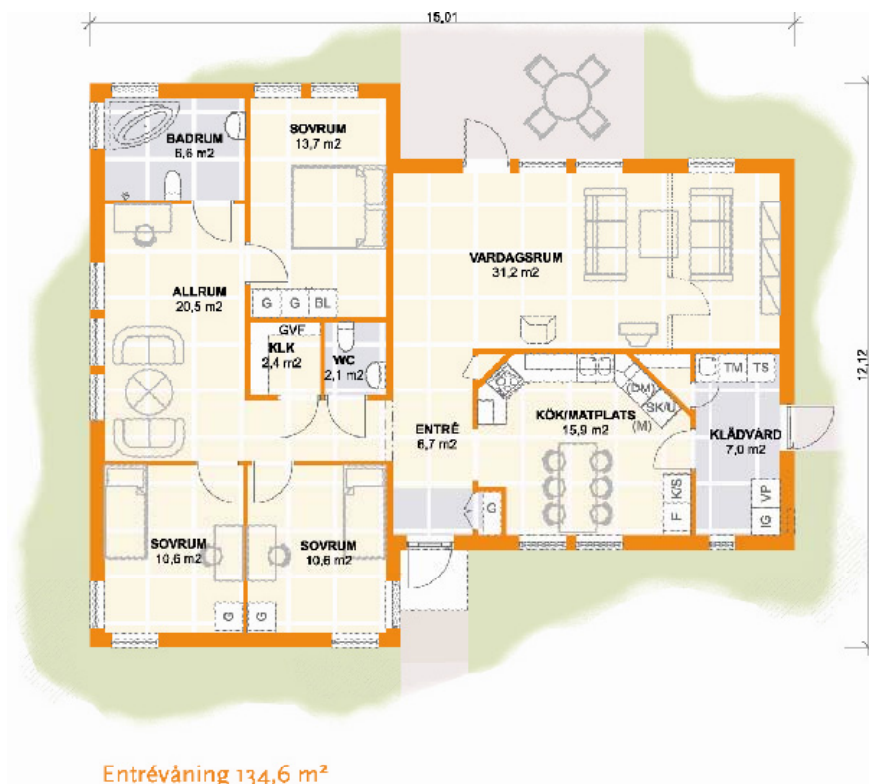
Ugglan 135 är ett enplanshus med en boarea på 134,6 m<sup>2</sup>. Huset är huvudsakligen uppdelat i en offentlig del med kök, hall och vardagsrum samt en privat del med sov- och allrum. Över den offentliga delen ligger ett sadeltak som genom tillval kan göras till ryggåstak. Rumshöjden i huset är 2,4 m. Den privata delen täcks av ett pulpettak i vinkel mot sadeltaket. Huset har en huvudentré, en grov entré, samt från vardagsrummet en entré mot uteplatsen. Installationstekniska detaljer är huvudsakligen placerade i klädvårdsrummet.<sup>169</sup>

---

<sup>169</sup> LB Hus AB, Huskatalog, (2006), *Ugglanserien*.



Figur 6.1 Illustrerad bild Ugglan 135<sup>170</sup>.



Figur 6.2 Planlösning Ugglan 135<sup>171</sup>.

<sup>170</sup> LB Hus AB, Huskatalog, (2006), *Ugglanserien*.

<sup>171</sup> Ibid.

## Steglitsen

Steglitsen är ett tvåplanshus likt LB Bo01 huset. Boarean är 150,1 m<sup>2</sup> som fördelats på entréväningen med 88,2 m<sup>2</sup> och 61,8 m<sup>2</sup> på ovanvåningen. Takhöjden varierar mellan 2,6 och 2,4 m för olika delar av huset. Över vardagsrumsdelen finns ett sluttande snedtak som skapar höjd och rymd i vardagsrummet. Förutom huvudentré och groventré finns två stycken utgångar till uteplatsen. Värmepump och andra installationstekniska detaljer är huvudsakligen placerade i klädvårdsrummet.<sup>172</sup>



Figur 6.3 Illustrerad bild Steglitsen<sup>173</sup>



Figur 6.4 Planlösning Steglitsen<sup>174</sup>

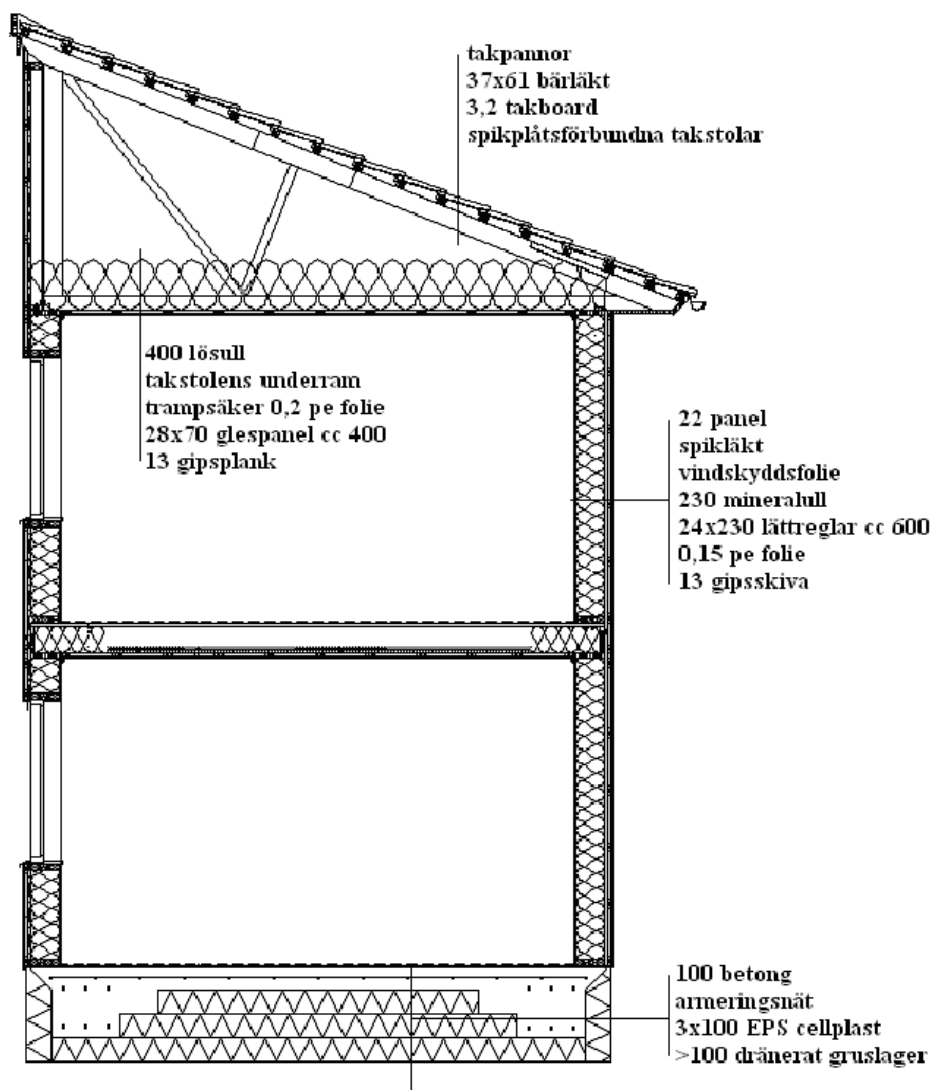
<sup>172</sup> LB Hus AB, Huskatalog, (2006)

<sup>173</sup> Ibid.

<sup>174</sup> Ibid.

## Klimatskal

Klimatskalet för både Ugglan 135 och Steglitsen är uppbyggt efter samma grundprincip. Husen har en fabriksstillverkad lättregelstomme som tillverkats i LB Hus AB fabrik i Bromölla. Väggarna är uppbyggda av 230 mm tjocka lättreglar med mellanliggande isolering. Fasadmaterialet på utsidan kan varieras mellan bland annat olika former av panel samt tegel eller puts. Grundutförandet utgår från en 22 mm stående lockpanel. Insidan täcks med 13 mm gipsskivor. Grundläggningen är platta på mark med 300 mm underliggande isolering. Yttertakets skiljer sig till viss del mellan de båda husen. Företrädesvis vilar det på takstolar med läkt och därpå liggande tegel. Under läkten ligger en 3,2 mm takboard. Ovanför undertaket ligger 400 mm lösullsisolering som vilar på folie, läkt samt 13 mm gipsplank. Husens klimatskal redovisas även i kapitel 6.3.3 Uppbyggnad av klimatskal, figur 6.6, Uppdelning av byggnadsdelar för analys.



Figur 6.5 *Sektion av huvudsaklig huskonstruktion för Ugglan 135 och Steglitsen. Notera att Ugglan 135 är ett enplanshus och därför inte innefattas av mellanbjälklaget som framgår i figuren. Takkonstruktionen är dock densamma.<sup>175</sup>*

<sup>175</sup> Interna dokument LB Hus AB.

## Värme- och ventilationssystem

Husen har ett ventilationssystem som drivs genom mekanisk frånluft. Luften kommer in i huset genom ventiler i sov-, vardags- och allrummens fönster och sugs ut genom kök och badrum. Frånluften återvinns i en frånluftsvärmepump som återför värmen till radiator och tappvarmvattensystemet. Tillskottsvärme till systemet sker genom direktverkande el i varmvattenberedare. Värmesystemet kan även kopplas samman med fjärrvärme och kompletteras med bergvärme eller jordvärmeslingor. Värme distribueras genom ett vattenburet golvvärmesystem som förstärkts med radiatorer. I tvåplanshus sker all uppvärmning på övervåningen med radiatorer.

### 6.3 Metod

#### 6.3.1 Allmänt

Båda husen är modellerade och simuleras enligt sitt grundutförande. För att kunna jämföra konsekvenserna av energibesparande åtgärder i LB Bo01 huset simuleras även detta för ett fall då med samma brukarvanor som i kataloghusen. Notera att dessa skiljer sig från de som ansatts under föregående kapitel vid verifieringen av simuleringsprogrammet.

Förutom de brukarvanor som ansatts enligt kapitel 3.6.6, Fördelning av ingående brukarvanor, genomförs även simuleringar för brukarvanor vilka Boverket förespråkar. Dessa beskrivs kortfattat under kommande kapitel 6.3.2 Brukarvanor.

Simuleringar genomförs och jämförs beträffande:

- Krav på energianvändning enligt BBR 12
- LB Hus AB undersökningar för energianvändningen i Ugglan 135 samt Steglitsen utförda i Enorm med brukarvanor enligt Boverket
- Simulerad energianvändning i VIP+ för Ugglan 135 och Steglitsen med brukarvanor enligt kapitel 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor
- Simulerad energianvändning i VIP+ för Ugglan 135 och Steglitsen med brukarvanor enligt Boverket
- Simulerad energianvändning enligt VIP+ för LB Bo01 huset med brukarvanor enligt Boverket
- Under analys och slutsatserna jämförs och diskuteras även skillnaderna i energibehov mellan ett en- och tvåplanshus beroende på förhållandet mellan deras omslutande area och BOA

#### 6.3.2 Klimatdata

Befintlig klimatdata i VIP+ har använts vid simulering. Denna baseras på en tioårsperiod mellan 1993 och 2003. För ytterligare information hänvisas till Användaremanual för VIP+ version 4.0.1.<sup>176</sup>

#### 6.3.3 Simuleringsprogram

Simuleringarna genomförs huvudsakligen i VIP+. I de fall där det underlättat har sammansatta material lyfts ut och analyserats separat i HEAT 3.

<sup>176</sup> Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006) *VIP+. Manual Version 4.0.1*. Malmö.

## 6.4 Modellering av Ugglan 135 samt Steglitsen

### 6.4.1 Allmän data

För att underlätta en jämförelse mot LB Bo01 huset och samtidigt undvika omfattande förändringar är stora delar av allmän data samma som vid verifieringen av simuleringsprogrammet enligt kapitel 5, Verifiering av simuleringsprogram. Ansatt allmän data redovisas nedan.

- Solabsorptionen på klimatskalets yttre del har ansatt till 70 procent.
- Solreflektion mot mark har med avseende på kringliggande markmaterial ansatts till 25 procent.
- Horisontvinkeln i olika väderstreck presenteras i tabell 6.1 nedan.

Tabell 6.1 Ansatta horisontvinklar vid simulering.

Nord	Nordost	Öst	Sydost	Syd	Sydväst	Väst	Nordväst
28	43	58	49	49	76	72	59

- Vindhastigheter kring byggnaden antas vara 70 procent av värde från klimatdatafil. Detta ska motsvara något skyddad bebyggelse.<sup>177</sup>
- Malmö, Växjö, Stockholm eller Sundsvall har ansatts som referensstad för respektive simulering.

### 6.4.2 Brukarvanor

Simuleringar genomförs med brukarvanor för två olika modeller. En enligt brukarvanor som presenteras i kapitel 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor. För att kunna jämföra LB Hus AB interna simuleringar i Enorm mot resultat i VIP+ simuleras även samma brukarvanor som finns där. Dessa bygger på Boverkets handbok, Termiska beräkningar<sup>178</sup>, och benämns i denna rapport som ”brukarvanor enligt Boverket”. Flertalet av de specifika värden som anges i Boverkets handbok, Termiska beräkningar<sup>179</sup>, bygger på medel- eller normalfördelade värden som inte presenteras närmare i denna rapport. Intresserade läsare hänvisas till att själv söka efter denna information med hjälp av referenser enligt nedan.

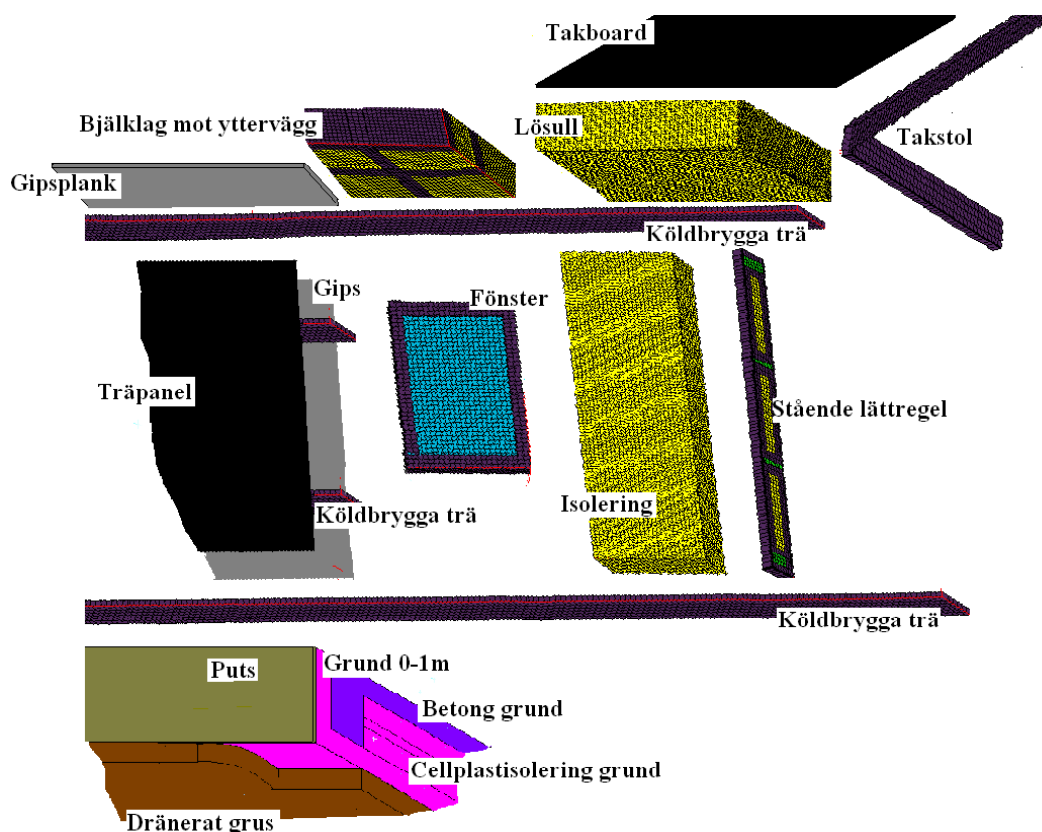
### 6.4.3 Uppbyggnad av klimatskal

Precis som vid modellering för LB Bo01 huset har klimatskalet brutits ner i mindre delar vid modellering. Klimatskalets uppbyggnad baseras på interna produktions- och konstruktionsritningar hos LB Hus AB. Sekretesskäl gör att dessa inte redovisas närmare. Kommande sida visar en illustration över hur byggnaderna delats upp.

<sup>177</sup> Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006) *VIP+. Manual Version 4.0.1*. Malmö.

<sup>178</sup> Boverket. (2003), *Termiska beräkningar – rumsklimat, värmeisolering, transmissionsförluster och omfördelningsberäkning – Handbok*. Karlskrona.

<sup>179</sup> Ibid.



Figur 6.6 Uppdelning av byggnadsdelar för analys

Rena material enligt tabell 3.9, Materialdata vilken huvudsakligen används i studien, har används enskilt samt för uppbyggnad av komplexa sammansatta material. Metoden för uppbyggnad av sammansatta material är den samma som beskrivits i kapitel 5.4.3, Uppbyggnad av klimatskal. Sammansatta material som använts vid modellering av Ugglan 135 samt Steglitsen sammanfattas i tabell nedan.

Tabell 6.2 Data för sammansatta materia i LB Bo01 huset.

	Värmelednings förmåga	Densitet	Värme kapacitet	Volym Värmekapacitet <sup>1</sup>	Program
	$\lambda$	$\rho$	$c_p$		
<b>Sammansatta material</b>	[W/m,K]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[J/kg, K]	[MJ/m <sup>3</sup> , K]	
Stående lättregel <sup>1</sup>	0,117	368 <sup>2</sup>	1949 <sup>2</sup>	0,717	HEAT3
Bjälklag mot yttervägg	0,046	71	980	0,0696	VIP+
HÖRN	0,15	199	1952	0,388	VIP+
Grund 0-1 m	0,15	1439 <sup>2</sup>	903 <sup>2</sup>	1,3	HEAT 3

1. Handberäknat med hjälp av densitet och värmekapacitet.
2. Handberäknat med hjälp av andelen ingående material.



Utöver presenterade värden ovan har data för klimatskalet enligt nedan ansatts i modellen

- Läckageflöde har enligt P-märkningskrav för LB Hus AB satts till 0,8 l/s, m<sup>2</sup> <sup>180</sup>
- Glasandel i öppningsbara fönstren är 64 procent <sup>181</sup>
- Glasandel för fönster med fast karm är 81 procent <sup>182</sup>
- U-värden för fasta och öppningsbara fönster är satt till 1.3 W/m<sup>2</sup> och K <sup>183</sup>
- U-värden för dörrar med fönster är 1.4 W/m<sup>2</sup> och K <sup>184</sup>
- U-värden för dörrar utan glas är 1.0 W/m<sup>2</sup> och K <sup>185</sup>
- Skuggfaktorerna F1 och F2 har räknats fram, enligt ekvation 18 samt 19, och ansatts till 72 respektive 56 procent <sup>186</sup>

#### 6.4.4 Värme- och ventilationssystem

Principen för Ugglan 135 samt Steglitsens värme och ventilationssystem har redovisats tidigare. Nedan anges värden som räknats fram och ansatts vid simulering.

- Ventilerad volym i byggnaderna har kontrollerats med interna studier hos LB Hus AB samt beräknats med hjälp av ritningar till 323 m<sup>3</sup> för Ugglan 135 samt 375 m<sup>3</sup> för Steglitsen.
- Frånluftsventilationsflöde har enligt krav i BBR 12 ansatts till 0,53 oms/h för Ugglan 135 och 0,5 oms/h för Steglitsen.
- Ventilationsflödet antas vara konstant över hela året.
- Frånluftsvärmepumpens värmefaktor för båda husen är ansatt till 2,8<sup>187</sup> <sup>188</sup>
- Båda husens kondensoreffekt för frånluftsvärmepumpen har ansatts till 2000 W<sup>189</sup>
- Frånluftsvärmepumpens värmefaktor till tappvarmvatten har för båda husen ansatts till 2,2<sup>190</sup>
- Lägsta tillåtna inomhustemperatur har med hänvisning till figur 2.5, Andelen tillfredsställda personer beroende av operativ temperatur, ansatts till 22°C
- Eftersom husen saknar kylsystem har maximal tillåten inomhustemperatur satts till 40°C

### 6.5 Modell för jämförelse av resultat

I första hand jämförs simulerad energianvändning för Ugglan 135 och Steglitsen mot fastställda krav i BBR 12.

För att ge en uppfattning om energieffektiviserande åtgärder i LB Bo01 huset jämförs även simulerad energianvändning för Steglitsen med detta hus. I dessa fall jämförs endast

<sup>180</sup> SP. (2002). *SPs Certifieringsregler för P-märkning av prefabricerade byggnader – SPCR 008*.

<sup>181</sup> Elitfönster AB, produkter, Elit original trä. Internet.

<sup>182</sup> Ibid.

<sup>183</sup> Ibid.

<sup>184</sup> Borodörren AB, Produktkatalog. *Ytterdörrar – som förskönar ditt hus*.

<sup>185</sup> Ibid.

<sup>186</sup> Elitfönster AB, produkter, Elit original trä. Internet.

<sup>187</sup> IVT Industrier AB (2005), *Installationshandbok – Värmepump IVT 490, utgåva 1.0*.

<sup>188</sup> Oskarsson, Ove, LB Hus AB. Personlig kommunikation.

<sup>189</sup> IVT Industrier AB (2005), *Installationshandbok – Värmepump IVT 490, utgåva 1.0*.

<sup>190</sup> Ibid.

Boverkets brukarvanor. Förutsättningar för vindpåverkan, frånluftsvärmepump och mängden luftomsättningar har satts lika vid simulering.

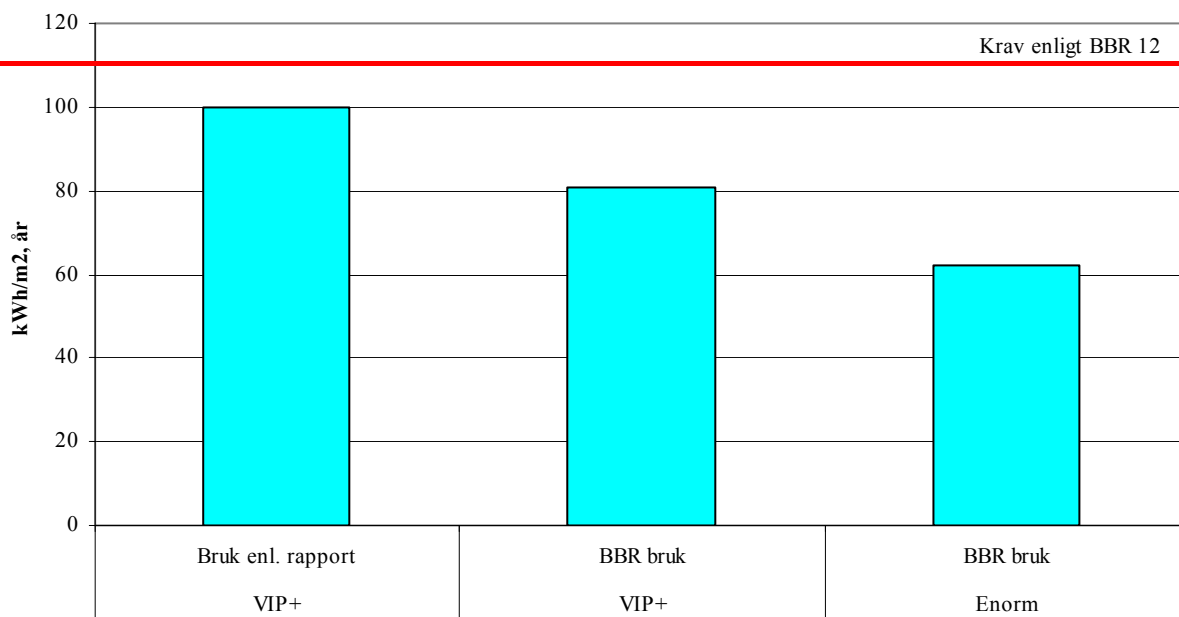
Tillgången på information i simuleringsprogram samt resultat från interna undersökningar utförda i Enorm ger möjlighet till en jämförelse mellan programmen VIP+ och Enorm. Förutom simulerad energianvändning kan värmetillskott frånluftsvärmepump samt transmissions- och ventilationsförluster jämföras. Vidare kan olikheter mellan simulerat värmetillskott från hushållsel, solinstrålning och frånluftsvärmepump studeras. BBR bruk innebär i tabeller under kapitel 6.5, Resultat, att brukare vanor enligt Boverket ansatts vid simulering samt att inomhustemperaturen är 20°C.

Jämförelserna mellan krav i BBR och resultat från simuleringar har delats upp mellan de två hustyperna samt undersökta städer. Simulerad energianvändning presenteras i diagram och tabellform. Jämförbara resultat mellan VIP+ samt Enorm presenteras i tabellform.

## **6.6 Resultat**

Krav på energianvändning samt simulerat behov för olika brukarvanor och program ställs mot varandra i figurer och tabeller som följer.

### 6.6.1 Malmö – Ugglan 135



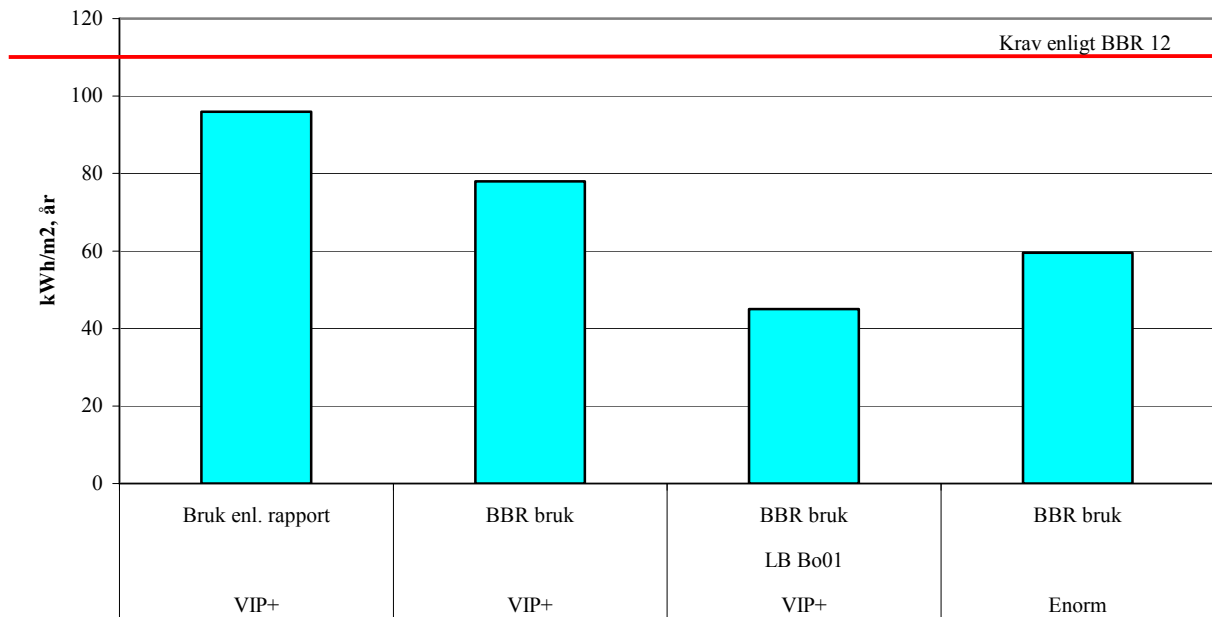
Figur 6.7 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Ugglan 135 i Malmö

Tabell 6.3 Simulerade värden för Ugglan 135 i Malmö kWh/m<sup>2</sup> och år.

	<b>BBR 12</b>	<b>VIP+</b>	<b>VIP+</b>	<b>Enorm<sup>1</sup></b>
	<b>Krav</b>	<b>Bruk enl. rapport</b>	<b>BBR bruk</b>	
Energibehov	110	100	81	62
Trans och läck förluster	-	115	89	92
Ventförluster	-	52	47	48
Värme person och el	-	45	45	40
Värme sol	-	9	9	34
Åter VP	-	52	43	52

1. Interna dokument LB Hus AB

## 6.6.2 Malmö – Steglitsen



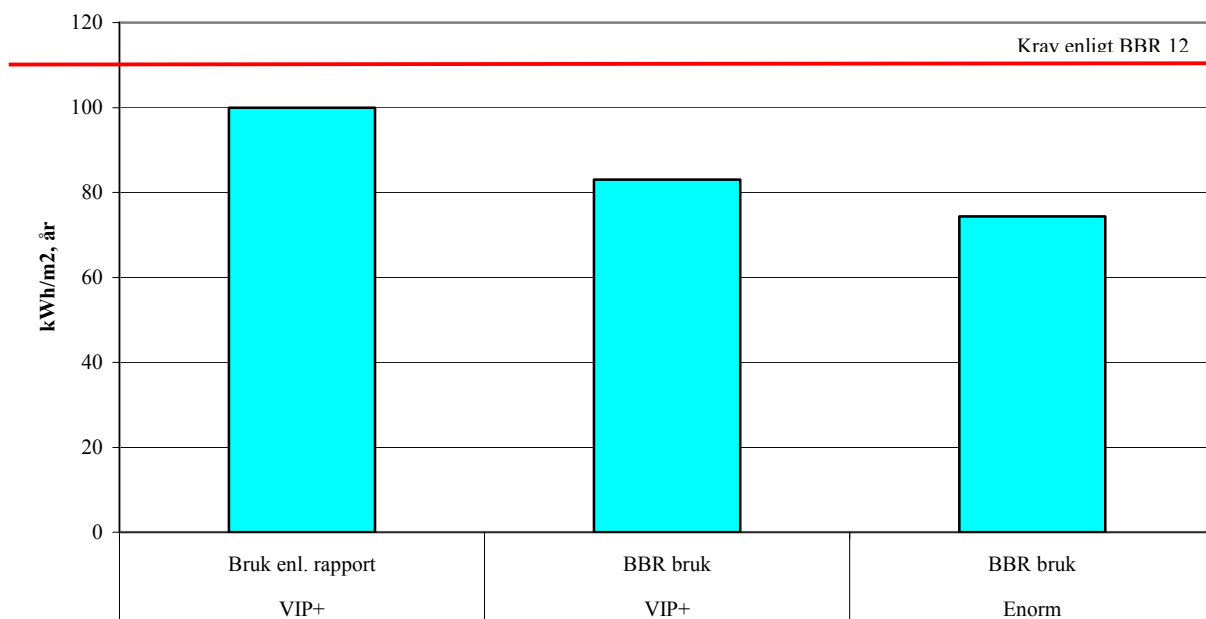
Figur 6.8 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Steglitsen i Malmö

Tabell 6.4 Simulerade värden för Steglitsen i Malmö kWh/m<sup>2</sup> och år.

	BBR 12	VIP+	VIP+	VIP+	Enorm <sup>1</sup>
				LB Bo01	
	Krav	Bruk enl. rapport	BBR bruk		
Energibehov	110	96	78	45	60
Trans och läck förluster	-	121	107	70	91
Ventförluster	-	52	46	47	48
Värme person och el	-	41	41	41	36
Värme sol	-	15	15	13	42
Åter VP	-	55	49	51	48

1. Interna dokument LB Hus AB

### 6.6.3 Växjö – Ugglan 135



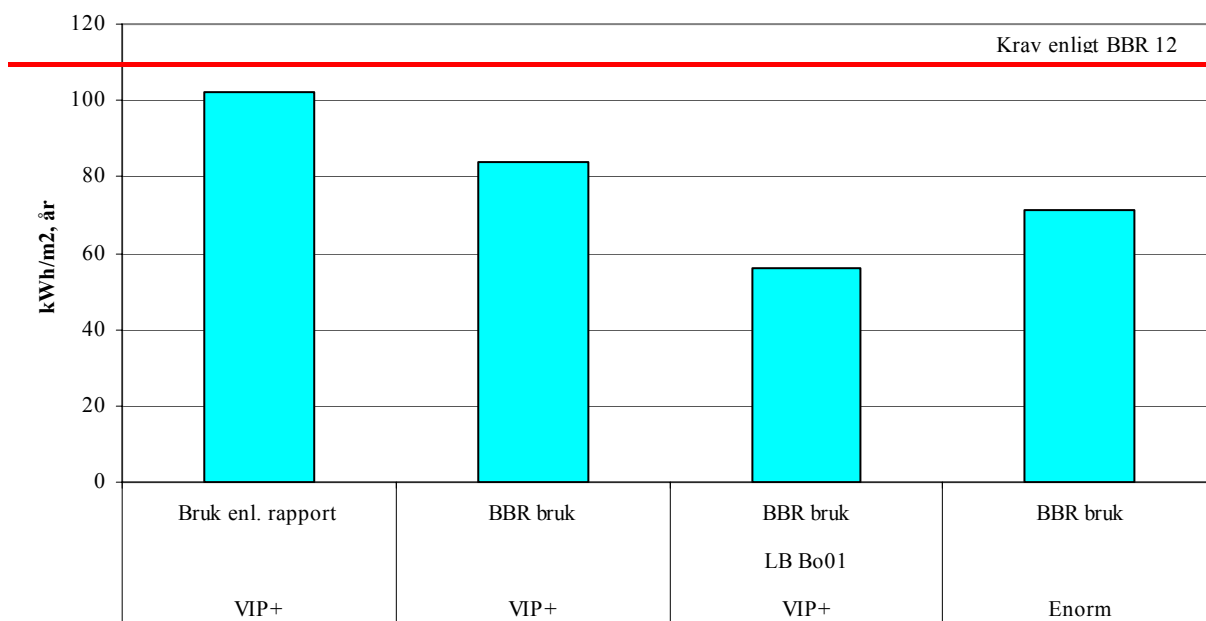
Figur 6.9 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Ugglan 135 i Växjö

Tabell 6.5 Simulerade värden för Ugglan 135 i Växjö kWh/m<sup>2</sup> och år.

	<b>BBR 12</b>	<b>VIP+</b>	<b>VIP+</b>	<b>Enorm<sup>1</sup></b>
	<b>Krav</b>	<b>Bruk enl. rapport</b>	<b>BBR bruk</b>	
Energibehov	110	100	83	74
Trans och läck förluster	-	111	98	103
Ventförluster	-	58	52	54
Värme person och el	-	45	45	42
Värme sol	-	8	8	36
Åter VP	-	54	45	53

1. Interna dokument LB Hus AB

## 6.6.4 Växjö – Steglitsen



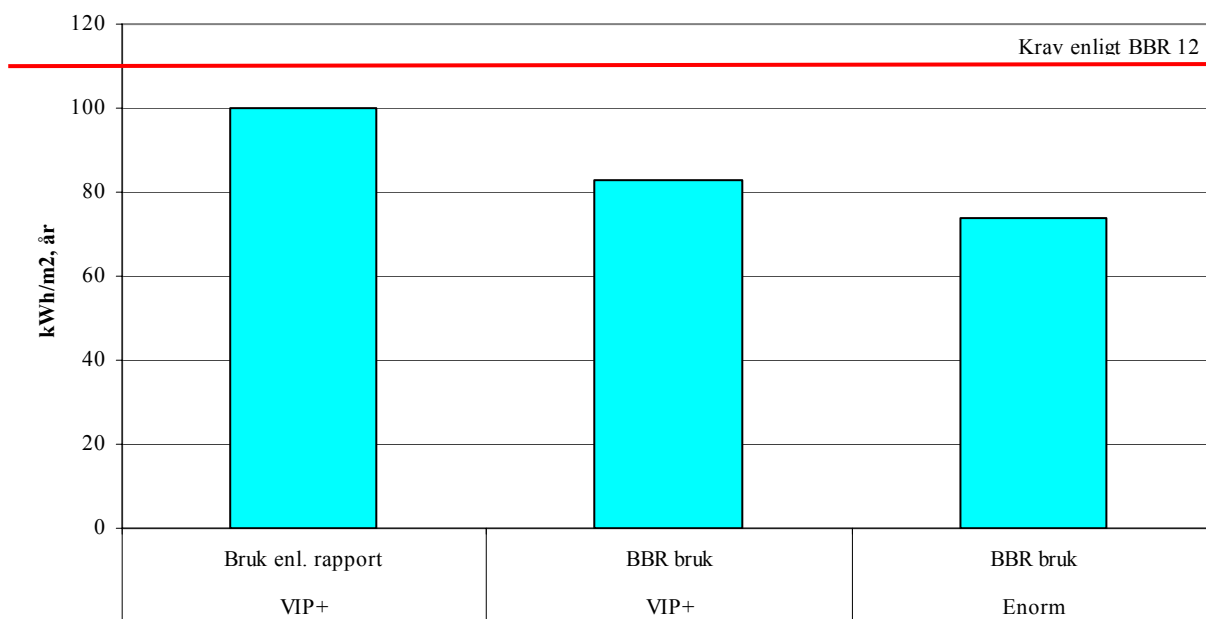
Figur 6.10 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Steglitsen i Växjö

Tabell 6.6 Simulerade värden för Steglitsen i Växjö kWh/m<sup>2</sup> och år.

	BBR 12	VIP+	VIP+	VIP+	Enorm <sup>1</sup>
	Krav	Bruk enl. rapport	BBR bruk	LB Bo01	
Energibehov	110	102	84	56	71
Trans och läck förluster	-	121	108	78	103
Ventförluster	-	58	52	52	54
Värme person och el	-	41	41	41	38
Värme sol	-	13	13	12	45
Åter VP	-	56	51	53	49

1. Interna dokument LB Hus AB

### 6.6.5 Stockholm – Ugglan 135



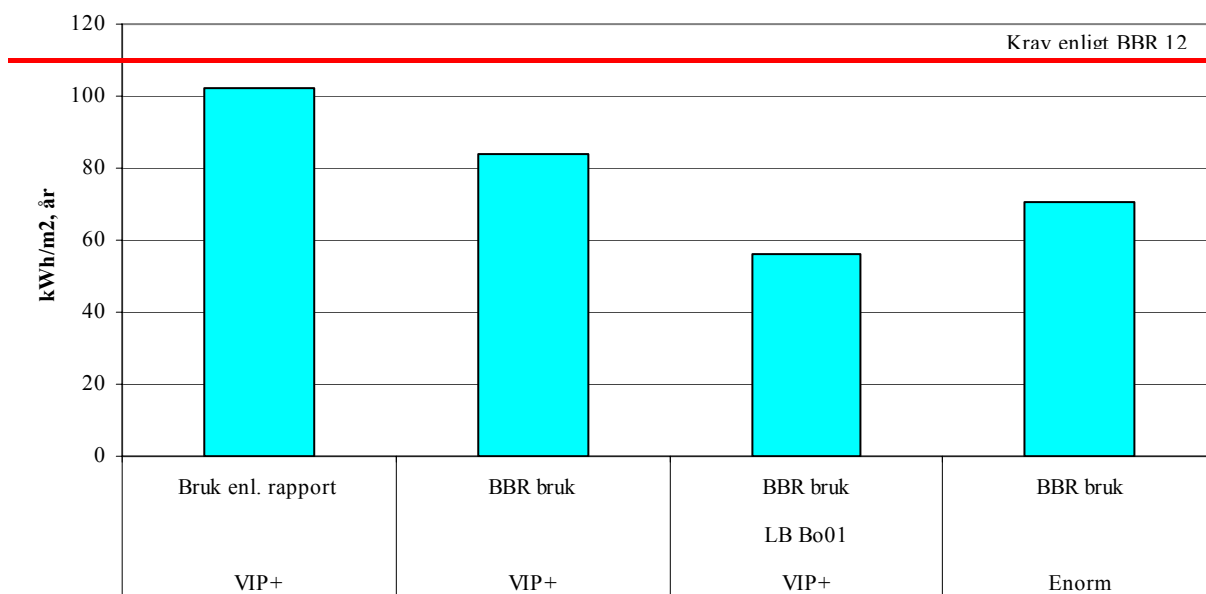
Figur 6.11 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Ugglan 135 i Stockholm

Tabell 6.7 Simulerade värden för Ugglan 135 i Stockholm kWh/m<sup>2</sup> och år.

	<b>BBR 12</b>	<b>VIP+</b>	<b>VIP+</b>	<b>Enorm<sup>1</sup></b>
	<b>Krav</b>	<b>Bruk enl. rapport</b>	<b>BBR bruk</b>	
Energibehov	110	100	83	74
Trans och läck förluster	-	110	97	102
Ventförluster	-	57	52	54
Värme person och el	-	45	45	42
Värme sol	-	8	8	36
Åter VP	-	52	44	53

1. Interna dokument LB Hus AB

### 6.6.6 Stockholm – Steglitsen



Figur 6.12 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Steglitsen i Stockholm

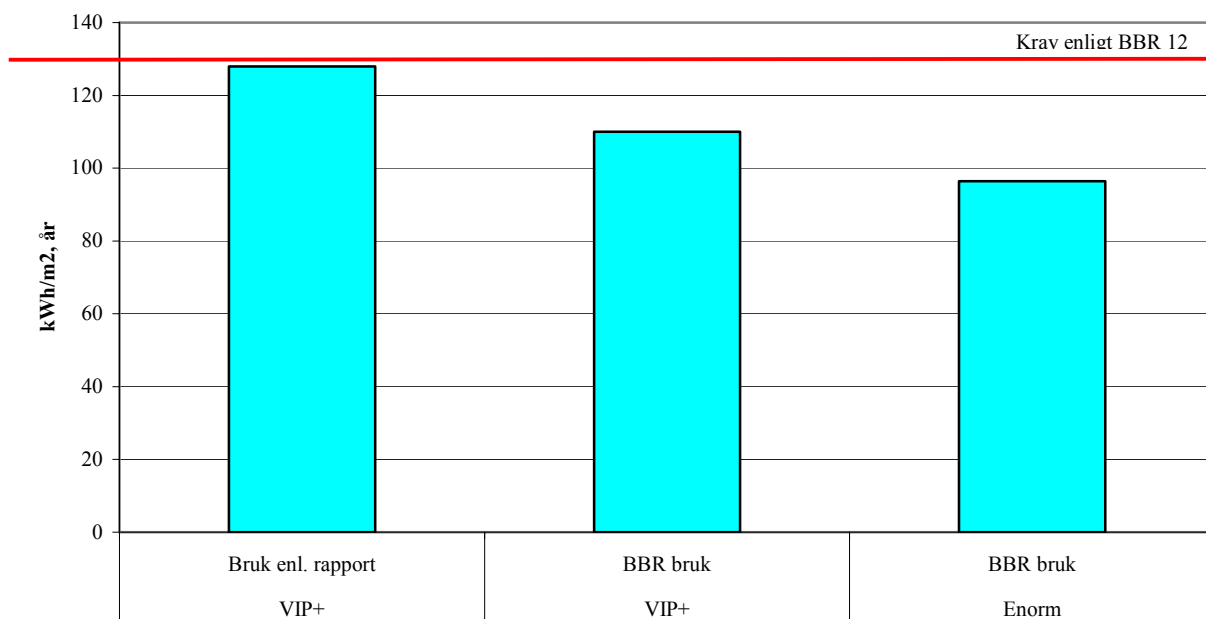
Tabell 6.8 Simulerade värden för Steglitsen i Stockholm kWh/m<sup>2</sup> och år.

	BBR 12	VIP+	VIP+	VIP+	Enorm <sup>1</sup>
	Krav	Bruk enl. rapport	BBR bruk		
				LB Bo01	
Energibehov	110	102	84	56	70
Trans och läck förluster	-	120	107	77	102
Ventförluster	-	57	51	52	53
Värme person och el	-	41	41	41	37
Värme sol	-	13	13	11	45
Åter VP	-	55	50	53	49

1. Interna dokument LB Hus AB



## Sundsvall – Ugglan 135



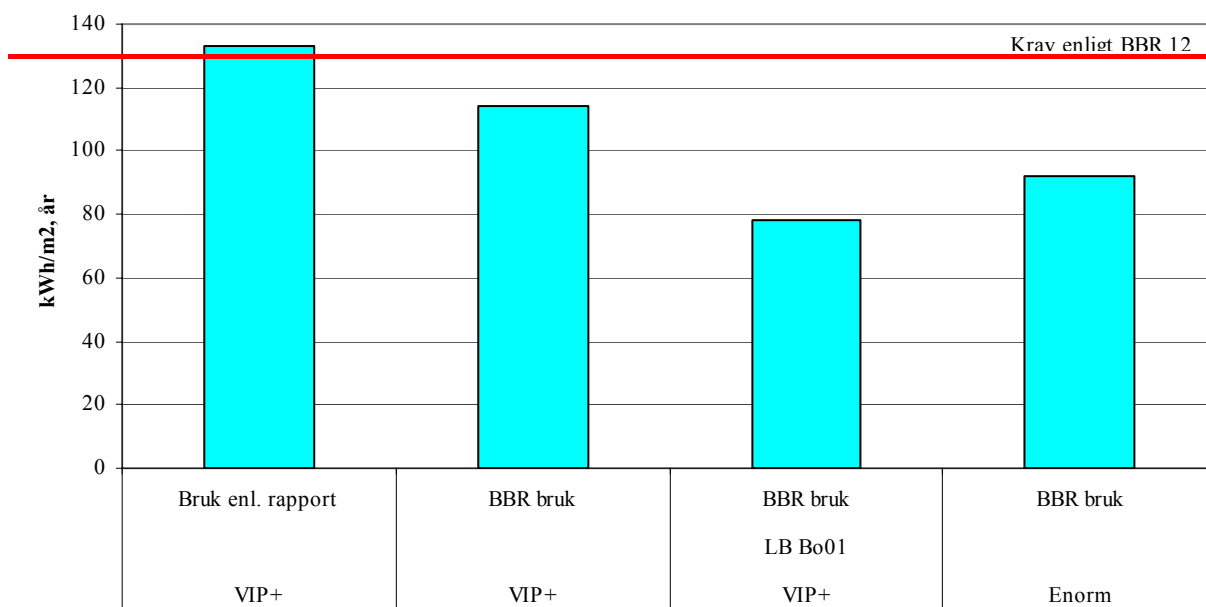
Figur 6.12 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Ugglan 135 i Sundsvall

Tabell 6.8 Simulerade värden för Ugglan 135 i Sundsvall kWh/m<sup>2</sup> och år.

	<b>BBR 12</b>	<b>VIP+</b>	<b>VIP+</b>	<b>Enorm<sup>1</sup></b>
	<b>Krav</b>	<b>Bruk enl. rapport</b>	<b>BBR bruk</b>	
Energibehov	130	128	110	96
Trans och läck förluster	-	128	115	122
Ventförluster	-	70	63	65
Värme person och el	-	45	45	45
Värme sol	-	7	7	40
Åter VP	-	55	47	54

1. Interna dokument LB Hus AB

### 6.6.7 Sundsvall – Steglitsen



Figur 6.12 Simulerat energibehov och krav enligt BBR 12 för Steglitsen i Sundsvall

Tabell 6.8 Simulerade värden för Steglitsen i Sundsvall

	BBR 12	VIP+	VIP+	VIP+	Enorm <sup>1</sup>
	Krav	Bruk enl. rapport	BBR bruk	LB Bo01	
Energibehov	130	133	114	78	92
Trans och läck förluster	-	143	129	94	122
Ventförluster	-	69	62	63	64
Värme person och el	-	41	41	41	41
Värme sol	-	12	12	10	50
Åter VP	-	59	55	59	50

1. Interna dokument LB Hus AB

## 6.7 Analys

### 6.7.1 Simulerat energibehov i VIP och uppfyllelse av krav i BBR 12

Både Ugglan 135 och Steglitsen klarar energikraven enligt BBR 12 i alla på alla de orter som studerats utom i Sundsvall där Steglitsens energibehov ligger  $3 \text{ kWh/m}^2$  och år över godkänt energibehov. I städerna Malmö, Växjö och Stockholm visar simuleringarna på ett energibehov mellan  $8$  och  $14 \text{ kWh/m}^2$  och år under kraven i BBR 12. För Sundsvall klarar sig Ugglan 135 under kravet med  $2 \text{ kWh/m}^2$  och år marginal medan Steglitsen överskrider kravet med överskrider kraven med  $3 \text{ kWh/m}^2$  och år.

Eftersom energibehovet sänks om inomhustemperaturen sänks till  $20^\circ\text{C}$  och Boverkets brukarvanor ansätts visar simuleringarna att samtliga hus klarar krav enligt BBR 12 för dessa fall. Marginalen till energibehovskraven blir också större. Simuleringarna för Ugglan 135 visar att Malmö, Växjö och Stockholm uppfyller kraven enligt BBR 12 med mellan  $27$  och  $29 \text{ kWh/m}^2$  och år. I Sundsvall skiljer det  $20 \text{ kWh/m}^2$  och år mellan krav enligt BBR 12 och simulerat energibehov med inomhustemperatur på  $20^\circ\text{C}$  samt Boverkets brukarvanor. I Malmö klarar Steglitsen kraven med en marginal på  $32 \text{ kWh/m}^2$  och år. För Växjö och Stockholm visar simuleringarna att samma marginal är  $26 \text{ kWh/m}^2$  och år. Steglitsen simulerad i Sundsvall med inomhustemperatur  $20^\circ\text{C}$  samt Boverkets brukarvanor ansatta klarar BBR 12 krav med  $16 \text{ kWh/m}^2$  och år.

### 6.7.2 Skillnad i simulerat energibehov för undersökta hus

Simuleringar för olika brukarvanor i samtliga studerade städer för Ugglan 135 samt Steglitsen visar att energibehovet per kvadratmeter är ungefär lika stort för dem båda.

Byggnadernas form gör att Ugglan 135 har en större omslutande area jämfört med Steglitsen. Detta innebär också energibehovet borde vara lägre för Steglitsen än för Ugglan 135 eftersom mindre omslutande area även innebär mindre transmissionsförluster. Simuleringarna visar dock att husen i stort sett har lika stort energibehov.

Noggrannare studie av husen visar att Steglitsen har större fönsterarea och högre andel köldbryggor jämfört Ugglan 135. Fönsterarean är cirka  $50$  procent större och andelen köldbryggor ungefär dubbelt så stor per kvadratmeter golvarea i förhållande till Ugglan 135. Den höga andelen köldbryggor beror främst på bjälklaget mellan entré och övervåning samt taket över vardagsrumsdelen. Andelen fönster och köldbryggor i Steglitsen kompenserar för den mindre omslutande arean.

### 6.7.3 Energibehovets inverkan av brukarvanor

Brukarvanorna påverkar energibehovet i stor utsträckning. En sänkning av inomhustemperaturen från  $22^\circ\text{C}$  till  $20^\circ\text{C}$  samt ansättning av Boverkets brukarvanor sänker energibehovet med mellan  $17$  och  $19 \text{ kWh/m}^2$  och år beroende på hus och stad. Detta motsvarar i sin tur mellan  $14$  och  $18$  procent av det totala energibehovet per år.

### 6.7.4 Resultat av energibesparande åtgärder i LB Bo01 huset

LB Bo01 huset klarar med god marginal energikrav enligt BBR 12. Energebrevet ligger mellan  $28$  och  $36 \text{ kWh/m}^2$  och år lägre för LB Bo01 huset jämfört Steglitsen. Detta innebär att de åtgärder som genomförts på LB Bo01 huset sänker energibehovet för värme och tappvarmvatten med mellan  $32$  och  $42$  procent.

Besparingarna för LB Bo01 huset ligger i reducerade transmissions- och ventilationsförluster. Dessa har reducerats bland annat genom ett tätt klimatskal, ökad isolering, konstruktionslösningar med låg andel köldbryggor samt fönster med hög isolerförmåga.

### **6.7.5 Jämförelse mellan simulerat energibehov i VIP+ och Enorm**

Jämförelse mellan simulerat energibehov i VIP+ och Enorm visar att studerade hus har ett betydligt högre energibehov enligt VIP+. Energiförbehovet enligt VIP+ är mellan 9 och 19 kWh/m<sup>2</sup> och är högre än vad simuleringar i Enorm visar. Detta motsvarar ett högre energibehov på 11 till 23 procent beroende på undersökt stad.

#### **Transmissions- och läckageförluster**

Noggrannare analys av simulerat energibehov i VIP+ och Enorm visar på skillnader i transmissions- och läckageförluster. Det högre energibehovet som påvisas i VIP+ jämfört Enorm också avspeglar sig också i transmissions- och ventilationsförlusterna.

Under modellering av de båda husen observerades att Steglitsen hade en mer komplicerad konstruktion än Ugglan 135. Invecklade konstruktioner kan ge upphov till svårigheter bland annat i att bygga ett väl fungerande tätskikt. Simuleringarna tar dock inte hänsyn till detta eftersom samma läckageflöde ansatts för båda husen.

I detta fall ger den komplicerade konstruktionen också fler köldbryggor. Vid modellering i VIP+ har köldbryggor beräknats från konstruktions- och produktionsritningar. I Enorm sker inte detta utan köldbryggorna ansätts efter en schablon baserat på dess sträcka<sup>191</sup>. Trots att Steglitsen har drygt dubbelt så stor andel köldbryggor som Ugglan 135 så ansätts samma ungefär värde vid simuleringar i Enorm.

Simuleringar, vilka inte redovisas, visar att läckage i kombination med inverkan från vind påverkar läckageförluster genom klimatskalet i relativt stor utsträckning. Detta beror av över och undertryck som vinden skapar på olika delar av klimatskalet. För simuleringarna i VIP+ har påverkan av vind satts till 70 procent vilket motsvarar något skyddad bebyggelse. I Enorm ges ingen möjlighet att ansätta och variera vindens påverkan. Utgångspunkterna för vindens påverkan i Enorm är således oklara. Vindens påverkan och läckageförlusterna analyseras närmare i kommande kapitel 7.6, Luftläckage.

#### **Ventilationsförluster**

Skillnaderna i ventilationsförluster mellan VIP+ och Enorm är mindre än fyra procent för samtliga simulerade fall.

#### **Värmetillskott från personer och hushållsel**

Även värmetillskott från personer och hushållsel stämmer väl överens mellan de båda simuleringsprogrammen. Avvikelserna är dock något större och uppgår i ett enstaka fall till 12 procent.

---

<sup>191</sup> Oskarsson, Ove, LB Hus AB. Personlig kommunikation.

### Värmetillskott från solinstrålning

Simulerat värmetillskott från solstrålning skiljer sig kraftigt mellan i VIP+ och Enorm. Tidigare undersökningar hos LB Hus AB med Enorm visar på ett betydligt högre värmetillskott från solstrålning än vad VIP+ ger. För vissa jämförelser anger Enorm ett värmetillskott från solinstrålning som är över sju gånger så högt som samma simulering i VIP+.

För att kunna jämföra Steglitsen med LB Bo01 huset används samma horisontvinklar som för LB Bo01 huset i alla simuleringar. Dessa presenteras i Tabell 6.1, Ansatta horisontvinklar vid simulering, och innebär i praktiken att husen till stor del ligger i skugga.

Ansatta värden för solinstrålning i LB hus AB interna simuleringar är betydligt högre än vad som är relevant. Simuleringsprogrammet Enorm tar heller inte hänsyn till horisontvinklar och andra skuggande objekt. Framst för Steglitsen visar simuleringar i Enorm på ett orimligt högt värmetillskott från solinstrålning.

Enorm antar också att all solinstrålning kan tillgodogöras för uppvärmning. Även den som kommer huset tillgodo under sommaren när inget uppvärmningsbehov föreligger.

### Utvunnen värme från värmepump

Huvudsakligen överensstämmer den värme som utvinns med hjälp av frånluftsvärmepump för de båda simuleringsprogrammen.

#### 6.7.6 Felkällor

Vid modellering av husen kan avläsnings samt mätfel göra att en felaktig modell byggs i simuleringsprogrammet. Modellerna går heller aldrig helt att efterlikna verkligheten. Notera att modelleringsfel även kan förekomma i tidigare undersökningar utförda av LB Hus AB i Enorm.

Påverkan av brukarvanor är stor och syns tydligt i resultatet från simuleringarna. Eftersom människor skiljer sig på individnivå är ansatta värden garanterat felaktiga. Dessa beror helt av vem eller vilka som bor i undersökta hus. Ett lätt sätt att undvika detta problem vid jämförelser är att mäta och simulera obebodda hus.

Brister i möjligheten att ansätta ekvivalent data mellan VIP+ och Enorm skapar skillnader i resultatet från simuleringar. Det finns helt enkelt inte möjlighet att ansätta värden i samma utsträckning i Enorm som i VIP+. I programmen kan även olika beräkningsmetoder finnas vilka i sin tur påverkar resultatet på olika sätt. Olikheterna i programmen skapar i sin tur felkällor i samband med att resultat från de båda ska ställas mot varandra. Exempel på detta är vinden som visar sig påverka läckageförlusterna vid simulering i VIP+. Denna faktor går inte att påverka i Enorm.

Osäkerheter för vissa ansatta värden i Enorm kan ge upphov till fel i samband med jämförelse av resultat från de båda programmen. Bland annat har en horisontvinkel ansatts vis simulering i VIP+. Hur hänsyn tagits till skuggning samt horisonten framgår inte från simuleringar i Enorm.

Vid jämförelse mellan Steglitsen och LB Bo01 huset är det viktigt att påtala att husen inte är identiska. Utseendemässigt är de lika men Steglitsen är cirka 10 kvadratmeter större och har till viss del en annan form. LB Bo01 huset bygger på en föregående hustyp till Steglitsen.

## 6.8 Slutsatser

Om brukarvanor enligt kapitel 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor ansätts vid simulering så klarar studerade hus energibehovskraven enligt BBR 12 bortsett från Steglitsen om denna är lokaliserad i Sundsvall. Om Boverkets brukarvanor samt en inomhustemperatur på 20°C ansätts klarar samtliga studerade hus kraven med god marginal.

Både Ugglan 135 och Steglitsen har orealistisk höga värden beträffande värmetillskottet från solinstrålning vid simuleringar i Enorm. Även om simulerade hus i VIP+ har modellerats med en hög omgivande horisontvinkel samt skuggor så är det inte troligt att steglitsen ska kunna tillgodogöra 7500 kWh/år genom solinstrålning. Orsaken är att tillgodogjord solinstrålning i Enorms simuleringar är glädjekalkylerade. Vidare tas inte horisontvinkeln och omgivande objekt som skuggar fastigheten med. Utöver detta så räknar Enorm med att tillgodogjord solvärme under icke uppvärmningssäsong kan tillgodoräknas för uppvärmning av simulerat hus. LB Hus AB bör se över möjligheten att begränsa solinstrålningen samt ansatta parametrar för denna i programmet Enorm. Eftersom Enorm inte tar hänsyn till att solinstrålningen ej kan användas för uppvärmning om det inte föreligger något uppvärmningsbehov så borde denna räknas bort.

Steglitsens höga energibehov beror också av stor fönsterarea samt en hög andel köldbryggor främst i tak och bjälklag. För att minska energibehovet bör Steglitsens konstruktion för bjälklag mellan entré och ovanvåning samt takkonstruktion över vardagsrum ses över.

Brukarvanorna har stor betydelse för husens energianvändning. Boverkets brukarvanor för tappvarmvattenanvändning, inomhustemperatur kan ifrågasättas. Eftersom brukarvanor påverkar energianvändningen bör vanor för LB Hus AB kunder studeras och sedan ansättas vid beräkning av husens energibehov.

Åtgärder som gjordes på LB Bo01 huset minskar energibehovet med 32-42 procent i undersökta städer.

För enkelt uppbyggda konstruktioner påvisar simuleringar i VIP+ och Enorm ett likartat energibehov. För en mer komplicerad konstruktion som Steglitsen är skillnaderna mellan simulerat energibehov betydande. Schabloner som ansätts i Enorm ger också ett sämre resultat. Andelen köldbryggor som ansätts i Enorm och VIP+ är ett exempel på där skillnaderna mellan schabloner och exakt uppmätta värden är omfattande och betydelsefull för resultatet. Det visar också riskerna med att använda schabloner. Vidare gäller att desto mer komplicerad en konstruktion är desto svårare är det att uppföra den. Förutom fler köldbryggor ökar risken för fel i komplexa konstruktioner. För byggnader kan svårigheterna till exempel yttra sig i att få huset tätt vilket genererar en högre energianvändning.

Enorm har också brister i möjligheten att ansätta indata beträffande vindens påverkan av energianvändningen. Simuleringar i VIP+ visar att vindens påverkan av en byggnad i kombination med dess läckageflöde genom klimatskalet kan ha stor påverkan för energianvändningen.

Ventilationsförluster samt värmestillskott från personer och hushållsel stämmer väl överens mellan de båda programmen. Simuleringar visar även den energi som värmepumpen genererar är ungefär lika för de båda programmen.

## 7 Energieffektiviserande förändringar

*Förändringar och dess energibesparande effekt presenteras. I huvudsak rör dessa konstruktionsförändringar avseende köldbryggor, lufttäthet, tjocklek på klimatskal, solvärme, värmeåtervinningssystem samt diverse installationstekniska system.*

Energieffektiviserande förändringar kan schematiskt delas upp i tre olika områden.

### **Energibesparing**

Energibesparing bygger på att minska värmeförlusterna. Huvudsakligen kan detta göras genom att minska transmissions-, ventilations- och läckageförlusterna. I denna studie studeras hur transmissionsförlusterna kan minskas genom ökad isolering, minskad andel köldbryggor samt bättre fönster. Läckageförlusterna studeras genom att se förändringarna av tätare hus i kombination med vindens påverkan. För nyproducerade hus gäller i regel att just energibesparande åtgärder bör prioriteras<sup>192</sup>. Genom att minska förlusterna minskas beroendet av energiutvinning, energiåtervinning samt andelen köpt energi. Rätt utformat påverkas även komforten och det termiska klimatet positivt.

### **Energiutvinning**

Det finns flera olika former för att utvinna energi i en byggnad. I detta arbete undersöks möjligheterna att utnyttja lokal energiutvinning i form av solvärme för uppvärmning av både husen och tappvarmvatten.

### **Energiåtervinning**

Energiåtervinning i byggnader kan ske på flera olika sätt. Grundläggande gäller att energi som är på väg att lämna huset i någon form återvinns och återförs till byggnaden. Förutom frånluftsvärmepump, FTX- system, kan även energi i till exempel spillvatten återvinnas. Denna studie undersöker nyttan och skillnaden mellan att använda FTX- system eller frånluftsvärmepump för att återvinna energi i frånluften. Vidare studeras också energibehovet om effektivare FVP- system installeras.

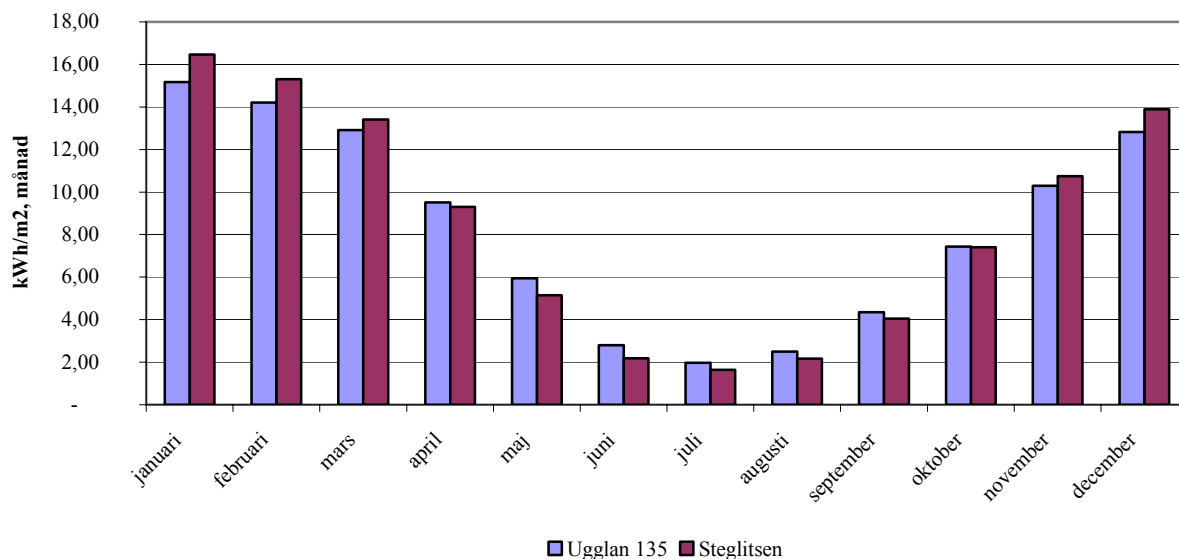
---

<sup>192</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.



## 7.1 Förutsättningar

Effekterna av energibesparande åtgärder undersöks på de två hus, Ugglan 135 och Steglitsen, som studerats tidigare. Nedan presenteras deras energibehov för Stockholm om husen modellerats i sitt grundutförande. Detaljerad beskrivning för grundutförandet framgår under kapitel 6.3 Modellering av Ugglan 135 samt Steglitsen.



Figur 7.1 Energibehov för värme och tappvarmvatten per månad för Ugglan 135 och Steglitsen modellerade enligt grundutförande i Stockholm.

Tabell 7.1 Energibehov samt energibalans i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och Steglitsen modellerade enligt grundutförande i Stockholm.

		Ugglan 135	Steglitsen
Köpt energi	Energibehov	100	102
Avgiven	Trans förluster	102	111
	Läck förluster	8	9
	Vent förluster	58	57
	Tappvarmvatten	37	33
Tillskott	Värme sol	8	13
	Åter FTX	-	-
	Åter VP	52	55
	Solfångare	-	-
	Värme el	29	26
	Värme person	15	14
	Elbehov	33	33
	Värmebehov	67	68

## 7.2 Metod

Befintliga modeller av husen används, uppförda enligt det grundutförande som beskrivs i kapitel 6. Husens energibehov för deras grundutförande redovisas i kapitel 7.1, Förutsättningar. Efter det att energibesparade förändringar gjorts i modellen simuleras husen på nytt. Skillnader mellan simulerat energibehov före och efter förändring jämförs och analyseras.

Energibesparande förändringar studeras i simuleringsprogrammen VIP+ och HEAT3. Vissa förändringar studeras i både VIP+ och HEAT3 medan andra endast studeras i ett av de två programmen.

Förändringar och dess konsekvenser på energianvändningen presenteras, undersökts och analyseras successivt. Med resultatet från simuleringarna som grund ges även förslag på både direkta och långsiktiga åtgärder för att minska energibehovet hos undersökta hus. Direkta åtgärder syftar till att kunna genomföras omgående i produktionen medan långsiktiga är systemberoende eller krångligare i större utsträckning.

Notera att studiens viktigaste faktor är att utreda hur energibehovet förändras beroende av olika lösningar. Detta innebär att andra parametrar som till exempel komfort, inneklimat och statik inte analyseras djupare. I huvudsak gäller dock att statiska lösningar ska vara möjliga samt att komfort och inneklimat inte ska påverkas negativt för presenterade åtgärder.

För att begränsa omfattningen av studien har nästintill alla simuleringarna begränsats till en stad. Med anledning av att Mälardalen är den region där LB Hus AB säljer flest hus har Stockholm valts till referensstad för vilken effekter av åtgärderna studeras<sup>193</sup>. Detta gäller dock inte skillnaderna mellan FTX- system och frånluftsvärmepump. Dessa studeras för de fyra städerna, Malmö, Växjö, Stockholm och Sundsvall, som tidigare undersökts.

## 7.3 Isolertjocklek i klimatskal

### 7.3.1 Syfte

Avsnittet syftar till att utreda konsekvenserna för studerade hus energibehov vid en ökad tjocklek av isolering i grund, tak och väggar.

### 7.3.2 Metod

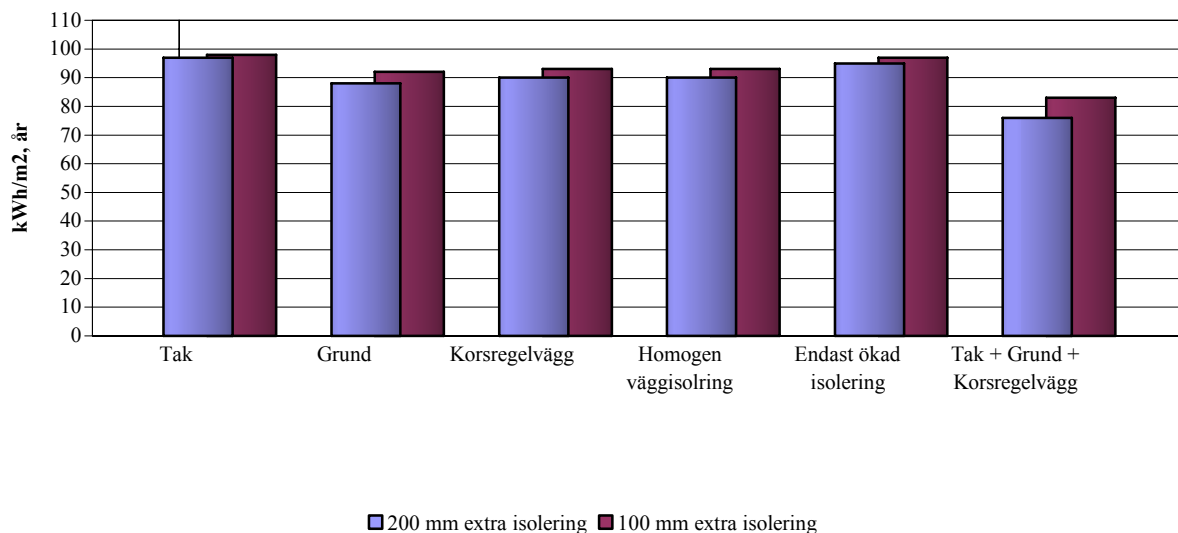
Isolertjockleken i grund, tak och väggar ökas utvändigt. Detta sker genom att ytterligare isolerskikt läggs in i de modeller som byggts upp i VIP+. För väggar görs tre olika skikt. Ett med korsreglar som minskar stora delar av befintliga köldbryggor. Ett skikt med homogen isolering som tar bort samtliga köldbryggor samt ett där endast isoleringen ökas och befintliga köldbryggor finns kvar. Väggarnas ytterhörn har modellerats som enskild enhet i VIP+ och förändras då isolerskiktet i husens väggar förändras. Slutligen utreds den energibesparande effekten om isolertjockleken ökas i för grund, tak och väggar samtidigt.

---

<sup>193</sup> Johansson, Mikael. LB Hus AB. Personlig kommunikation.

### 7.3.3 Resultat

#### Ugglan 135

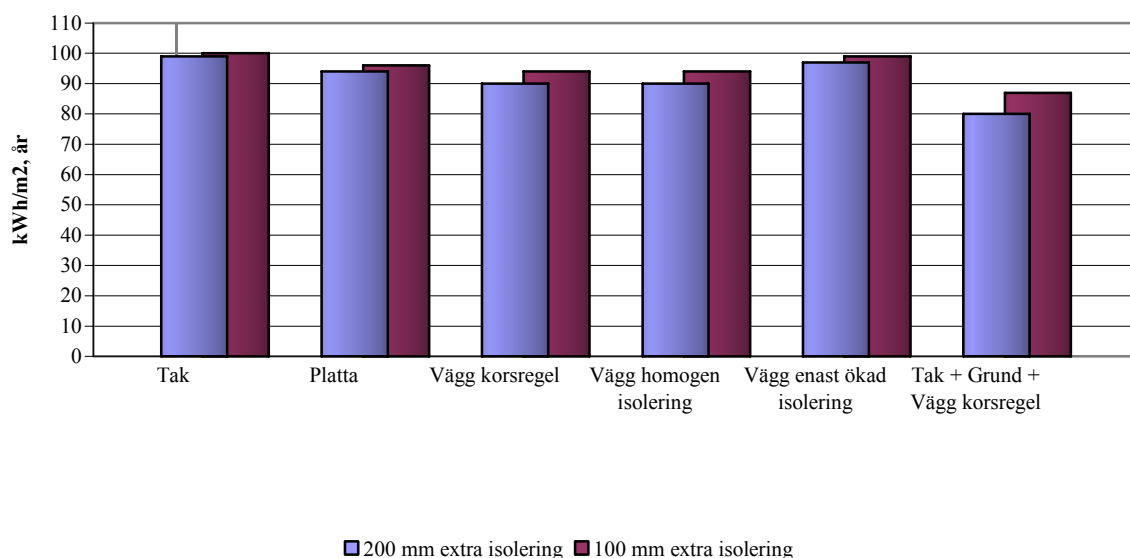


Figur 7.2 Energibehov per år efter ökad isolertjocklek på byggnadsdelar för Ugglan 135.

Tabell 7.2 Energibehov samt energibesparing i kWh/m<sup>2</sup> och år efter ökad isolertjocklek jämfört grundutförande för Ugglan 135. Jämför med grundfallet som har ett energibehov motsvarande cirka 102 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Byggnadsdel	Ökad isolering		Ökad isolering	
	200 mm	Besparing	100 mm	Besparing
Tak	97	3	98	2
Grund	88	12	92	8
Korsregelvägg	90	10	93	7
Homogen väggisolering	90	10	93	7
Endast ökad isolering	95	5	97	3
Tak + Grund + Korsregelvägg	76	24	83	17

## Steglitsen



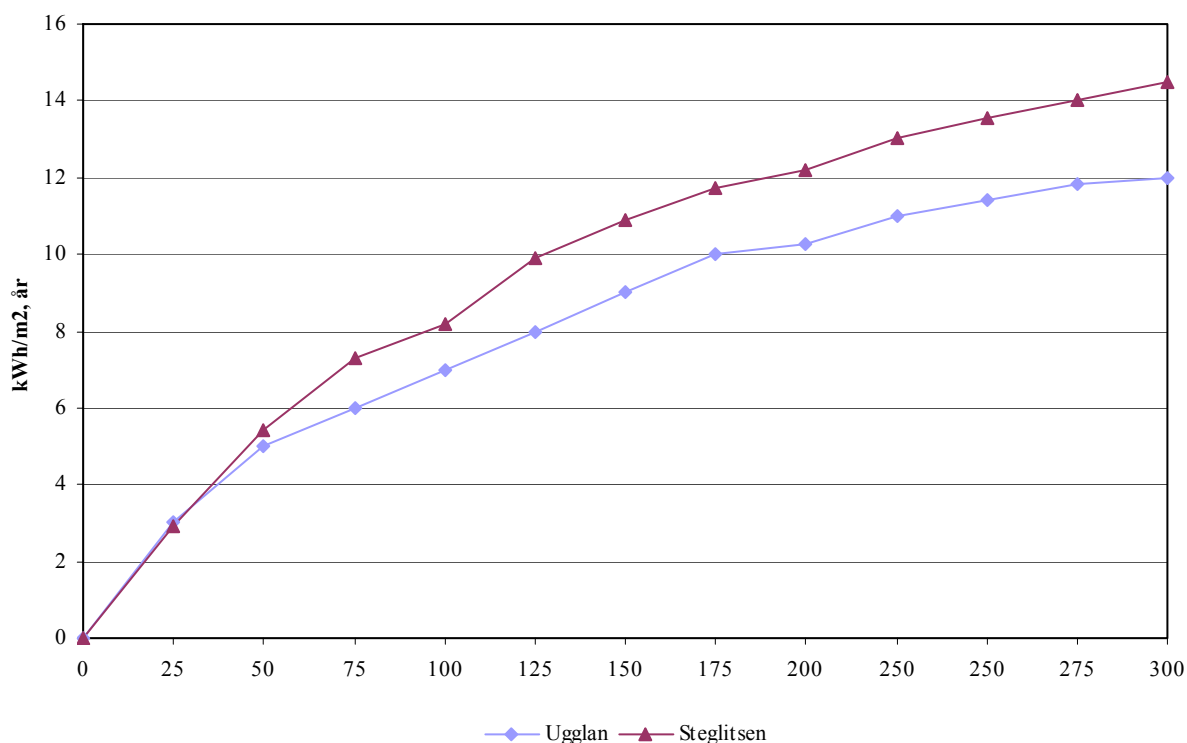
Figur 7.3 Energibehov per år efter ökad isolertjocklek på byggnadsdelar för Steglitsen.

Tabell 7.3 Energibehov samt energibesparing i kWh/m<sup>2</sup> och år efter ökad isolertjocklek jämfört grundutförande för Steglitsen. Jämför med grundfallet som har ett energibehov motsvarande cirka 102 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Byggnadsdel	Ökad isolering		Ökad isolering	
	200 mm	Besparing	100 mm	Besparing
Tak <sup>1</sup>	99	3	100	2
Grund	94	8	96	6
Korsregelvägg	90	12	94	8
Homogen väggisolering	90	12	94	8
Endast ökad isolering	97	5	99	3
Tak + Platta + Korsregelvägg	80	22	87	15

1. Köldbrygga från genomgående takbjälkar har brutits vid applicering av tjockare isolering

## Inverkan av ökad isolertjocklek



Figur 7.4 Energibesparing i förhållande till korsregelväggs tjocklek.

Tabell 7.4 Energinbehov samt energibesparing i kWh/m<sup>2</sup> och år efter ökad isolertjocklek i korsregelvägg jämfört grundutförande

Ökning av isolertjocklek	0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
Uggulan energibehov	100	97	95	94	93	92	91	90	90	89	89	88	88
Uggulan energibesparing	0	3	5	6	7	8	9	10	10	11	11	12	12
Steglitsen energibehov	102	99	97	95	94	92	91	90	90	89	88	88	88
Steglitsen energispar.	0	3	5	7	8	10	11	12	12	13	14	14	14

### 7.3.4 Analys

Ökad isolering i tak minskar energibehovet med två till tre procent för 100 respektive 200 millimeter extra isolering.

Energibesparingen blir åtta respektive tio procent vid ökad isolering i plattan för Uggulan 135. Simuleringar för Steglitsen visar på en lägre energibesparing, sex respektive åtta procent, än Uggulan 135 vid tjockare isolering i plattan. Detta beror bland annat av att Steglitsen är ett tvåplans hus lägre andel area mot mark jämfört Uggulan 135. Den förhållandevis stora energivinsten som görs vid extra isolering i plattan beror till stor del av att förlusterna från golvvärmsystemet minskas. Vid ökad isolering i plattan bör möjligheterna att minska köldbryggor studeras. Vidare är det viktigt att grundläggningen utförs så att det inte finns risk för tjälskjutning vid låga utomhustemperaturer.

Simuleringarna visar att det är mycket liten skillnad i energibesparing mellan extra väggisolering i form av en korsregelvägg eller ett homogent isolerskikt. För Uggulan 135 sänker de energibehovet med sju respektive tio procent. För Steglitsen är sänkningen tio respektive

12 procent. I detta fall blir besparingen större för Steglitsen av samma anledning som isoleringen i plattan gav större besparing för Ugglan 135. Andelen omslutande area i form av yttervägg är större för Steglitsen jämfört Ugglan 135. Skillnaden mellan korsregelvägg och homogent isolerskikt är att i korsregelväggen blir punktköldbryggor kvar där reglarna möts medan det homogena isolerskicket bryter alla köldbryggor.

Tjockare isolering utan att bryta köldbryggorna ger en betydligt lägre sänkning av energibehovet. För båda husen sänks energibehovet med tre respektive fem procent. Detta ska ställas i relation till att om köldbryggorna samtidigt eliminerats dubblas energibesparingen.

100 millimeter extra isolering i platta, väggar och tak minskas energibehovet med två till åtta procent om det genomförs på enskilda byggnadsdelar. Om isoleringen ökas för platta, väggar och tak samtidigt minskas energibehovet med 15 procent.

För 200 millimeters extra isolering minskas energibehovet med tre till 12 procent för respektive byggnadsdel. Vid extra isolering i platta, väggar och tak samtidigt blir minskningen 24 procent för Ugglan 135 samt 22 procent för Steglitsen.

Simuleringarna visar att svaga synergieffekter nås genom att öka isoleringen på flera byggnadsdelar samtidigt. Synergieffekterna visar dock att energibesparingen blir lägre om alla åtgärder införs samtidigt jämfört med om de summeras var för sig. Total energibesparing för samtliga enskilda byggnadsdelarna är ungefär lika stor som om isoleringen ökas i tak, grund och väggar samtidigt.

Extra isolering i form av en korsregelvägg ger bäst verkan de 50 till 70 första millimetrarna. I intervallet noll till 70 millimeter resulterar de i en sänkning som ungefär motsvarar 1 kWh/m<sup>2</sup> och år per tio millimeter. Om korsregelväggens tjocklek är mellan 70 och 200 millimeter krävs 25 millimeter extra isolering för att erhålla en lika stor sänkning av energibehovet. Med en korsregelvägg som är tjockare än 200 millimeter behövs cirka 50 millimeter extra isolering för att sänka energibehovet med 1 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Om isoleringen ökas med 200 millimeter i tak och platta samt med 225 millimeter i väggar klarar Ugglan 135 energibehovskrav enligt BBR 12. För Steglitsen ligger energibehovet 3 kWh/m<sup>2</sup> och år över kravet även om isolertjockleken i tak och platta ökas med 200 mm samt väggarna med 300 millimeter.

### **7.3.5 Slutsatser**

Om LB Hus AB prioriterar att öka isolertjockleken ska detta göras på väggar eller i plattan. Ökad isolering i taket som enskild åtgärd är minst lönsamt och orealistisk åtgärd eftersom det ger en så liten effekt. Simuleringar visar att isolering i väggar bör ökas med upp till 70 millimeter för att få bäst verkningsgrad. Om ytterligare isolering krävs bör kan väggen göras upp till 200 millimeter tjockare. Det är ytterst tveksamt om det över huvud taget är rimligt att som enskild åtgärd öka isoleringen i väggarna med mer än 200 millimeter eftersom det ger en förhållandevis liten energibesparing.

Oavsett var isoleringen ökas så ska huvudsyftet vara att bryta köldbryggor då det är där den stora energibesparingen ligger. Ytterligare utredning om köldbryggor följer i kapitel 7.4, Köldbryggor, nedan.

Ökad isolertjocklek i kombination med att bryta köldbryggor är ett bra sätt att sänka energibehovet. Frågan är dock om det är ekonomiskt relevant med tanke på ökade produktions och materialkostnader. Att öka isolertjocklek kan också vara ett bra komplement tillsammans med andra åtgärder i syfte att sänka husens energibehov. I samband med att tjockare isolering ökar i regel också betydelsen av byggnaders täthet. För att undvika fuktrelaterade skador måste husen konstrueras tätare om tjockare isolering appliceras. Anledningen till detta är att det är svårare att torka ut fukt i byggnaden eftersom det är svårare för värmen att tränga in och torka ut denna.

Införandet av extra isolerskikt är en omfattande förändring som även kräver att LB Hus AB utvecklar nuvarande byggsystem. Extra isolering i väggar bedöms som en omständligare åtgärd i förhållande till mer isolering i plattan. Det sistnämnda kräver dock åtgärder för att förhindra tjälskjutning.

## **7.4 Köldbryggor**

### **7.4.1 Syfte**

Kapitlet syftar till att undersöka köldbryggor i specifika byggnadsdelar samt anslutningen mellan olika byggnadsdelar i Ugglan 135 samt Steglitsen. Vidare ges förslag på förändringar som minskar transmissionsförlusterna samt dess inverkan. Köldbryggors betydelse för energibehovet utreds ytterligare i förhållande till vad som gjorts i föregående kapitel. Köldbryggor i och i anslutning till fönster studeras separat i kommande kapitel.

### **7.4.2 Metod**

Anslutningar mellan byggnadsdelar samt enskilda materialdelar där köldbryggor antas förekomma studeras. Olika byggnadsdelar undersöks i det simuleringsprogram som anses lämpligast. Förutom att befintliga delar och konstruktioner studeras presenteras även förslag på förändringar. Utöver den kortfattade presentation om förändringar som ges nedan kan de studeras ytterligare genom figurer i kommande kapitel, 7.4.3, Resultat, tillsammans med den befintliga byggnadsdelen eller konstruktionen.

Enskilda byggnadsdelar som studeras samt hur detta sker redovisas i punktform enligt nedan:

- Hammarband – Värmeflödet för tre olika utförande av hammarband studeras i HEAT3 samt för det totala energibehovet i VIP+. I det första fallet studeras ett massivt hammarband. I de andra fallen består hammarbandet av två liggande regler med mellanrum som mineralull placerats i.
- Lättreglar – Värmeflödet i LB hus AB lättreglar studeras och jämförs mot massiva regler samt lättreglar bestående av två flänsar och ett liv av träfiberskiva i HEAT3. De olika reglarnas inverkan på hela husens energibehov studeras även i VIP+.
- Massiva regler – Totala värmeledningen genom massiva regler och kringliggande mineralull jämförs med om reglarna bytts ut mot flera lättreglar eller en lättregelkonstruktion bestående av två massiva flänsar med utanpåliggande liv. Studien genomförs i HEAT3 samt generellt för byggnadernas energibehov i VIP+.

Anslutningar mellan olika byggnadsdelar som studeras samt på vilket sätt det genomförts redovisas i punktform nedan. Delar av de förändringar som föreslås bygger på ett extra isolerskikt för att bryta köldbryggor.

- Mellanbjälklag – Transmissionsförlusterna genom mellanbjälklaget och dess anslutningar i från av syll, hammarband samt över och underreglar studeras i HEAT3. Konsekvenserna av minskade transmissionsförluster och Steglitsens totala energibehov om mellanbjälklagets lyftes in och vilar på inre delen av lättregeln undersöks i HEAT3 samt VIP+.
- Takfot – Värmeflödet genom takfoten och dess anslutningar modelleras i HEAT3 för att sedan även jämföras med förändringar i syfte att bryta köldbryggor. Föreslagna förändringar bygger på att ett extra isolerskikt samt smalare hammarband. Svårigheter att modellera takfotens konstruktion i VIP+ gör att endast värmeflödet studeras för olika ytor studeras.
- Hörn – Transmissionsförluster i ytterhörn modelleras i HEAT3 och jämförs med förändringar som syftar till att bryta köldbryggor. Inverkan för andelen hörn studeras i VIP+.
- Platta – Värmeflödet i anslutningen mellan lättregelvägg och plattan samt genom plattan mot uteluft undersöks i HEAT3 samt för hela byggnadernas energibehov i VIP+. Förslag på förändringar av plattans konstruktion studeras.

Energibesparande effekt då samtliga köldbryggor bryts studeras i VIP+ och jämförs sedan med de summerade besparingarna om varje åtgärd genomförts enskilt.

I flera HEAT3 modeller har så pass korta randvillkor ansatts att förhållanden för värmeflödet inte blir stabila över hela modellen. Motivet är att det endast är köldbryggorna som studeras och inte flödet i anslutande konstruktion.

Flera modeller som simuleras har på grund av begränsningar i HEAT fått förenklas. Framst har detaljer förändrats eller försumrats. Sekretesskäl gör att detaljerade ritningar över studerade delar inte redovisas.

Statiska beräkningar på föreslagna konstruktionsförändringar har inte genomförts. Presenterade förändringar har dock diskuterats med statiker och då inget särskilt nämns så bedöms de som möjliga att genomföra.

### 7.4.3 Resultat

#### Hammarband

Hammarbandet är 230 millimeter tjockt och täcker hela lättregelns ovansida. Hammarband utfört av massivt trä har ett värmeledningsförmåga motsvarande 0,14 W/m och K. Simuleringar i HEAT3 visar att om det istället konstrueras med två parallella regler om vardera 110 millimeter med ett mellanrum på tio millimeter fyllt med mineralull så sänks värmeledningsförmågan till 0,124 W/m och K. Om utrymmet mellan reglarna ökas till 70 millimeter sänks värmeledningsförmågan till 0,076 W/m och K.

Skillnaden mellan hammarband av massivt trä och med tio millimeters mellanliggande isolering sänker energibehovet i Ugglan 135 med 0,11 kWh/m<sup>2</sup> och år. Vid 70 millimeter mellanliggande isolering minskar behovet med 0,16 kWh/m<sup>2</sup> och år. För Steglitsen sänks



energibehovet med  $0,21 \text{ kWh/m}^2$  och år vid tio millimeters mellanliggande isolering. Med 70 millimeters mellanliggande isolering sänks energibehovet med  $0,49 \text{ kWh/m}^2$

Tabell 7.5 Totalt energibehov i  $\text{kWh/m}^2$  och år för Ugglan 135 och Steglitsen beroende av vilken typ hammarband som används i byggnaden.

Hus	Massiva hammarband <sup>1</sup>	Hammarband med 10 mm isolering	Hammarband med 70 mm isolering
Ugglan 135	99,92	99,81	99,76
Steglitsen	102,39	102,18	101,90

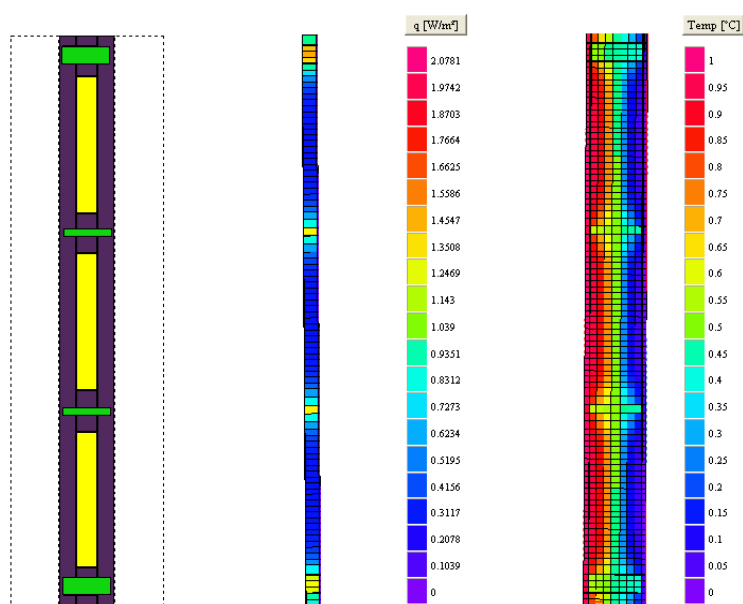
## 1. Hammarband vid grundutförande

### Lättreglar

Tre olika typer av regler har studerats. En massiv regel, en lättregel med mellanliggande klossar enligt figur 7.5 samt en lättregel med två flänsar och ett liv av träfiberskiva enligt figur 7.6.

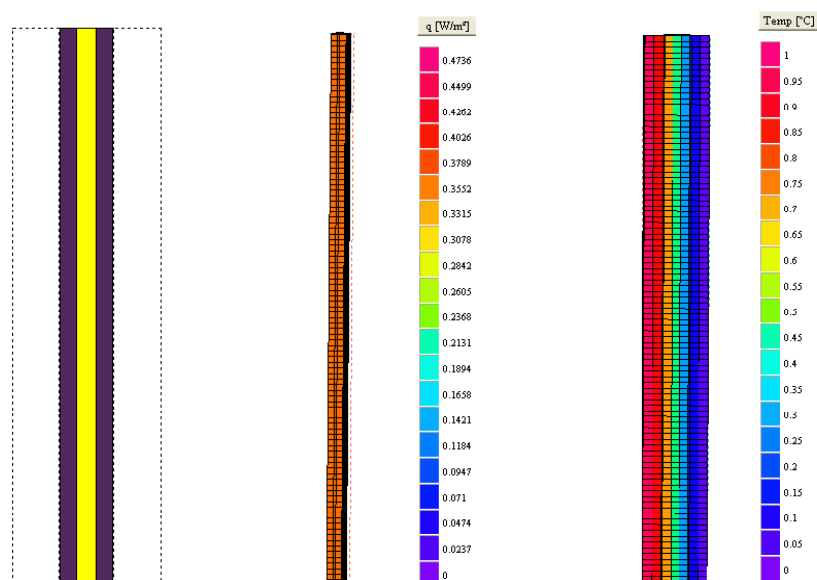
Massiva regler har en värmeledningsförmåga på  $0,14 \text{ W/m och K}$ . Simuleringar i VIP+ visar att Ugglan 135 hade haft ett energibehov på  $100,28 \text{ kWh/m}^2$  och år om det konstruerats med massiva regler istället för LB Hus AB lättreglar. Detta är  $0,36 \text{ kWh/m}^2$  och år mer jämfört med dagens lättreglar. För Steglitsen ökar energibehovet med  $0,41 \text{ kWh/m}^2$  och år till  $102,8 \text{ kWh/m}^2$  och år.

HEAT3 visar att genomsnittliga värmeledningen för LB Hus AB lättreglar är  $0,115 \text{ W/m och K}$ . Regelns konstruktion gör dock att värmeledningsförmågan och temperaturen varierar för olika delar. Vid klossarna, som utgör regelns liv, är värmeledningsförmågan upp till  $0,3 \text{ W/m och K}$ . De delar som består av två 70 millimeters regler med mellanliggande mineralull har en värmeledningsförmåga på cirka  $0,046 \text{ W/m och K}$ . Illustration över LB Hus AB lättregelkonstruktion samt dess värmeledningsförmåga och temperatur redovisas i figur 7.5. LB Hus AB lättregel är den som används vid grundutförandet av Ugglan 135 och Steglitsen. Husens energibehov har tidigare redovisats,  $99,92$  för Ugglan 135 och  $102,39$  för Steglitsen.



Figur 7.5 Illustration över LB Hus AB lättregel samt dess värmeledningsförmåga och temperaturfördelning.

Simuleringar i HEAT3 har också gjorts för en 230 millimeter tjock lättregel bestående av två flänsar och ett genomgående liv av träfiberskiva. För att klara laster har flänsar dimensionen 70 gånger 45 millimeter och livet är sju millimeter tjockt<sup>194</sup>. Genomsnittlig värmeledningsförmåga för denna typ av lättregel är 0,083 W/m och K. Trots att livet ligger i mitten av regeln delas värmeledningsförmågan inte upp nämnvärt i horisontalld. Illustration över simulerad lättregel visas i figur 7.6 nedan. Om befintlig lättregel byts ut mot den som beskrivs i avsnittet ovan blir det totala energibehovet 99,24 för Ugglan 135 och 101,67 för Steglitsen. Detta innebär en sänkning med 0,68 respektive 0,72 kWh/m<sup>2</sup> och år.



Figur 7.6 Illustration över värmeledningsförmåga samt temperaturfördelning för en lättregel med två 70 millimeter tjocka flänsar samt ett sju millimeter mellanliggande liv.

Förändring av totalt energibehov beroende på vilka regler som används har, som tidigare nämnts, simulerats i VIP+ och sammanfattas i tabell nedan.

Tabell 7.6 Totalt energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och Steglitsen beroende av vilka lättreglar som används i byggnaden.

Hus	Massiva regler	LB HUS AB lättregel <sup>1</sup>	Lättregel med liv av träfiberskiva
Ugglan 135	100,28	99,92	99,24
Steglitsen	102,8	102,39	101,67

## 1. Reglar vid grundutförande

### Massiva regler

För att klara statiska hållfasthetskrav förekommer en betydande andel massiva regler i byggnader från LB Hus AB. Enligt tidigare angivet har en massiv regel en värmeledningsförmåga på 0,14 W/m och K. En 45 millimeter massiv regel med ytterligare 22,5 millimeters isolering på vardera sidan, vilket motsvara två lättreglar i bredd, har värmeledningstalet 0,089 W/m och K. Motsvarande värmeledningstal om isolering ökas till 56 millimeter på vardera sida är 0,067 W/m och K.

<sup>194</sup> Dover, Per. LB Hus AB. Personlig kommunikation

Om den massiva regeln ersätts med två lättreglar blir värmeledningstalet istället 0,115 W/m och K.

En lättregel med två flänsar av 140 x 45 regler, vilka ger samma bärande volym som två lättreglar, som hålls samman med ett liv av två stycken åtta millimeters utanpåliggande träfiberskivor ger värmeledningstalet 0,063 W/m och K. Volymen mellan flänsarna och livet förutsätts vara fyllda med mineralull.

Om massiva regler byts ut mot en lättregel med värmeledningstalet 0,063 W/m och K visar simuleringar i VIP+ att energibehovet för Ugglan 135 samt Steglitsen sjunker med 0,14 respektive 0,51 kWh/m<sup>2</sup> och år.

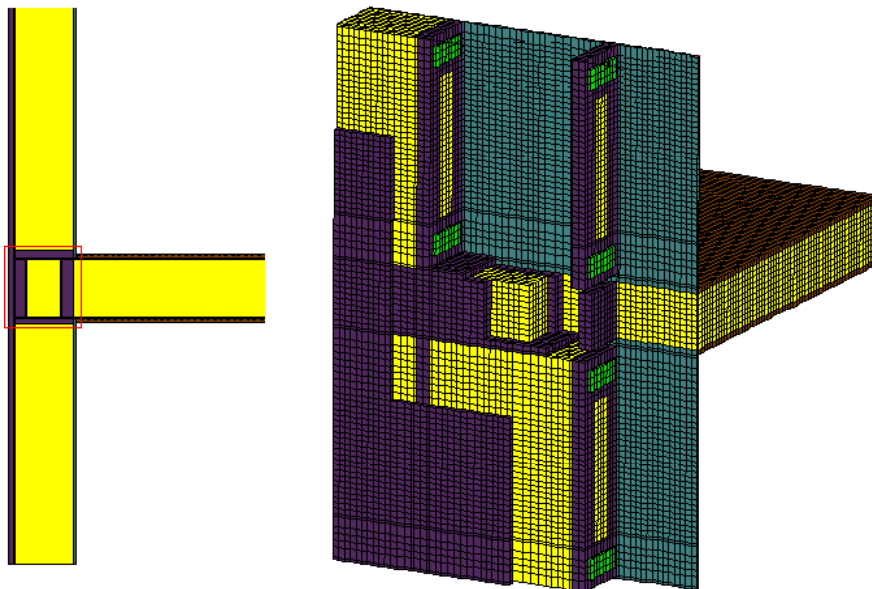
Tabell 7.7 Totalt energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och Steglitsen beroende av utformningen för i byggnaden.

Hus	Massiva regler <sup>1</sup>	Massiv regel ersatt med lättregel
Ugglan 135	99,92	99,78
Steglitsen	102,39	101,88

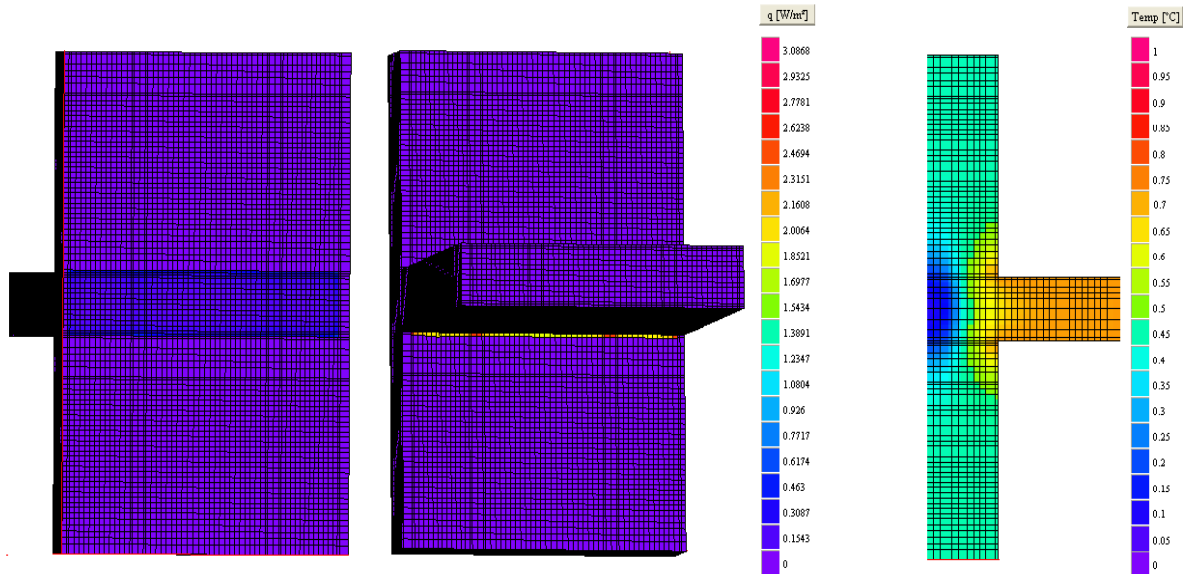
## 1. Massiva regler vid grundutförande

### Mellanbjälklag

Grundutförandet för LB Hus AB mellanbjälklag har ett värmeledningstal på 0,098 W/m och K. Notera att detta endast avser mellanbjälklaget och inte inkluderar kringliggande väggar. Se även röd markering i figur 7.7 som visar en illustration över bjälklaget och omgivande väggar. Värmeledningsförmågan samt temperaturfördelning avseende mellanbjälklaget från redovisas i figur 7.8. Enligt tidigare simuleringar i VIP+ genererar grundutförandet av LB Hus AB mellanbjälklag ett energibehov för Steglitsen på 102,39 kWh/m<sup>2</sup> och år.

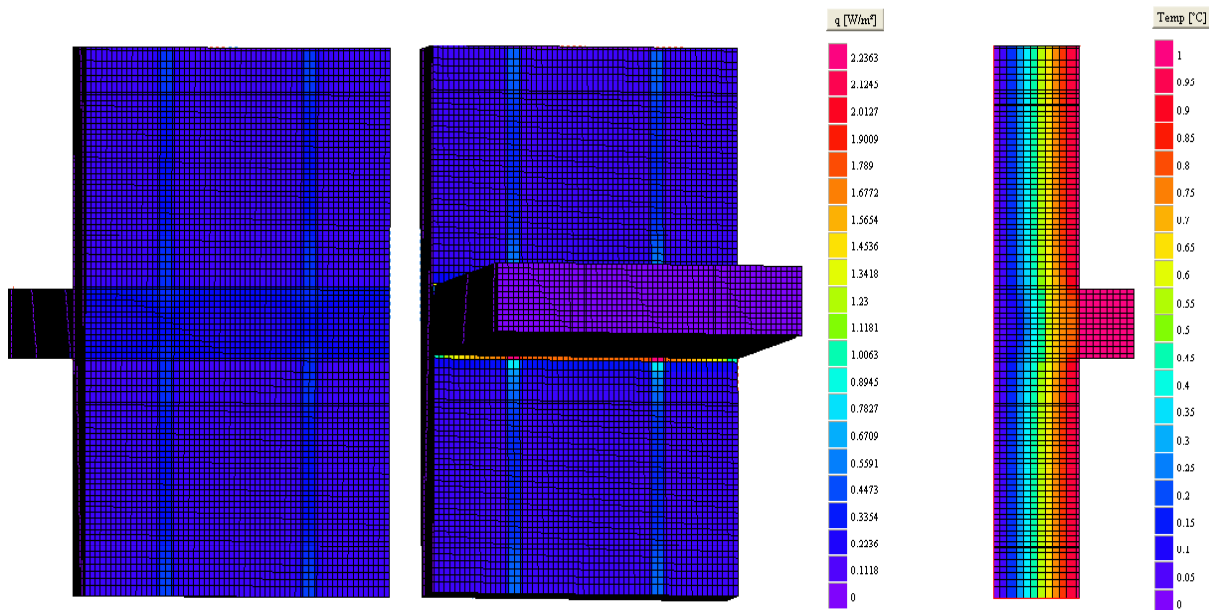


Figur 7.7 Illustration över LB Hus AB grundutförande för mellanbjälklag.



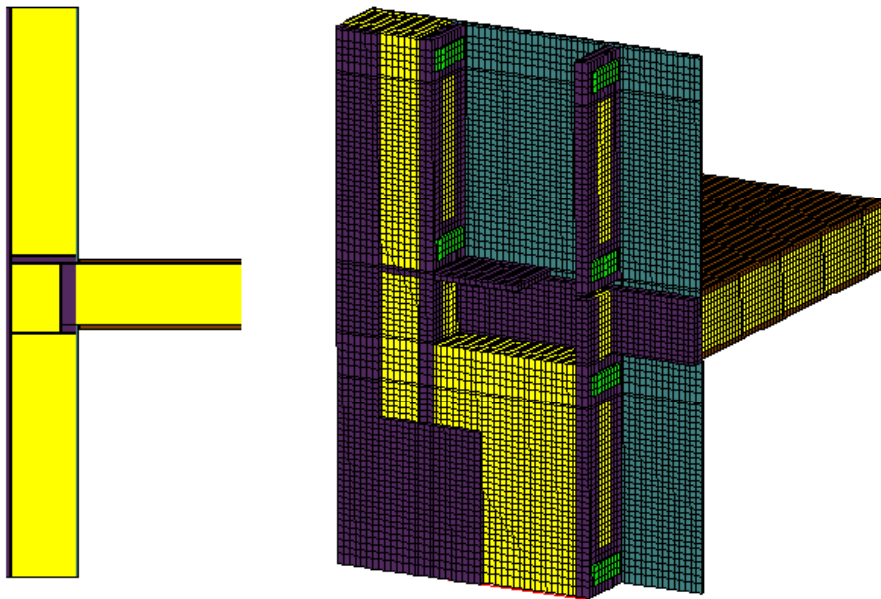
Figur 7.8 Värmeledningsförmåga sett från ut och insida samt temperaturfördelning i LB Hus AB mellanbjälklagskonstruktion

Om LB Hus AB grundutförande på mellanbjälklag simuleras i HEAT 3 med hänsyn taget till omgivande väggar ges en fördelning av hela väggens värmeledningsförmåga som presenteras i figur 7.9 nedan. Om förhållandet mellan andel vägg och bjälklag motsvara det som presenteras i figuren nedan blir värmeledningstalet för hela väggen, inklusive bjälklaget, 0,053 W/m och K.

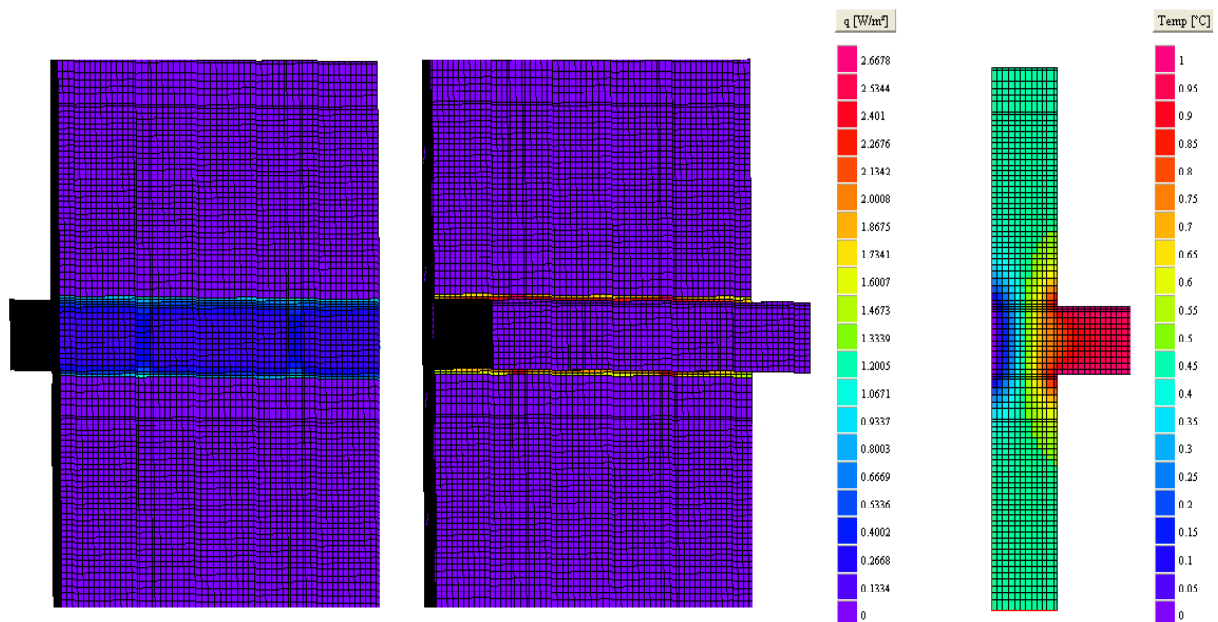


Figur 7.8 Värmeledningsflöde i hela väggen, inklusive mellanbjälklag, sett från ut och insida samt temperaturfördelning i LB Hus AB mellanbjälklagskonstruktion.

Genom att dra in mellanbjälklaget så att det endast vilar på lättregelns inre fläns bryts delar av de köldbryggor som finns. Det inre livet i lättregeln kommer då att ta alla laster från bjälklaget medan hela regeln tar resterande laster. Illustration över mellanbjälklaget och dess anslutning till ovan och undervarande regler visas i figur 7.9. Simuleringar i HEAT3 visar att värmeledningstalet för endast det indraget bjälklag blir 0,072 W/m och K. Värmeflödet genom bjälklaget visas i figur 7.10. Införs den nya bjälklagskonstruktionen i VIP+ sänks Steglitsens totala energibehov blir 102,08 kWh/m<sup>2</sup> och år vilket är en sänkning med 0,31 kWh/m<sup>2</sup> och år.

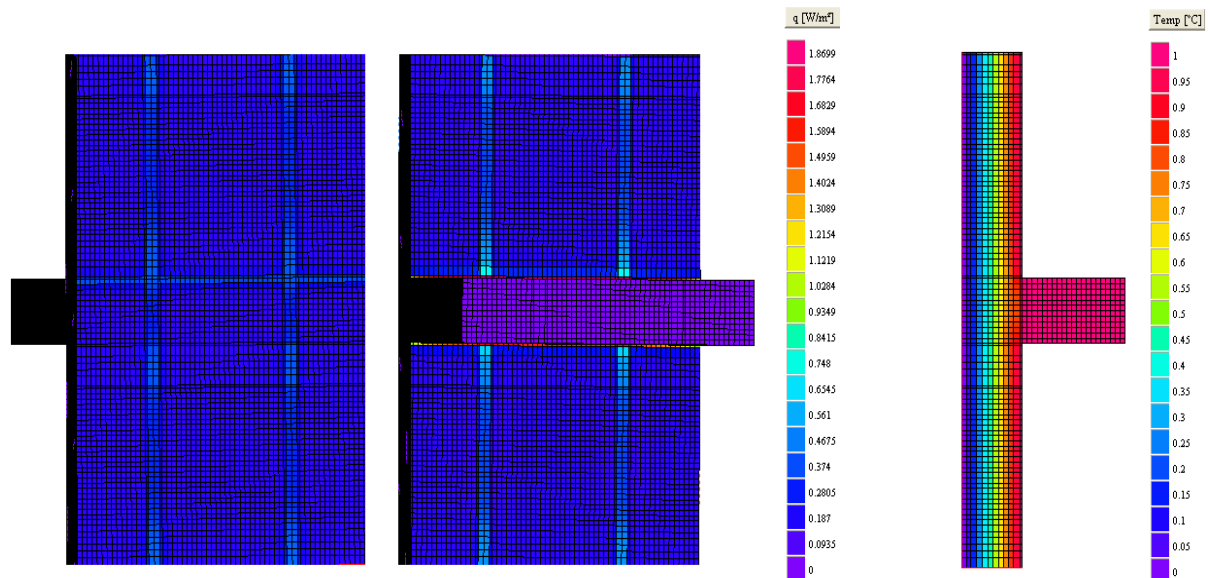


Figur 7.9 Illustration över mellanbjälklag som är indraget i ytterväggen.



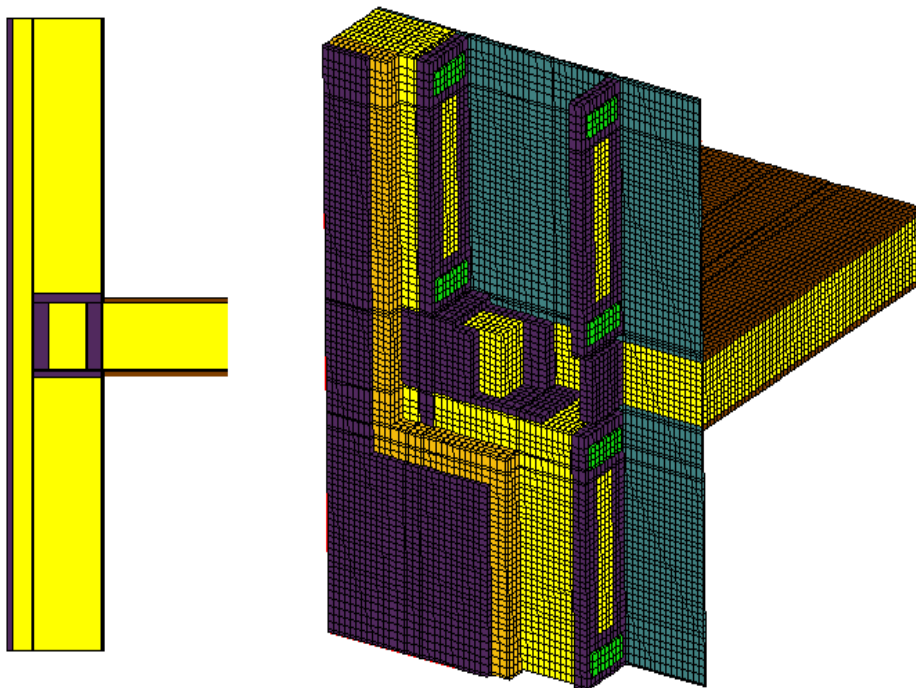
Figur 7.10 Värmeledningsflöde samt temperaturfördelning för ett mellanbjälklag som är indraget i väggen

Värmeflödet genom hela väggkonstruktionen med hänsyn till omgivande väggar för ett indraget bjälklag enligt ovan blir 0,047 W/m och K. Värmeflödet redovisas närmare i figur 7.11

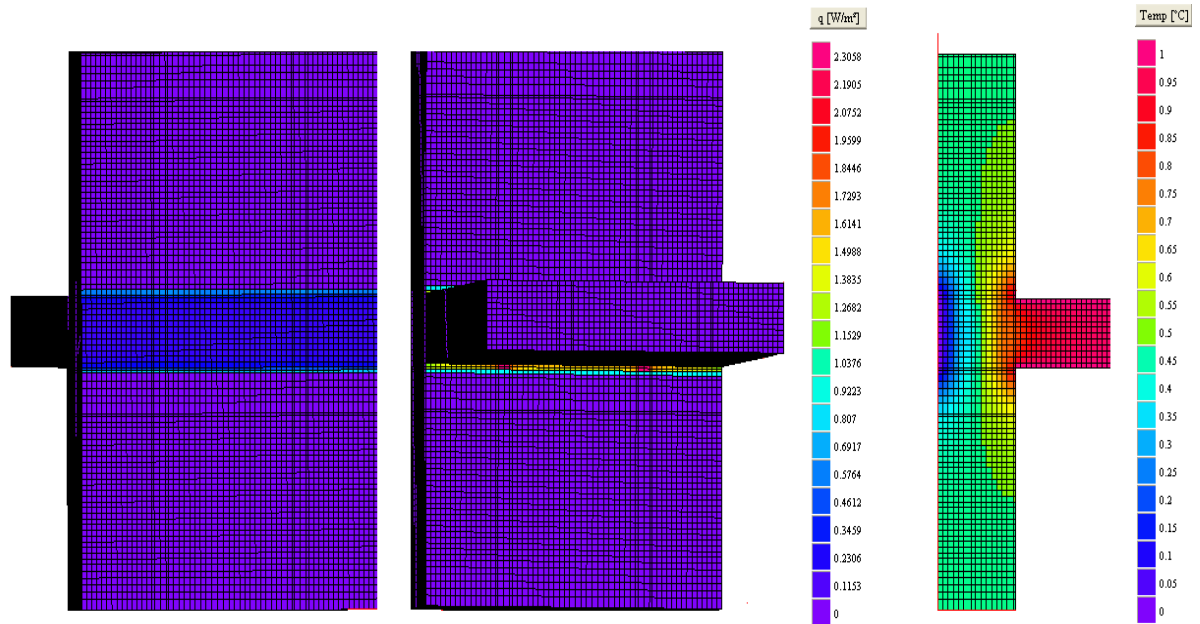


Figur 7.11 Värmeledningsflöde i hela väggen, inklusive mellanbjälklag, samt temperaturfördelning för ett mellanbjälklag som är indraget i väggen.

Om befintligt bjälklag behålls och 70 millimeter extra isolering appliceras utanpå väggen blir värmeledningstalet 0,069 W/m och K. Konstruktionen för en sådan lösning illustreras i figur 7.12 nedan. Värmeflödet visas i figur 7.13. Simuleringar i VIP+ för totala energibehovet sjunker med 0,35 kWh/m<sup>2</sup> och år till 102,04 kWh/m<sup>2</sup> och år.

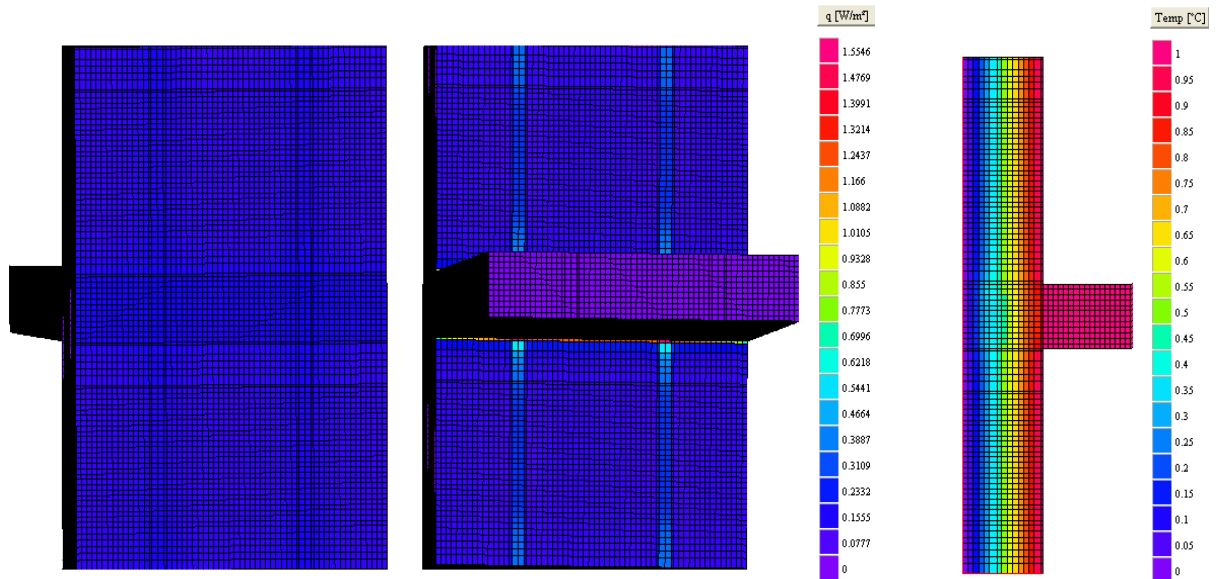


Figur 7.12 Illustration över väggkonstruktion med LB Hus AB befintlig bjälklagskonstruktion samt 70 millimeter extra isolering.



Figur 7.13 Värmeledningsförmåga i väggkonstruktion med LB Hus AB befintlig bjälklagskonstruktion samt 70 millimeter extra isolering.

Om inverkan av omgivande väggar studeras blir värmeflödet genom hela väggkonstruktionen 0,045 W/m och K. Värmeflödet redovisas närmare i figur 7.14



Figur 7.14 Värmeledningen för hela väggkonstruktion med LB Hus AB befintlig bjälklagskonstruktion samt 70 millimeter extra isolering.

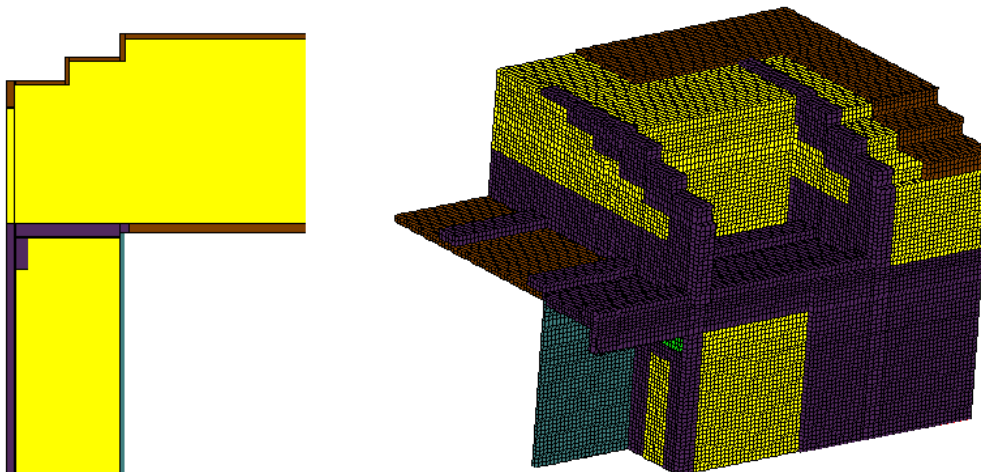
Tabell 7.8 Totalt energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Steglitsen beroende bjälklagets utformning i byggnaden.

Hus	Grundfall <sup>1</sup>	Indraget mellanbjälklag	70 mm extra isolering
Steglitsen	102,39	102,08	102,04

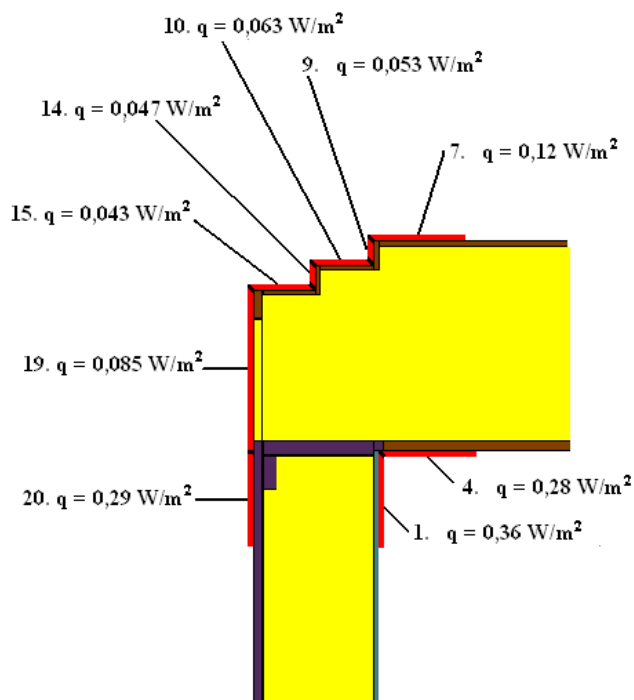
### 1. Mellanbjälklag vid grundutförande

## Takfot

Takfotens konstruktion har inte modellerats som enskild enhet i VIP+ och studeras därför endast i HEAT3. För att kunna genomföra simuleringar har LB Hus AB standardtakfot förenklats. Simulerad modell saknar ett överhäng i vilket istället utomhusklimat antas råda. Lågt på in och utsidan har dragits in i konstruktionen eller uteslutits. Simulerad takfotsmodell enligt LB Hus AB grundutförande redovisas i figur 7.14. Då värmeflödet varierar för klimatskalets olika ytor redovisas detta i figur 7.15.

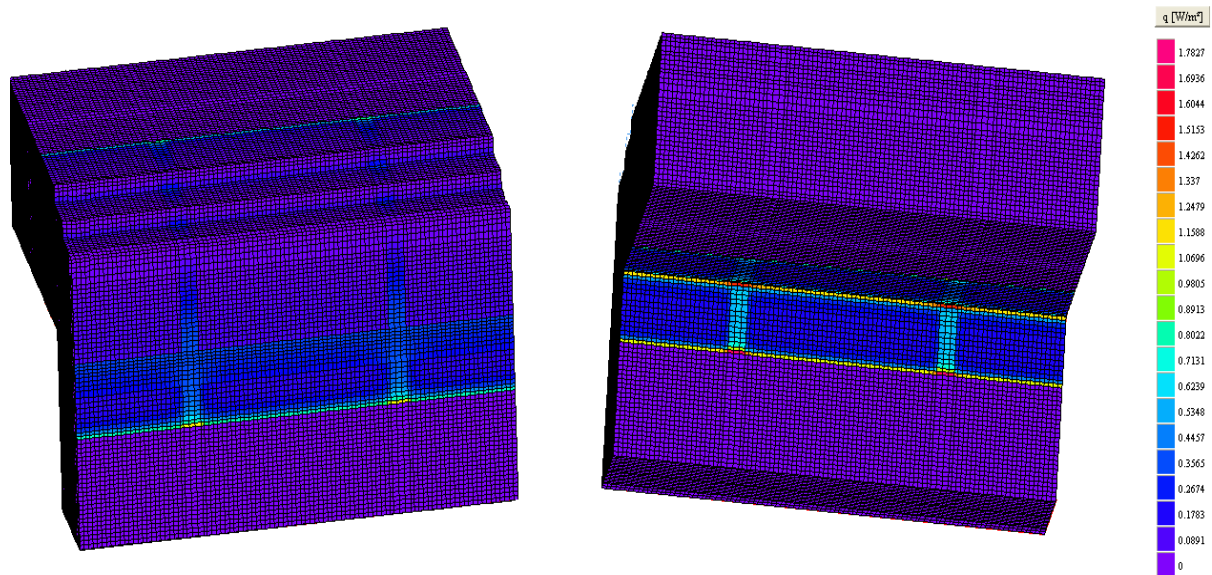


Figur 7.14 Illustration av simulerad modell för LB Hus AB grundutförande för takfot.

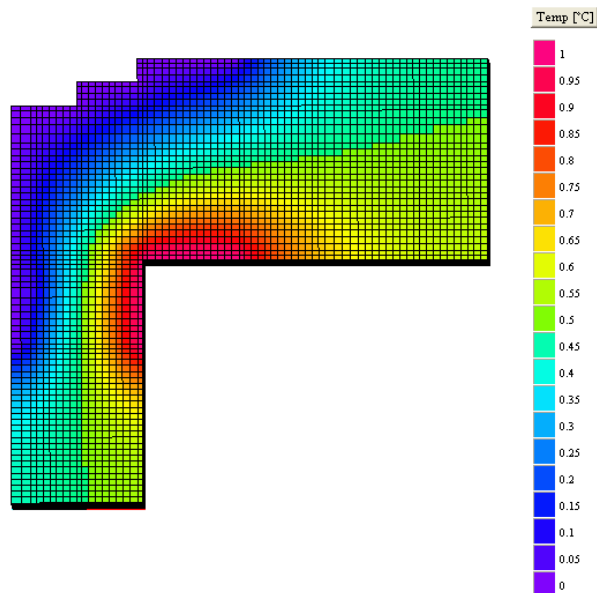


Figur 7.15 Värmeflöde för olika delar av LB Hus AB takfot i grundutförande. Ytorna 1 samt 4 visar värme som går in i klimatskalet och resterande ytor visar värme som avges.



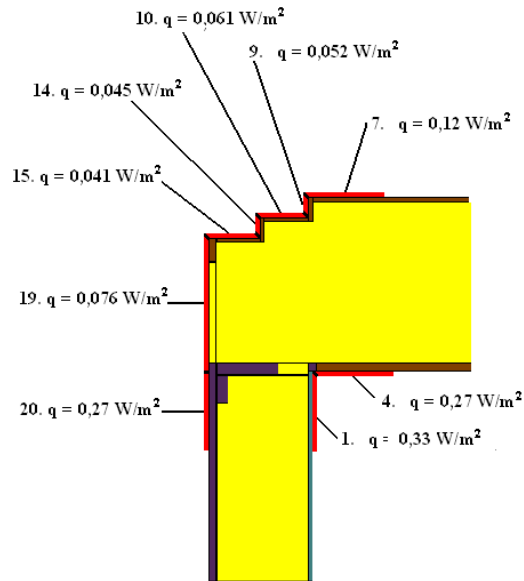


Figur 7.16 Värmefflöde sett från ut och insida för LB Hus AB grundutförande på takstol.

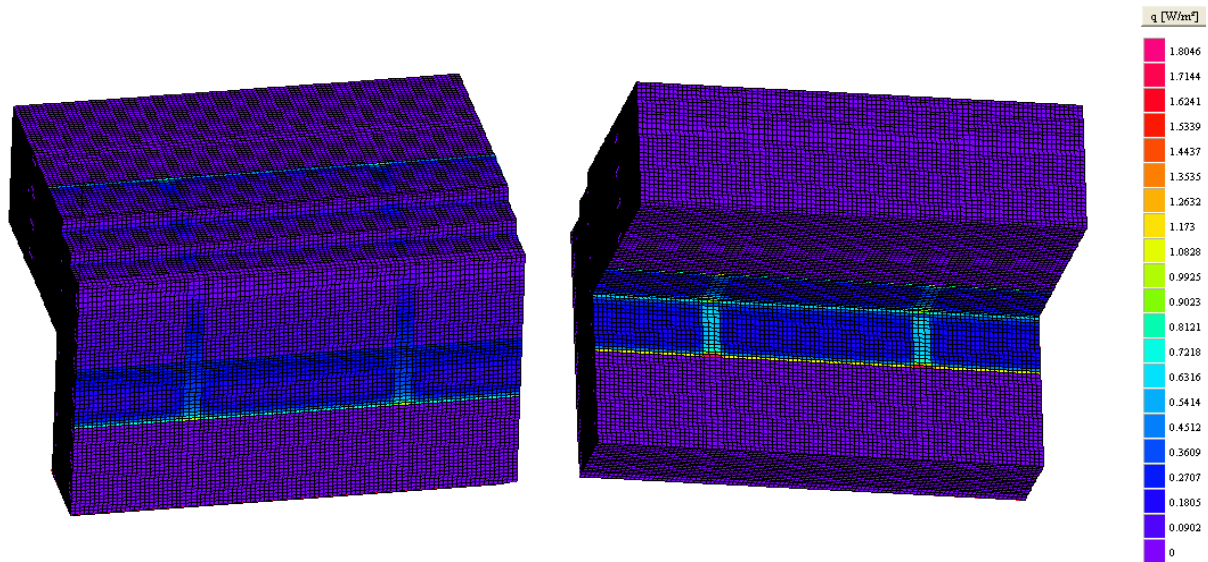


Figur 7.17 Temperaturfördelning i takfot för LB Hus AB grundutförande.

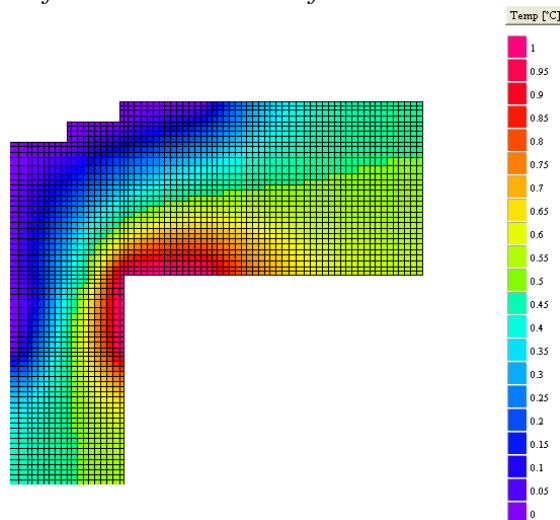
För att minska inverkan från den köldbrygga hammarbandet utgör har det smalnats av med 70 millimeter från insidan i modellen som redovisas nedan. Utrymmet har sedan ersatts med mineralull. Förändringen framgår i figur 7.18 som även redovisar värmefflöden. Smalare hammarband har undersökts i enskilt kapitel ovan. I detta fall syftar förändringen till att studera hur en förändring av hammarbandet påverkar ovanpåliggande tak.



Figur 7.18 Värmefflöde för olika delar av takfot med 70 millimeter smalare hammarband. Ytorna 1 samt 4 visar värme som går in i klimatskalet och resterande ytor visar värme som avges.

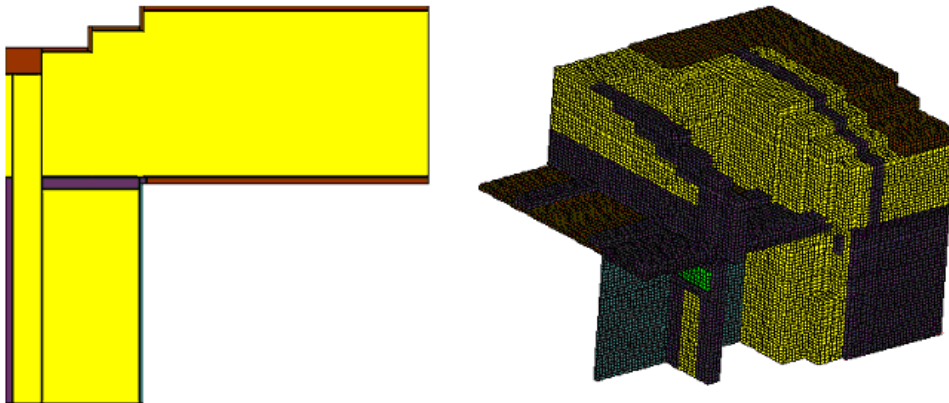


Figur 7.19 Värmefflöde sett från ut och insida i takfot med 70 millimeter smalare hammarband.

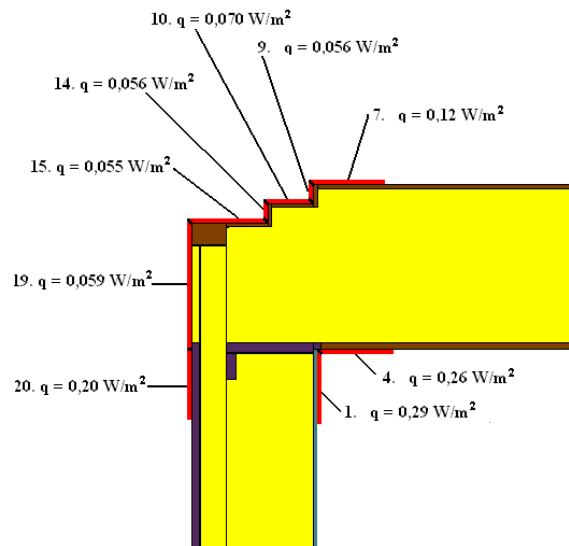


Figur 7.20 Temperaturfördelning i takfot med 70 millimeter smalare hammarband.

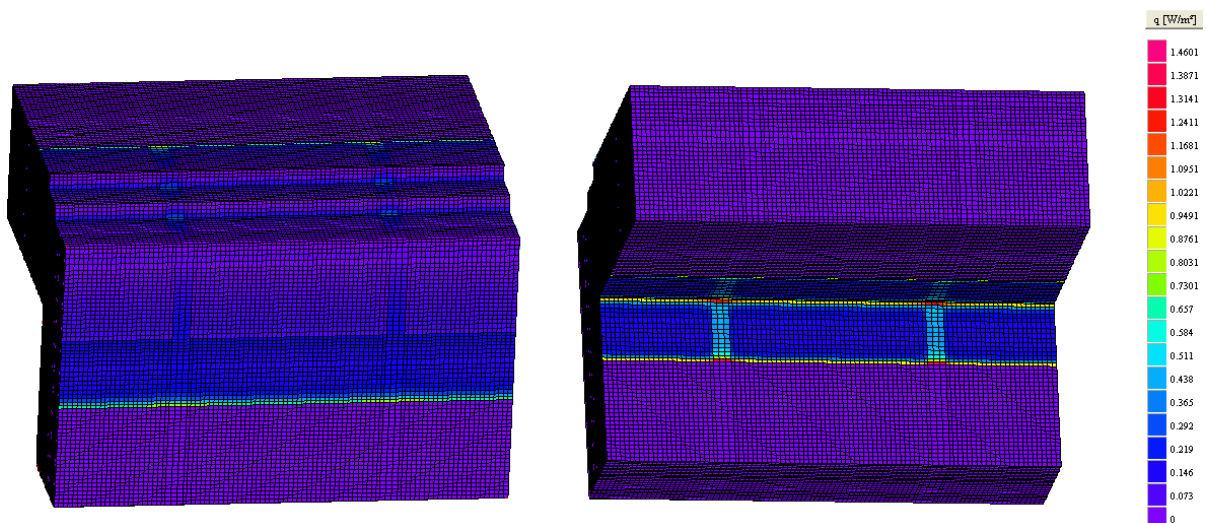
Genom att tillföra 70 millimeter extra isolering på utsidan av ytterväggen kan köldbryggor brytas vid bland annat väggens hammarband. Illustration över en sådan takfot visas i figur 7.18. Resultatet av simuleringar i HEAT3 för denna redovisas i figur 7.19 till 7.21.



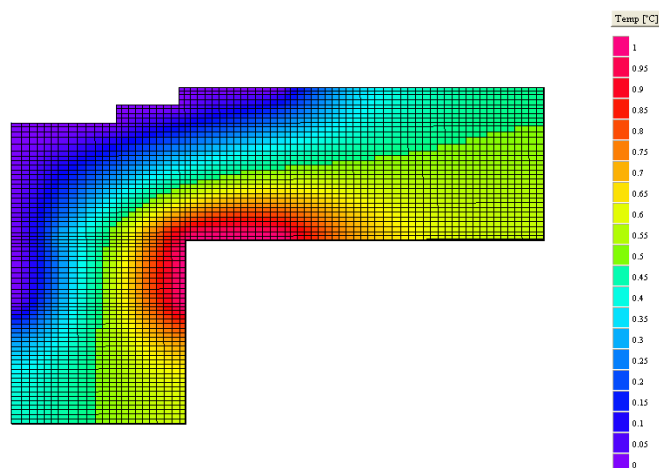
Figur 7.21 Illustration av simulerad modell takfot med 70 millimeter extravägg.



Figur 7.22 Värmefflöde genom olika delar av takfot med 70 millimeter extra väggisolering. Ytorna 1 samt 4 visar värme som går in i klimatskalet och resterande ytor visar värme som avges.



Figur 7.23 Värmefflöde sett från ut och insida för takfot med 70 millimeters extra väggisolering.



Figur 7.24 Temperaturfördelning i takfot med 70 millimeters extra isolering.

Modeller har studerats där den underliggande vågräta regeln i takstolen har slutat vid ytterkant av stående lättregel och därefter täkts av isolering till panelens ytterkant. Resultatet redovisas dock inte närmare då värmeflödet påverkades i mycket liten omfattning.

Värmefflöde för olika ytor i presenterade takfotskonstruktioner sammanfattas i tabell 7.8 nedan.

Tabell 7.8 Värmefflöde i  $W/m^2$  för olika ytor i studerade takfotskonstruktioner.

Yta	LB Hus AB grundutförande	70 mm smalare hammarband	70 mm extra väggisolering
1	0,359	0,332	0,288
2	0,278	0,270	0,257
7	0,117	0,115	0,12
9	0,053	0,052	0,056
10	0,063	0,061	0,07
14	0,047	0,045	0,056
15	0,043	0,041	0,055
19	0,085	0,076	0,059
20	0,288	0,273	0,204

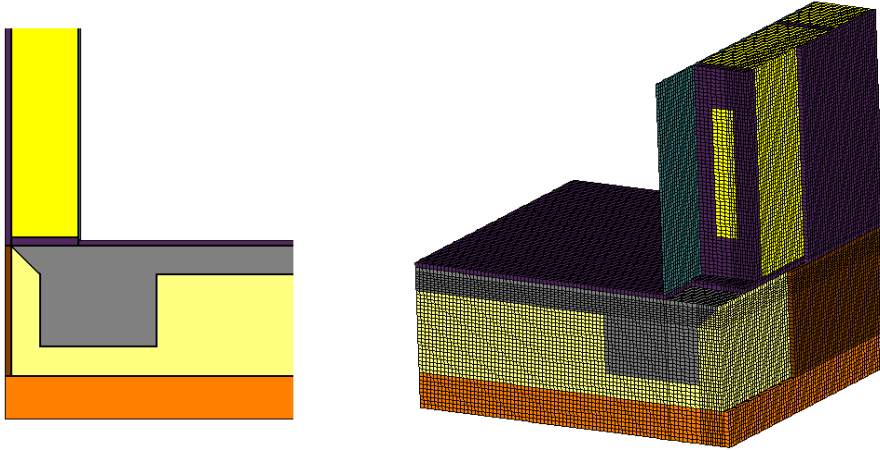
## Platta

Simuleringar i HEAT3 har för plattan och dess anslutningar genomförts utan golvvärme. Motsvarande simuleringar i VIP+ tar dock hänsyn till denna. Inverkan av golvvärmens betydelse samt hur dess nivå i plattan påverkar undersökta byggnaders energibehov studeras närmare i kapitel 7.7, Golvvärmens inverkan på energibehovet.

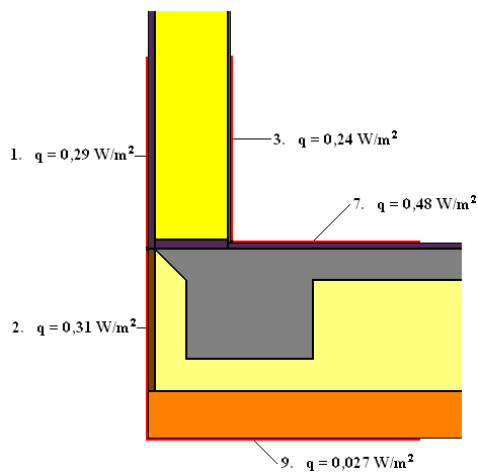
För att efterlikna förhållanden som normalt råder under byggnader har värmeledningstal för materialet i plattans understa skikt ansatts till  $0,006 W/m$  och K. Syftet är att detta förhållandevis tunna skikt ska motsvara hela den underliggande markens isolerande effekt. Ansatt värmeledningstal baseras på separata simuleringar för enskilda markmaterial såsom sand, grus och lera.

Värmeflödets variation genom olika delar av konstruktionen gör att detta redovisas för separata ytor i figur istället för tabell.

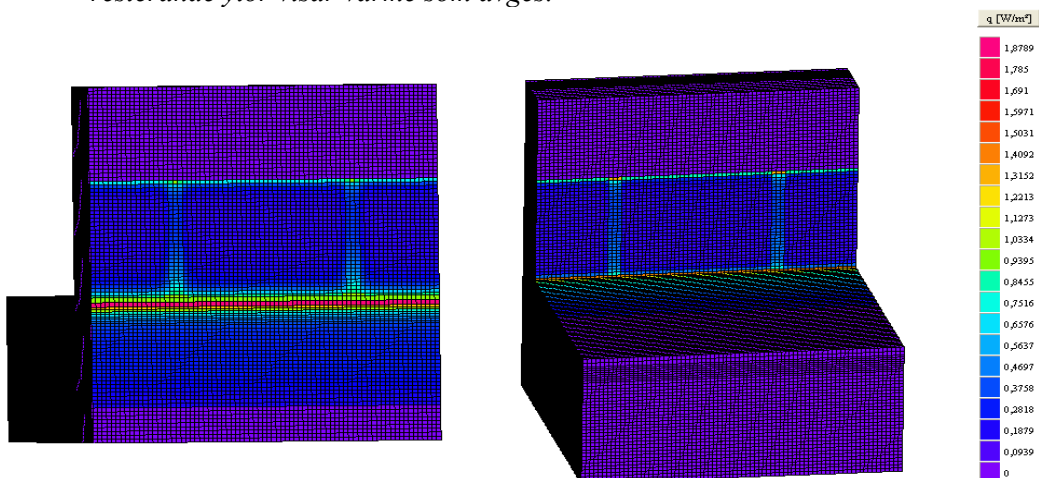
LB Hus AB huvudsakliga utförande för grundkonstruktionen och dess värme flöde samt temperaturvariation redovisas i figur 7.25 till 7.28.



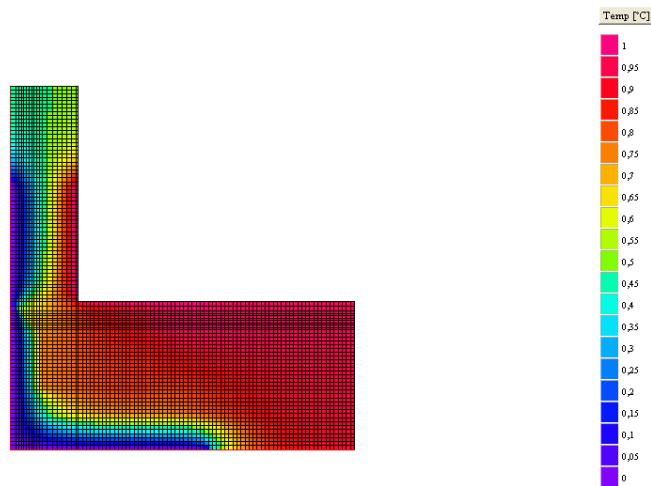
Figur 7.25 Illustration över LB Hus AB grundutförande för platta och anslutande regelvägg.



Figur 7.26 Värme flöde genom olika delar av LB Hus AB huvudsakliga utförande för grundkonstruktionen. Ytorna 3 samt 7 visar värme som går in i klimatskalet medan resterande ytor visar värme som avges.

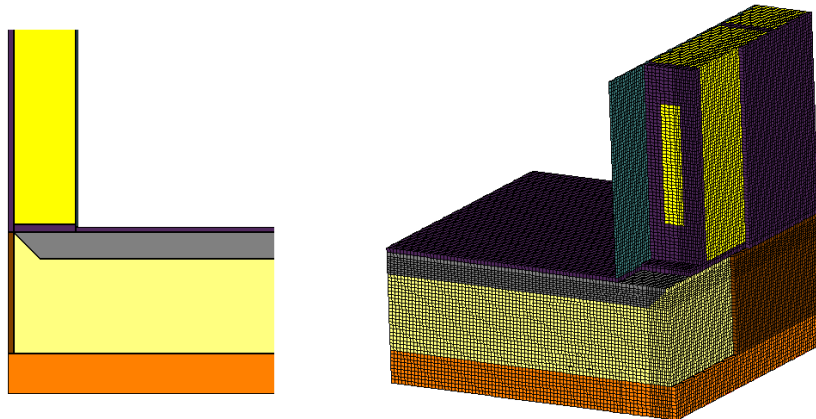


Figur 7.27 Värme flöde sett från ut och insida för LB Hus AB huvudsakliga utförande av grundkonstruktion.

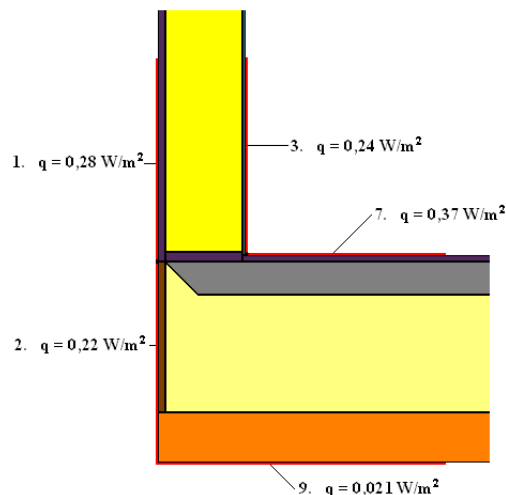


Figur 7.28 Temperaturfördelning i grundkonstruktion enligt LB Hus AB huvudsakliga utförande.

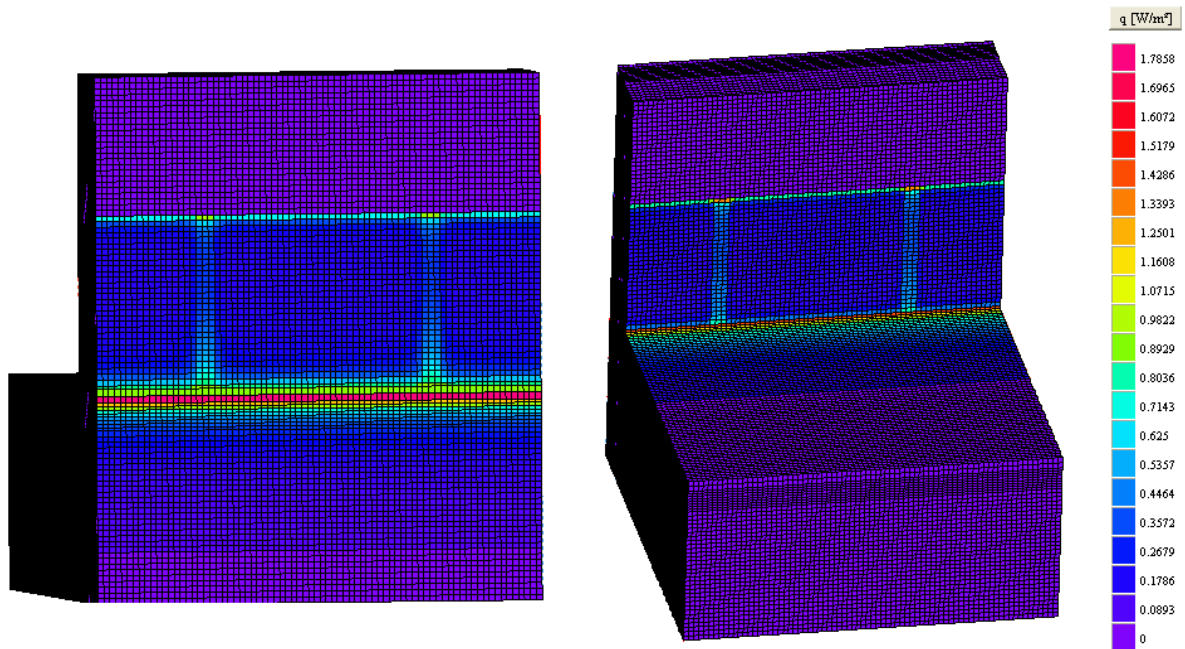
Voterna i plattans ytterkant antas utgöra en stor köldbrygga trots utanpåliggande cellplastisolering. För att studera deras inverkan på energibehovet har en modell utan voter i plattan simulerats. I verkligheten kan en sådan konstruktion bli svår att genomföra eftersom laster från ytterväggarna skulle kunna knäcka plattan. Figur 7.29 till 7.32 nedan redogör för simulerad konstruktion utan voter ser ut samt hur värmeflödet och temperaturen fördelas. Simuleringar i VIP+ visar att en platta utan voter gör att energibehovet sjunker med 6,43 kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135. Motsvarande sänkning av energibehovet för Steglitsen är 2,99 kWh/m<sup>2</sup> och år.



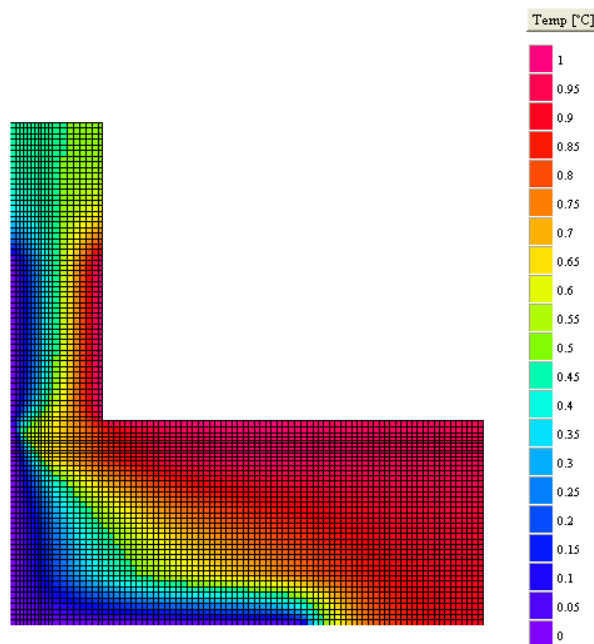
Figur 7.29 Illustration över platta bestående av 100 millimeters betong utan voter.



Figur 7.30 Fördelning av värmeflöde i en platta med 100 millimeters betong utan voter.

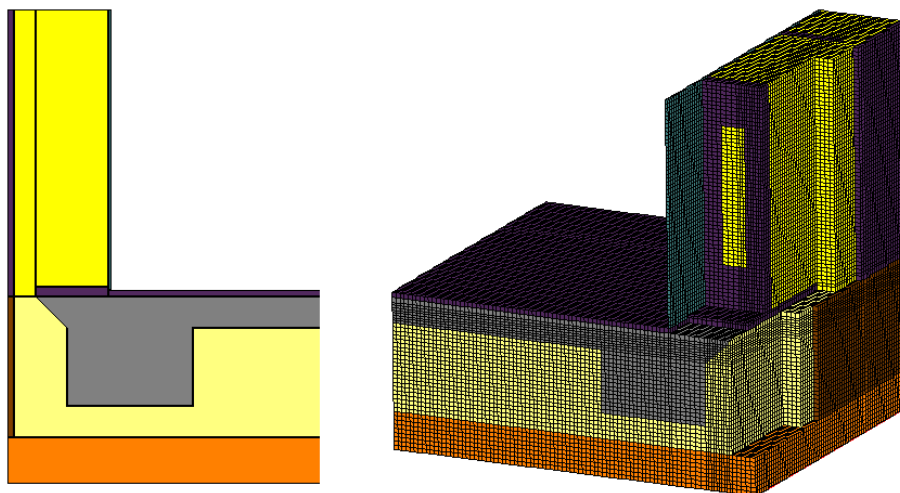


Figur 7.31 Värmefflöde sett från ut och insida för en grundkonstruktion med 100 millimeter betong utan voter.

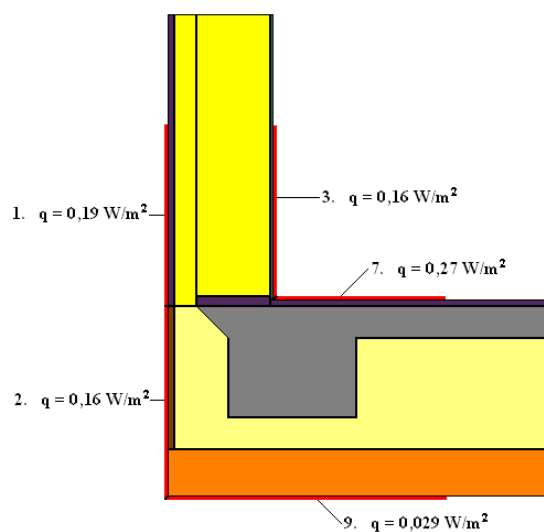


Figur 7.32 Temperaturfördelning i en grundkonstruktion med 100 millimeter betong utan voter.

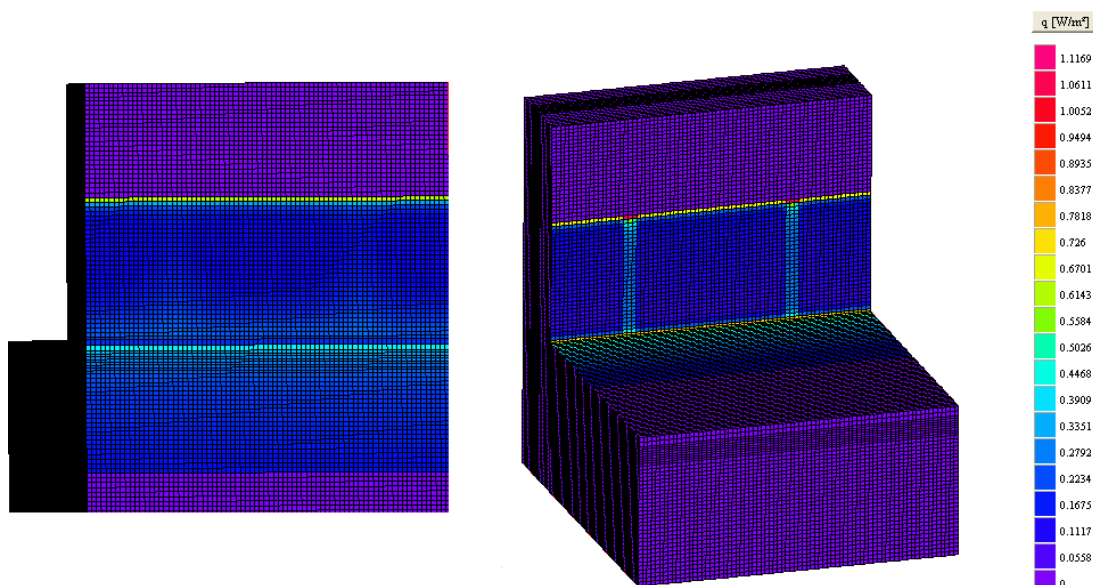
Köldbryggor kan brytas genom att tillföra 70 millimeter extra isolering på utsidan av ytterväggen. Illustration över hur en sådan grundkonstruktion skulle kunna se ut redovisas i figur 7.33. Resultatet av simuleringar i HEAT3 för värmefflöde samt temperaturfördelning framgår i figur 7.34 till 7.36. Simuleringar i VIP+ visar att 70 millimeter extra isolering på plattans vertikala utsida sänker energibehovet för Ugglan 135 med 3,89 kWh/m<sup>2</sup> och år. För Steglitsen är sänkningen 1,3 kWh/m<sup>2</sup> och år.



Figur 7.33 Illustration av grundkonstruktion med 70 millimeter extravägg.

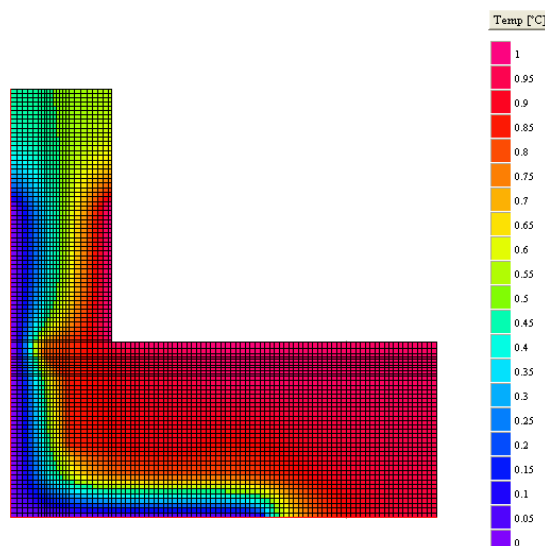


Figur 7.34 Värmefflöde i grundkonstruktion med 70 millimeter extravägg.



Figur 7.35 Värmefflöde sett från ut och insida i grundkonstruktion med 70 millimeter extravägg.





Figur 7.36 Temperaturfördelning i en grundkonstruktion med 70 millimeter extravägg.

Tabell 7.7 Värmefflöde i  $W/m^2$  för olika grundkonstruktioner.

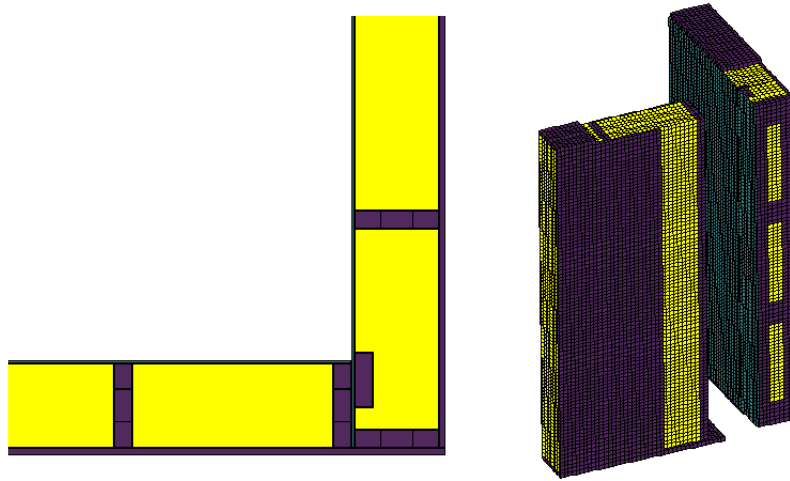
Yta	LB Hus AB grundutförande	100 mm betong utan voter	70 mm extra väggisolering
3	0,24	0,24	0,16
7	0,48	0,37	0,27
1	0,29	0,28	0,19
2	0,31	0,22	0,16
9	0,027	0,021	0,029

Tabell 7.9 Totalt energibehov för Ugglan 135 och Steglitsen i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende av vilken typ hammarband som används i byggnaden.

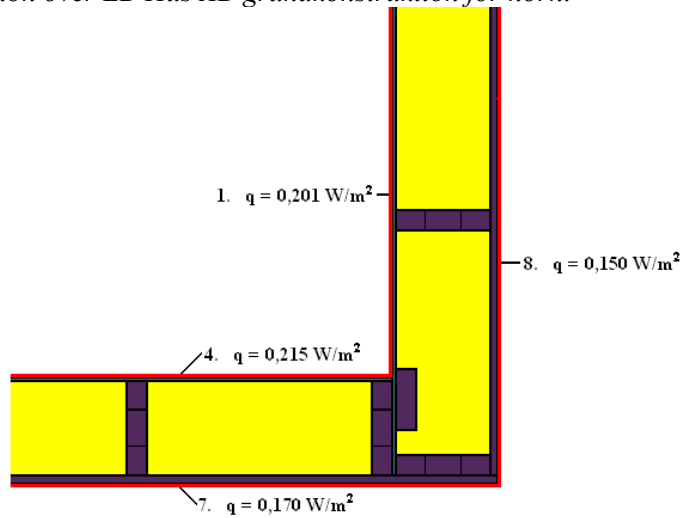
Hus	Grundutförande	100 mm betong utan voter	70 mm extra isolering
Ugglan 135	99,9	93,5	96,0
Steglitsen	102,3	99,4	101,1

## Hörn

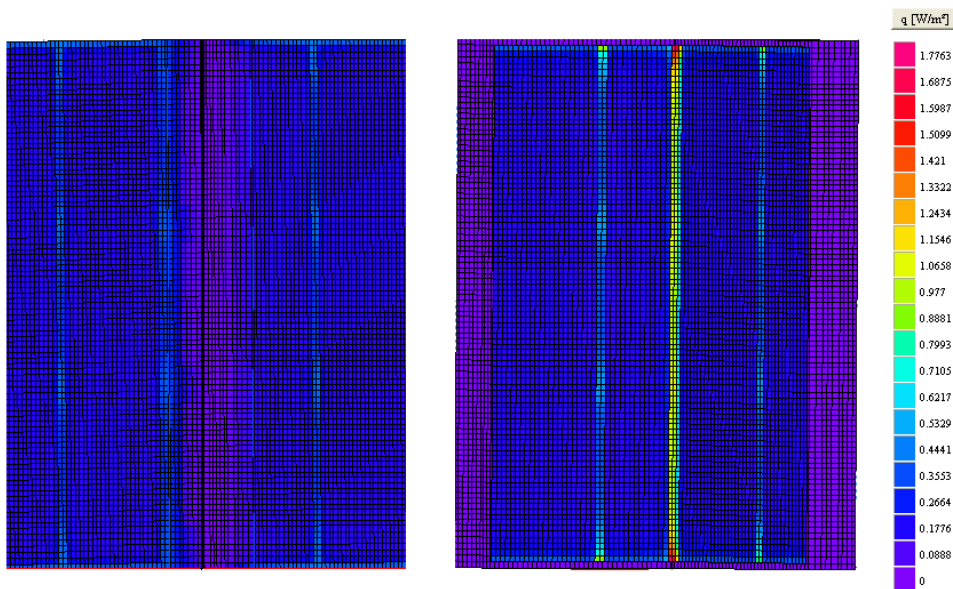
Grundutförandet för hörn i LB Hus AB byggsystem redovisas i figur 7.37 nedan. Hörnens osymmetriska uppbyggnad gör att värmefflödet varierar för olika ytor och därför redovisas i figur 7.38. Enligt tidigare simuleringar i VIP+ genererar grundutförandet av LB Hus AB hörn ett energibehov för Ugglan 135 på 99,92 kWh/m<sup>2</sup> och år samt 102,39 kWh/m<sup>2</sup> och år för Steglitsen. Om LB Hus AB grundutförande för hörn simuleras i HEAT 3 ges en fördelning av värmefflödet samt temperaturfördelningen som presenteras i figur 7.39 samt 7.40.



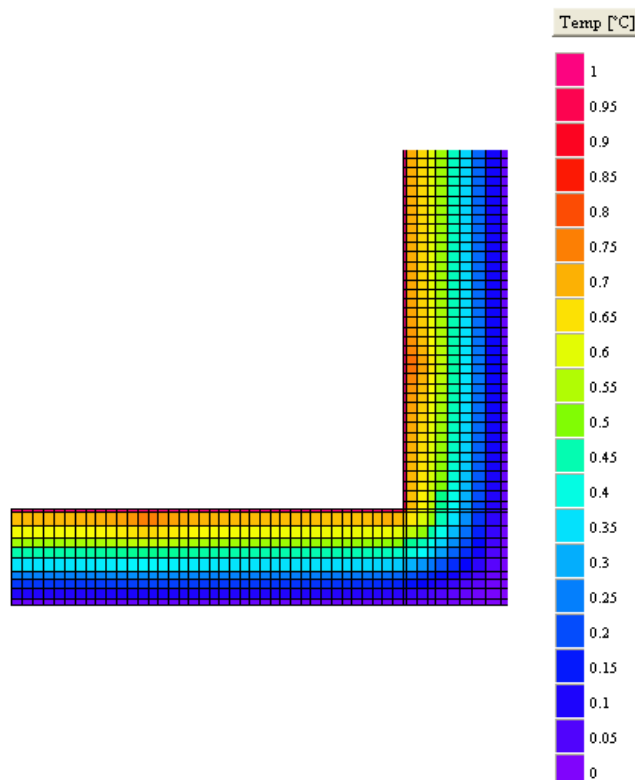
Figur 7.37 Illustration över LB Hus AB grundkonstruktion för hörn.



Figur 7.38 Värmefflöde för olika ytor i LB Hus AB grundutförande på hörn.

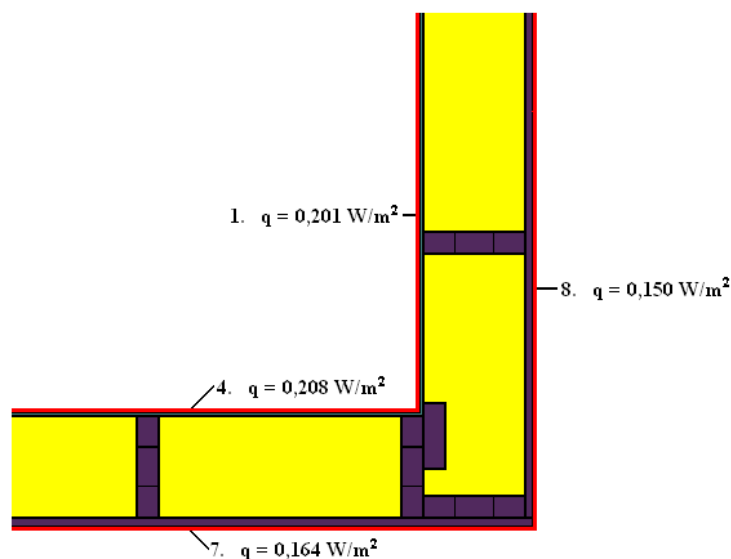


Figur 7.39 Värmefflöde för ut- respektive insida för LB Hus AB grundkonstruktion för hörn.

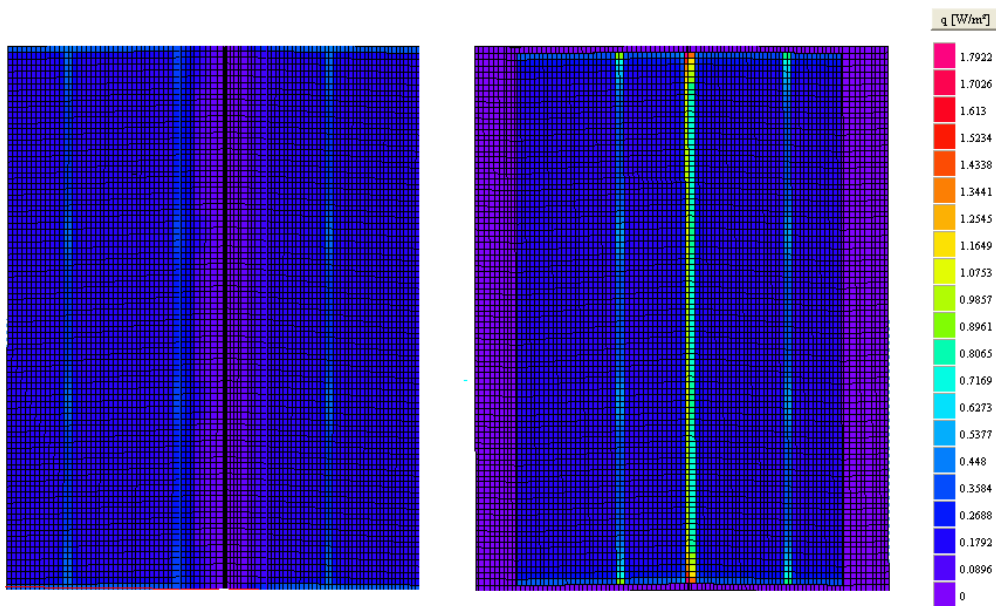


Figur 7.40 Temperaturfördelning i LB Hus AB grundkonstruktion för hörn.

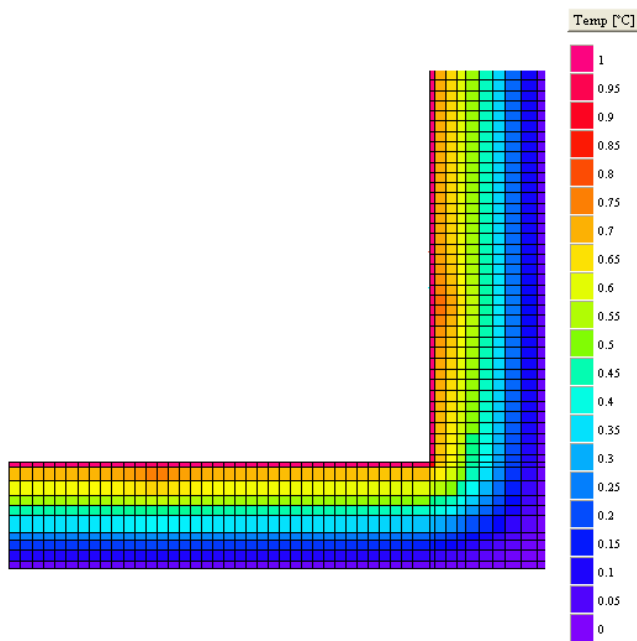
Genom att ta bort gipsskivan som ligger mot ena väggens kortsida i anslutningen mellan de båda väggarna minskas andelen köldbryggor i väggen. Förändringen samt nytt värmefflöde presenteras i figur 7.41. Värmefflodets samt temperatur fördelning i väggen presenteras i figur 7.42 samt 7.43. Simuleringar i VIP+ visar att förändringen minskar energibehovet med 0,2 kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och 0,42 kWh/m<sup>2</sup> och år för Steglitsen.



Figur 7.41 Illustration samt värmefflöde för olika ytor i hörn där gipsskivan inte är genomgående i skarven mellan väggelementen.

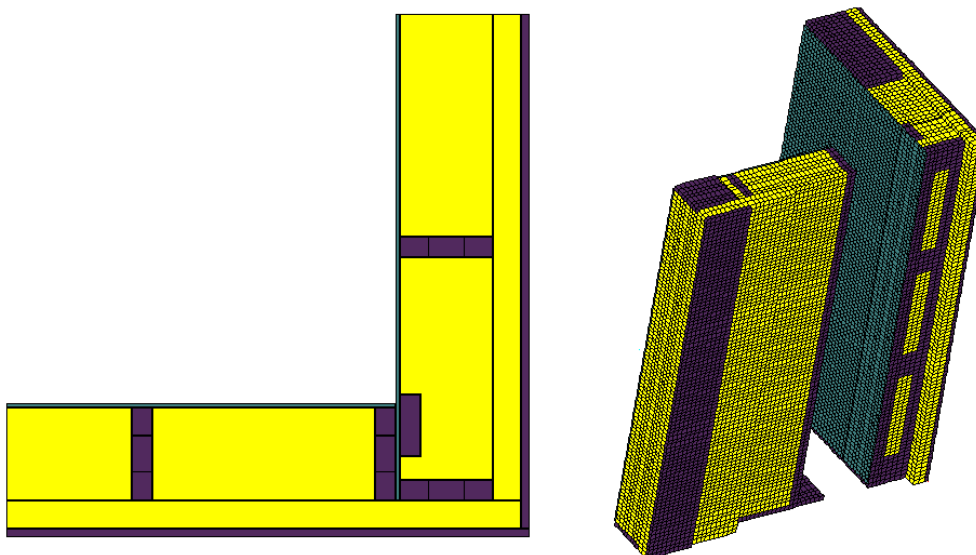


Figur 7.42 Värmefflöde för ut- respektive insida för hörn där gipsskivan inte är genomgående i skarven mellan väggelementen.

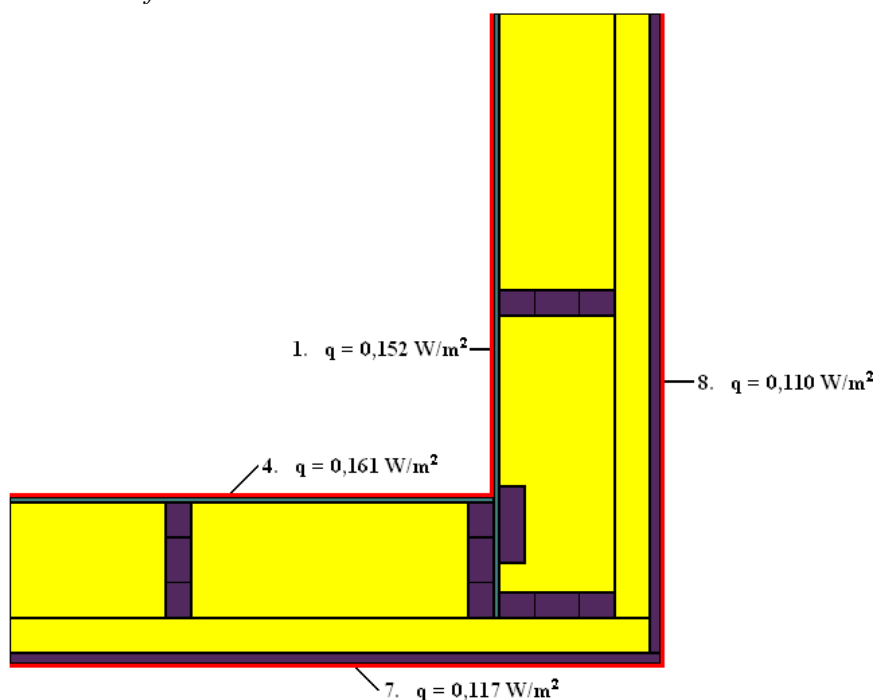


Figur 7.43 Temperaturfördelning i hörn där gipsskivan inte är genomgående i skarven mellan väggelementen.

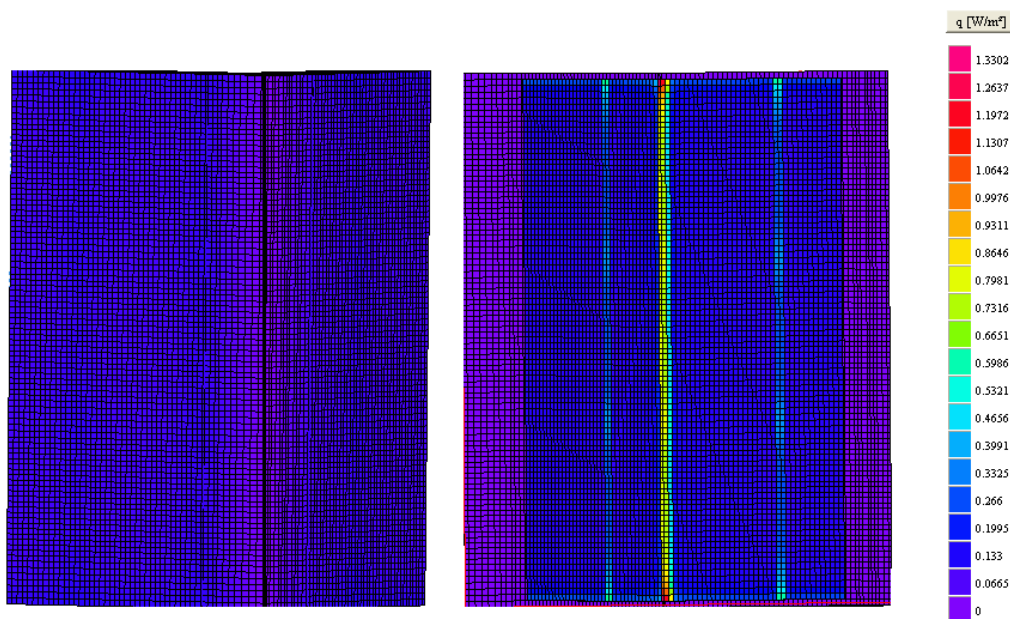
Om befintlig hörnkonstruktion kompletteras med 70 millimeter extra utanpåliggande isolering enligt figur 7.44 minskar värmeflödet genom väggen. Värmeflödet för en sådan konstruktions olika ytor presenteras för respektive ytor i figur 7.45. Simuleringar i VIP+ visar att totalt energibehov för Ugglan 135 sänks med 0,53 kWh/m<sup>2</sup> och år. För Steglitsen är motsvarande sänkning till 0,78 kWh/m<sup>2</sup> och år.



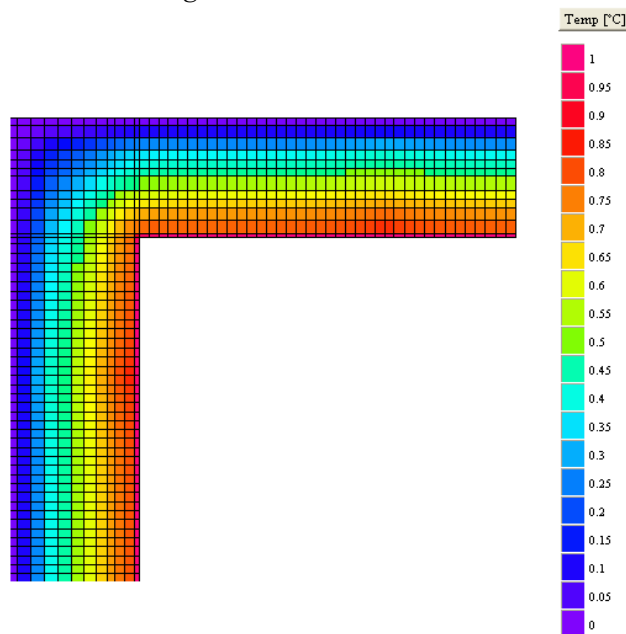
Figur 7.44 Illustration för LB Hus AB hörnkonstruktion med 70 millimeters extra isolering.



Figur 7.45 Olika ytors värmefflöde för LB Hus AB hörnkonstruktion med 70 millimeters extra isolering.



Figur 7.45 Värmeflödets fördelning i ut- och insida för LB Hus AB hörnkonstruktion med 70 millimeters extra isolering.



Figur 7.46 Temperaturfördelning i LB Hus AB hörnkonstruktion med 70 millimeters extra isolering.

Värmeflödet i olika väggytor före och efter förändringar av olika hörnkonstruktion samt effekten av förändringen i VIP+ sammanställs i tabell 7.8 samt 7.9 nedan.

Tabell 7.8 Värmeflöde i  $W/m^2$  för olika hörnkonstruktioner.

Yta	LB Hus AB grundutförande	Ej gips till yttervägg	70 mm extra väggisolering
1	0,201	0,201	0,152
4	0,215	0,208	0,161
7	0,170	0,164	0,117
8	0,150	0,150	0,110

Tabell 7.9 Totalt energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för hela byggnaden.

Hus	LB Hus AB grundutförande	Ej gips till yttervägg	70 mm extra väggisolering
Ugglan 135	99,92	99,72	99,40
Steglitsen	102,39	101,97	101,61

### Förändring av samtliga studerade köldbryggor

Bortsett från de förändringar som bygger på ett 70 millimeters extra isolerskikt kan den energibesparande effekten sammanfattas enligt tabell 7.10 nedan.

Tabell 7.10 Energibesparing för olika åtgärder i kWh/m<sup>2</sup> och år.

Detalj	Ugglan 135	Steglitsen
Hammarband	0,16	0,49
Lättregel	0,68	0,72
Massiva regler	0,14	0,51
Mellanbjällag	-	0,31
Takfot	-	-
Platta	6,43	2,99
Hörn	0,2	0,42
Summa energibesparing	7,61	5,44

Resultatet från simuleringar i VIP+ då samtliga åtgärder, enligt tabell 7.10 ovan, applicerats samtidigt på Ugglan 135 visar ett energibehov på 92,32 kWh/m<sup>2</sup> och år. Detta innebär en energibesparing på 7,60 kWh/m<sup>2</sup> och år vilket är så mycket nära summan av de enskilda åtgärderna. Motsvarande undersökning har ej gjorts för Steglitsen.

Konsekvenserna för Ugglan 135 och Steglitsens totala energibehov har ovan studerats om ett 70 millimeters extra isolerskikt har applicerats på respektive byggnadsdel. Eftersom tanken med ett extra isolerskikt bygger på att det appliceras på hela väggen har simuleringar i VIP+ har också genomförts på så vis. Detta innebär att ett 70 millimeters extra isolerskikt har lagts till den ursprungliga väggkonstruktionen samt de vertikala delarna av grundkonstruktionen i syfte att bryta köldbryggor. Vidare har simuleringar genomförts i VIP+ där ett 70 millimeters extra isolerskikt applicerats på hela väggkonstruktionen men med en grundkonstruktion uppbyggd av en platta med 100 millimeter betong utan voter, se figur 7.29. Resultatet för dessa simuleringar presenteras nedan i tabell 7.11. Notera att resultaten i tabell 7.11 inte är relevanta att jämföra med tidigare simuleringar i kapitel 7.3 eftersom dessa även omfattar en förändring av grundkonstruktionen samt extra isolering över hörn.

Tabell 7.11 Energibesparing efter förändringar i klimatskalet med ett extra isolerskikt av 70 millimeter mineralull i kWh/m<sup>2</sup> och år.

Förändring av klimatskalet	Ugglan 135	Steglitsen
Grundfall	99,9	102,4
70 mm extra isolering på vägg och grund	89,6	92,7
70 mm extra isolering på vägg samt platta utan voter	87,2	90,9

## 7.4.4 Analys

### Hammarband

Hammarbandets utformning som massivt eller två regler med mellanliggande isolering påverkar det totala energibehovet mycket lite. Vid tio millimeters mellanliggande isolering sänks Ugglan 135 totala energibehovet med 1,1 promille och för 70 millimeters mellanliggande isolering sänks behovet med 1,6 promille. Motsvarande minskning av energibehovet för Steglitsen är 2,1 promille för tio millimeters extra isolering och 4,8 promille för 70 millimeters extra isolering. Den högre sänkningen för Steglitsen beror av att andelen hammarband är större för Steglitsen jämfört Ugglan 135.

### Lättreglar

LB Hus AB lättreglar har en värmeledningsförmåga som är cirka 18 procent lägre jämfört om reglarna varit massiva. En lättregelkonstruktion bestående av två flänsar och ett liv av träfiberskiva sänker ytterligare värmeledningsförmågan med 28 procent från LB Hus AB lättreglar och med cirka 41 procent jämfört med om reglarna varit massiva.

Reglarnas påverkan på det totala energibehovet är dock mindre än 1,1 procent för de båda husen. Om påverkan endast hade genomförts på uppvärmningsbehovet hade minskningen blivit större. Lättreglarnas inverkan på det totala energibehovet för studerade byggnader kan uppfattas som lågt. Resultatet har dock kontrollerats genom omvända simuleringar där reglarna helt avlägsnats. Anledningen till lättreglarnas förhållandevis låga påverkan på det totala energibehovet beror av att andelen regler jämfört andra byggnadsdelar är förhållandevis lågt. Även om lättreglarna inte ger speciellt stor påverkan på det totala energibehovet så påverkar de också det termiska klimatet och komforten på ett positivt sätt genom bland annat minskad strålning.

Simuleringar från LB Hus AB lättreglar i figur 7.5 visar att värmeledningsförmågan är högre än träs värmeledningsförmåga, 0,14 W/m och K, vid de platser där regeln består av genomgående trä. Detta beror till viss del av spikplåtar för att hålla ihop regeln och mellanliggande klossar på plats. Det dominerande skälet är dock att värmeledning sker den lättaste vägen. Genom att studera temperaturfördelningen i regeln konstateras att värmen inte enbart leds ut horisontellt utan både i vertikal- och horisontalled. I praktiken innebär detta att om köldbryggan bryts på ett ställe så ökar den på ett annat. Detta kan i sin tur leda till att en mindre andel köldbryggor gör att de återstående kan få större betydelse.

Om spikplåtarna försummas och regeln studeras i en dimension kan värmeledningsförmågan delas upp i två delar. En del som består av massivt trä och en del av trä, mineralull och trä. Vid beräkning av en sådan endimensionell modell fås värmeledningsförmågan 0,073 W/m och K. Detta är cirka 12 procent lägre än det tvådimensionella fallet. I detta fall är det också anmärkningsvärt att det tvådimensionella fallet endast berör lättregeln. Konsekvenserna av kringliggande material runt lättregeln borde vara densamma. Detta betyder att skillnaden mellan handberäknad värmeledning och verklig borde vara större än 12 procent i ett tredimensionellt fall där hänsyn tas till kringliggande isolering.

Förutom att energibehovet minskas när andelen köldbryggor reduceras så minskar även risken för fuktrelaterade skador i klimatskalet. En koncentration av värmeledningen med enskilda köldbryggor som ökar kan också ge upphov till skador.



## Massiva regler

Genom att byta ut en massiv regel mot två av LB Hus AB lättreglar ökar värmeledningsförmågan. Detta skulle i sin tur resultera i att undersökta byggnader får ett högre energibehov.

Om massiva regler istället ersätts av en lättregel med 140 x 45 millimeters flänsar och två utanpåliggande liv av åtta millimeters träfiberskiva sänks värmeledningstalet från 0,067 till 0,063. Detta motsvarar en sänkning med nio procent.

Vid införande av lättregel 140 x 45 millimeters flänsar och två utanpåliggande liv sänks Ugglan 135 energibehov med 1 promille. För Steglitsen är motsvarande sänkning 5 promille.

## Mellanbjälklag

Genom att förändra LB Hus AB befintliga bjälklagskonstruktion alternativt applicera 70 millimeter utanpåliggande isolering kan värmeflödet genom klimatskalet i anslutning till bjälklaget sänkas med cirka 27 procent. Effekterna av förändringarna är i stort sett lika.

Bjälklaget utgör dock en mycket liten del av hela klimatskalet. Detta gör att de energibesparande effekterna inte blir mer än 3 till 3,5 promille.

Temperaturspridningen i figur 7.13 samt väggens utsida i figur 7.14 visar att ett 70 millimeter extra isolerskikt fördelar väggens värmeledningsförmåga i större utsträckning än de två andra studerade fallen. Detta beror på att närliggande köldbryggor saknas och värmen sprids lättare i innerväggens gipsskiva.

Simuleringar i HEAT3 visar att värmeflödet, precis som tidigare, sker genom köldbryggor i bjälklagskonstruktionen. Det indragna mellanbjälklaget har ett ökat värmeflöde vid regler och bjälklagets liggande balkar jämfört LB Hus AB grundutförande där en massiv träbalk ligger utmed hela väggen precis innanför panelen. Detta ger till följd att värmen som leds genom köldbryggorna bakom sprids i den liggande träbalken.

## Takfot

Använda modeller är förenklade och stämmer inte helt överens med LB Hus AB takfotskonstruktion. De dominerande avvikelserna ligger i att köldbryggor som sticker ut ur klimatskalet har försummats.

Genom att göra hammarbandet 70 millimeter smalare och fylla ut ytan med mineralull minskas värmeflödet med cirka fem procent. Motsvarande för 70 millimeters extra isolering är cirka 14 procent.

För ansatt värme som går in i väggen tränger 80 procent av denna genom väggen för LB Hus AB grundutförande. Resterande 20 procent går ut via taket. Genom att ersätta 70 millimeter av hammarbandet med mineralull förändras värmeflödet så att det blir mindre förluster genom taket och flödet genom väggen ökar från 80 till 82 procent. Extra isolering i väggen ger motsatt effekt och gör att cirka 70 procent av värmeflödet sker genom väggen. Trots att flödena förändras i andel så blir, som nämns i stycket ovan, värmeförlusterna lägre av de två åtgärder som undersökts.

Oavsett om LB Hus AB grundutförning studeras eller någon av studerade förändringar så visar simuleringar att ett betydande värmefflöde sker genom köldbryggor i lodrät riktning upp genom taket, se yta nr 7 i figurer.

Värmefflödet studerat från insidan visar att ett stort värmefflöde går via hammarbandet som sedan leder värmen vidare direkt ut eller via takstolarna. Simuleringar från fallet där delar av hammarbandet ersatts med 70 millimeters isolering visar att köldbryggan bryts och hammarbandet får mycket mindre betydelse för värmefflödet.

### **Platta**

Simuleringarna visar att randvillkoren borde ansatts längre från anslutningen mellan syll och platta för att kunna uppnå stabila förhållanden i simuleringar. Anledningen till att så inte skett är att syftet är att endast undersöka köldbryggor och dess flöde i anslutning till just det område där syllen och plattan möts.

LB Hus AB grundutförande påvisar ett stort värmefflöde genom syllen och de närmast anslutande delarna till plattan. Syllen fördelar även flödet i flera dimensioner vilket medför ett högre värmefflöde än vad som i regel borde ske genom väggreglar. Simuleringar i HEAT3 visar också att voten värms upp och leder ut värme främst i horisontalled men även vertikalt.

Även om det hade varit möjligt att konstruera en 100 millimeter tjock betongplatta utan voter så skulle värmefflödet genom syllen fortfarande vara stort. Däremot hade det horisontella flödet ut genom plattan minskat med cirka 30 procent. Simuleringar i HEAT3 visar att avsaknaden av voter gör att andelen material med god värmeledningsförmåga mot utkanten av klimatskalet minskar kraftigt samtidigt som det isolerande skiktet under voten skulle tredubblas. Simuleringar i VIP+, med hänsyn taget till golvvärmens inverkan, visar att andelen material med god värmeledning mot plattans vertikala utsida samt den isolering som ersätter voten har omfattande betydelse för byggnadernas totala energibehov. Genom att ta bort voterna skulle energibehovet för Ugglan 135 och Steglitsen sänkas med sänkas 6,4 respektive 2,9 procent. Anledningen till att energibesparingen hade blivit större för Ugglan 135 än Steglitsen beror av att Ugglan 135 har betydligt större andel grundarea i förhållande till BOA jämfört Steglitsen har. Golvvärmen gör att köldbryggorna i plattan får en större betydelse än för andra byggnadsdelar. Avsaknaden av voter skulle också få till följd att mindre värme leds ner genom voterna för att sedan gå via syll och regler innan och sedan ut genom klimatskalet.

En 70 millimeter extravägg resulterar i ett lägre värmefflödet genom syllen och dess angränsande område i plattan. Noterbart är dock att resultatet i figur 7.35 visar ett förhöjt flöde i området runt syllen. För att helt skära av den köldbryggan som syllen utgör bör således mer än 70 millimeters isolering användas. Med 70 millimeters extra isolering sänks värmefflödet betydligt för de ytor där extra isolering applicerats. Förluster genom marken ökar dock något. Simuleringar i VIP+ visar att Ugglan 135 totala energibehov sänks med 3,9 procent. Steglitsens totala energibehov sänks med 1,3 procent.

### **Hörn**

Värmefflödet i studerad hörnkonstruktion sker huvudsakligen genom köldbryggorna som uppstår då väggelementen sammanfogas. Från insidan sett innebär det att stora delar av värmen leds ut i nära anslutning till skarven mellan väggelementen.

Genom att ta bort den köldbryggan som innerväggsgipsen utgör minskar värmeflödet. Simuleringar i HEAT3 visar även att flödet i skarven mellan väggelementen minskar. Sett till det totala energibehovet är dock minskningen endast två till fyra promille för studerade hus.

Vid applicering av ett 70 millimeter extra isolerskikt minskar värmeflödet genom samtliga studerade ytor. Totala energibehovet minskar sänks med 5,2 samt 7,6 promille för Ugglan 135 respektive Steglitsen.

### **Energibesparing då samtliga köldbryggor bryts**

Sammanställs energibesparingen av studerade åtgärder syns tydligt att effekt av en grundkonstruktion utan voter uteslutande ger bäst besparing.

Bortsett från fallen med ett 70 millimeters extra isolerskikt så överrensstämmer summan av enskilda åtgärder med simulerad energibesparingen om de görs tillsammans

Bortsett energibesparingen på grund av förändrad grundkonstruktion så ger de enskilda åtgärderna, som inte bygger på ett extra isolerskikt, en total sänkning av energibehovet för Ugglan 135 på 1,18 procent och för Steglitsen på 2,4 procent.

Ett 70 millimeters extra isolerskikt på väggar samt vertikala delen av grunden ger en energibesparing på 10,4 procent för Ugglan 135 och 9,4 procent för Steglitsen

Om det extra isolerskiktet behålls på väggarna men grunden istället utformas med 100 millimeter betong och inga voter så blir energibesparingen istället 12,8 procent för Ugglan 135 och 11,2 procent för Steglitsen.

Den större besparingen som Ugglan 135 genererar jämfört med Steglitsen beror på att Ugglan 135 har en större omslutande area i förhållande till BOA jämfört Steglitsen.

Räknas energivinsterna bort som det 70 millimeter extra isolerskiktet genererar på hörn samt förändringar av grunden är energibesparingen nästan densamma som beräknats för det fall där en befintlig vägg konstruktion kompletterats med en 75 millimeters korsregelvägg i kapitel 7.3.3, tabell 7.4.

Genom att jämföra energibesparande åtgärder konstateras att för ett enplanshus skulle en grundkonstruktion med 100 millimeters betong utan voter nästan generera en lika stor energibesparing som ett 70 millimeters extra isolerskikt på samtliga väggar.

### **7.4.5 Slutsatser**

Utformningen av hammarband som en massiv regel eller två enskilda med tio eller 70 millimeters mellanliggande isolering har mycket liten påverkan för undersökta hus totala energibehov. En konstruktion av hammarband med tio eller 70 millimeters isolering motiveras inte som enskild åtgärd i energibesparande syfte.

Skillnaden i värmeledningsförmågan genom de olika regler som studerats är förhållandevis stor. Den låga andelen regler i förhållande till andra byggnadsdelar i klimatskalet gör dock att deras betydelse för studerade hus totala energibehov är förhållandevis litet. LB Hus AB lättreglar bör inte primärt bytas ut mot en lättregel uppbyggd av två flänsar och ett liv av träfiberskiva i syfte att sänka husens energibehov. Lättreglar uppbyggda med flänsar och liv

av träfiberskiva sänker dock energibehovet något och skulle inte vara en nackdel om det även föreligger produktionstekniska vinster.

Simuleringarna visar att värmeledningen sker genom det material som leder bäst. Genom att bryta köldbryggor på vissa ställen i en byggnad kan de befintligas betydelse öka. Då värmeledningen kan ske i flera dimensioner kan tvådimensionella beräkningar av sammansatta materials värmeledningsförmåga visa sig vara för låg. För LB Hus AB lättregel som består av 28 procent massiv trä och 72 procent trä, mineralull och trä är beräknad värmeledningsförmåga 12 procent högre om den beräknats i ett tredimensionellt fall jämfört med två dimensioner.

Massiva regler i LB Hus AB producerade byggnader bör inte ersättas av två lättreglar eftersom detta skulle leda till ett ökat energibehov. Lättreglar med massiva flänsar av 140 x 45 millimeter med liv av åtta millimeters träfiberskiva sänker dock värmeledningstalet med nio procent. Den låga andelen massiva regler i klimatskalet gör dock att det inte är relevant att enbart byta ut massiva regler i energibesparande syfte.

Undersökta förändringar av LB Hus AB mellanbjälklagskonstruktion påverkar energibehovet för Steglitsen i mycket liten utsträckning. Befintlig konstruktion bör inte förändras som enskild åtgärd i syfte att göra företags producerade hus mer energieffektiva. Förändringar av bjälklaget kan dock göras i syfte att minska köldbryggor och på så vis minska risken för fukttekniska problem.

Vid utveckling av takstolar och takfot bör LB Hus AB se över köldbryggorna vid takstolar i anslutning till takfoten. Högre taklutning skulle till exempel medföra att ett tjockare isolerskikt kan appliceras längre ut mot yttertaget.

Värmeflödet går att styra samt reducera genom att på olika sätt isolera enskilda köldbryggor.

Om statiken tillåter bör LB Hus AB överväga att smalna av hammarbandet och ersätta delar av den med mineralull för att minska dess betydelse som köldbrygga. Extra isolering skulle i förekommande fall bli en del av takisoleringen.

Under utvecklingsarbete med LB Hus AB byggsystem bör företaget sträva efter att minska köldbryggan vid anslutningen mellan grund och regelväggens syll.

Voten och dess storlek är av betydelse för vertikala värmeförluster genom marken. Även om det ur statiska avseenden är svårt att konstruera en platta utan voter så visar simuleringar att värmeförlusterna genom plattan är omfattande. Energibesparingen är så pass kraftig att LB Hus AB omgående bör se över möjligheterna att utveckla ett grundsystem där voterna kan göras tunnare. I samband med detta bör konsekvenserna studeras närmare för att till exempel undvika tjälskjutning.

Energibesparingen blir ungefär dubbelt så stor för undersökta hus om voten skulle kunna tas bort jämfört med ett 70 millimeters extra isolerskikt i kantelementet.

Förändringen av hörnkonstruktionen genom att ta bort en genomgående gipsskiva och på så sätt minska köldbryggorna har liten betydelse för byggnadens totala energibehov. 70 millimeters extraisolering sänker inte heller det totala energibehovet i större utsträckning.

Bortsett från ett 70 millimeter extra isolerskikt på plattans vertikala utsida samt en platta med tunnare voter så är studerade förändringar inte relevanta om de inte också genererar produktionstekniska vinster.

För att göra studerade byggnader än mer energieffektiva genom att bryta köldbryggor är det mest effektiva sättet att utföra en konstruktion med ett extra isolerskikt. Detta är dock ur produktionstekniska skäl inte rimligt såvida energikraven på producerade hus skärps ytterligare. Förvisso anger Boverkets ett maximalt energibehov. Att uppfylla kraven med god marginal är något positivt jämfört med att ligga på gränsen. Tjockleken på ett extra isolerskikt diskuteras ovan i kapitel 7.3, Isolertjocklek i klimatskal.

## 7.5 Fönster

### 7.5.1 Syfte

Kapitlet rörande fönster och de energibesparingar som går att göra i en byggnad genom att förändra fönstren syftar till att studera tre olika delområden.

För att ge en uppfattning om fönsterareans betydelse för studerade hus energianvändningen undersöks kortfattat hur energibehovet förändras med olika fönsterareor.

Genom att studera, modellera och förändra befintliga och tänkbara fönsterkonstruktioner undersöks möjligheten att sänka deras U-värde. Med befintlig fönsterkonstruktion menas såväl fönsterglas som fönsterkarmar och fönsternischer.

Slutligen syftar kapitlet att utreda hur undersökta byggnaders totala energibehov förändras om U-värden sänks dels genom att använda bättre fönster men även genom att förändra fönsterkonstruktionen enligt tidigare studerad metod.

### 7.5.2 Metod

För att minska omfattningen studeras endast LB Hus AB icke öppningsbara standardfönster. Både öppningsbara och icke öppningsbara fönster har ett U-värde på  $1,3 \text{ W/m}^2$  och K. Fönsterarean per fönster som studerats är  $1,32 \text{ m}^2$ . Utöver denna tillkommer  $0,05 \text{ m}^2$  drevnings isolering mellan fönsterkram och regler.

Fönsterareans betydelse för totala energibehovet hos studerade byggnader undersöks genom att simulera energibehov med olika fönsterarea. Simuleringar för en 25 procent större och mindre fönsterarea jämförs med ursprungsfallen för Ugglan 135 och Steglitsen.

Befintlig fönsterkonstruktion modelleras och simuleras i HEAT3. Därefter görs förändringar i modellen som syftar till att sänka studerade byggnaders energibehov. För konstruktioner med regler som karmen är fäst i analyseras endast värmeflödet. Simuleringar med fönsterkonstruktioner utan kringliggande regler syftar till att räkna fram nya U-värde som sedan ansätts i VIP+. Anledningen till att nya U-värden inte ansätts för simuleringar med kringliggande regler är att det krävs omfattande förändringar för studerade byggnaders modeller i VIP+.

Endast värmeflödet studeras beträffande:

- Fördelning i grundutförande där massiva reglar sitter runt fönsterkonstruktionen
- Konsekvenser för värmeflödesfördelning om de massiva reglar som håller fönsterkarmen ersätts med lättreglar
- Konsekvenser för värmeflödets fördelning om en extra isolering appliceras på insidan av karmarna och fönsternischerna, nischisolering

U-värde för fönsterkonstruktionen beräknas för:

- Grundutförandet för fönstret
- Om nischisolering appliceras.
- Om fönsterkonstruktionen byggs upp av dubbla fönster, dubbelfönsterkonstruktion. Detta innebär att två fönster placeras efter varandra.
- Om fönsterkonstruktionen utformas med en dubbelfönsterkonstruktion samt nischisolering

Nya U-värden som erhållits då förändringar simuleringar i HEAT3 ansätts i VIP+ för att studera hur det totala energibehovet förändras för Ugglan 135 samt Steglitsen. Förutom de nya U-värden som beräknats i HEAT3 studeras även hur energibehovet förändras då fönster med U-värde på  $1,0 \text{ W/m}^2$  och K används istället för grundfallets 1,3.

Vid modellering i HEAT3 har material och parametrar för fönsterdelar har ansatts enligt tabell 7.12 och 7.13 nedan.

Tabell 7.12 Värmeledningsförmåga i  $\text{W/m}$  och  $\text{K}$  för använda material vid modellering i HEAT3.<sup>195</sup>

	Värmeledningsförmåga
Trä	0,13
Luft	0,067
Argon	0,02

Tabell 7.13 U-värde i  $\text{W/m}^2$  och  $\text{K}$  för fönsterdelar vid modellering i HEAT3.<sup>196</sup>

	U-värde
3 glas	1,05
Karm	1,49

### 7.5.3 Resultat

Förändring av studerade byggnaders energibehov beroende av fönsterarea presenteras i tabell 7.14 nedan.

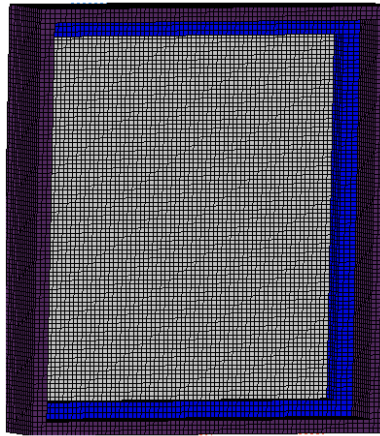
Tabell 7.14 Förändringar i studerade byggnaders energibehov  $\text{kWh/m}^2$  och år med 25% större och mindre fönsterarea.

	25% mindre fönsterarea	Grundfall	25% större fönsterarea
Ugglan 135	93,1	99,9	105,1
Steglitsen	92,4	102,4	112,6

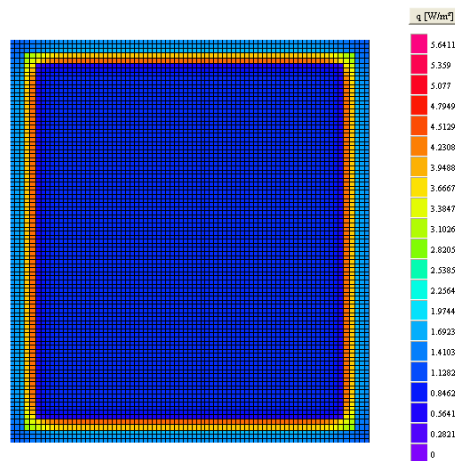
<sup>195</sup> Svensson, Henrik. Elitfönster AB. Personlig kommunikation.

<sup>196</sup> Ibid.

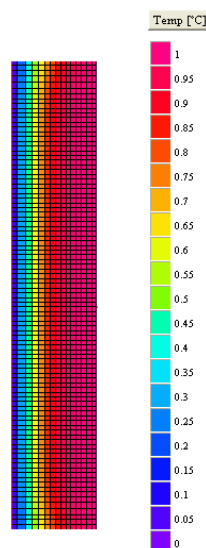
Modellen för en grundutförande av fönsterkonstruktion omsluten av massiva reglar samt värme- och temperaturfördelning i en sådan redovisas i figurer 7.47 till 7.49 nedan. För hela konstruktionen är flödet  $1,337 \text{ W/m}^2$  och K.



Figur 7.47 Modell för grundutförandet av LB Hus AB standardfönsterkonstruktion med omslutande massiva reglar sett från insidan.

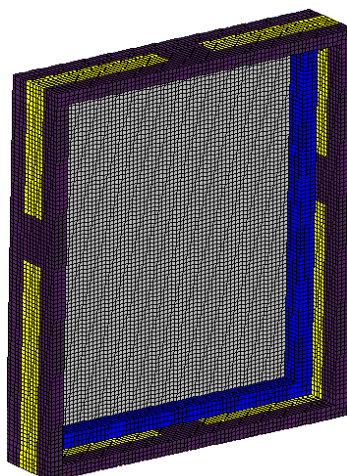


Figur 7.48 Värmeflödet genom LB Hus AB standardfönsterkonstruktion med omslutande massiva reglar.

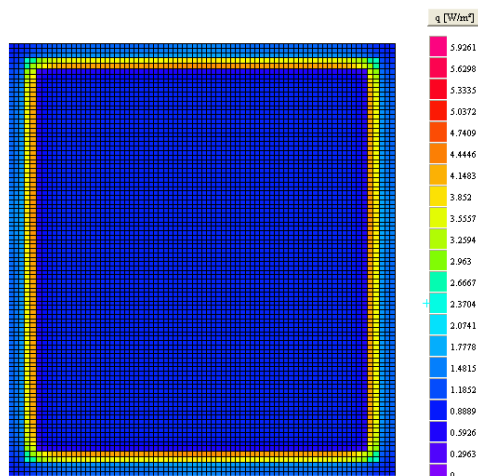


Figur 7.49 Temperaturfördelning i LB Hus AB standardfönsterkonstruktion med omslutande massiva reglar.

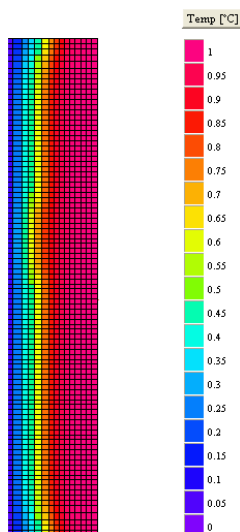
Om kringliggande massiva reglarna ersätts med lättreglar ändras hela fönsterkonstruktionens värme flöde till 1,301 W/m<sup>2</sup> och K. En sådan modell samt dess värme flödes och temperaturfördelning redovisas i figur 7.50 till 7.52 nedan.



Figur 7.50 Modell för fönsterkonstruktion med karm som omsluts av lättreglar sett från insidan.



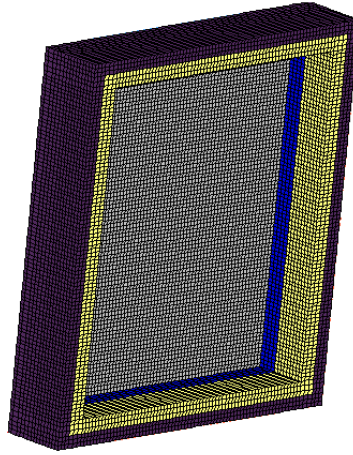
Figur 7.51 Värme flödet genom fönsterkonstruktion med kram som omsluts av lättreglar.



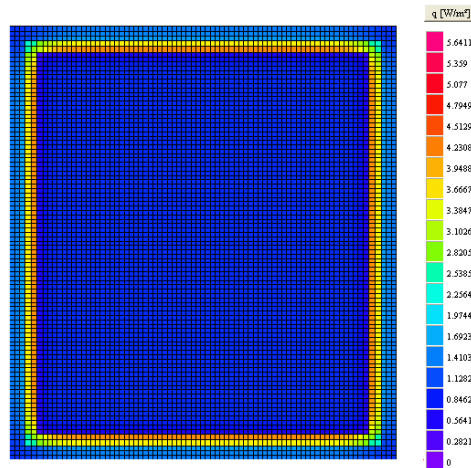
Figur 7.52 Temperaturfördelning i fönsterkonstruktion där karmen omsluts av lättreglar.



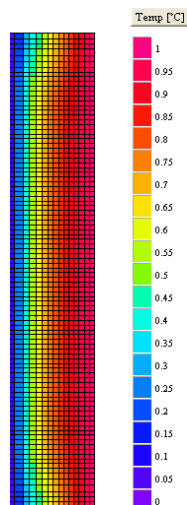
Om befintlig fönsterkonstruktion med omslutande massiva reglar kompliteras med en nischisolering blir värmeflödet för hela konstruktionen 1,284 W/m<sup>2</sup> och K. En sådan modell samt dess värmeflödes och temperaturfördelning redovisas i figur 7.53 till 7.55 nedan.



Figur 7.53 Modell för fönsterkonstruktion med massiva reglar och nischisolering sett från insidan.



Figur 7.54 Värmeflödet genom fönsterkonstruktion med massiva reglar och nischisolering.



Figur 7.55 Temperaturfördelning i fönsterkonstruktion med massiva reglar och nischisolering.

Nya U-värden har beräknats för fönsterkonstruktioner utan hänsyn taget till inverkan från kringliggande regler. Studerade fönsterkonstruktionerna redovisas inte närmare i figurer. Delar av studerade fönsterkonstruktioner överrensstämmer med de som presenteras i figur 7.47 till 7.55 med undantag att de inte har någon kringliggande regel. Resultatet från beräkningarna sammanställs i tabell 7.15 nedan.

Tabell 7.15 Ändring av U-värde för fönster vid förändringar i fönsterkonstruktionen i  $W/m^2$  och K.

Förändring	U-värde
Grundutförande	1,30
125 mm nischisolering	1,28
Dubbla fönster U värde 1,3	0,72
Dubbla fönster U värde 1,3 samt 20 mm nischisolering	0,72

U- värden från studie ovan appliceras på fönster i den modell som byggts upp i VIP+. Förändringar i energibehovet för Ugglan 135 samt Steglitsen redovisas i tabell 7.16 nedan.

Tabell 7.16 Förändring av studerade byggnaders energibehov med vid lägre U-värde  $kWh/m^2$  och år.

Förändring	U-värde	Ugglan 135	Steglitsen
	[ $W/m^2$ , K]	[ $kWh/m^2$ , år]	[ $kWh/m^2$ , år]
Grundutförande	1,30	99,92	102,39
125 mm nischisolering	1,28	99,46	101,73
Annan fönster modell	1,00	93,26	92,62
Dubbla fönster U värde 1,3 samt 20 mm nischisolering	0,72	87,16	83,68

#### 7.5.4 Analys

Förändringar av fönsterarean med 25 procent gör att energibehovet ökar respektive minskar med fem till sju procent för Ugglan 135 samt tio procent för Steglitsen. Anledningen till att förändringen för Steglitsen är större jämfört med Ugglan 135 beror på att Steglitsen har större fönsterarea.

För LB Hus AB grundutförande på fönsterkonstruktion med kringliggande regler är värmeflödet som störst genom karmarna. Temperatur och värmeflödet fördelar sig jämt över konstruktionen med undantag för hörnen.

En fönsterkonstruktion med omslutande lättreglar sänker värmeflödet med ungefär 2,7 procent för studerad yta. Sänkningen är inte undersökt för Ugglan 135 samt Steglitsens totala energibehov. För temperaturfördelningen och även i viss mån i flödesfördelningen syns var klossarna som utgör lättregelns liv är placerade.

Nischisolering ger en sänkning med fyra procent jämfört grundutförande. Temperaturkurvan flyttas längre in i regeln. Nischisolering för enbart fönsterkarmarna utan hänsyn taget till kringliggande regler studeras nedan i både HEAT3 och VIP+.

Simuleringar i HEAT3 med nischisolering i endimension visar inte på någon större förändring. Däremot visar simuleringarna att U-värdet sjunker med cirka 45 procent för en dubbelfönsterkonstruktion.

Totala energibehovet för studerade byggnader sjunker inte markant om fönstrens U-värde sänks från 1,30 W/m<sup>2</sup> och K till 1,28 W/m<sup>2</sup> och K. En sänkning till 1,0 W/m<sup>2</sup> och K genererar dock en större energibesparing. För Ugglan 135 minskar energibehovet med sju procent och för Steglitsen med tio procent. Precis som tidigare nämnts beror den större förändringen för Steglitsen på att byggnaden har större fönsterareor. Noterbart är att Steglitsens totala energibehov per år även är lägre än för Ugglan 135 om fönster med U-värde 1,0 används.

Ytterligare energieffektiva fönsterlösningar med en dubbelfönsterkonstruktion med ett U-värde på 0,72 W/m<sup>2</sup> och K ger energibesparingar på upp till 18 procent för Steglitsen. Motsvarande energibesparing för Ugglan 135 är 13 procent.

### **7.5.5 Slutsatser**

Genom att förändra studerade byggnaders fönsterarea med 25 procent förändras deras energibehov med fem till tio procent.

Lättreglar rund fönsterkarmarna sänker energibehovet. Hur mycket de påverkar det totala energibehovet är dock oklart på grund av svårigheterna att modellera ett sådant fall i VIP+. Om det medför produktionstekniska vinster bör LB Hus AB övergå till att även ha lättreglar kring fönstren.

Simuleringar i VIP+ för studerade byggnaders totala energibehov visar att det finns stora vinster att göra genom att förbättra fönsterkonstruktionen. LB Hus AB bör omgående tillse att fönstrens U-värden sänks till 1,0 W/m<sup>2</sup> och K.

På längre sikt bör LB Hus AB arbeta för att finna en fönsterkonstruktion som sänker energibehovet ytterligare eftersom det fortfarande finns stora energibesparande vinster att göra i fönstren och deras anslutningar.

## **7.6 Luftläckage**

### **7.6.1 Syfte**

Kapitlet syftar till att undersöka vilken inverkan studerade byggnaders luftläckage har på energibehovet. Eftersom yttre påverkan från vinden också har betydelse för hur stort luftläckaget blir vägs det också in i studien.

### **7.6.2 Teorier**

En byggnads energiförluster genom läckage beror huvudsakligen av hur tät byggnaden är. Beroende på hur tätt huset är sugas luft ut eller in genom klimatskalet. Detta sker dels genom under och övertryck som genereras av vind men även beroende på vilka tryckskillnader som råder inne i en byggnad. Ett hus med frånluftssystem påverkas i regel mindre av otätheter jämfört ett hus med FTX-system. Anledningen är att ett frånluftssystem ofta är tänkt att fungera på ett sådant sätt att tilluft tas in via, don, fönster eller otätheter. Ett FTX system är mer känsligt för otätheter eftersom systemet bygger på att kunna kontrollera över både till och frånluftslöden i en byggnad.

Anledningarna till otätheter i byggnader kan vara flera. Ofta orsakas de av slarviga hantverkare men även komplicerade byggsystem kan vara ett stort skäl. Överlag gäller att fler installationer genererar fler otätheter med större läckageförluster som följd. Lyckade fall i syfte att minska läckageförlusterna har gjorts där väggens diffusionsspärr lyfts in 45

millimeter i väggen och gjort att onödiga håltagningar kan undvikas. En annan metod kan vara att installationerna läggs på diffusionsspärren och den på så vis veckas lite in i väggen innan den fästes.

Läckageflödet mäts genom klimatskalet i l/s och m<sup>2</sup> då en byggnad utsätts för en tryckskillnad på 50 Pascal över klimatskärmen. Tryckskillnaden åstadkommes oftast genom att fläkt monteras i någon av klimatskalets öppningar eller genom med hjälp av fläktar i befintligt ventilationssystem.

För att klara energikrav samt andra negativa effekter från luftläckage ställs ofta ett krav på att huset ska ha ett lägre läckageflöde än 0,8 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad. Arean avser omslutande area, vilket innebär såväl väggar, golv och tak med tillhörande öppningar och genomföringar mot ute och mark.

### **7.6.3 Metod**

Studien utgår från grundutförandet för Ugglan 135 och Steglitsen. Husen modelleras från början med ett läckageflöde på 0,8 l/s och m<sup>2</sup> samt vindpåverkan som antas uppstå i en något skyddad bebyggelse, 70 procent.

Läckageflödet sänks från 0,8 l/s och m<sup>2</sup> med ett intervall om 0,2 l/s och m<sup>2</sup> till dess att huset är helt tätt.

För samtliga fall av läckage studeras energibehovet beroende på hur byggnaderna exponeras av vinden. Fritt exponerade innebär att 95 procent av vinden påverkar byggnaden. Byggnader som är något skyddade påverkas till 70 procent av omgivande vind. Innerstadsbebyggelse skyddas till den grad att de berörs till 45 procent av vind i området.<sup>197</sup>

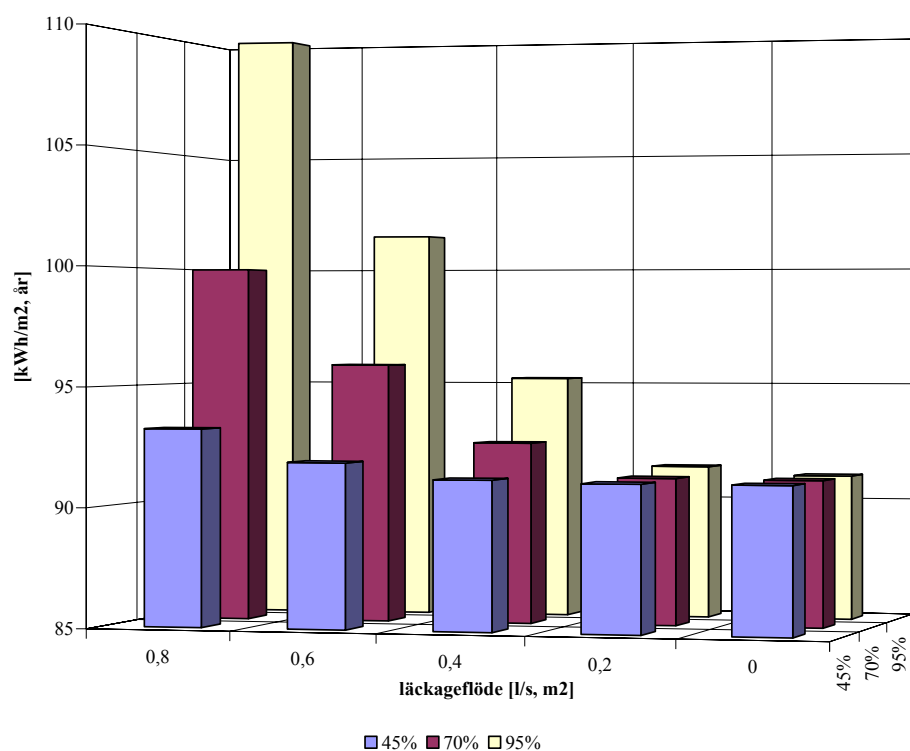
### **7.6.4 Resultat**

Resultat från simuleringar i VIP+ presenteras både i diagram samt tabell för de två studerade husen.

---

<sup>197</sup> Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006) *VIP+. Manual Version 4.0.1*. Malmö.

## Ugglan 135



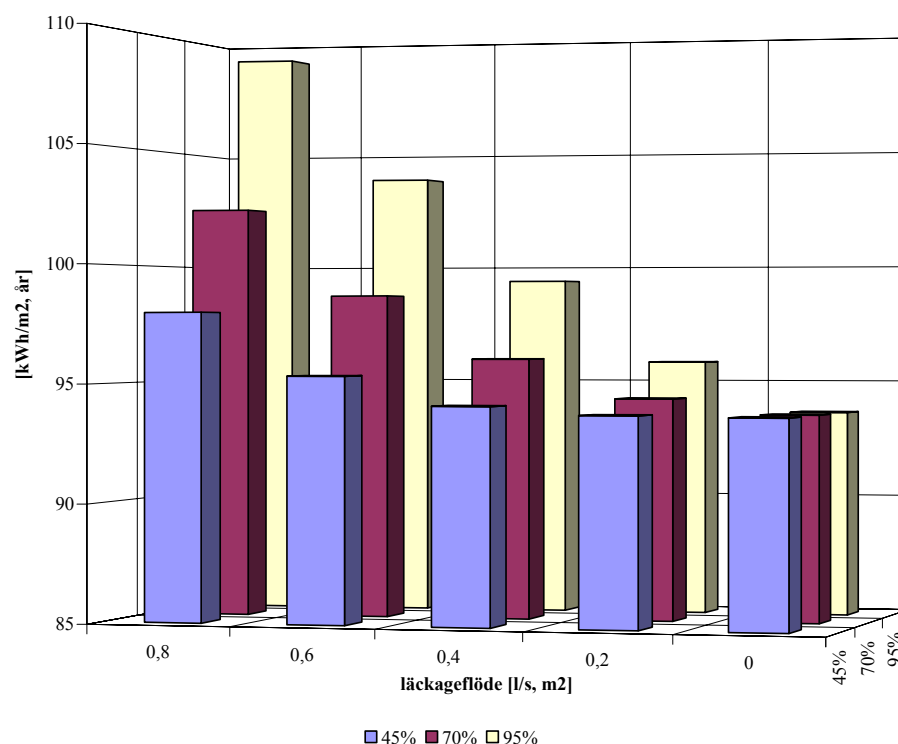
Figur 7.56 Energibehovet för Ugglan 135 beroende av läckageflöde genom klimatskal samt byggnadens utsatta läge för vind.

Tabell 7.17 Energibehovet i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 beroende av läckageflöde genom klimatskal samt byggnadens utsatta läge för vind.

Luftläckage [l/s, m <sup>2</sup> ]	Fritt exponerad bebyggelse, 95% av vind	Något skyddad bebyggelse, 70% av vind	Innerstads- bebyggelse, 45% av vind
0,8	110,0	99,9 <sup>1</sup>	93,2
0,6	101,4	95,9	91,9
0,4	95,2	92,6	91,2
0,2	91,5	91,2	91,1
0	91,1	91,1	91,1

## 1. Grundutförande för Ugglan 135

## Steglitsen



Figur 7.57 Energibehovet för Steglitsen beroende av läckageflöde genom klimatskal samt byggnadens utsatta läge för vind.

Tabell 7.18 Energibehovet i kWh/m<sup>2</sup> och år för Steglitsen beroende av läckageflöde genom klimatskal samt byggnadens utsatta läge för vind.

Luftläckage [l/s, m <sup>2</sup> ]	Fritt exponerad bebyggelse, 95% av vind	Något skyddad bebyggelse, 70% av vind	Innerstads- bebyggelse, 45% av vind
0,8	109,2	102,4 <sup>1</sup>	98,0
0,6	103,8	98,7	95,3
0,4	99,4	96,0	94,1
0,2	95,8	94,3	93,8
0	93,7	93,7	93,7

## 1. Grundutförande för Steglitsen

### 7.6.5 Analys

Simuleringar i VIP+ visar att energibehovet hos en byggnad som inte är helt tät påverkas av omgivande vind. Högre läckageflöde gör att byggnaden påverkas desto mer av vind.

För innerstads och annan tät bebyggelse i icke vindutsatta områden visar simuleringarna att byggnadernas täthet får mindre betydelse för energibehovet.

För att minska energibehovet lika mycket med hjälp av att sänka läckageflödet krävs en ökad täthet i Steglitsen jämfört Ugglan 135. Detta beror av att Steglitsen är ungefär dubbel så högt som Ugglan 135 och därav genererar högre tryckskillnader mot klimatskalet.

Noterbart är att ett läckageflöde med 0,8 l/s och  $m^2$  för fritt exponerade byggnader, 95 procent, genererar ett högre energi behov för Ugglan 135 jämfört Steglitsen.

Extremfall med för Ugglan 135 i fritt vindexponerat skulle kunna sänka energibehovet med cirka 19 kWh/ $m^2$  och år. Mer realistiskt är dock att tätare klimatskal på 0,4 l/s och  $m^2$  kan generera en sänkning med ungefär åtta kWh/ $m^2$  och år. Efter det att läckageflödet sänkts till 0,4 l/s och  $m^2$  upphör de stora energibesparingarna för Ugglan 135. Även om hus alltid ska konstrueras och uppföras så täta som möjligt genererar ett tätare klimatskal än 0,4 l/s och  $m^2$  inga större energibesparingar. Risken för fuktrelaterade skador minskar dock fortfarande med tätare hus, framförallt för byggnader med FTX- system.

För Steglitsen skulle energibehovet i extremfall kunna sänkas med cirka 15 kWh/ $m^2$  och år. En mer realistisk sänkning är ett tätare klimatskal med läckageflöde på 0,4 l/s och  $m^2$ . Detta skulle generera en sänkning med cirka sex kWh/ $m^2$  och år. Simuleringar för Steglitsen visar till skillnad från Ugglan 135 att det går att göra ytterligare energivinster genom att sänka läckageflödet. Först efter en täthet på 0,2 l/ $m^2$  och s upphör de stora energibesparande vinsterna med ett tätare klimatskal.

### 7.6.6 Slutsatser

Genom att göra klimatskalet tätare och minska läckageförlusterna går det minska studerade byggnaders energibehov. Möjliga energibesparingar genom tätare klimatskal är så pass stora att LB Hus AB omgående bör arbeta för att öka klimatskalets täthet i levererade hus.

I ett längre perspektiv bör målsättningen med ett tätare klimatskal sättas till att läckageflödet skall vara 0,4 l/s och  $m^2$  eller lägre.

För att åstadkomma tätare klimatskal krävs i regel förändringar i LB Hus AB befintliga byggsystem. I kommande kapitel presenteras några förslag som skulle kunna vara möjliga.

### 7.6.7 Förslag till förändringar för att sänka luftläckage

Nedan presenteras förslag till förändringar i LB Hus AB byggsystem som syftar till att göra klimatskalet tätare och på så vis minska läckageförluster i konstruktionen.

Föreslagna förändringar baseras på studier av internt material hos LB Hus AB studerats samt genom information som tillgodogjorts vid praktiska momentstudier vid LB Hus AB byggarbetsplatser och fabrik.

Sekretesskäl gör att befintliga konstruktioner inte presenteras. För att ytterligare undanhålla sekretessbelagd information rörande LB Hus AB byggsystem ges inte en fullständig redogörelse av förslag nedan.

### **Bjälklag**

LB Hus AB mellanbjälklag är idag utformade på ett sådant sätt att de tränger rakt igenom hela klimatskalet. Trots att tätningslister appliceras i mellanbjälklagets anslutningar kan vid montage konstateras att det förekommer läckage i dessa anslutningar. Vidare saknar mellanbjälklagen helt den diffusionstäta plastfolie som läggs i väggarna i syfte att hindra luftläckage.

Mellanbjälklaget i ytterväggen skulle kunna dras in och vila på den inre delen av underliggande hammarband. På så vis kan en plastfolie från underliggande vägg läggas upp ovanpå hammarbandet. En platsfolie appliceras på mellanbjälklagets utsida och viks in under och över mellanbjälklaget. Vid montage kläms mellanbjälklagets plastfolie ihop med den som ligger över hammarbandet som mellanbjälklaget kommer vila på. På samma sätt kläms mellanbjälklagets ovanpåliggande platsfolie ihop med plastfolien från övervåningens vägg som vikts in under syllen.

Eftersom mellanbjälklaget lyfts in mer än två tredjedelar av väggens tjocklek föreligger ingen risk att fuktskador ska bildas på grund av att den diffusionstäta folien ligger för långt ut i klimatskalet.

### **Hörn**

Grundkonstruktionen för hörn i LB Hus AB byggsystem bygger på att två olika väggelement monteras i vinkel mot varandra. Hela långsidans väggelement löper vid montage förbi kortsidans väggelement. Detta innebär att såväl insidans gips som diffusionstäta platsfolie löper rakt igenom hela väggen ut till utsidan av klimatskalet. I skarven mellan väggelements appliceras två stycken lister i syfte att täta mellan väggelementen när de spänns ihop. Vid visuell studie konstateras att springor uppstår i hörnen mellan väggelementen.

För att nå bättre täthet i hörnen kan långsidans väggelement konstrueras på ett sådant sätt att gipsen på insidan inte fortsätter ut till klimatskalets utsida i hörnen. Om den istället slutade vid hörnets insida kan bakomliggande platsfolie vikas 90 grader och klämmas ihop med kortsidans plastfolie bakom en gipsskiva som monteras i efterhand på kortsidans väggelement.

Förutom att husen skulle bli tätare så skulle även den köldbrygga som gipsen utgör försvinna.

### **Fönster och fönsternischer**

Diffusionstät plastfolie sätts idag in i fönsternischerna innan fönster och väggens plastfolie monteras. Plastfolien i nischerna görs lite för stor så att den kan klämmas ihop med väggens plastfolie bakom insidans gipsskivor. Plastfoliens alla skarvar i fönsternischerna och dess anslutning tejpas. Vid fönstermontage drevas utrymmet mellan fönsterkarmen och plastfolien.

Genom att tillsammans med platsfolietillverkaren utveckla en bottenlös plastpåse där botten lätt kan anslutas till fönsterkarmens utsida skulle luftläckaget genom fönster anslutningen och fönsternischerna kunna minskas. Förutom att läckaget genom fönsterkarmens drevning minskar så försvinner alla skarvar i fönsternischen. Plastfolien kan fästas med hjälp av



fönsternischernas ytskivor eller av extra nischisolering i kombination med ytskivor. En påskonstruktion av plastfolie skulle inte bara göra husen tätare utan även underlätta produktionen eftersom arbetsmomenten med att tejpa och fästa plastfolien försvinner.

### **Installationstekniska detaljer**

Precis som för många andra byggnader genererar en rad installationstekniska detaljer hål i den diffusionstäta plastfolien som läggs i klimatskalet i LB Hus AB producerade hus. Framst är det genomföringar från elektriska detaljer som ger upphov förluster genom luftläckage.

För att minska luftläckage från installationstekniska detaljer kan dessa installeras innan dess att plastfolien spänns. I praktiken innebär det att väggelementets plastfolie läggs ut. Därefter monteras elektriska detaljer och trycks in i väggen. Bakomliggande plastfolien kommer då att vecka sig något mot väggens mitt. Eldetaljerna monteras klart och plastfolien fästes som vanligt med skillnaden att den där eldetaljer sitter är den veckad och ligger lite längre in i väggen. På detta sätt kan en rad onödiga genomföringar med läckage som följd ointetgöras utan att byggsystemet ändrats på något sätt.

En betydligt mer omfattande åtgärd för att minska genomföringar i den diffusionstäta plastfolien är att bygga invändig korsregelvägg där hela plastfolien kan flyttas in i väggen. En sådan metod för att minska läckageförlusterna på grund av installationer är säkerligen effektivare än tidigare förslag men också betydligt mer omständlig och kräver omfattande förändringar av LB Hus AB byggsystem.

## **7.7 Golvvärmens inverkan på energibehovet**

### **7.7.1 Syfte**

Kapitlet ämnar undersöka om, och i så fall på vilket sätt, energibehovet påverkas av hur djupt golvvärmslingorna ligger i plattan. Vidare studeras hur energibehovet förändras om golvvärmen ersätts med vattenburna radiatorer.

### **7.7.2 Metod**

Ugglan 135 och Steglitsens totala energibehov beroende på golvvärme slingornas nivå i plattan samt konsekvenserna för energibehovet om golvvärmen ersätts med vattenburen radiatorvärme studeras genom simuleringar i VIP+. Ingen noggrannare analys görs således i HEAT3.

I LB Hus AB grundutförande ligger golvvärmslingorna mitt i plattan. Behovet av ett täckskikt till plattans armering gör det inte möjligt att lägga golvvärmen högre upp i konstruktionen än 20 millimeter. Golvvärmslingornas nivå simuleras därav på grundutförandets nivå mitt i plattan samt för ett fall då de ligger 20 millimeter under plattans ovkant.

### **7.7.3 Resultat**

Resultatet från simuleringar i VIP+ där golvvärmslingorna placerats högre upp i plattan samt om golvvärmsystemet ersätts med vattenburen radiatorvärme redovisas i tabell 7.19.

Tabell 7.19 Variationer i energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och Steglitsen beroende på golvvärmeslingornas nivå i plattan samt om golvvärmen ersätts med vattenburen radiatorvärme.

Hus	Golvvärme		Vattenburen radiator värme
	Grundutförande	20 mm djup	
Ugglan 135	99,9	96,7	78,3
Steglitsen	102,4	101,4	93,9

#### 7.7.4 Analys

Genom att förändra golvvärmeslingornas placering i betongplattan är det möjligt att sänka energibehovet med cirka 3,2 procent för Ugglan 135 och cirka en procent för Steglitsen.

Om golvvärmesystemet istället ersätts med ett vattenburet radiatorsystem visar simuleringar i VIP+ att energibesparingen blir mellan 21,6 och 8,3 procent. I dessa simuleringar har inte hänsyn tagits till förändringar som krävs i installationssystemet om ett radiatorsystem ersätter golvvärmen. Därav är det inte rimligt att jämföra resultaten i tabell 7.19 med varandra. En förändring av installationssystemet från golvvärme till vattenburen radiatorvärme kan medföra både för och nackdelar. En fördel med golvvärme är den yta som golvet utgör jämfört med radiatorer. Den stora ytan gör att en lägre framledningstemperatur på värmemediet behövs i förhållande till en radiator som har mindre yta. Lägre framledningstemperaturer medför i sin tur att det inte krävs lika stor effekt för att värma mediet som ska transportera ut värmen i uppvärmningssystemet. Som regel gäller att en högre temperatur på värmemediet i sin tur resulterar i ett högre energibehov, som i det här fallet beror på att värmepumpen får en sämre verkningsgrad samt att förlusterna blir större. De komfort och produktionstekniska fördelarna med golvvärmesystem bör också understrykas. Fördelarna med ett vattenburet radiatorsystem är att värmepumpen skulle kunna ampasas så den på ett effektivare sätt kan värma både tappvarmvatten och radiatorvärme. Temperaturskillnaderna mellan vattnet i ett golvvärmesystem och tappvarmvatten är betydligt större än mellan vattnet i ett radiatorsystem och tappvarmvattnet. Genom att värmepumpen arbetar mot ett mindre temperaturintervall kan den också arbeta effektivare både beträffande verkningsgrad och driftstider. Ett vattenburet radiatorsystem reagerar även snabbare på klimatvariationer så väl inomhus som utomhus.

I resultatet syns tydligt att energibehovet minskar betydligt mer för Ugglan 135 jämfört med Steglitsen. Detta beror av att Ugglan 135 fördelar all värme genom ett golvvärmesystem i hela grunden. Steglitsen fördelar endast 50 procent av värmen genom golvvärme på bottenvåningen och resterande 50 procent genom vattenburna radiatorer på ovanvåningen.

#### 7.7.5 Slutsatser

LB Hus AB bör omgående utreda möjligheterna att lägga golvvärmeslingorna högre upp i plattan. Framförallt för enplanshusen där det kan generera energibesparingar upp till tre procent av totala energibehovet.

Även om det inte går att dra några större slutsatser av simuleringarna där golvvärmen ersätts med vattenburna radiatorer bör detta utredas vidare. I en sådan utredning är det av stor vikt att LB Hus AB inte enbart beaktar de installationstekniska aspekterna utan även tar med produktionstekniska fördelar med golvvärme.

## 7.8 Högpresterande frånluftsvärmepumpar

### 7.8.1 Syfte

Kapitlet syftar till att studera hur energibehovet förändras om befintliga frånluftsvärmepumpar ersätts med högeffektiva frånluftsvärmepumpar med bättre värmefaktor.

### 7.8.2 Metod

Undantaget värmesystemet används befintliga modeller av Ugglan 135 och Steglitsen. Befintliga parametrar för frånluftsvärmepumpen ersätts med nya som avser en Högpresterande frånluftsvärmepump. Nytt energibehov simuleras och jämförs med grundfallets.

### 7.8.3 Modellering av värmesystem

De nya parametrar som ansatts i modellen presenteras i punktform nedan.<sup>198</sup>

- Värmefaktor värme 3,2
- Kondensoreffekt 4000W
- Värmefaktor tappvarmvatten 2,9

### 7.8.4 Resultat

Resultatet från simuleringar i VIP+ med ansatta parametrar för FVP- systemet enligt ovan redovisas i tabell 7.20 nedan.

Tabell 7.20 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 och Steglitsen beroende av värmefaktor och kondensoreffekt hos installerad frånluftsvärmepump.*

Hus	Grundutförande	Högpresterande frånluftsvärmepump
Ugglan 135	99,9	66,9
Steglitsen	102,4	64,7

Detaljstudie av simuleringresultaten visar att elbehovet för FVP- systemet ökar samtidigt som behovet till värmeförsörjning minskar kraftigt.

### 7.8.5 Analys

Med ansatta parametrar på FVP- systemet enligt kapitel 7.8.3, Modellering av värmesystem, minskar energibehovet för Ugglan 135 med 33 kWh/m<sup>2</sup> och år. För Steglitsen är sänkningen av energibehovet 37,7 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Energibesparingen bedöms som osannolikt hög. Referens på Comfortzone AB anser dock att resultatet är rimligt och hänvisar även till mätvärden från referenshus, cirka 72 kWh/m<sup>2</sup> och år inkluderat hushållsel, i samma storlek som studerade byggnader<sup>199</sup>. Vidare ska kondensoreffekten gå att höja upp till 5000W, vilket skulle resultera i ett ännu lägre energibehov<sup>200</sup>.

<sup>198</sup> Eng, Lena. Comfortzone AB. Personlig kommunikation.

<sup>199</sup> Ibid.

<sup>200</sup> Ibid.

### 7.8.6 Slutsatser

Om simulerat resultat samt mätvärden från referenshus är någorlunda korrekta bör LB Hus AB snarast ersätta befintliga värmepumpar mot högpresterande. Förutom den stora energibesparingen som ett byte skulle resultera i är det även en förhållandevis enkel åtgärd. Ur ett produktionstekniskt perspektiv borde till och med ett byte av befintligt FVP- system mot ett nytt vara ett av de enklaste åtgärderna för att minska energibehovet i producerade hus.

## 7.9 Återvinning med värmepump eller ventilationsvärmväxlare

### 7.9.1 Syfte

Kapitlet syftar till att undersöka om det ur energihänseende är rimligt att ersätta dagens frånluftsvärmepumpar, FVP- system, med ett system som baseras på från och tilluft med anslutning till ventilationsvärmväxlare, FTX- system, i Ugglan 135 samt Steglitsen. Variationer i energibehovet undersöks för studerade byggnader beroende av om uppvärmningssystemet baseras på ett FVP- system eller ett FTX- system. Då energibehovet för FVP- och FTX- system varierar beroende av utomhusklimatet genomförs denna studie på de tidigare granskade orterna Malmö, Växjö, Stockholm och Sundsvall. Eftersom energibehovet för byggnader med FTX- system även påverkas av husets täthet samt verkningsgraden i ventilationsvärmväxlaren inkluderas även dessa parametrar i studien.

### 7.9.2 Teorier

Nedan beskrivs kortfattat hur FVP- och FTX- systemen fungerar. Utöver dessa finns det en rad andras värme och ventilationssystem. Beskrivningen avgränsas dock till dessa två då det är de enda som behandlas i studien.

#### FVP- system

I ett FVP- system sugs frånluften ut ur en byggnad med hjälp av en fläkt. Tilluft tas in genom don i väggar och fönster samt genom otätheter i byggnaden. Frånluftsdonen är i regel placerade i kök, badrum och klädkammare. När frånluften lämnat rummen passerar den en värmepumpsvärmväxlare som tillvaratar värmen. Värmepumpen omvandlar den lågvärdiga värmen med hjälp av en kompressor till högvärdig värme som sedan används till värme eller tappvarmvatten. Fördelarna med FVP- systemen är bland annat att det inte ställs allt för höga krav på byggnadens täthet. Vidare kan en relativt stor del av värmen i inomhusluften tillvaratas och återvinnas. Värmepumpens elberoende samt risken för dålig komfort och inneklimat i anslutning till de platser som tilluften tas in på ses som negativt.<sup>201</sup>

#### FTX- system

I ett FTX- system drivs både till och frånluften med hjälp av fläktar. För att hindra fukt relaterade skador är frånluftfläkten i regel inställd på ett sådant sätt att den skapar ett litet undertryck i byggnaden. På så vis hindras fuktig inomhusluft från att tränga in och kondensera klimatskalet. Frånluften i en byggnad har samma temperatur som inomhusluften. I regel är denna högre än utomhustemperaturen under större delen av året. Genom att använda en värmväxlare kan den varma frånluften förvärma kall tilluft som tas in utifrån. På så vis behövs inte lika mycket värme tillsättas inne i byggnaden. Många gånger används ett extra

<sup>201</sup> Torssell, Richard (2005). *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningssystem i småhus*.

värmebatteri efter värmeväxlaren. Detta syftar till att värma tilluften till en så pass hög temperatur att inomhuskomforten inte påverkas negativt. Ytterligare kompletterande uppvärmning samt värmning av tappvarmvatten sker genom andra värmekällor som till exempel, el, olja, ved, pellets, fjärrvärme eller solvärme.<sup>202</sup> En generell fördel med FTX-system är att de i regel har längre livslängd än ett FVP-system. Detta beror av att de huvudsakligen drivs av fläktar som håller längre än FVP-systemets kompressor. Vanligtvis genererar också den varma tilluften en bättre komfort och inneklimat. Det finns flera typer av värmeväxlare. Vanligas är roterande värmeväxlare och plattvärmeväxlare.

Roterande värmeväxlare består av ett rotorhjul med en mängd små axiella kanaler. När rotorn snurrar passerar frånluft och värme lagras i kanalerna. Rotorn snurrar sedan vidare för att möta kall tilluft vilken tillvaratar den lagrade värmen i kanalerna. Verkningsgraden för roterande värmeväxlare kan nå upp till 85 procent. Fördelarna med roterande värmeväxlare är att de ofta kan köras vid låga temperaturer utan att det råder risk för påfrysning. Vidare kan verkningsgraden styras lätt genom att ändra rotorns hastighet. En nackdel är att det finns risk för partikelöverföring mellan från och tilluften.<sup>203 204</sup>

Plattvärmeväxlaren är uppbyggd av växelvis lagda plåtar som bildar mellanliggande kanaler. Till och frånluften passerar i varannan kanal och värmen förs över mellan plåtarna. Ofta flödar den kalla och varma luften vinkelrät mot varandra i en såkallad korsströmsplattvärmeväxlare. Verkningsgraden för plattvärmeväxlare ligger vanligtvis mellan 60 och 70 procent. Fördelen med en plattvärmeväxlare är att den är enkelt uppbyggd. Verkningsgraderna är dock något lägre jämfört roterande värmeväxlare och måste sänkas vid risk för påfrysning.<sup>205 206</sup>

### 7.9.3 Metod

Energibehovet som grundutförandet för Ugglan 135 samt Steglitsen genererar vid simuleringar i VIP+ jämförs med energibehovet om ett FTX-system installeras istället för FVP-system. Precis som tidigare fördelas värmen genom ett vattenburet system med golvvärme på entréplanet och radiatorer på övervåningen. Tappvarmvattnet värms precis som tidigare i samma system. Skillnaden i FTX-systemet är att ett värmebatteri ansluts till tilluften i syfte att alltid ha en lägsta tilluftstemperatur på 18°C. Detta görs i syfte att inte påverka inneklimatet negativt.

Städerna Malmö, Växjö, Stockholm och Sundsvall studeras var för sig. Beträffande tätheten så jämförs denna med motsvarande täthet om huset har en frånluftsvärmepump. Energibehovet studeras beträffande verkningsgrad på FTX-systemet samt täthet och jämförs därefter med grundutföranden för Ugglan 135 och Steglitsen.

Intervallen i täthet har valts med avseende på tidigare studie ovan till 0,8 l/s och m<sup>2</sup>, 0,6 l/s och m<sup>2</sup> samt 0,4 l/s och m<sup>2</sup>. Verkningsgraden för FTX-systemets värmeväxlare har valts efter

<sup>202</sup> Torssell, Richard (2005). *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningsystem i småhus*.

<sup>203</sup> Ibid.

<sup>204</sup> Fläkt Woods Sverige AB (2007), *Produkter och system*. Internet.

<sup>205</sup> Torssell, Richard (2005). *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningsystem i småhus*.

<sup>206</sup> Fläkt Woods Sverige AB (2007), *Produkter och system*. Internet.

att ha studerat system på marknaden samt krav enligt BBR12. Verkningsgraderna har ansatts till 60 procent, 75 procent och 85 procent.<sup>207</sup>

Modellen för FTX systemets fasta parametrar redovisas i kapitel 7.7.4, Modellering av FTX-system, nedan.

#### 7.9.4 Modellering av FTX- system

För FTX- systemet har specifika parametrar enligt nedan ansatts. Övriga ansatta värden i simuleringsmodellen är de samma presenteras tidigare i kapitel 6.4 Modellering av Ugglan 135 samt Steglitsen.

Variabla parametrar

- Ort – Malmö, Växjö, Stockholm, Sundsvall
- Luftläckageflöde – 0,8 l/s och m<sup>2</sup>, 0,6 l/s och m<sup>2</sup>, 0,4 l/s och m<sup>2</sup> samt 0,2 l/s och m<sup>2</sup>
- Verkningsgrad värmeväxlare i FTX- systemet - 60 procent, 75 procent och 85 procent

Fasta parametrar

- Tryck tilluftsfläkt 250 Pa
- Verkningsgrad tilluftsfläkt 60 procent
- Tryck frånluftsfläkt 250 Pa
- Verkningsgrad frånluftsfläkt 60 procent
- Uppvärmning av lägsta tilluftstemperatur till 18°C
- Tilluftsventiler har avlägsnats
- Tilluft in genom värmeväxlaraggregatet har ansatts lika stor som frånluft enligt grundutförande

#### 7.9.5 Resultat

Simulerat energibehov presenteras i tabeller för respektive hus och ort. I tabellerna redovisas energibehov med olika luftläckage för studerat hus grundutförande med FVP- system samt FTX- system med olika verkningsgrader på återvinningen.

#### Ugglan 135 – Malmö

Tabell 7.21 Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Ugglan 135 i Malmö.

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	99,9	127,4	121,2	118,0
0,6	92,4	121,1	115,0	111,7
0,4	84,8	114,8	108,7	105,5
0,2	79,4	108,5	102,5	99,3

<sup>207</sup> Fläkt Woods Sverige AB (2007), *Produkter och system*. Internet.

**Steglitsen – Malmö**Tabell 7.22 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Steglitsen i Malmö.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	96,5	135,1	127,9	123,2
0,6	91,6	128,2	121,0	116,4
0,4	86,6	121,3	114,2	109,6
0,2	82,4	114,5	107,5	102,9

**Ugglan 135 – Växjö**Tabell 7.23 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Ugglan 135 i Växjö.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	99,8	133,6	126,5	122,5
0,6	95,9	127,6	121,2	117,3
0,4	92,8	123,2	116,0	112,1
0,2	91,4	117,9	110,8	106,9

**Steglitsen – Växjö**Tabell 7.24 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Steglitsen i Växjö.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	102,0	142,2	134,1	128,7
0,6	99,3	136,8	128,7	123,4
0,4	96,7	131,4	123,4	118,1
0,2	95,0	126,0	118,0	112,7

**Ugglan 135 – Stockholm**Tabell 7.25 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Ugglan 135 i Stockholm.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	99,9	132,3	125,2	121,3
0,6	95,9	127,1	120,0	116,1
0,4	92,6	121,9	114,8	111,0
0,2	91,2	116,7	109,6	105,8

**Steglitsen – Stockholm**Tabell 7.26 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Steglitsen i Stockholm.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	102,4	140,8	132,7	127,5
0,6	98,7	135,4	127,4	122,2
0,4	96,0	130,1	122,1	116,9
0,2	94,3	124,7	116,8	111,7

**Ugglan 135 – Sundsvall**Tabell 7.27 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Ugglan 135 i Sundsvall.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	128,4	160,9	151,6	146,5
0,6	124,1	154,3	145,1	139,9
0,4	120,8	147,6	138,5	133,3
0,2	119,2	141,0	131,9	126,7

**Steglitsen – Sundsvall**Tabell 7.28 *Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år beroende på valt installationssystem för Steglitsen i Sundsvall.*

Luft-läckage	Grundutförande, FVP- system	FTX- system, verkningsgrad		
		60%	75%	85%
0,8	133,5	173,1	163,0	156,3
0,6	130,0	166,4	156,3	149,1
0,4	126,5	159,7	149,6	143,0
0,2	124,6	152,3	142,2	135,6

**7.9.6 Analys**

Resultatet från simuleringarna i VIP+ visar att energibehovet för Ugglan 135 och Steglitsen med ett FTX- system ligger högre än om husen har FVP- system. Anmärkningsvärt är att ingen av simuleringarna för de olika orterna ger ett lägre energibehov jämfört FVP- system.

Bortsett från Malmö så måste Ugglan 135 ner till ett luftläckage som är 0,2 l/s och m<sup>2</sup> för att FTX- systemet överhuvudtaget ska klara kraven på energibehov enligt BBR 12. För Malmö räcker det med 0,4 l/s och m<sup>2</sup>. Utöver detta måste FTX- systemets återvinningsverkningsgrad vara hög.

För Steglitsen visar simuleringarna att det endast är i Malmö som byggnaden klarar energikraven enligt BBR 12.

Simuleringarna för Malmö visar i högre grad än andra studerade städer att större täthet ger större energibesparande effekt för både FVP- och FTX system. Detta beror med största säkerhet på att på klimatet i Malmö med betydligt mer vind än resterande orter som studerats.



Det förhållandevis höga energibehovet som simuleringar med FTX- systemen visar jämfört ett FVP- system kan till stor del förklaras av de olika sätt som systemen återvinner värme. I FVP- systemet kan varm frånluft sommartid användas för uppvärmning av tappvarmvatten. FTX- systemet kan endast tilluften värmas och något sådant behov föreligger i regel inte sommartid. Vid detaljerad studie av simuleringresultaten, vilka ej presenteras, framgår det att en bidragande orsak till att FVP- systemet genererar ett lägre energibehov på årsbasis jämfört FTX- systemet just är att tappvarmvatten värms sommartid. Detta gör att FTX- system tillsammans med solvärme för tappvarmvatten är en bra systemkombination.

### **7.9.7 Slutsatser**

Simuleringarna i VIP+ visar att det inte är lönsamt att byta ut dagens FVP- system mot FTX- system så länge som kraven på använd energi, enligt BBR 12, är lika stora för de båda installationssystemen.

Idag är det lika höga krav på energibehovet för byggnader med FVP- och FTX- system. Installationssystemens uppbyggnad gör dock att kraven kan komma till att specificeras olika. Om en sådan förändring sker och det ställs högre krav på energianvändningen för ett hus med FVP- systemen jämfört FTX- systemen bör LB Hus AB återigen utreda möjligheten med FTX- system.

FVP- systemets möjlighet att använda varm tilluft till uppvärmning av tappvarmvatten sommartid är en starkt bidragande faktor till att det genererar ett lägre energibehov på årsbasis jämfört ett FTX- system.

Ett FTX- system är betydligt mer lämpligt att kombinera med solvärme jämfört FVP- system. LB Hus AB bör därför beakta FTX- systemets fördelar om företaget planerar att införa solvärme på producerade hus. Energivinster från solvärme utreds översiktligt i kapitel 7.10, Solvärmen.

## **7.10 Solvärme**

### **7.10.1 Syfte**

Kapitlet avser att på ett övergripande sätt utreda förutsättningar, konsekvenser och utvecklingsmöjligheter för att installera solvärmesystem i studerade hus. Med detta avses ingen fördjupad analys beträffande bland annat detaljerad utformning och systemval utan endast en studie om vilken påverkan på energibehovet det skulle kunna resultera i. Vidare studeras konsekvenserna för energibehovet om solfångarepanelens vinkel ökas jämfört med dagens taklutning.

### **7.10.2 Teorier**

Endast de grundläggande och mest elementära teorierna för solfångare och solfångaresystem diskuteras. Utöver det som presenteras nedan finns det mängder av varianter och mindre förändringar både beträffande solvärmepaneler och solvärmesystem.

Eftersom ett FVP- system använder frånluften för att också värma upp tappvarmvatten lämpar sig solvärme bäst för FTX- system. Om solvärme skulle installeras till ett FVP- system med

en verkningsgrad på tre skulle detta i princip resultera i att energibesparingen blev runt en tredjedel jämfört ett FTX- system som bara värmer tilluften.<sup>208</sup>

Precis som tidigare nämnts finns en rad olika systemlösningar för olika ändamål. Förutom att totalt energibehov har betydelse för systemval kan även dess fördelning mellan värme och tappvarmvatten ha betydelse. Vidare spelar parametrar som ort, taklutning och en rad andra parametrar in vid val av system. Solvärme kan även användas i badhus, utomhusbassänger och campingplatser där andra förutsättningar för systemet föreligger.<sup>209</sup>

För enfamiljshus finns huvudsakligen två system, kombisystem och varmvattensystem. Det sistnämnda avser endast värmning av tappvarmvatten medan ett kombisystem förser en villa med både värme och tappvarmvatten. Solvärmesystem bygger i regel på att det finns en ackumulatortank. I denna lagras värmen ifrån solfångarna innan den används till värme eller tappvarmvatten. Beroende på systemets utformning ser ackumulatortanken och dess angränsande komponenter olika ut. Förutom kringutrustning som cirkulationspumpar, styr och reglersystem samt expansionskärl så kopplas en extra värmekälla till ackumulatortanken. Det kan handla om en befintlig panna eller en elpatron som appliceras i tanken. Idag finns system med kombinerad ackumulatortank och panna på marknaden.<sup>210</sup>

Solfångarepanelerna kan vara utformade på olika sätt. För villasystem finns huvudsakligen två olika sorters solpaneler, plana solfångare och vakumsolfångare. Plana solfångare är vanligast. De är uppbyggda av en bärande metallram med en plåt på baksidan. Ovanpå plåten läggs isolering som i sin tur är täckt av en diffusions- och dammspär. Solfångarens absorbatör placeras ovanpå spärren. För att skydda absorbatören och resten av solfångaren sitter täckskikt ytterst som oftast består av härdat glas. Absorbatören är den del av solfångaren där värmemediet passerar i solfångaren. Denna består av tunna rör som oftast är försedda med metallflänsar. Vakuumsolfångare har en teknik som bygger på att absorbatören placeras i ett glaströr där vakuum råder. På så vis minskas förlusterna och verkningsgraden på solfångare ökar. Vakuumsolfångare har företrädesvis den fördelen att de har en bra verkningsgrad även vid höga temperaturer. Solfångarens verkningsgrad varierar bland annat beroende på solfångarepaneltyp och temperaturdifferens mellan solfångare och omgivning. En bra solfångare kan ha en verkningsgrad på upp till 85 procent.<sup>211</sup>

Dimensionering för solfångaresystem beror av flera parametrar. Huvudsakligen utgås från föreliggande värmebehov, vinkel på solfångarepanel samt systemlösning. En förenklad och övergripande dimensioneringstabell presenteras enligt tabell 7.29

---

<sup>208</sup> Karlsson, Björn. Lunds Tekniska Högskola, Energi och Byggnadsdesign. Personlig kommunikation.

<sup>209</sup> Andrén, Lars, (2001) *Solenergi – Praktiska tillämpningar i bebyggelse*.

<sup>210</sup> Ibid.

<sup>211</sup> Ibid.

Tabell 7.29 Förenklad dimensioneringstabell för solvärmesystem<sup>212</sup>.

Solfångarearea	Varmvattensystem	Kombisystem
Per person	1- 2 m <sup>2</sup>	2- 3 m <sup>2</sup>
Per lägenhet i flerbostadshus	3- 4 m <sup>2</sup>	5- 8 m <sup>2</sup>
Per enfamiljshus	5- 8 m <sup>2</sup>	10- 12 m <sup>2</sup>

Värmelagring		
Per m <sup>2</sup> solfångare	50- 70 l	75- 100 l
Per lägenhet i flerbostadshus	200- 300 l	300- 500 l
Per 100m <sup>2</sup> BOA	300- 500 l	600- 800 l

### 7.10.3 Metod

För att begränsa studiens omfattning kommer endast en systemkombination att användas vid simulering. Eftersom det inte bedöms lönsamt att kombinera solvärme och FVP- system genomförs studien endast i kombination med föregående kapitel FTX- system. Resultatet jämförs dock mot simulerat energibehov för FVP- system. Energianvändningen för värme och tappvarmvatten simuleras i VIP+. För att begränsa omfattningen genomförs endast simuleringar för Ugglan 135. Dessa bygger på grundutförandet och avser endast något skyddad bebyggelse, det vill säga 70 procent av vindfil. För att se konsekvenserna av tätare hus genomförs även simuleringar med läckageflödet 0,6 l/s och m<sup>2</sup> samt 0,4 l/s och m<sup>2</sup>. För att begränsa studiens omfattning studeras inte hus med ännu tätare klimatskal.

Solvärmesystemets ackumulatortank antas kunna lagra värme cirka ett dygn. Överflödigt värme från solvärmesystemet räknas bort. Energianvändning till fläktar och pumpar är inkluderade i energibehovet.

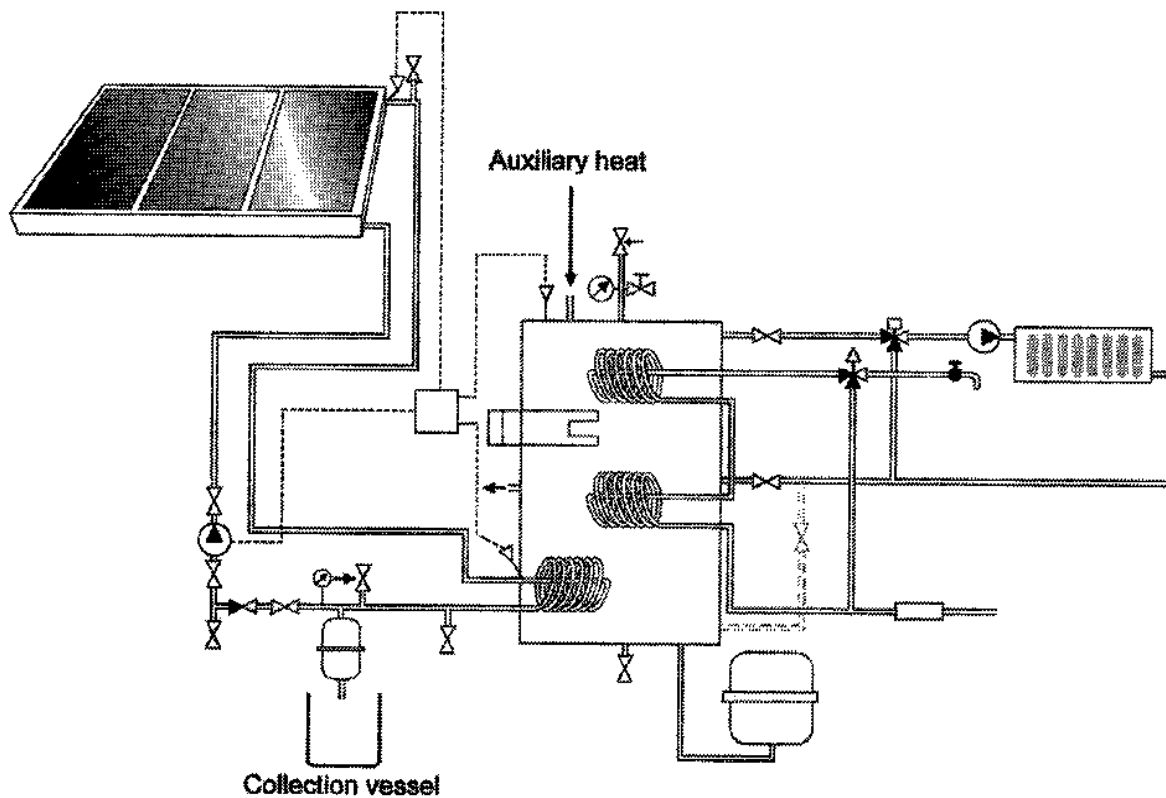
Simuleringar har genomförts för tre olika vinklar på solpanel. Två av dem, 22 och 45 grader, baseras på att de är standard lutning hos LB Hus AB tak. 60 graders lutning studerades för att undersöka möjligheterna att öka solfångarearea och få en större täckning över året. På så vis kan totala energibehovet sänkas då man utvinnet mer värme när behovet är som störst.

Dimensionering av tankvolym och solfångarearea baseras på tabell 7.29 ovan samt provsimuleringar i Winsun Villa. Solfångarearea har ampats beroende på taklutning. Ackumulatortankens volym har därefter ampats till solfångarearean. Givetvis kan solfångarearea, vektgrad, systemlösningar, tankvolym med mera optimeras ytterligare. På så vis kan ett ännu effektivare solvärmesystem erhållas. Optimala förhållanden beträffande solfångarens riktning har antagits. Det vill säga rakt sydlig riktning. För begränsa studien har en rad ytterligare parametrar antagits. Dessa presenteras i kommande kapitel 7.10.4, Modellering av solvärmesystem.

<sup>212</sup> Andrén, Lars, (2001) *Solenergi – Praktiska tillämpningar i bebyggelse*.

### 7.10.4 Modellering av solvärmesystem

Antaget solvärmesystemet avser ett kombisystem för både värme och tappvarmvatten. Simuleringarna genomförs i Winsun Villa. Principskiss för antaget solvärmesystem redovisas i figur 7.58 nedan.



Figur 7.58 Principskiss för kombisystem som simuleras i Winsun villa.<sup>213</sup>

<sup>213</sup> Karlsson, Björn. *Simuleringar av solvärmesystem med Winsun Villa Education. Kursmaterial Solenergi – Grundkurs i solvärmeteknik.* Internet.

I Winsun Villa har följande parametrar ansatts vid simulering

- Start för simulering – 1 januari
- Simuleringens varaktighet – 1 år
- Tidssteg vid simulering – 0,1 timme
- Ort – Stockholm, latitud 59,2
- Markreflektion framför solfångare – 0,2
- Solfångarepanelens vinkel – 22, 45 samt 60 grader
- Asimut vinkel – 0 grader, det vill säga rakt sydlig riktning
- Instrålning från solhöjder – 180, det vill säga alla solhöjder
- Solfångarearea – 6m<sup>2</sup>, 16m<sup>2</sup>, 30m<sup>2</sup>
- Specifikt flöde i solkretsen per m<sup>2</sup> solfångare - 0,25m<sup>3</sup>/min/m<sup>2</sup>
- Temperaturdifferens för start av cirkulationspump till solvärmesystemet 3°C
- Temperaturdifferens för stopp av cirkulationspump till solvärmesystemet 3°C
- Överföringstal för värmeväxlare – 60W/m<sup>2</sup>/K
- Dimensioner för rörledningar
  - Innerdiameter 13mm
  - Ytterdiameter inklusive isolering 100mm
  - Rördragningslängd inomhus 7m
  - Rördragningslängd utomhus 5m
- Solfångarens optiska verkningsgrad – 70 procent
- Infallsvinkelberoende, IAM, för direkt strålning 0,15
- Infallsvinkelberoende för diffus strålning 0,9
- Första ordningens värmeförlust koefficient 3,53W/m<sup>2</sup>/K
- Andra ordningen värmeförlust koefficient 0,013W/m<sup>2</sup>/K
- Solfångarens termiska kapacitet 7000J/m<sup>2</sup>/K
- Tankvolym Ugglan 135 – 0,6m<sup>3</sup>, 1,6m<sup>3</sup>, 2m<sup>3</sup>
- Tankisoleringens värmeöverföringstal per m<sup>2</sup> omslutande area – 0,5
- Temperatur som tankens övre del ska hettas upp till – 60°C
- Maximal effekt på tillskotts energi som tillförs tanken – 10 kW
- Tappvarmvattenanvändningen – 210 l/dygn
- Temperaturen på inkommande kallvatten – 6°C
- Temperaturen på tappvarmvattnet – 60°C
- Flöde i radiatorkrets – 2,5 l/min
- Hushållsel – 500W
- Fönsterarea – 6m<sup>2</sup> åt söder, 2m<sup>2</sup> åt öster samt 2m<sup>2</sup> åt väster
- Tidsintervall i sim – -1
- Tidssteg mellan plottade punkter – 4

Simulerade fall för Ugglan 135

22 graders panelvinkel, 6m<sup>2</sup> solfångare och 0,6m<sup>3</sup> ackumulatortank

45 graders panelvinkel, 16m<sup>2</sup> solfångare och 1,6m<sup>3</sup> ackumulatortank

60 graders panelvinkel, panelvinkel, 30m<sup>2</sup> solfångare och 2m<sup>3</sup> ackumulatortank

## 7.10.5 Resultat

Resultatet från simuleringarna presenteras med avseende på hur tätt klimatskalet är samt energibesparingen i procent och kWh/m<sup>2</sup> och år jämfört med ett FTX- system utan solfångare. Det sista innebär att resultaten från kapitel 7.8, Återvinning med värmepump eller ventilationsvärmeväxlare används för jämförelse om en solfångare ansluts till samma system

### Energibehov

Energibehovet som presenteras i tabellen 7.30 till 7.32 nedan kan jämföras med 99,9 kWh/m<sup>2</sup> och år vilket motsvarande behov för ett FVP- system.

Tabell 7.30 Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för studerade byggnader om ett FTX- system med solfångare används och läckageflöde vid 50 Pascal tryckskillnad är 0,8 l/s och m<sup>2</sup>.

Hus	FTX- system, verkningsgrad	Takvinkel		
		22°	45°	60°
Ugglan 135	60 %	122,2	105,5	94,1
	75 %	115,1	98,5	87,4
	85 %	111,2	94,6	83,8

Om läckageflödet sänks till 0,6 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad sänks energibehovet för motsvarande FVP- system enligt tidigare simuleringar till 95,9 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Tabell 7.31 Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 om ett FTX- system med solfångare används och läckageflöde vid 50 Pascal tryckskillnad är 0,6 l/s och m<sup>2</sup>.

Hus	FTX system, verkningsgrad	Takvinkel		
		22°	45°	60°
Ugglan 135	60 %	117,0	100,4	89,3
	75 %	109,9	93,4	82,6
	85 %	106,0	89,6	79,0

Energibehovet för ett FVP- system om klimatskalet görs ytterligare tätare till 0,4 l/s och m<sup>2</sup> läckageflöde vid 50 Pascals tryckskillnad blir 92,6 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Tabell 7.32 Energibehov i kWh/m<sup>2</sup> och år för Ugglan 135 om ett FTX- system med solfångare används och läckageflöde vid 50 Pascal tryckskillnad är 0,4 l/s och m<sup>2</sup>.

Hus	FTX system, verkningsgrad	Takvinkel		
		22°	45°	60°
Ugglan 135	60 %	111,8	95,4	84,5
	75 %	104,7	88,4	77,9
	85 %	100,8	84,6	74,3

### Energibesparing jämfört FTX- system utan solfångare

Tabell 7.33 Energibesparing i procent samt kWh/m<sup>2</sup> och år för en solfångare med 22 graders vinkel jämför med samma system utan solfångare.

Läckageflöde	FTX- system, verkningsgrad					
	60 %		75 %		85 %	
0,8	7,6 %	10,1	8,1 %	10,1	8,3 %	10,1
0,6	7,9 %	10,1	8,4 %	10,1	8,7 %	10,1
0,4	8,3 %	10,1	8,8 %	10,1	9,2 %	10,2

Tabell 7.34 Energibesparing i procent samt kWh/m<sup>2</sup> och år för en solfångare med 45 graders vinkel jämfört med samma system utan solfångare.

Läckageflöde	FTX- system, olika verkningsgrad					
	60 %		75 %		85 %	
0,8	20,3 %	26,8	21,3 %	26,7	22,0 %	26,7
0,6	20,0 %	26,7	22,2 %	26,6	22,8 %	26,5
0,4	21,7 %	26,5	23,0 %	26,4	23,8 %	26,4

Tabell 7.35 Energibesparing i procent samt kWh/m<sup>2</sup> och år för en solfångare med 60 graders vinkel jämfört med samma system utan solfångare.

Läckageflöde	FTX- system, olika verkningsgrad					
	60 %		75 %		85 %	
0,8	28,9 %	38,2	30,2 %	37,8	30,9 %	37,5
0,6	29,7 %	37,8	31,2 %	37,4	32,0 %	37,1
0,4	30,7 %	37,4	32,1 %	36,9	33,1 %	36,7

### 7.10.6 Analys

Med en solpanel som har en vinkel på 22 grader och ett läckageflöde på 0,8 l/s och m<sup>2</sup> uppnås inte kraven enligt BBR 12. För tätare hus med läckageflöden 0,6 l/s och m<sup>2</sup> eller lägre uppfylls energikraven enligt BBR 12 om FTX- systemets verkningsgrad för återvinningen är 75 procent eller större. Ingen av simuleringarna visar att ett FTX- system kompletterat med solvärme med en panellutning på 22 grader har lägre energibehov jämfört ett FVP-system.

Samtliga simuleringar för ett FTX- system med solpaneler som har 45 graders lutning klarar energikraven enligt BBR 12. Om värmeåtervinningssystemet dessutom har 75 procent, eller högre, verkningsgrad är energibehovet lägre jämfört med motsvarande FVP-system. Energibesparingen mellan ett FVP- system jämfört FTX- system med solfångare blir större desto tätare byggnaden är.

Solpanel med 22 grader lutning sänker energibehovet med mellan 7,6 och 9,2 procent jämfört ett FTX- system utan solvärme. Detta motsvara 10,1 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Om solpanelen istället haft 45 graders lutning hade energibehovet sänkts med 20,3 till 26,4 procent, vilket motsvarar cirka 26,5 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Ökas solfångarepanelens vinkel ytterligare till 60 grader kan energibehovet sänkas med upp till 33,1 procent. Per år motsvarar energibesparingen cirka 38 kWh/m<sup>2</sup>.

Resultatet visar att tillgodogjort energitillskott från solvärmern är lika stort eller minskar något med högre verkningsgrad. Lägre totalt energibehov med tätare byggnad och effektivare värmeåtervinning gör dock att energibesparingen procentuellt sett blir högre trots att andelen utvunnen värme är den samma eller till och med minskar något. Anledningen är att energibesparingen av tätare hus och bättre värmeåtervinning ger en större energibesparing i kWh/m<sup>2</sup> och år jämfört med vad solvärmern tillför. Solvärmesystemets utformning påverkar dessa resultat varför det inte går att säga att samma förhållande skulle råda om ett annat system utformades. Resultatet skulle felaktigt kunna tolkas som att det är mer lönsamt att ha sämre verkningsgrad eftersom mängden återvunnen energi minskar. Solvärmesystem och dess solfångarearea bör dimensioneras speciellt för varje enskilt fall. Resultatet som presenteras i tabell 7.30 till 7.35 bygger på en och samma systemutformning och för respektive takvinkel

samma dimensionering. Varje enskilt fall skulle således kunna dimensioneras specifikt efter rådande förutsättningar och på så vis ge ett bättre resultat än vad som presenteras ovan.

### **7.10.7 Slutsatser**

Det är inte lönsamt och rimligt att installera solvärmepanel med en lutning på 22 grader.

Under förutsättning att enfamiljshuset har ett FTX- system samt möjlighet att montera solpanel med en vinkel på cirka 45 grader eller mer bör möjligheten till solvärme undersökas. Rätt utformat och med rätt förutsättningar kan ett solvärmesystem medföra betydande energibesparingar.

Solvärmesystem i kombination med FTX- system går att göra mer energieffektiva jämfört FVP- system. En viktig förutsättning är dock att rätt förhållanden råder.

Vidare bör möjligheten att öka solfångarearea samt panelvinkel studeras extra noga eftersom simuleringarna tyder på att det ger en högre täckningsgrad med lägre energibehov som följd.

Om LB Hus AB har för avsikt att införa FTX- system i producerade byggnader bör man undersöka möjligheten att installera solvärme för varje enskilt projekt. Vidare bör företaget utveckla tak med en mer lämplig lutning för solvärmesystem. De omfattande omställningarna vid byte av dagens FVP- system mot FTX- system gör att LB Hus AB inte bör göra detta omgående. Definitivt inte om luftläckage är 0,8 l/s och m<sup>2</sup> eller större. Blir byggnaderna tätare och en gynnsam orientering vid projektering kan nyttjas bör solvärme och FTX- system utredas grundligt.

## **7.11 Produktions- och byggsystem**

### **7.11.1 Bakgrund**

Oavsett hur byggsystemet är utformat så är det ofta det som ger förutsättningarna för hur och vilka energibesparande åtgärder som är bäst lämpade. Olika byggsystem kan göra att åtgärder som är effektiva i ett system inte alls fungerar eller ger någon effekt i ett annat.

### **7.11.2 Metod**

Förslag och förändringar beträffande byggsystemet som diskuteras nedan är endast övergripande och bygger på iakttagelser och analyser i samband med momentstudie samt närmare studier av LB Hus AB byggsystem. Delvis kan diskussionen nedan kopplas samman till förslag som uppkommit i samband med studier för enskilda åtgärder.

### **7.11.3 Förutsättningar**

Sekretesskäl gör att LB Hus AB byggsystem inte redogörs i närmare. De förändringar som studerats tidigare i rapporten går dock att genomföra i LB Hus AB befintliga byggsystem.

Ur ett mycket vitt perspektiv kan LB Hus AB produktion delas i de tre övergripande delarna projektering, tillverkning samt montage. Projekteringen sker på LB Hus AB huvudkontor och avser i denna rapport det konstruktionstekniska underlag som upprättas för varje hus. Med tillverkning avses den process där huvudsakligen vägg-, tak- och bjälklagselement konstrueras i LB Hus AB fabrik. Montaget avser då elementen monteras samman och bildar en byggnad.



Byggsystemet avser att fungera som en slags mall eller regelverk mellan delarna projektering, produktion samt montage.

#### 7.11.4 Förslag till förändringar

Generellt antas de fel som uppstår under en byggnation stå för cirka 80 procent av den totala kostnaden. I samma antagande bedöms felen i sin tur att inte utgöra mer än 20 procent av den färdigställda byggnaden.<sup>214</sup> <sup>215</sup> Ekonomiska aspekter kan anses ligga utanför denna rapports avgränsningar. Faktum är dock att fel inte bara orsakar högre kostnader i byggproduktionen utan att de i regel även försämrar konstruktionens klimatskal med en högre energianvändning och sämre komfort som följd.

En förutsättning för att ha en effektiv produktion är att momenten inom och mellan delarna projektering, tillverkning och montage fungerar. Vid visuell- och momentstudie uppfattas varje enskild del fungera relativt väl. Däremot upplevs brister i kommunikation, kunskap och förståelse mellan de olika delmomenten. Detta leder till svåra eller rent av omöjliga konstruktioner som i sin tur inte bara försämrar energibehovet för en byggnad utan även ökar byggkostnaden. För att uppnå en bättre samverkan mellan delarna projektering, tillverkning och montage skulle LB Hus AB kunna upprätta ett syntessystem där bland annat erfarenhetsutbyte, kommunikation och samverkan säkerställs. Syntesen kan verkställas med hjälp av flera olika metoder. En nationellt ledande byggorganisation genomför just nu försök med ett rotationssystem mellan anställda på fabrik och montageanläggningar. En annan metod bygger på ett linjeflöde där projektören fortsätter som ansvarig för tillverkning och därefter som montageledare. Syntesen kan även genomföras genom kontinuerliga moment och visuella studiebesök eller ett väl utarbetat rapportsystem där direkta fel, problem och förenklingar återförs och följs upp i projektering, tillverkning och montage. Oavsett hur syntesen genomförs så är det av stor vikt att ansvariga för byggsystemet tar åt sig och genomför förändringarna i större utsträckning än vad som sker idag.

I samband med att byggnadsdelar eller detaljer förändras i LB Hus AB byggsystem är det relevant att se över vilka synergieffekter förändringarna får. Ett exempel på detta är de massiva reglarna kring fönster som fortfarande används trots att den nya fönstermodellen medger att lättreglar kan användas. Även om lättreglar i denna studie inte visar på någon större energibesparing för studerade byggnader så skulle det med största säkerhet medföra en effektivare produktion samt en bättre komfort.

Både ur ett kort- och långsiktigt perspektiv bör LB Hus AB lägga energi på att utveckla sitt byggsystem. Företaget bör inrikta sig på att få systemet effektivare genom enklare och smidigare lösningar som inte inkräktar på kundens valmöjligheter. Vid visuell- och momentstudie upplevs ett behov av att systemet bättre bör anpassas så att den naturliga och enkla konstruktions- och montagelösningen även blir den som byggsystemet använder. Ett exempel på detta är installationer som är lättare att dra på ett sätt vid tillverkning men som sedan inte går att nyttja då de kläms vid montage. Genom att utveckla byggsystemet på ett sådant sätt att ett naturligt installationsutrymme skapas bakom till exempel golv eller taklister skulle både problem vid montage minska samt projektering underlättas. Vidare bör företaget i detta arbete se över möjligheterna att helt ta bort moment och detaljer som inte är nödvändiga. Förutom att material sparas elimineras risken att momentet kan bli fel och på så vis medföra

<sup>214</sup> Jonsson, Patrik, Mattson, Stig-Arne, (2005). *Logistik – läran om effektiva materialflöden*.

<sup>215</sup> Friblick, Fredrik. Föreläsningmaterial i kursen *Logistik i byggprocessen*. Internet.

en ekonomisk-, komfort- och energiförsämring. Till exempel skulle en alternativ lösning i mellanbjälklaget kunna införas där antalet kortlingar minskas kraftigt. I det befintliga byggsystemet finns även möjlighet till förenklingar som skulle medföra tätare- och energieffektivare konstruktioner, effektivare produktion samt bättre komfort. Exempel är sättet som plastfolien appliceras runt fönster och i fönsternischer. Istället för att vika och tejpa plastfolien skulle påskonstruktionen som diskuteras i kapitel 7.6.7, Förslag till förändringar för att sänka luftläckage, kunna användas.

## 7.12 Sammanfattande slutsatser

Kapitlet avser att sammanställa och värdera de enskilda åtgärder som studerats ovan. Även om kapitel 6, Undersökning av befintliga hus, visar att LB Hus AB uppfyller dagens energikrav så åskådliggör de enskilda åtgärder som studerats i kapitel 7, Energieffektiviserande förändringar, att det går att göra ytterligare energibesparingar. Flertalet undersökta förändringar som ger energibesparingar bedöms även vara lika enkla eller till och med enklare att tillverka jämfört dagens produktion.

Vid energieffektiviserande åtgärder ska alltid energibehovet minskas i första hand, för att därefter finna effektiva installationstekniska lösningar<sup>216</sup>. LB Hus AB är inget undantag och detta har beaktats när de olika åtgärderna värderats. Åtgärdsförslagen delas upp i initiala och framtida åtgärder samt åtgärder som inte bör genomföras. Förutom att åtgärderna värderas efter att minska energibehovet beaktas även hur stor energibesparande effekt en åtgärd har samt hur enkla de är och om de medför produktionstekniska vinster.

Resultatet från undersökta förändringar sammanställs i tabell 7.35. För att inte jämförelsen av en förändring mot grundfallet ska bli missvisande avser alla värden i tabell 7.35 ett vindutsatt läge på 70 procent av klimatdata fil. Detta motsvarar något skyddad bebyggelse. Vidare avser alla värden i tabell 7.35 hus belägna i Stockholm samt med ett läckageflöde på 0,8 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad. Simuleringar där golvvärme ersätts med radiatorvärme har också uteslutits då en jämförelse skulle vara missvisande. Precis som tidigare avser grundutförande de ansatta värden som presenteras i kapitel 6, Undersökning av befintliga hus.

---

<sup>216</sup> Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund*.

Tabell 7.36 Sammanställning av energieffektiviserande förändringar och deras konsekvenser för studerade hus energibehov.

	Ugglan 135			Steglitsen		
	Energibehov	Energibesparing		Energibehov	Energibesparing	
	[kWh/m <sup>2</sup> , år]	[kWh/m <sup>2</sup> , år]	[%]	[kWh/m <sup>2</sup> , år]	[kWh/m <sup>2</sup> , år]	[%]
<b>Grundutförande</b>	99,92	0	0	102,39	0	0
<b>Ökad isolertjocklek</b>						
100 mm extra isolering i tak	98	2	2	100	2	2
200 mm extra isolering i tak	97	3	3	99	3	3
100 mm extra isolering i grund	92	8	8	96	6	6
200 mm extra isolering i grund	88	12	12	94	8	8
100 mm utanpåliggande korsregelvägg	93	7	7	94	8	8
200 mm utanpåliggande korsregelvägg	90	10	10	90	12	12
100 mm utanpåliggande homogenvägg	93	7	7	94	8	8
200 mm utanpåliggande homogenvägg	90	10	10	90	12	12
100 mm extra väggisolering med befintliga regler	97	3	3	99	3	3
200 mm extra väggisolering med befintliga regler	95	5	5	97	5	5
100 mm extra isolering i tak, grund och korsregelvägg	83	17	17	87	15	15
200 mm extra isolering i tak, grund och korsregelvägg	76	24	24	80	22	22
<b>Köldbryggor</b>						
Hammarband med 10 mm mellanliggande isolering	99,81	0,11	0	102,18	0,21	0
Hammarband med 70 mm mellanliggande isolering	99,76	0,16	0	101,9	0,49	0
Massiva regler ersätter befintliga lättreglar	100,28	-0,36	0	102,8	-0,41	0
Befintliga lättreglar ersätts av lättregel med liv av träfiberskiva	99,24	0,68	1	101,67	0,72	1
Lättreglar ersätter befintliga massiva regler	99,78	0,14	0	101,88	0,51	0
Indraget mellanbjälklag	-	-	-	102,08	0,31	0
70 mm extra isolering på utsidan av mellanbjälklag	-	-	-	102,04	0,35	0
100 mm betongplatta utan voter	93,5	6,42	6	99,4	2,99	3
70 mm extra isolering på vertikal utsida av grund	96	3,92	4	101,1	1,29	1
Minskad köldbrygga i hörn genom att ta bort gipsskiva	99,72	0,20	0	101,97	0,42	0
70 mm extra isolering på hörnens utsida	99,4	0,52	1	101,61	0,78	1
<b>Fönster</b>						
125 mm nischisolering, U värde 1,28 W/m <sup>2</sup> och K	99,46	0,5	0	101,73	0,7	1
Sänkt U- värde fönster till 1,0 W/m <sup>2</sup> och K	93,26	6,7	7	92,62	9,8	10
Dubbel fönsterkonstruktion, U- värde 0,72 W/m <sup>2</sup> och K	87,16	12,8	13	83,68	18,7	18
<b>Luftläckage</b>						
Sänkt läckageflödet till 0,6 l/s och m <sup>2</sup>	95,9	4,0	4	98,7	3,6	4
Sänkt läckageflödet till 0,4 l/s och m <sup>2</sup>	92,6	7,3	7	96	6,3	6
Sänkt läckageflödet till 0,2 l/s och m <sup>2</sup>	91,2	8,7	9	94,3	8,0	8
Sänkt läckageflödet till 0 l/s och m <sup>2</sup>	91,1	8,8	9	93,7	8,6	8
<b>Förändring av golvvärmenivå</b>						
Golvvärmeslingor på 20 mm djup från plattans ovkant	96,7	3,2	3	101,4	1,0	1
<b>Högpresterande fränluftsvärmepump</b>						
Värmeffaktor värme 3,2 H <sub>2</sub> O 2,9 kondeffekt 4000W	66,9	33	33	64,7	37,7	37
<b>FVP- systemet ersätts av FTX- system</b>						
60% verkningsgrad	132,3	-32,3	-32	140,8	-38,4	-38
75% verkningsgrad	125,2	-25,3	-25	132,7	-30,3	-30
85% verkningsgrad	121,3	-21,4	-21	127,5	-25,1	-25
<b>Solvärme</b>						
22° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 60%	122,2	-22,3	-22	-	-	-
22° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 75%	105,5	-5,6	-6	-	-	-
22° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 85%	94,1	5,9	6	-	-	-
45° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 60%	115,1	-15,2	-15	-	-	-
45° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 75%	98,5	1,4	1	-	-	-
45° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 85%	94,6	5,3	5	-	-	-
60° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 60%	94,1	5,8	6	-	-	-
60° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 75%	87,4	12,5	13	-	-	-
60° panelvinkel, FTX- systemets verkningsgrad 85%	83,8	16,1	16	-	-	-

### 7.12.1 Initiala åtgärder

I sitt arbete med att minska energibehovet hos producerade hus bör LB Hus AB arbeta med att utveckla grundkonstruktionen. Detta kan göras dels genom att öka isoleringen under och på utsidan av plattan. Vidare bör företaget arbeta med att minska kantvotens tjocklek samt hindra andra köldbryggor. Golvvärmenslingorna i plattan bör flyttas så de ligger så högt upp i plattan som möjligt.

Företaget bör ersätta de fönster som används idag mot fönster med lägre U- värde. En sänkning av fönstrens U- värden från  $1,3 \text{ W/m}^2$  och K till  $1,0 \text{ W/m}^2$  och K ger en förhållande vis hög energibesparing jämfört med det arbete och förändring av produktionen som det medför.

Luftläckage i byggnaderna bör omgående sänkas från  $0,8 \text{ l/s och m}^2$  till  $0,6 \text{ l/s och m}^2$ . Målet med läckageflödet bör dock sättas till lägre än  $0,4 \text{ l/s och m}^2$ . Ytterligare täthet ger ingen större energibesparing såvida aktuell byggnad inte är placerad i ett vindutsatt läge. För att åstadkomma tätare hus kan förändringar i byggsystemet vara nödvändiga. Applicering av installationer samt tätheten runt fönster med tidigare diskuterad plastpåselösning bör utredas.

Resultatet från simuleringar med Högpresterande frånluftvärmepump är så pass bra att detta snarast bör provas samt utredas vidare. Förslagsvis kan en högpresterande frånluftvärmepump installeras i ett av LB Hus AB projekt där energianvändningen sedan kan jämföras mot kringliggande hus i syfte att jämföra och verifiera hur bra ett sådant system förhåller sig till dagens FVP- system.

För att åstadkomma en rationellare produktion kan massiva reglarna runt fönster ersättas med lättreglar. Byggsystemet bör även studeras i syfte att hitta och förändra andra detaljer som kan göra produktionen mer ändamålsenlig.

Arbetet med att införa ett syntessystem i syfte att öka kunskap och förståelse för produktionens olika delar samt att minska felen bör starta.

### 7.12.2 Framtida åtgärder

Om kraven på nyproducerade bostäders energibehov skärps och förändringar enligt föregående kapitel inte räcker kan ytterligare åtgärder vidtas beträffande extra isolering. Det kan då bli aktuellt att applicera ytterligare ett isolerskikt i väggkonstruktionen. För att få någon effekt ska det utformas med en korsregelstomme eller som homogen isolering.

Vid kraftigt ökade energikrav kan bli aktuellt att införa fönsternischisolering. Fönsterproducenter kommer även tvingas att ta fram energisnålare fönster. I samband med detta skulle någon form av dubbelfönsterkonstruktion kunna bli aktuell.

Om energikraven för FTX- och FVP- system förändras på ett sådant sätt att FVP- system erlaggs med hårdare krav jämfört FTX- system bör LB Hus AB återigen utreda vilket system som bäst uppfyller fastställt energikrav.

Om FTX- system införs bör LB Hus AB se över möjligheten att kombinera detta med solvärmesystem. Vidare kan solvärme i kombination med FTX- system en utmärkt lösning om hårdare energibehovskrav införs på FVP- system jämfört FTX system. Om LB hus AB

inför FTX- system med solvärme bör företaget sträva efter att ampassa producerade hus så att det finns möjlighet att sätta solfångarepanel med en förhållandevis hög vinkel.

FTX- system med solvärme är energieffektivare än FVP- system om rätt förutsättning råder. På längre sikt bör LB Hus AB se över möjligheten införa FTX- system med solvärme som tillval.

I ett långsiktigt perspektiv kommer LB Hus AB byggsystem att kontinuerligt utvecklas. För att skapa förståelse och kunskap bör detta ske i samverkan med tidigare föreslaget syntessystem. LB Hus AB bör inte heller vara främmande för att ta hjälp av utomstående vidsynta personer i utvecklingsarbetet. Vid förändringar av material eller komponenter i byggsystemet bör synergieffekter i anslutande delar utredas. I utvecklingsarbetet med byggsystemet bör en av grundförutsättningar vara att skapa ett lättare system där den naturligaste och enklaste lösningen även blir den som finns i byggsystemet. Möjligheten att bryta befintliga köldbryggor samt tillse att nya inte uppstår bör också beaktas i arbetet.

### **7.12.3 Åtgärder som inte bör genomföras**

Extra isolering i takkonstruktionen bör undvikas då det inte ger någon större energibesparing samt med stor sannolikhet kommer påverka vindsutrymmet negativt ur ett fuktteknisk perspektiv.

LB Hus bör inte heller inrikta sig på att hitta och eliminera enskilda köldbryggor. Som tidigare nämnts bör givetvis köldbryggor brytas i samband med att byggsystemet utvecklas men inte som enskild åtgärd. Om en köldbrygga kan brytas samtidigt som företaget skapar en effektivare och mer rationell produktion ska så givetvis ske.

Om rådande energikrav kvarstår för FVP- systemet inte ersättas av ett enskilt FTX- system. Vidare bör inte FTX- system med solvärme införas med solfångarevinklar på 22 grader.

## 8 Synergieffekter vid flera energieffektiviserande åtgärder

*Samverkan och synergieffekter när flera energieffektiviserande åtgärder införs samtidigt studeras, analyseras och diskuteras. Delar av de enskilda åtgärder som studeras i föregående kapitel införs samtidigt.*

### 8.1 Syfte

Studien i detta kapitel avser att utreda hur energibehovet förändras om flera energibesparande åtgärder införs samtidigt jämfört med om de införs enskilt. Med detta avses att utreda om energibesparingen summeras, blir större eller mindre om flera åtgärder införs samtidigt. Vidare diskuteras vad en sådan skillnad kan bero av. Som underlag används delar av de åtgärder som studerats individuellt i föregående kapitel, 7, Energieffektiviserande förändringar. Även om resultatet gör det möjligt att jämföra hur väl undersökta hus uppfyller krav enligt BBR 12 eller hur samverkan mellan olika åtgärder förhåller sig mot varandra är detta inte avsikten med studien. Därav lämnas dessa delar till läsaren själv om så önskas.

### 8.2 Metod

Resultatet från ett flertal enskilda åtgärder i föregående kapitel, 7, Energieffektiviserande förändringar ligger till grund för denna del av studien. Genom att använda åtgärder som ger en markant skillnad på energibehovet tydliggörs resultatet av jämförelsen. Således har alla enskilda åtgärder som har en liten påverkan på studerade hus totala energibehov utelämnats. Till dessa räknas bland annat förändringar i syfte att bryta enskilda köldbryggor.

För att begränsa omfattningen på studien och möjliga alternativ har även åtgärder som inte anses rimliga att införa i produktionen uteslutits. Med dessa avses införandet av en dubbelfönsterkonstruktion samt extra takisolering. Statiska svårigheter i att ta bort voterna helt från plattan gör att denna åtgärd utesluts.

Enskilda åtgärder som valts ut för att studeras i samverkan kan delas in i tre huvudgrupper som motsvarar: Åtgärder som minskar transmissionsförluster, åtgärder som minskar läckageförluster samt åtgärder som påverkar värmesystem och värmedistribution. Valda åtgärder presenteras i punktform nedan:

- Transmissionsförluster
  - 75 millimeter extra massiv isolering utanpå befintlig väggstomme
  - 100 millimeter extra isolering under grundläggningens betongplatta
  - 200 millimeter extra isolering under grundläggningens betongplatta
  - 70 millimeters extra isolering på utsidan av plattans kantbalk, det vill säga grundens vertikala sida mot ute
  - U- värde på fönster satt till 1,0 W/m<sup>2</sup> och K
- Läckageförluster:
  - Läckageflöde 0,6 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad
  - Läckageflöde 0,4 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad
- Värmesystem och värmedistribution
  - Golvvärmens djup i plattan förändrat till 20 millimeter
  - Högeffektiv frånluftsvärmepump med värmefaktor 3,2 för värme och 2,9 för tappvarmvatten samt kondensoreffekt på 4000 W

Av de enskilda åtgärder som valts ut sätts olika kombinationer samman. Varje kombination är unik och kallas för fall, Fall X. Totalt studeras 21 stycken olika fall. Energibesparingen i kWh/m<sup>2</sup> och år för varje enskild åtgärd i respektive fall summeras och jämförs med en ny simulering där samtliga summerade åtgärder applicerats samtidigt i studerat hus. Summan av energibesparingen för de enskilda åtgärderna jämförs med energibesparingen för simuleringen med summerade åtgärder samtidigt. För vissa enskilda åtgärder finns olika alternativ, till exempel 100 eller 200 millimeter extra isolering under grundläggningens betongplatta. För andra åtgärder avses om de finns med eller inte. Hur de olika fallen ser ut och vilka åtgärder som ingår i respektive fall framgår under kapitel 8.3, Resultat. Avsikten är dock att huvudgrupperna ska studeras tillsammans, i olika kombinationer med varandra samt individuellt. Utöver det sker en rad olika fall med individuella variationer för att säkerställa resultatet.

Studie begränsas till att omfatta energibehovet på årsbasis i kWh/m<sup>2</sup> och år samt endast tidigare studerat hus Ugglan 135. Utanför presenterat resultat har även simuleringar genomförts för Steglitsen. Resultatet från dessa överrensstämmer mycket väl med de effekter som ges för simuleringar med Ugglan 135.

Utöver de förändringar som presenterats för respektive fall så utgår resterande parametrar från det grundutförande av Ugglan 135 som presenteras i kapitel 6.4 Modellering av Ugglan 135 samt Steglitsen. Brukarvanor enligt kapitel 3.6.6 Fördelning av ingående brukarvanor.

### 8.3 Resultat

Olika fall samt resultatet från dem presenteras i tabell 8.1 på kommande sida. För att göra tabellen mer lättöverskådlig har en rad beteckningar förkortats. Nedan redogörs för deras fullständiga betydelse och för vissa fall även en kortare hänvisning.

Rader

- Energibehov – Simulerat energibehov för respektive åtgärd. Jämför resultat från kapitel 7, Energieffektiviserande åtgärder
- Enskild energibesparing – Energibesparing som respektive åtgärd ger jämfört grundutförandet med ett energibehov på 99,9 kWh/m<sup>2</sup> och år

Kolumner – förtydligande av enskilda åtgärder

- 75 mm vägg isolering – 75 millimeter extra massiv isolering utanpå befintlig väggstomme
- 100 mm isolering i platta – 100 millimeter extra isolering under grundläggningens betongplatta
- 200 mm isolering i platta – 200 millimeter extra isolering under grundläggningens betongplatta
- 70 mm kantbalkisolering – 70 millimeters extra isolering på utsidan av plattans kantbalk, det vill säga grundens vertikala sida mot ute
- U- värde fönster 1,0 – U- värde på fönster satt till 1,0 W/m<sup>2</sup> och K
- Läckflöde 0,6 – Läckageflöde 0,6 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad
- Läckflöde 0,4 – Läckageflöde 0,4 l/s och m<sup>2</sup> vid 50 Pascals tryckskillnad
- Golvvärme djup 20 mm – Golvvärmens djup i plattan förändrat till 20 millimeter
- Högeffektiv FVP – Högeffektiv frånluftsvärmepump med värmefaktor 3,2 för värme och 2,9 för tappvarmvatten samt kondensoreffekt på 4000 W

## Övriga kolumner

- Summerad energibesparing – Summan av den energibesparing som de enskilda åtgärderna ger om de simuleras var för sig och därefter adderas
- Simulerad energibesparing– Den energibesparing som ges när alla åtgärder i respektive fall införs samtidigt i samma modell och simuleras tillsammans
- Differens summerad och simulerad energibesparing – Skillnaden mellan Summerad energibesparing respektive fall och Simulerad energibesparing. Positivt värde innebär att de enskilda åtgärderna får mindre effekt om de genomförs tillsammans. Noll innebär att summan av de enskilda åtgärderna varit den samma som om de genomförts tillsammans. Negativt värde betyder att synergieffekter gör att energibesparingen blir större jämfört om åtgärderna införts enskilt

Innebörden och de enskilda åtgärder som tagits med för respektive fall definieras av den enskilda åtgärdens energibesparing är markerad. Streckad cell innebär att åtgärden inte är inkluderad i fallet. Exempel: Fall 1 inkluderar 75 mm väggisolering, 100 mm isolering i platta, 70 mm kantbalk, U-värde fönster 1,0, Läckflöde 0,6, Golvvärmedjup 20 mm samt Högeffektiv FVP. Summeras dessa åtgärders enskilda energibesparing blir Summerad energibesparing 65,3 kWh/m<sup>2</sup> och år. Simuleras samtliga åtgärder för fall 1 tillsammans blir simulerad energibesparingen 53,8 kWh/m<sup>2</sup> och år. Detta motsvar en skillnad mellan summerad och simulerad energibesparing på 11,5 kWh/m<sup>2</sup> och år.

Tabell 8.1 Modell av olika fall, summan av fallens enskilda åtgärders energibesparing samt energibesparing vid simulering av åtgärder för respektive fall i kWh/m<sup>2</sup> och år.

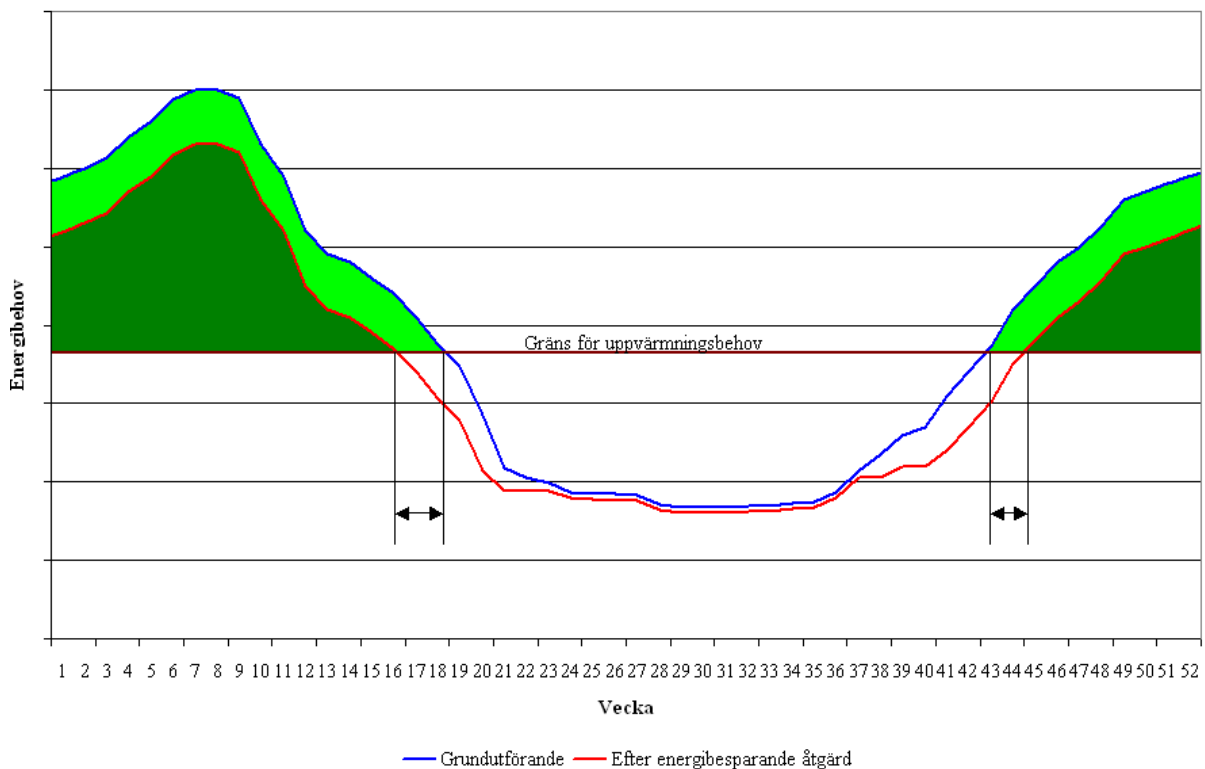
	Transförluster				U-värde fönster 1,0	Luftläck		Värmesystem		Summerad energibesparing	Simulerad energibesparing	Differens summerad och simulerad energibesparing
	75 mm väggisolering	100 mm isolering i platta	200 mm isolering i platta	70 mm kantbalkisolering		Läckflöde 0,6	Läckflöde 0,4	Golvvärmedjup 20 mm	Högeffektiv FVP			
Energibehov	93,7	91,8	88,5	96	93,3	95,9	92,6	96,7	66,9			
Enskild energi besparing	6,3	8,2	11,5	3,9	6,7	4,1	7,3	3,2	33,1	84,1		
Fall 1	6,3	8,2	-	3,9	6,7	4,1	-	3,2	33,1	65,3	53,8	11,5
Fall 2	6,3	-	11,5	3,9	6,7	4,1	-	3,2	33,1	68,6	55,1	13,5
Fall 3	6,3	8,2	-	3,9	6,7	-	7,3	3,2	33,1	68,6	56,1	12,5
Fall 4	6,3	-	11,5	3,9	6,7	-	7,3	3,2	33,1	71,9	57,3	14,6
Fall 5	6,3	8,2	-	3,9	6,7	4,1	-	3,2	-	32,2	27,8	4,5
Fall 6	6,3	-	11,5	3,9	6,7	4,1	-	3,2	-	35,5	30	5,5
Fall 7	6,3	8,2	-	3,9	6,7	-	7,3	3,2	-	35,5	27,2	8,4
Fall 8	6,3	-	11,5	3,9	6,7	-	7,3	3,2	-	38,8	32,9	5,9
Fall 9	6,3	8,2	-	3,9	6,7	4,1	-	-	-	29	25,7	3,4
Fall 10	6,3	-	11,5	3,9	6,7	4,1	-	-	-	32,3	28,1	4,2
Fall 11	6,3	8,2	-	3,9	6,7	-	7,3	-	-	32,3	25,5	6,8
Fall 12	6,3	-	11,5	3,9	6,7	-	7,3	-	-	35,6	31,3	4,4
Fall 13	-	-	-	-	-	4,1	-	3,2	33,1	40,3	40,4	-0,1
Fall 14	-	-	-	-	-	-	7,3	3,2	33,1	43,6	42,9	0,7
Fall 15	-	-	-	-	-	4,1	-	3,2	-	7,3	7	0,2
Fall 16	-	-	-	-	-	-	7,3	3,2	-	10,5	10,1	0,5
Fall 17	-	-	-	-	-	4,1	-	-	33,1	37,1	36,8	0,4
Fall 18	-	-	-	-	-	-	7,3	-	33,1	40,4	39,3	1,1
Fall 19	6,3	8,2	-	3,9	6,7	-	-	-	-	25	18,4	6,6
Fall 20	6,3	8,2	11,5	-	6,7	-	-	-	-	32,6	24,2	8,4
Fall 21	-	-	-	-	-	-	-	3,2	33,1	36,3	36,8	-0,5



## 8.4 Analys

Undantaget fall 13 och fall 21 så påvisar samtliga studerade fall att energibesparingen för den summerade besparing för varje enskild åtgärd blir större jämfört med om åtgärderna simuleras tillsammans. Ju större energibesparing för respektive åtgärd desto större blir också skillnaden mellan summerad och simulerad energibesparing. Det samma gäller för antalet åtgärder i varje fall, det vill säga desto fler åtgärder ger desto större energibesparing, både summerat och simulerat, men också en större skillnad mellan summerad och simulerad energibesparing. Specifikt för fall 13 och 21 är att de har ingen eller en liten åtgärd i syfte att minska transmissions- eller läckageförluster och två åtgärder som berör värmesystemet.

Detaljerad analys av simuleringsresultat, vilka inte redovisas närmare, visar att uppvärmningssäsongen blir kortare när en ny åtgärd som syftar till lägre transmissions- eller läckageförluster införs. Detta leder i sin tur till att ytterligare åtgärder får ett kortare intervall, kortare uppvärmningssäsong, att verka inom. På så vis ges inte möjlighet till lika stora energibesparingar som om åtgärden införts enskilt. Figur 8.1 nedan exemplifierar energibehovet per år samt hur uppvärmningssäsongen blir kortare när energibesparande åtgärder införs.



*Figur 8.1 Exempel på energibehovets fördelning över året samt hur uppvärmningssäsongen blir kortare när energibesparande åtgärder införs. Energibehovet utgörs av arean som bildas ovanför gränsen för uppvärmningsbehovet och under respektive kurva, grönmärkt i figuren. Om ytterligare energibesparingar i syfte att minska transmissions- och läckageförlusterna kan endast besparing göras på den mörkgröna arean. Pilar i figur redovisar hur uppvärmningssäsongen blir kortare.*

De ljus och mörkgröna areorna tillsammans utgör uppvärmningsbehovet om byggnaden utförts enligt grundutförande. Om en energibesparande åtgärd införs skulle energibehovet för värme endast utgöras av den mörkgröna arean. Eftersom den mörkgröna arean är mindre än den ljus och mörkgröna tillsammans skulle ytterligare energibesparande åtgärder ha en mindre

energibehov, area i figur 8,1, att sänka. På grund av detta kan inte energibesparande åtgärder summeras med varandra om de baseras på en energibesparing av grundutförandet.

Sett på årsbasis gör den kortare uppvärmningssäsongen för varje enskild åtgärd att det inte går att summera effekten av enskilda åtgärder. Detta innebär inte att synergieffekter med motsatt verkan går att utesluta under uppvärmningssäsongen. Däremot gör det gällande att den förkortade uppvärmningssäsongen har större påverkan jämfört eventuella synergieffekter med motsatt verkan.

Fall 13 och 21 visar att synergieffekter uppstår i värmesystemet om flera energibesparande åtgärder införs för detta. Noterbart är dock att den kortare uppvärmningssäsong som transmissions- och läckageåtgärder medför är betydligt större jämfört med synergieffekterna som uppnås med flera åtgärder i värmesystemet.

Konsekvenserna för flera energibesparande åtgärder på inneklimat och komfort innefattas inte av denna studie. Däremot bedöms följderna av flera åtgärder vara positiva ur ett sådant perspektiv.

## 8.5 Slutsatser

Vid införandet av flera olika åtgärder som syftar till att sänka energibehovet går det inte att summera energibesparingen utifrån grundutförandet för respektive åtgärd. För att göra en korrekt energibehovsberäkning måste samtliga åtgärder som planeras införas i studerad modell samtidigt.

Vid införandet av flera åtgärder som syftar till att sänka transmissions och läckageförlusterna blir uppvärmningssäsongen kortare för respektive åtgärd. Detta leder i sin tur till att energibesparingen blir lägre jämfört med om en åtgärd införts enskilt. Desto större inverkan en enskild åtgärd har i ett samband desto större konsekvenser får det för övriga åtgärder. Med detta går det inte att utesluta synergieffekter under uppvärmningssäsong däremot är det fastställt att den förkortade uppvärmningssäsongen har större inverkan jämfört eventuella synergieffekter.

Synergieffekter förekommer dock för studerat fall om värmesystemet och värmedistributionssystemet effektiviseras enligt ovan. Synergieffekterna är förhållande vis små jämfört med den minskade effekt på åtgärder som en förkortad uppvärmningssäsong medför.



## 9 Fortsatta studier

*Förslag till fortsatta studier som baseras på erfarenheter vilka erhållits under arbetets gång föreslås.*

Rapportens omfattning och upplägg gör att flera delområden som lämpar sig väl för fortsatta studier identifierats. Vissa av dessa är bara intressanta ur ett allmänt perspektiv medan andra också kan vara av intresse för LB Hus AB. Åtgärder vilka LB Hus AB föreslås genomföra inkluderar i vissa fall också förslag på vidare studier.

### **LB Hus AB**

Samtliga åtgärder som LB Hus AB föreslås genomföra i att syfta att minska energibehovet hos producerade hus bör studeras vidare ur ett ekonomiskt- och livscykelkostnadsperspektiv. I en ekonomisk kalkyl bör flera parametrar som till exempel extra materialkostnader, omställningar i produktionen samt produktionstekniska vinster och förluster innefattas. Kalkylen bör givetvis även ställas mot hur stor energibesparingen är, kunders betalningsvilja samt energi- och räntekostnader.

Undersökningar av produktionstekniska förändringar bör kombineras med logistiska utredningar samt möjligheten till förändringar i syfte att förenkla produktions- och byggsystem.

Nedan anges en rad enskilda åtgärder, som delvis nämnts tidigare, vilka LB Hus AB bör studera vidare.

Studien beträffande nischisolering i fönstren och dess inverkan på totala energibehovet genomfördes endast för ett endimensionellt fall i denna rapport. Extraisoleringens betydelse för totala energibehovet hade varit intressant att studera i en modell där värmeflödet genom konstruktionen studeras ur ett tredimensionellt perspektiv.

Tjockleken på voterna och dess betydelse för totala energibehovet har visat sig vara så pass omfattande att ytterligare studier hur dessa kan göras tunnare bör göras. Även andra metoder för att förhindra köldbryggor i grundkonstruktionen bör utredas ytterligare. Utöver möjligheten att bryta köldbryggor bör även statiska och produktionstekniska studier göras beträffande möjligheten att höja golvvärmenslingornas nivå i betongplattan.

Läckageflödets betydelse för studerade byggnaders energibehov redovisas tydligt i rapporten. Däremot bör LB Hus AB utreda hur företaget rent praktiskt kan göra producerade hus tätare.

Energibesparingen med högpresterande frånluftsvärmepumpar är så pass hög att möjligheten att införa det i den befintliga produktionen bör utredas. De osannlikt höga värmefaktorer som anges av tillverkaren gör även att energianvändningen bör kontrolleras mot befintliga system.

Variationer av bland annat fönsterarea och köldbryggor mellan olika hustyper i kombination med bristerna som framkommit beträffande Enorm gör att energibehovsberäkningarna för studerade hus även bör göras på företagets resterande hus.

## Allmänna fortsatta studier

Verifieringen av simuleringsprogrammet VIP+ avser bara det FVP- system och konstruktion som förekommer i studerat hus. För att säkerställa simuleringsprogrammets höga kapacitet hade det även varit av intresse att genomföra en motsvarande verifiering för ett hus med andra installationssystem. Med detta avses FTX- system, solvärme, golvvärme samt även återvinning av bland annat spillvatten.

Beträffande installationssystem hade det varit intressant att se hur LB Bo01 husets låga energibehov hade reagerat om en högeffektiv frånluftsvärmepump installerats i byggnaden.

Modellen i LB Bo01 huset där luft förvärms i luftspalten bakom fasadpanelen innan den tas in hade kunnat studeras ytterligare. Frågan är hur stort värmetillskottet är, om det sker under vinterhalvåret när det som mest önskas samt om tilluften kan kylas på grund av himmelsstrålning nattetid. Ur inomhusklimat och komfortsynpunkt är det även viktigt att utreda så tilluften inte förorenas när den passerar på insidan av panelen.

Konsekvenserna för energibehovet beroende av varierande brukarvanor framgår tydligt i rapporten. Ansvarig myndighet borde ta fram och förelägga vilka brukarvanor som ska användas vid beräkning av energibehov. I dag ges projektörerna möjlighet att själva ansätta vilka förhållanden som ska råda. Avsaknaden av en fast mall som ska användas vid energibehovsberäkningar gör att marknaden öppnas för oseriösa aktörer. Genom att ansätta orimligt låga värden som skiljer sig från verkligheten uppfylls energi- och komfortkrav enligt BBR 12 bara i teorin. Ur ett kundperspektiv blir det ännu mer svårt att jämföra olika produkter med varandra.

Reglar och andra köldbryggors inverkan på energibehovet har studerats i rapporten. Utöver detta vore en studie beträffande inomhusklimatet och komfortens påverkan av köldbryggor intressant att studera. Konsekvensen av en köldbrygga skulle kunna vara att de medför en obehaglig strålning som kompenseras med en högre inomhustemperatur. Det högre inomhustemperaturen ger i sin tur ett högre energibehov.

Ytterligare studier beträffande köldbryggor och hur det totala energibehovet hade förändrats om samtliga köldbryggor elimineras kan vara relevant att genomföra. I detta samhang är det också av vikt att studera alternativa lösningar som lätt går att införa i produktionen.

Dubbelfönsterkonstruktionen som studeras i rapporten genererar ett lågt U- värde. Även om det inte är rimligt att införa en sådan typ av konstruktion idag kan det vara värt att studera om hårdare direktiv för energianvändningen i bostäder införs. I detta hänseende hade det också varit av intresse att undersöka hur instrålning och dagsljus hade förändrats.

Studien beträffande värmeflödet i lättreglarna påvisar att värmen går den lättaste vägen. I en byggnad finns hundratals korsningar där värmeflödet ges möjlighet till genvägar. Närmare studie beträffande värmeflödets genvägar på totala energibehovet är av intresse. Studien i detta fall avser bara två dimensioner, i ett tredimensionellt fall skulle värmeförlusterna bli ännu högre.

Möjligheterna att öka solfångarearean i kombination med en högre vinkel på solpanelen bör studeras vidare. Genom en sådan konstruktion kan en bättre täckning av husets energibehov åstadkommas.

Åtgärder som tas upp och studeras i rapporten studeras huvudsakligen ur ett energibehovsperspektiv. För säkerhets skull bör dessa även undersökas med hänsyn till inomhusklimat och komfort.

Eventuella synergieffekterna från bättre klimatskal tas ut av den förkortade uppvärmningssäsong som flera energibesparande åtgärder i kombination ger. För att utreda om det förekommer synergieffekter skulle dessa kunna studeras närmare under uppvärmningssäsong i tim- eller dygns intervall. Vidare hade det varit av intresse att studera möjligheten för synergieffekter på andra system än det som granskats i rapporten. Förutom fjärr-, berg- och jordvärmesystem i kombination med FVP-system så hade även FTX- system och kombinationer med detta varit intressanta.



## Referenser

### Tryckta källor

Allansson, Stefan, Sundqvist, Henrik. (2006). *Utformning av energieffektiva bostäder*. Examensarbete. Rapport EBD-R--06/11. Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och ByggnadsMiljö. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-85147-16-8.

Andersson, Sara, Nordström, Johanna (2005). *Investeringskalkyl baserad på ett flerbostadshus energiprestanda*. Examensarbete. Rapport EBD-R--05/9. Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och ByggnadsMiljö. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-85147-12-5.

Andrén, Lars, (2001) *Solenergi – Praktiska tillämpningar i bebyggelse*. AB Svensk Byggtjänst, Halmstad. ISBN 91-7332-967-3

Bagge, Hans, Elmroth, Arne, Lindström Lottie, (2004). *Energianvändning och inneklimat i två energieffektiva småhus i Västra Hamnen i Malmö*. Rapport TVBH-3048. Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-88722-33-3.

Bagge, Hans, Lindström Lotti, (2003). *Utvärdering av inomhusmiljö – En studie av termisk komfort och luftkvalitet i två lågenergihus*. Examensarbete. Rapport TVBH-5052. Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola.

Bennich, P. Persson, A. Energimyndigheten (2006). *Methodology and first result from end – use metering in 400 Swedish households*. Rapporten var vid tid för studien inte ännu publicerad.

Borodörren AB, Produktkatalog. *Ytterdörrar – som förskönar ditt hus*.

Boverket. (2005), *Bygga – bo – dialogen..* Utbildningsmaterial. Lenanders Grafiska AB, Kalmar. ISBN 91-7147-933-3.

Boverket. (2003), *Termiska beräkningar – rumsklimat, värmeisolering, transmissionsförluster och omfördelningsberäkning – Handbok*. Danagårds grafiska. Karlskrona. ISBN 91-7147-770-5

Byggteknikförlaget, *Bygg & teknik*, nr 1 januari 2006.

Dyrstad Pettersen, Trine. (1997). *Uncertainty Analyses of energy consumption in dwellings*. Doktors avhandling 1997:122. Høgskolen i Narvik. NTNU Trondheim, Norges teknisk-naturvetenskaplige universitet.

Elmarsson, Bengt, Nevander, Lars Erik. (2001) *Fukt – handbok*. AB Svensk Byggtjänst, Stockholm 2001. ISBN 91-7332-716-6



Guofeng, Mao mfl. (1993) *The Importance of Terminal Bridges in new Swedish Multi-Family Buildings. Building Physics in the Nordic Countries, Building Physics '93*. Volyme 1. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.

Hansen, Kjerulf-Jensen, Stampe (1997) *Danvak Grundbok – Varme og klimattekniik, 2 Udgave*. Danmark. ISBN 87-982652-8-8.

Hector Clarence M. Svensk Bygglidning AB. *Bo01- Kontroll av energibehovsberäkningar för Yxhult AB och LB Hus AB*. Intern litteratur LB Hus AB.

IVT Industrier AB (2005), *Installationshandbok – Värmepump IVT 490, utgåva 1.0. Artikelnummer 10715*.

Jansson, Stig, Energidoktorn konsult HB. *Träteks förlustfaktormetod med förenklad registrering av temperaturskillnad mellan inne och uteluft*.

Jonsson, Patrik, Mattson, Stig-Arne. (2005). *Logistik – läran om effektiva materialflöden*. Studentlitteratur, Lund. ISBN 91-4404182-9.

Karlsson, Björn. *Simuleringar av solvärmesystem med Winsun Villa Education. Kursmaterial Solenergi – Grundkurs i solvärmeteknik*.

Karlsson, Greger. Byggnadsingenjörerna Hessleholmen AB. *Rapport/ Täthetsprovning*. Interna dokument LB Hus AB.

Kjellsson, Elisabeth. (2004). *Solvärme i bostäder med analys av kombinationen solfångare och bergvärmepump*. Rapport TVBH-3047. Avdelningen för byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-88722-32-5.

LB Hus AB, Huskatalog, (2006), *Ugglanserien*. Huskatalog från LB Hus AB.

Mörstedt, Sten-Erik, Hellsten, Gunnar, *Data och diagram. Energi – och kemitekniska tabeller*. Liber AB, Stockholm, Daleke Grafiska AB, Malmö 2005. ISBN 91.47-00805-9.

Nevander, Lars Erik, Elmarsson, Bengt. (1994). *Fukthandbok. Praktik och teori*. Svensk Byggtjänst, Stockholm. ISBN 91-7332-716-6

Nilsson, Annika. (2003). *Energianvändning i nybyggda flerbostadshus på Bo01-området i Malmö*. Rapport TVBH-3045. Avdelningen för byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-88722-30-9.

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

Sandberg, Karin. Trätekt. *Rapport – Uppdrag – Beräkning av U-värde. Rapport Nr 2542/991203*. Interna dokument LB Hus AB.

Sandin, Kenneth. *Värme och Fukt*. Kompendium i byggnadsfysik. Lund 1996.

SCC Skellefteå Snickericentral. *Produktblad fönster*. Interna dokument LB Hus AB.

SP. Christer Johansson (1995). *Definition av förlustfaktor och anvisning för beräkning*.

SP. (2002). *SPs Certifieringsregler för P-märkning av prefabricerade byggnader – SPCR 008*.

Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006) *VIP+. Manual Version 4.0.1*. Malmö.

Svensson, Jimmy, Westerberg, Andreas. (2006). *Köldbryggors inverkan på energianvändningen*. Exsamensarbete. Rapport EBD-R--06/12. Avdelningen för Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö. Lunds Tekniska Högskola. ISBN 91-85147-17-6.

Swedisol, Anderlind, Gunnar, Stadler, Claes-Göran, (2004), *Isolerguiden 04*. Åbergstryckeri AB. ISBN 91-973761-6-7.

Thermia värme AB, de la Rose, Anders. *Sammanställning testresultat propan i Solvik*. Internt material LB Hus AB

Torssell, Richard (2005). *Energianvändning och livscykelkostnad för ventilations- och uppvärmningsystem i småhus*. Exsamensarbete. Rapport TVIT—05/5004. Avdelningen för Installationsteknik, Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola.

Warfvinge, Catarina, (2005). *Kv Jöns Ols i Lund – Energisnålt och lönsamt flerfamiljshus med konventionell teknik*. Rapport från WSP Environmental Byggnadsfysik, Pnr 12809-1 Statens energimyndighet.

## Digitala källor

För att nå delar av nedan angivna länkar måste \_ bytas ut mot -.

Abaravičius, Juozas, (2004). *Load Management in Residential Buildings*. Licentiatuppsats. Rapport LUTMDN/TMHP--04/7024-SE. Avdelningen för Energihushållning, Institutionen för Energivetenskaper. Lunds Tekniska Högskola. ISSN 0282-1990.  
<http://www.vok.lth.se/~eep/files/pdf/lic7024JA.pdf>. Hämtad 2006-09-18.

Bergsten, Bengt, Effektiv. (2001). *Energiberäkningsprogram för byggnader – en jämförelse utifrån funktions- och användaraspekter*. ISBN 91-7848-851-6.  
[http://effektiv.org/pdf\\_filer/Rapport%202001\\_03.pdf#search=%22energiber%C3%A4kningsprogram%2C%20Bergsten%22](http://effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202001_03.pdf#search=%22energiber%C3%A4kningsprogram%2C%20Bergsten%22) Hämtad 2006-09-06.

Berndtsson, Lennart. (2003). *Individuell mätning i Svenska flerbostadshus – en lägesrapport*. Projekt P11835-2.  
[http://www.stem.se/WEB%5CSTEMFe01e.nsf/V\\_Media00/C12570D10037720FC1256E0500434CDD/\\$file/Slutrapport.pdf#search=%22Berndtsson%2C%20Lennart.%20Individuell%20m%C3%A4tning%20i%20Svenska%20flerbostadshus%20%E2%80%93%20en%20l%C3%A4gesrapport.%22](http://www.stem.se/WEB%5CSTEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC1256E0500434CDD/$file/Slutrapport.pdf#search=%22Berndtsson%2C%20Lennart.%20Individuell%20m%C3%A4tning%20i%20Svenska%20flerbostadshus%20%E2%80%93%20en%20l%C3%A4gesrapport.%22) Hämtad 2006-09-05.

Boverket (2006). *Boverkets Byggregler, BBR 12, BFS 1993:57 med ändringar till och med 2006:12*.

<http://webtjanst.boverket.se/Boverket/RattsinfoWeb/vault/BBR/PDF/BFS2006-12BBR12.pdf>  
Hämtad 2006-08-22.

Bülöw- Hübé, Helena. Föreläsningmaterial i kursen *Utformning av energieffektiva byggnader*.

<http://www.ebd.lth.se/?page=TNA265> Hämtad 2006-09-14.

Davidsson, Leif, Ahlsells kyl. *Fuktig luft – Termisk komfort, Mollierdiagrammet*.

[http://www.ahlsell.se/upload/2479/fuktig\\_luft.pdf#search=%22Vistelsezon%2C%20beskrivning%22](http://www.ahlsell.se/upload/2479/fuktig_luft.pdf#search=%22Vistelsezon%2C%20beskrivning%22) Hämtad 2006-09-01.

Elitfönster AB, produkter, Elit original trä.

[www.elitfönster.se](http://www.elitfönster.se). Hämtad 2006-12-05.

Energilotsen. För utformning av energieffektiva byggnader. Delvis lösenordsskyddad sida.

<http://www.energilotsen.nu> Hämtad 2006-09-25.

Energimyndigheten (2003), *Effektiv energianvändning*.

[http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F\\_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=42EF8D25F634413AC1256DB2004BE167](http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=42EF8D25F634413AC1256DB2004BE167) Hämtad 2006-08-22.

Energimyndigheten (2006), *Energideklarationer av byggnader*.

[http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F\\_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=ED182C10E7242CB6C12570EB002D93B9](http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=ED182C10E7242CB6C12570EB002D93B9). Hämtad 2006-08-22.

Energimyndigheten (2005), *Energilägret i siffror 2005*.

[http://www.energimyndigheten.se/web/bibshop.nsf/FilAtkomst/Elagsiffror05.xls/\\$FILE/Elagsiffror05.xls?OpenElement](http://www.energimyndigheten.se/web/bibshop.nsf/FilAtkomst/Elagsiffror05.xls/$FILE/Elagsiffror05.xls?OpenElement) Hämtad 2006-09-04.

Energimyndigheten, (2003). *Energi- och klimatpolitik*.

[http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F\\_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=F7F3B6BC09CD2659C1256DD600467B24](http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=F7F3B6BC09CD2659C1256DD600467B24) Hämtad 2006-08-22.

Energimyndigheten (2003). *Miljömål, God bebyggd miljö*.

[http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F\\_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=8BBF5A53366048F3C1256DE100442654](http://www.stem.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=8BBF5A53366048F3C1256DE100442654) Hämtad 2006-08-22.

Energimyndigheten (2005), Svante Wijk, Karin Engvall, Stina Landén (2005). *Marknadens intresse för energieffektiva småhus*. Uppdragsnummer: 7025237

[http://www.stem.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V\\_Media00/C12570D10037720FC1257140001FBFCA/\\$file/markn.pdf](http://www.stem.se/WEB/STEMFe01e.nsf/V_Media00/C12570D10037720FC1257140001FBFCA/$file/markn.pdf) Hämtad 2006-09-14

Effektiv. (2005). *Om Effektiv*.

<http://www.effektiv.org/om.asp> Hämtad 2006-09-14.

Fläkt Woods Sverige AB (2007), *Produkter och system*.

<http://www.flaktwoods.se> Hämtad 2007-01-30.

Friblick, Fredrik. Föreläsningmaterial i kursen *Logistik i byggprocessen*.

<http://www.tlog.lth.se/> 2005-09-18.

Haryd, Jenny. (2005). *Energianvändning i två flerbostadshus av trä*. Exsamenarbete. TVBH – 5053. Avdelningen för Byggnadsfysik, Institutionen för Bygg och Miljöteknologi. Lunds Tekniska Högskola.

<http://www.byfy.lth.se/Publikationer/5000pdf/TVBH-5053JH.pdf> Hämtad 2006-09-12

Jagemar, Lennart. Effektiv. (2001). *Individuell reglering av rumsklimat*. ISBN 91-7848-878-8 [http://www.effektiv.org/pdf\\_filer/Rapport%202001\\_07.pdf#search=%22Jagemar%2C%20Lennart%20Effektiv%2C%20Individuell%20reglering%22](http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202001_07.pdf#search=%22Jagemar%2C%20Lennart%20Effektiv%2C%20Individuell%20reglering%22) Hämtad 2006-09-06.

Jensen, Lars, Warfvinge, Catarina. (2001). *Värmebehovsberäkning – Kursmaterial Installationsteknik FK*.

<http://www.hvac.lth.se/pdf/varmebeh.pdf#search=%22transmissionsf%C3%B6rluster%22> Hämtad 2006-09-05.

Karlsson, Björn. *Simuleringar av solvärmesystem med Winsun Villa Education. Kursmaterial Solenergi – Grundkurs i solvärmeteknik*. Lösenordsskyddad sida.

<http://www2.ebd.lth.se/avd%20ebd/main/kurser/Solvaerme%20ABE010/Skyddat%20Material%20till%20Salskursen/F10%20Winsun%20Villa/F10%20Winsun%20Villa%20Education-sals-05.pdf> Hämtad 2006-09-06.

Miljöteknikdelegationen (1999), *Förstudie över positiva miljöeffekter hos "intelligenta hus"*. [http://miljoteknik.vinnova.se/rapporter/rapport\\_1999\\_1.pdf#search=%22Brukarvanor%2C%20normalfamilj%22](http://miljoteknik.vinnova.se/rapporter/rapport_1999_1.pdf#search=%22Brukarvanor%2C%20normalfamilj%22) Hämtad 2006-09-04.

SCB, Statistiska CentralByrån (2005). *Energistatistik för småhus, flerbostadshus och lokaler 2004*. EN 16 SM 0404.

[http://www.scb.se/statistik/EN/EN0112/2004A01/EN0112\\_2004A01\\_SM\\_EN16SM0504.pdf](http://www.scb.se/statistik/EN/EN0112/2004A01/EN0112_2004A01_SM_EN16SM0504.pdf) Hämtad 2006-09-18.

SCB, Statistiska CentralByrån . (2005). *Energistatistik för småhus 2004*. EN 16 SM 0501.

[http://www.scb.se/statistik/EN/EN0102/2004A01/EN0102\\_2004A01\\_SM\\_EN16SM0501.pdf](http://www.scb.se/statistik/EN/EN0102/2004A01/EN0102_2004A01_SM_EN16SM0501.pdf) Hämtad 2006-09-18.

Schultz, Linda. Effektiv. (2003). *Energicertifiering – EU direktiv om byggnaders energiprestanda*. ISBN 91-7848-937-7.

[http://www.effektiv.org/pdf\\_filer/Rapport%202003-02.pdf](http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202003-02.pdf) Hämtad 2006-09-14.

Schulz, Linda. Effektiv. (2003). *Normalårskorrigerad av energianvändningen i byggnader – en jämförelse av två metoder*. ISBN 91-7848-932-6.

[http://www.effektiv.org/pdf\\_filer/Rapport%202003-01.pdf](http://www.effektiv.org/pdf_filer/Rapport%202003-01.pdf) Hämtad 2006-09-14.

SMHI, *Klimatet förändras*.

<http://www.smhi.se/> Hämtad 2006-09-14.

SMHI. (2005). *Luft och mark*.

<http://www.smhi.se/> Hämtad 2006-09-19.

SMHI, *Ser vi en klimatförändring idag?*

<http://www.smhi.se/> Hämtad 2006-09-14.

SMHI, *Årsmedeltemperatur 1961-1990*.  
<http://www.smhi.se/> Hämtad 2006-09-06.

Socialstyrelsens författningssamling, *Temperatur inomhus, Allmänna råd*. SOSFS 2005:15 (M), Artikelnr 2005-10-15, Grafikerna Livréna i Kungälv AB, Kungälv 2005, ISSN 0346-6000.  
[http://www.sos.se/sosfs/2005\\_15/2005\\_15.pdf](http://www.sos.se/sosfs/2005_15/2005_15.pdf) Hämtad 2006-09-01.

SP, Energy Teknology, Wahlström, Åsa. (2000). *Water and energy saving by installation of new water taps*. 2000-08-29. 00ETsP002310.  
[http://66.249.93.104/search?q=cache:g6LAKM3YdEIJ:www.gustavsberg.com/Gustavsberg/IMAGES/EN\\_GB/PDF/WATER\\_TECHNIQUES/SP\\_RAPPORT\\_ENG.PDF+Tappvarmvattnet,+en+okontrollerad+energislukare,+VVS+Forum&hl=sv&gl=se&ct=clnk&cd=1](http://66.249.93.104/search?q=cache:g6LAKM3YdEIJ:www.gustavsberg.com/Gustavsberg/IMAGES/EN_GB/PDF/WATER_TECHNIQUES/SP_RAPPORT_ENG.PDF+Tappvarmvattnet,+en+okontrollerad+energislukare,+VVS+Forum&hl=sv&gl=se&ct=clnk&cd=1) Hämtad 2006-09-18.

Strusoft AB. VIP+.  
[www.strusoft.se](http://www.strusoft.se). Hämtad 2006-10-04.

Svenning, Stephan. Örebro universitet (2005). *Vinterfriluftsliv*.  
[http://www.oru.se/oru\\_upload/Institutioner/Idrott%20och%20h%C3%A4lsa/pdf/Vinterfriluftsliv2005.pdf#search=%22v%C3%A4rmeavgivning%20huvudet%22](http://www.oru.se/oru_upload/Institutioner/Idrott%20och%20h%C3%A4lsa/pdf/Vinterfriluftsliv2005.pdf#search=%22v%C3%A4rmeavgivning%20huvudet%22) Hämtad 2006-09-12.

TermiSol AB. Villagrunder.  
<http://www.thermisol.se/>. Hämtad 2006-10-09.

## Muntliga källor

Adalberth, Karin. Prime Project AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Andreasson, Johanna. Energimyndigheten. Personlig kommunikation. 15 september 2006.

Bennich, Peter. Energimyndigheten. Personlig kommunikation. 15 september 2006.

Berglund, Lars Göran. LB Hus AB. Personlig kommunikation. 19 september 2006.

Bergman Lars B. Bridgemill Consulting AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Boström, Anders. SCC, Skellefteå Snickericentral. Personlig kommunikation. 16 oktober 2006.

Dover, Per. LB Hus AB. Personlig kommunikation. 5 januari 2007.

Engström, Christer. Gefab AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Haglund, Tommy. TermiSol AB. Personlig kommunikation. 9 oktober 2006.

Holm, Caroline. LB Hus AB. Personlig kommunikation. 20 september 2006.

Häggbom, Sune. Sunda Hus rådgivning AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Johansson, Mickael. LB Hus AB. Personlig kommunikation. 18 december 2006.

Karlsson, Björn. Lunds Tekniska Högskola, Energi och byggnadsdesign. Personlig kommunikation. Våren 2007.

Lindberg, Urban. CSC, Construction Software Center Europe AB. Personlig kommunikation. 9 oktober 2006.

Olsson, Anders. Paroc AB. Personlig kommunikation. 9 oktober 2006.

Oskarsson, Ove. LB Hus AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Rasmusson, Mats Ola. Strusoft AB. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Svensson, Henrik. Elitfönster AB. Personlig kommunikation. 23 januari 2007.

Tell, Erik. LB Hus AB. Personlig kommunikation. 9 oktober 2006.

Wall, Maria. Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation. Våren 2007.

Warfvinge, Catarina. Lunds Tekniska Högskola. Personlig kommunikation. Hösten 2006.

Weidemanis, Peter LB Hus AB. Hösten 2006.



## **Bilagor**

Bilaga 1.

Uppmätt och simulerat energibehov per dygn och m<sup>2</sup> area för LB Bo01 hus.

Bilaga 2 tom XX

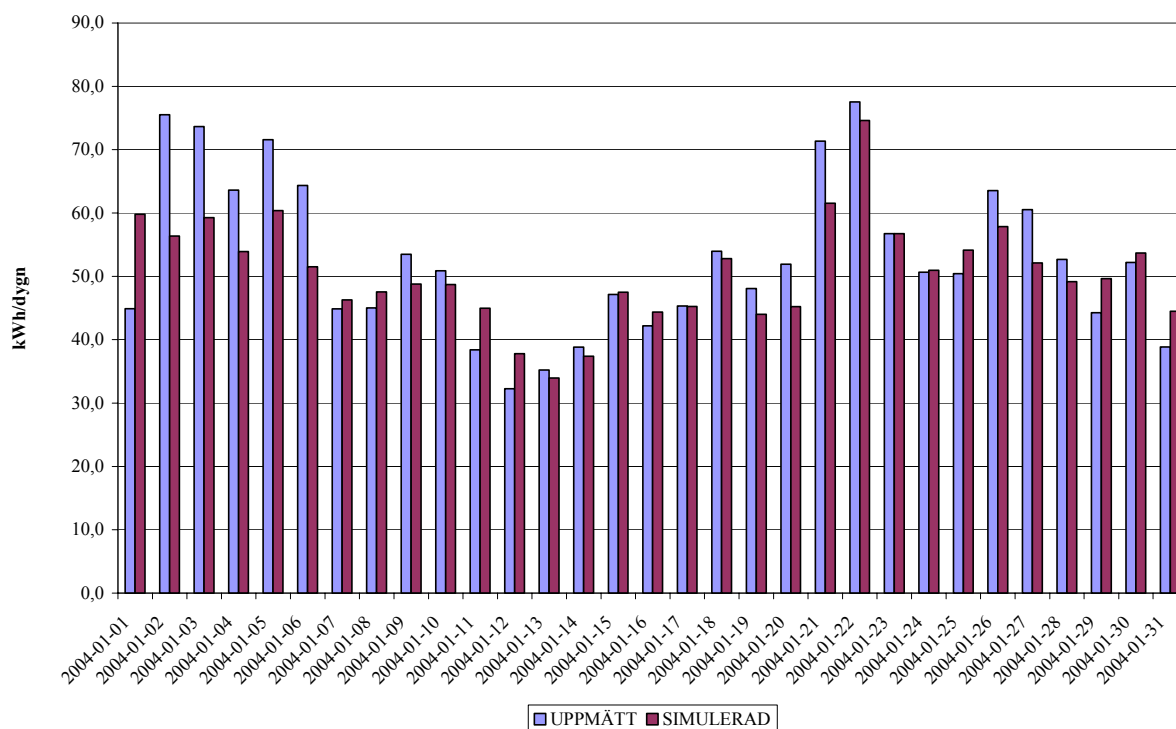
Sekretessbelagda:

- Bygghandlingar LB Bo01 hus
- Konstruktionsritningar LB Bo01 hus
- Produktionsritningar LB Bo01 hus
- Produktions om monteringsunderlag LB Bo01 hus
- Bygghandlingar Ugglan 135
- Konstruktionsritningar Ugglan 135
- Produktionsritningar Ugglan 135
- Produktions om monteringsunderlag Ugglan 135
- Bygghandlingar Steglitsen
- Konstruktionsritningar Steglitsen
- Produktionsritningar Steglitsen
- Produktions om monteringsunderlag Steglitsen

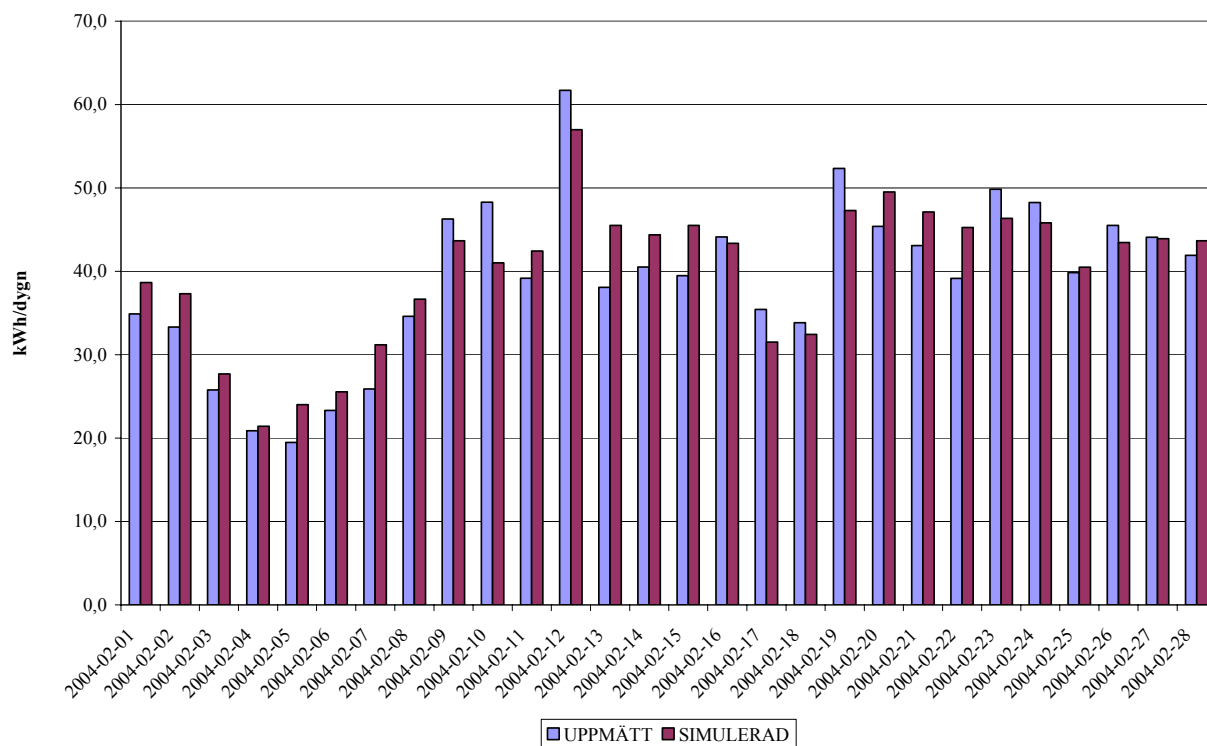


## Bilaga 1

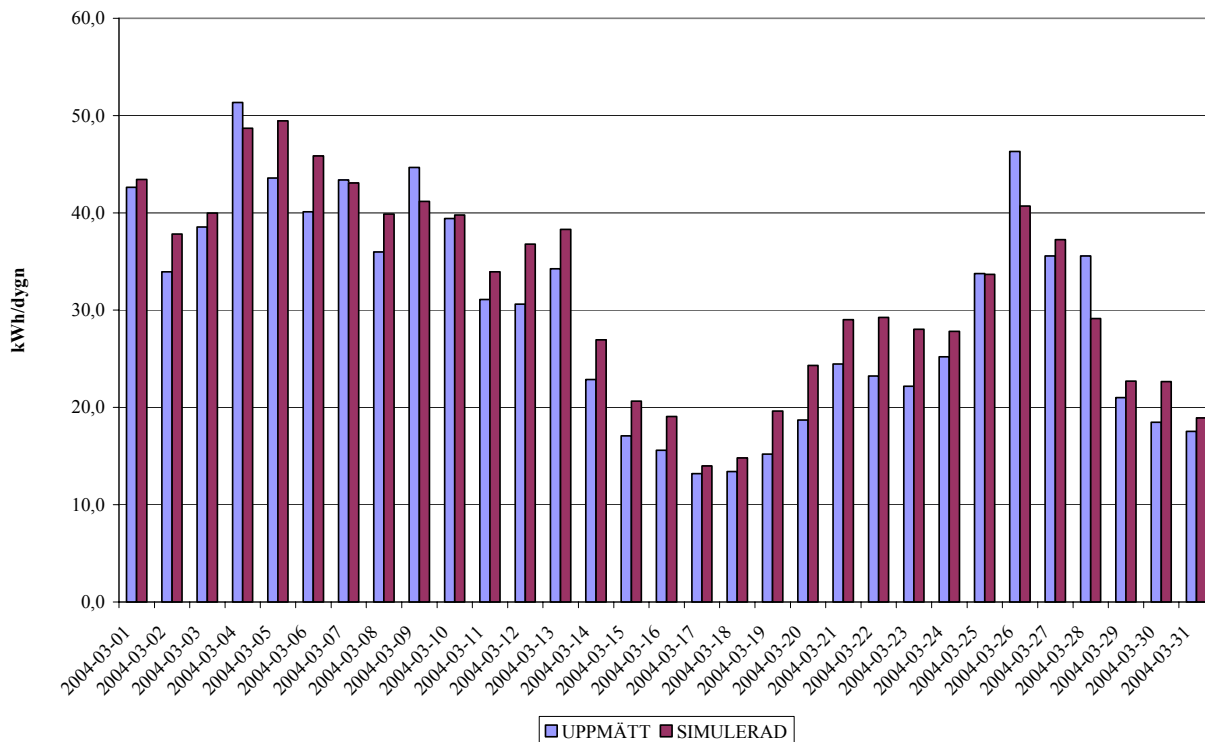
Uppmätt och simulerad energianvändning per dygn för LB Bo01 huset per månad. Notera att värdet på diagrammens y-axlar skiljer sig mellan olika månader.



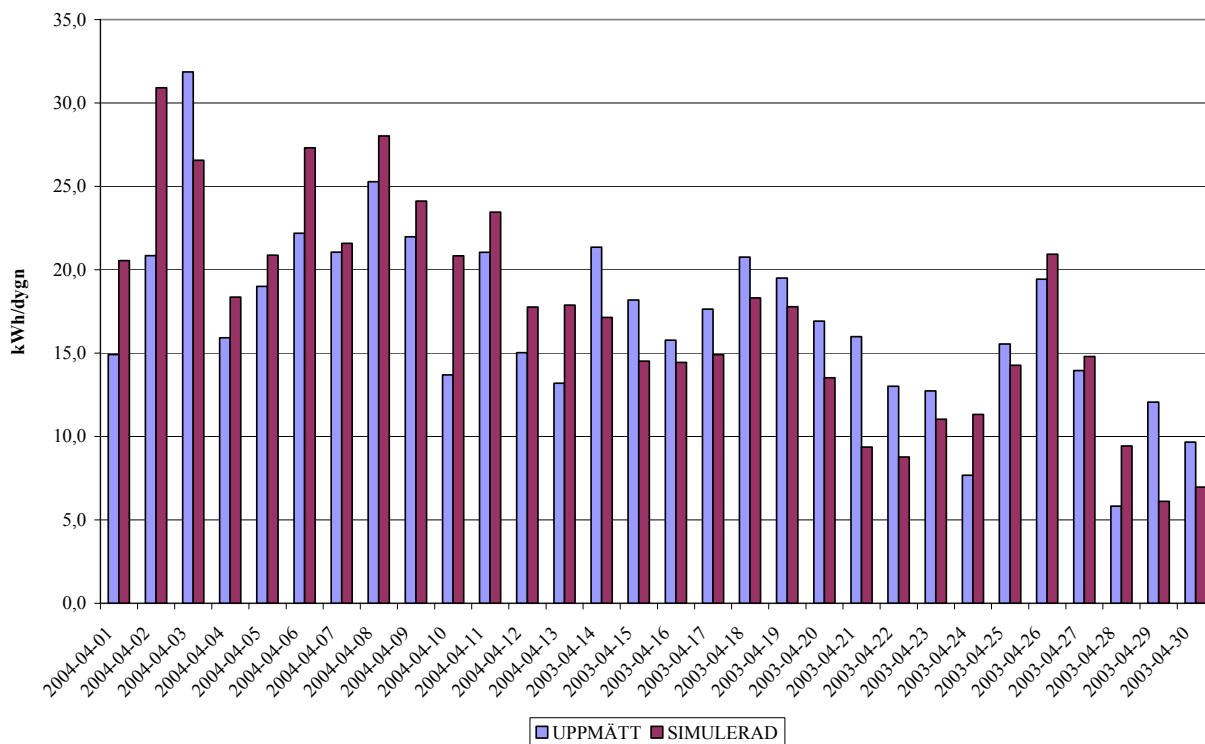
Januari 2004



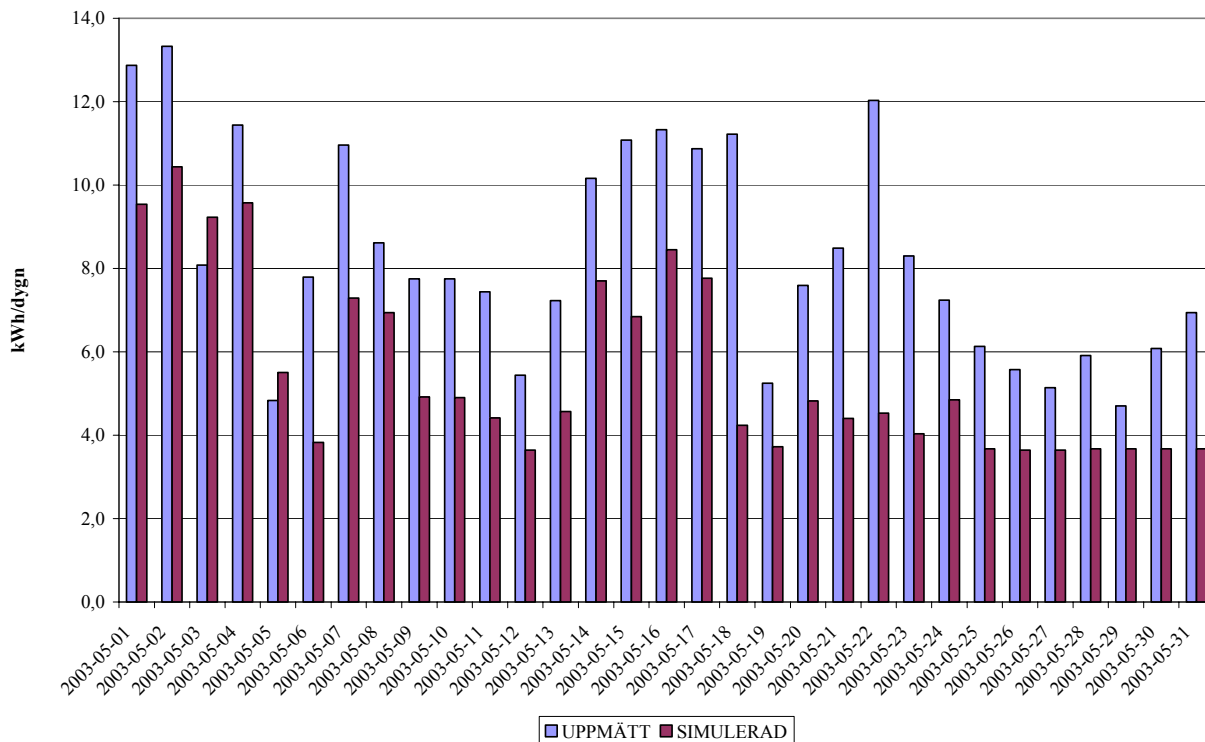
Februari 2004



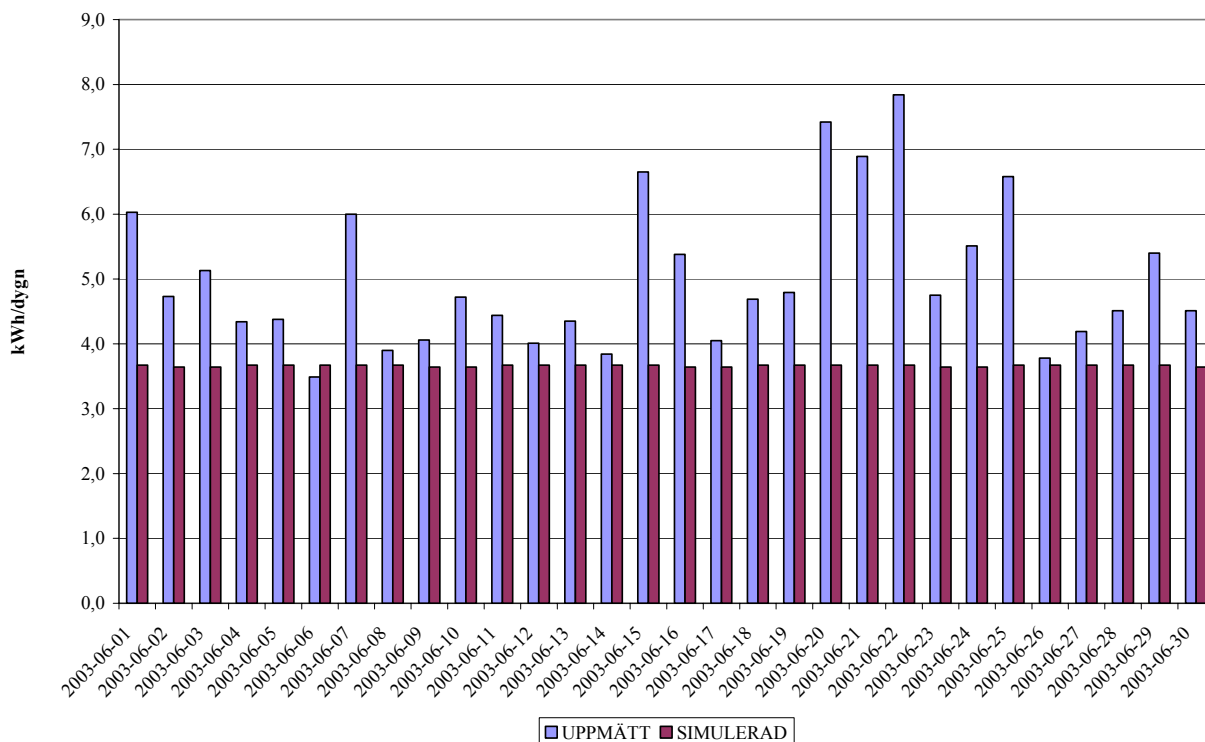
Mars 2004



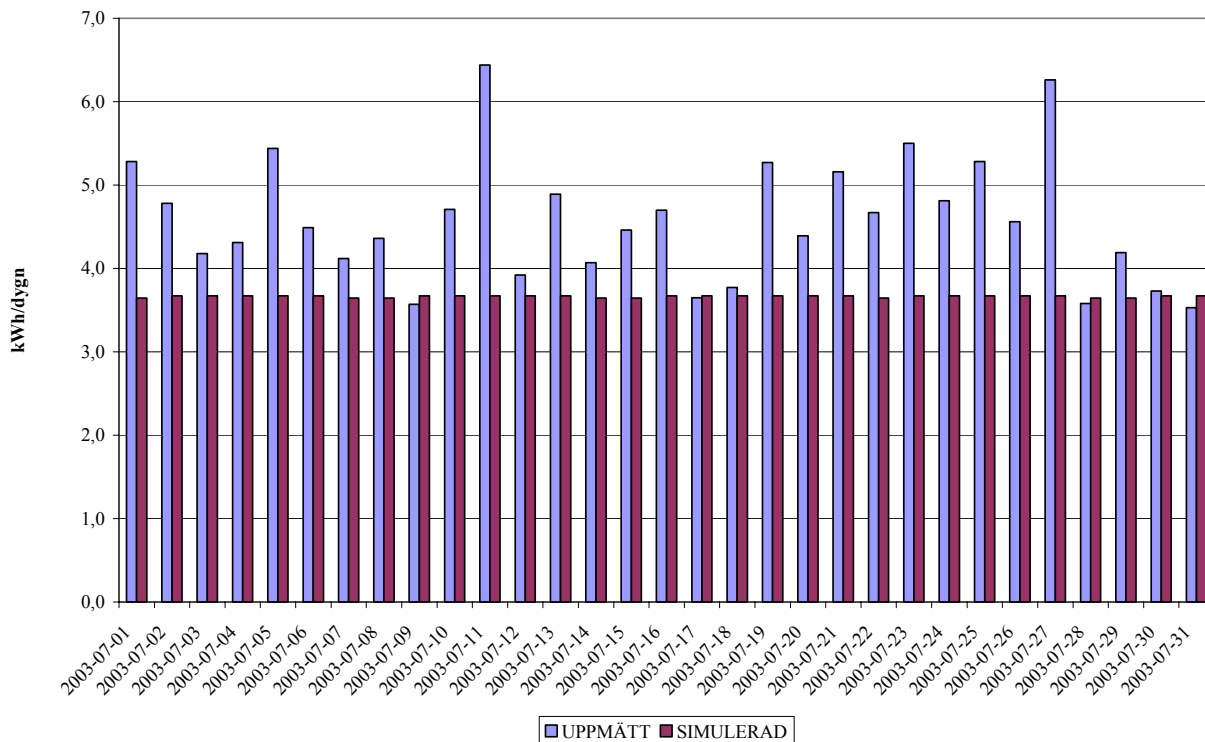
April, 1- 13 2004 samt 14-30 2003



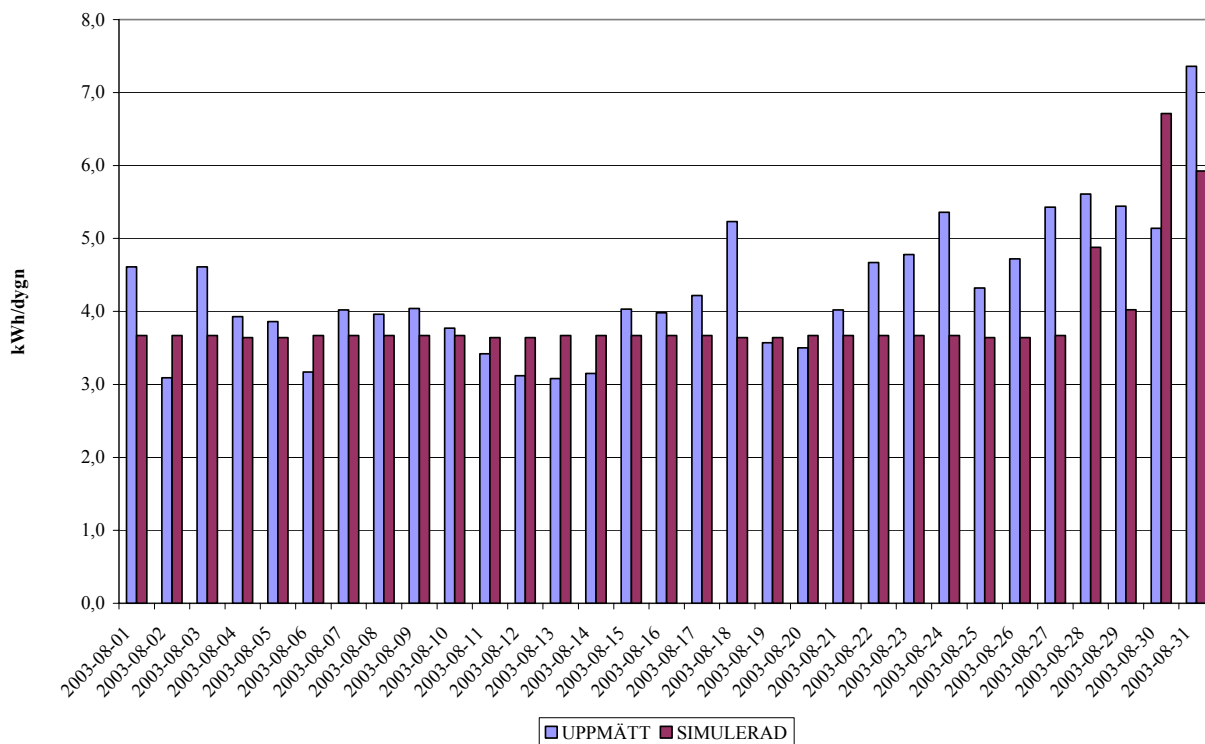
Maj 2003



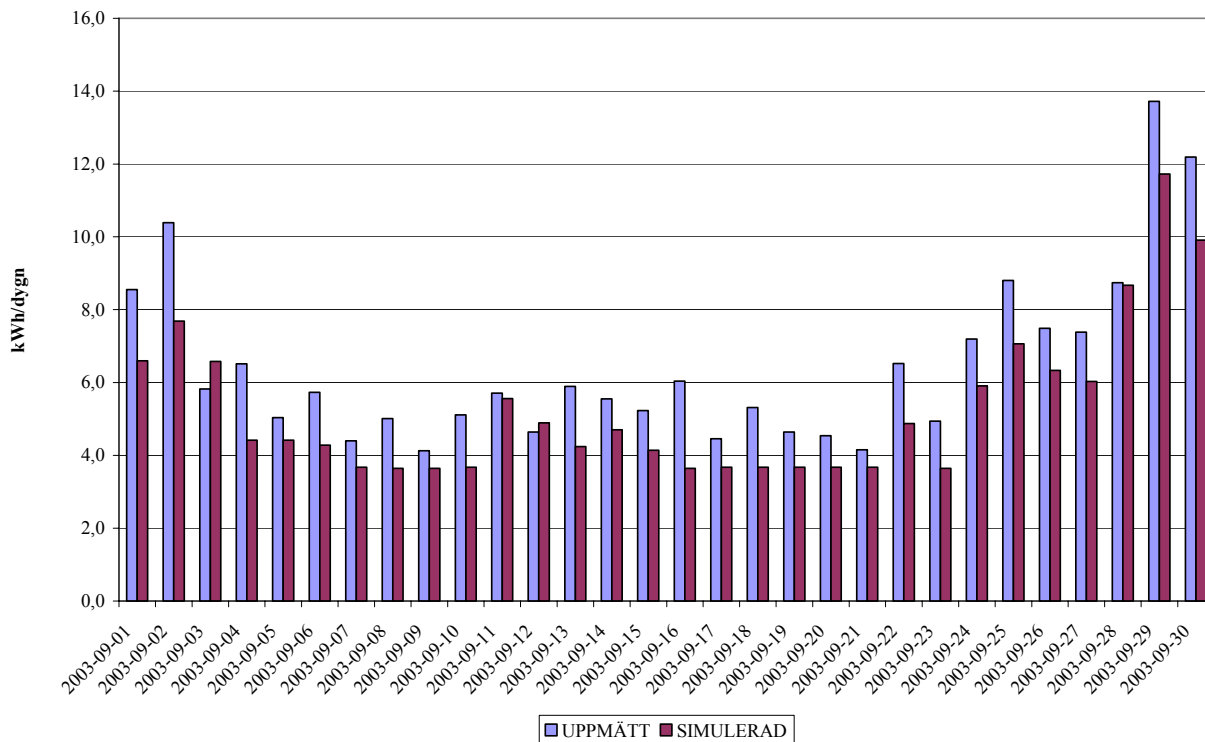
Juni 2003



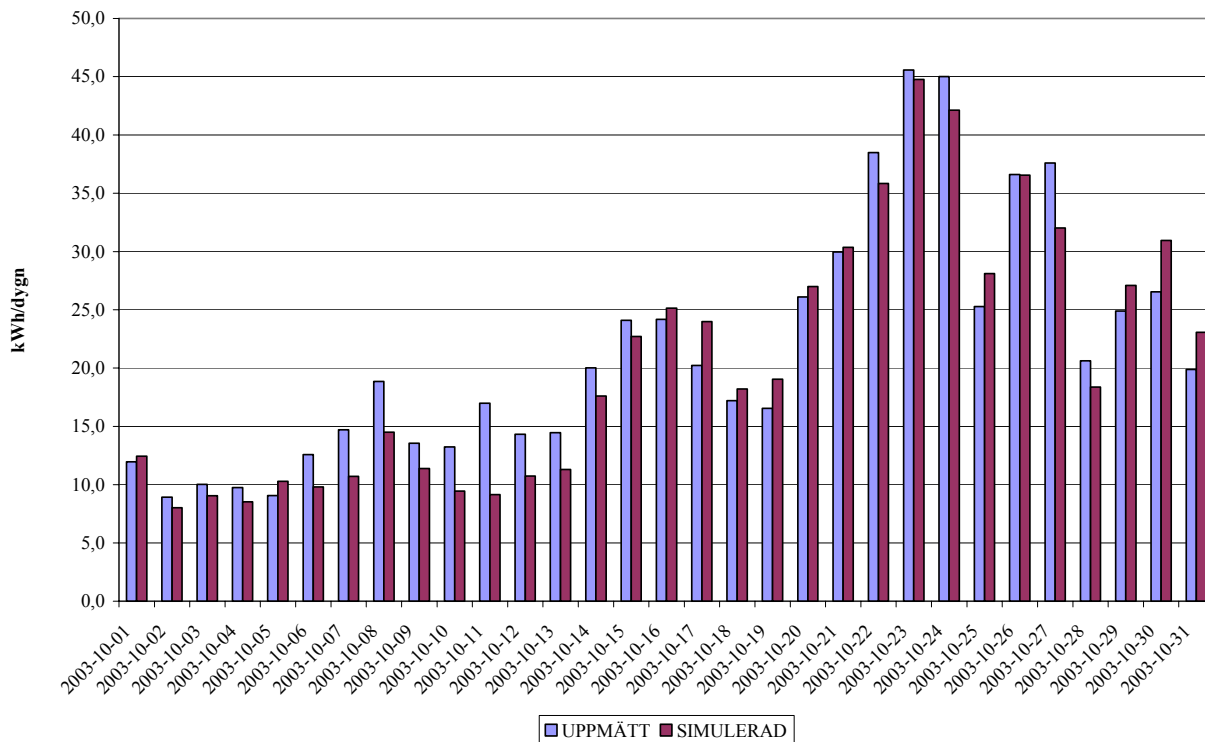
Juli 2003



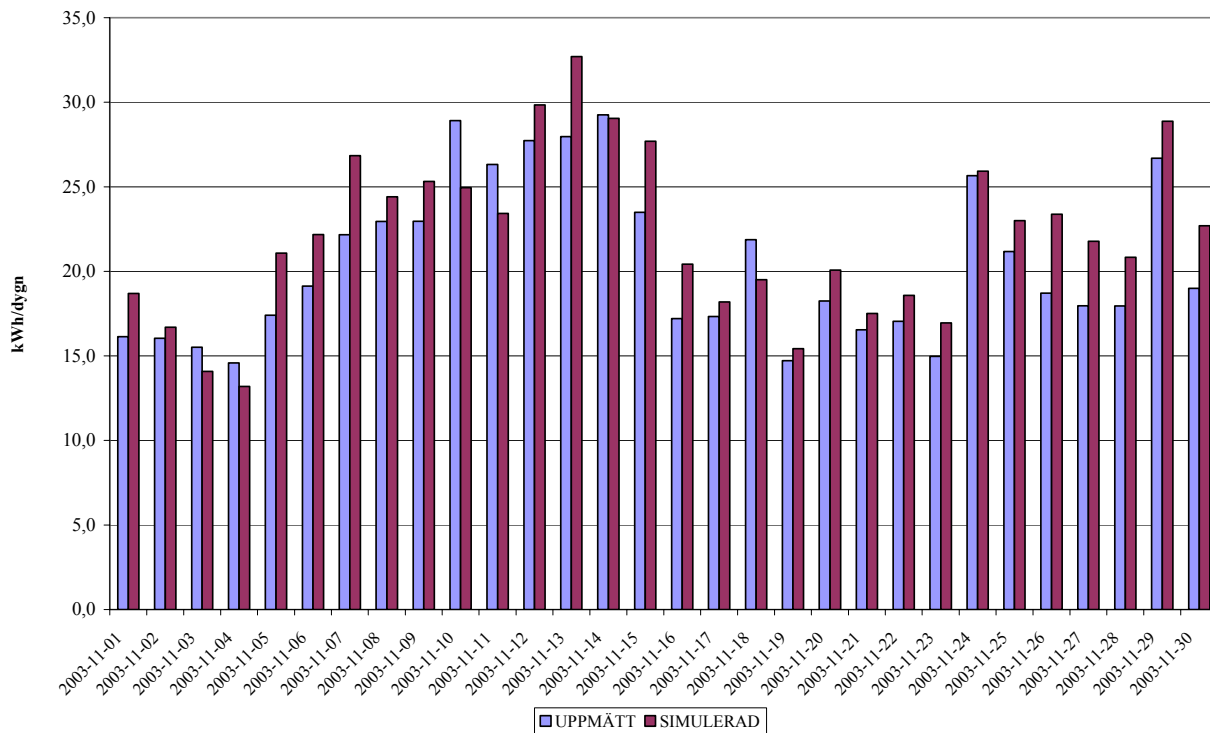
Augusti 2003



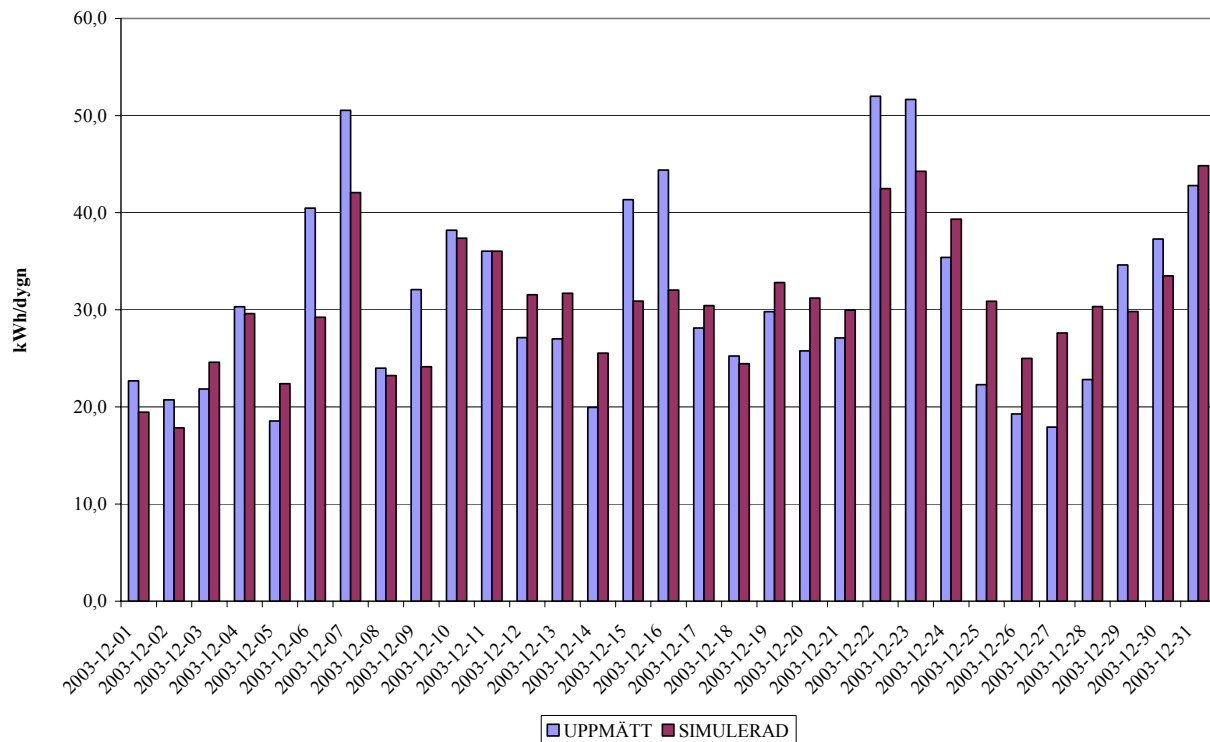
September 2003



Oktober 2003



November 2003



December 2003