

# Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

*Tobias Laursen*  
*Christofer Tapper*

---

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet, 2009  
Rapport TVIT-09/5018



# Lunds Universitet

Lunds Universitet, med nio fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinaviens största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 100 400 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö, Helsingborg och Ljungbyhed. Lunds Universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och 41 000 studerande som deltar i ett 90-tal utbildningsprogram och ca 1000 fristående kurser erbjudna av 88 institutioner.

## Avdelningen för installationsteknik

Avdelningen för Installationsteknik tillhör institutionen för Bygg- och miljöteknologi på Lunds Tekniska Högskola, som utgör den tekniska fakulteten vid Lunds Universitet. Installationsteknik omfattar installationernas funktion vid påverkan av människor, verksamhet, byggnad och klimat. Forskningen har en systemanalytisk och metodutvecklande inriktning med syfte att utforma energieffektiva och funktionssäkra installationssystem och byggnader som ger bra inneklimat. Nuvarande forskning innefattar bl a utveckling av metoder för utveckling av beräkningsmetoder för godtyckliga flödessystem, konvertering av direktelvärmda hus till alternativa värmesystem, vädring och ventilation i skolor, system för brandsäkerhet, alternativa sätt att förhindra rökspredning vid brand, installationernas belastning på yttre miljön, att betrakta byggnad och installationer som ett byggnadstekniskt system, analysera och beräkna inneklimatet i olika typer av byggnader, effekter av brukarnas beteende för energianvändning, reglering av golvvärmesystem, bestämning av luftflöden i byggnader med hjälp av spårgasmetod. Vi utvecklar även användbara projekteringsverktyg för energi och inomhusklimat, system för individuell energimätning i flerbostadshus samt olika analysverktyg för optimering av ventilationsanläggningar hos industrin.

# Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

*Tobias Laursen*  
*Christofer Tapper*

© Tobias Laursen och Christofer Tapper 2009

ISRN LUTVDG/TVIT--09/5018--SE(117)

Avdelningen för installationsteknik  
Institutionen för bygg- och miljöteknologi  
Lunds tekniska högskola  
Lunds universitet  
Box 118  
22100 LUND

## Sammanfattning

- Titel:** Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus
- Författare:** Tobias Laursen & Christofer Tapper
- Handledare:** Helena Bülow-Hübe, Tyréns & Birgitta Nordquist
- Examinator:** Jesper Arfvidsson
- Problemställning:** Vilken energianvändning erhålls för flerbostadshus i ett tidigt skede i projekteringen och hur kommer val av olika parametrar att påverka energianvändningen, samt hur ser fuktförhållandena ut i byggsystemets moduler?
- Syfte:** Syftet är att med hjälp av en parameterstudie ta fram en metod för att bedöma energianvändningen för ett byggsystem för flerbostadshus i trä i ett tidigt skede av projekteringen. Syftet är också att bedöma om byggsystemet blir fuktsäkert.
- Metod:** Studien utgår ifrån två referenshus som skapas av författarna. Referenshusen ligger till grund för en parameterstudie där faktorer som påverkar energianvändningen analyseras i datorprogrammet VIP+. Parameterstudien utgår från referensfall med låsta parametrar för fem orter i Sverige. Parametrarna varieras och jämförs med referensfallen. Parameterstudien används för att ta fram en metod för att bedöma energianvändningen för byggsystemet. Risken för fuktskador på grund av mögeltillväxt i de framtagna modulerna kontrolleras med hjälp av beräkningar i datorprogrammen Crawl, HEAT2 och WUFI.
- Slutsatser:** Genom att identifiera vilka parametrar som har störst effekt på energianvändningen i en viss ort kan byggnaden energi-optimeras i ett tidigt skede. En uppskattning av energianvändningen görs med framtagna tabeller. Referensfallen klarar kraven som ställs av BBR 2009. Fuktanalysen visar att det finns en risk med att använda tjockputs på ytterväggsfasaden om den ej utformas med luftspalt. Enligt beräkningarna förekommer inga fuktskador i krypgrunden.
- Nyckelord:** Energianvändning, moduler, flerbostadshus, fukt, trä, VIP+, HEAT2, WUFI, Crawl



## Abstract

- Title:** Energy- and humidity analysis of a wooden building system for apartment buildings.
- Authors:** Tobias Laursen & Christofer Tapper
- Mentor:** Helena Bülow-Hübe, Tyréns & Birgitta Nordquist
- Examiner:** Jesper Arfvidsson
- Problem statement:** How is the energy consumption of a building determined early in the planning phase, and how will different parameters affect the energy consumption? What are the risks for mould growth on the modules that are used in the building system?
- Aim:** The aim with the study is to develop a method for determining the energy consumption for a wooden building system for apartment buildings early in the planning phase. The purpose is also to determine if there is a risk for mould growth in the building system.
- Approach:** The study is based on two concept buildings which have been created by the authors. These have been used to create two reference buildings with locked parameters for five cities in Sweden. Calculations to verify the impact of various parameters that affect the energy use of the buildings has been carried out with the computer programme VIP+. The parameters have been varied and the effects have been compared with the reference buildings. The study is used to develop a method for determining the energy use for the building system. The risk for damage due to moisture and mould growth has been analyzed by running simulations in Crawl, HEAT2 and WUFI.
- Conclusion:** The energy consumption of a building can be adjusted and optimised at an early stage in the building process. Estimations of the energy use of a building can be done by using the tables that have been created by the authors. The risk assessment for mould growth in the concept buildings show that there is a risk for mould growth if thick plaster coatings are applied without air cavities on the exterior of the walls. The calculations show that there is no risk for mould growth in the heated crawlspace.
- Keywords:** Energy consumption, modules, apartment buildings, moisture, wood, VIP+, HEAT2, WUFI, Crawl.





## Förord

Denna studie är ett examensarbete som omfattar 30 hp genomförd vid avdelningen för Installationsteknik vid Lunds tekniska högskola i samarbete med Tyréns och avdelningen för Byggnadsfysik vid Lunds tekniska högskola. Examensarbetet har genomförts mellan januari och augusti 2009.

Vi vill tacka våra handledare Helena Bülow-Hübe på Tyréns och Birgitta Nordquist på avdelningen för Installationsteknik. Tack för att ni har visat engagemang och intresse. Ni har varit till stor hjälp.

Vi vill också tacka:

Lars-Erik Harderup på avdelningen för Byggnadsfysik för diskussioner kring fuktproblematik. Alla anställda på avdelningen Byggekonstruktion på Tyréns i Malmö, speciellt Tomas Carlsson som har gjort det möjligt att skriva examensarbetet i samarbete med Tyréns och för att du hjälpt oss med många praktiska detaljer under arbetets gång. Emile Hamon för ditt intresse kring byggsystemet och all information vi fått ta del av. Josef Olsson som har hjälpt oss med frågor rörande WUFI.

Sist men inte minst vill vi också tacka alla på Tyréns i Malmö för ett trivsamt bemötande och trevliga fikastunder.

Lund juni 2009

Tobias Laursen och Christofer Tapper

Handwritten signatures of Tobias Laursen and Christofer Tapper in blue ink.



## Terminologi

*Begrepp och uttryck som förekommer löpande i texten ges här en mer utförlig beskrivning.*

***A<sub>temp</sub>*** – ”Arean av samtliga våningsplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än 10°C, som begränsas av klimatskärmens insida. Area som upptas av innervägar, öppningar för trappa, schakt och dylikt, inräknas. Area för garage, inom byggnaden i bostadshus eller annan lokalbyggnad än garage, inräknas inte.” (Boverkets författningssamling, 2008, sid 2)

***Byggfukt*** – Byggfukt kan definieras som den mängd vatten som måste avges för att materialet eller byggnadsdelen skall komma i fuktjämvikt med sin omgivning. (Nevander & Elmarsson, 1994)

***CAV*** – Constant Air Volume innebär att luftflödet i ett ventilationssystem är konstant.

***COP*** – Coefficient Of Performance. Är ett mått på hur effektiv en värmepump är, dvs. hur mycket energi pumpen ger i förhållande till den energi den förbrukar i drift. (CTC värme, 2009)

***Effusion*** – Om porstorleken är mindre än medelvägen för molekyler i rörelse påverkas ångtransporten i dominerande grad av sammanstötningar med porväggar. Detta kallas för effusion. (Nevander & Elmarsson, 1994)

***Energibärare*** – ”Ämne eller material lämpat att transportera energi, t.ex. vatten, luft, eller elektriska kablar, battericeller samt bränslen som kol, råolja, ved och dylikt.” (Statens energimyndighet, 2009)

***Fuktkonvektion*** – Innebär att vatten i ångfas följer med en luftström. (Nevander & Elmarsson, 1994)

***g-värde*** – Ett mått på den totala solenergitransmittansen, d.v.s. hur stor andel av värmen som når ett rum genom solinstrålning. (Strusoft, 2006)

***Ibid.*** – Kommer från det latinska ordet ibidem som betyder ”på samma ställe”. Ibid används då referenser återkommer och inga andra referenser har gjorts däremellan. (Westrup, 2005)

***Klimatskal*** – Den del av byggnad som gränsar mot uteluften. (Anderlind, 2004)

***Kritiska fuktillståndet*** – ”Är gränsen för att materialet bibehåller godtagbar funktion under hela den tid som materialet kan exponeras för fuktillståndet.” (Nevander & Elmarsson, 1994, sid 290)

***Normalår*** – ”Medelvärdet av utomhusklimatet (t.ex. temperatur) under en längre tidsperiod (t.ex. 30 år).” (Boverket, 2009a)

**Passivhus** – Konceptet passivhus innebär att en byggnad inte behöver någon tillförd energi förutom den som tillkommer från personvärme, elektriska apparater och solenergi. Byggnaderna ska i princip vara självuppvärmda utan värmesystem. (Energieffektiva byggnader, 2009)

**Payofftiden** – Är den tid det tar för en investering att betala av sig, det vill säga hur många år det tar innan de sammanlagda inbetalningsöverskotten är lika stora som grundinvesteringen. (Bokföringstips, 2009)

**Realt pris** – Pris som har korrigerats med konsumentprisindex. (Statens energimyndighet, 2008a)

**Relativ fuktighet, RF** – ”Kvot av verklig ånghalt vid mätnad vid samma temperatur.” (Nevander & Elmarsson, 1994, sid 15)

**SFP** – SFP (Specific Fan Power) kW/(m<sup>3</sup>/s) är eleffekten till alla fläktar/luftflödet genom byggnaden som krävs för att föra runt ventilationsluften i byggnaden. (Warfvinge, 2003)

**Specifik energianvändning** – ”Den energi som, vid normalt brukande, under ett normalår behöver levereras till en byggnad (oftast benämnd köpt energi) för uppvärmning, kyla, tappvarmvatten samt drift av byggnadens installationer (pumpar, fläktar, etc.) och övrig fastighetsel.” (Elmroth, 2007, sid 101)

**Strålningsdrag** – Om temperaturskillnaden mellan kroppen och den omgivande ytan är stor, strålar värme från kroppen vilket bidrar till att det känns kallt. (Statens Energimyndighet, 2009)

**ST-värde** – Ett mått på den direkta solenergitransmittansen som når rummets invändiga ytor. (Strusoft, 2006)

**Termodiffusion** – Separation av en homogen gasblandning sammansatt av två gaser med olika molekylvikt då gasen utsätts för olika temperaturer. (Nevander & Elmarsson, 1994)

**U-värde** – “Den värmemängd som per tidsenhet passerar genom en ytenhet av väggen då skillnaden i lufttemperatur på ömse sidor om väggen är en grad.” (Sandin, 1996, sid 18)

**λ-värde** – “Den värmemängd som per sekund passerar genom en kvadratmeter av ett material med en meters tjocklek då temperaturdifferensen är en grad.” (Sandin, 1996, sid 18)

**Ψ-värde** – Mått på köldbryggans storlek per längdmeter av konstruktionen [W/mK]. (Sandin, 1996)

**Innehållsförteckning**

1	Inledning .....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte .....	2
1.3	Målgrupp.....	2
1.4	Problemställning .....	2
1.5	Avgränsning .....	2
2	Metodik .....	5
2.1	Energi.....	5
2.2	Fukt .....	5
2.3	Använda beräkningsprogram .....	5
2.4	Sammanställning av resultat, analys och slutsats.....	6
3	Byggsystem.....	7
3.1	Beskrivning av byggsystemet .....	7
3.2	Trä som byggnadsmaterial .....	7
3.3	Tillverkning och montering .....	8
3.4	Moduler.....	8
3.4.1	Ytterväggsmodul .....	8
3.4.2	Bjälklagsmodul .....	9
3.4.3	Fönster .....	10
3.4.4	Dörr .....	11
3.4.5	Stabiliserande innerväggsmodul .....	11
3.4.6	Takmodul .....	11
3.4.7	Grund.....	12
4	Energianalys.....	13
4.1	Teori.....	13
4.1.1	Energipolitik i Sverige .....	13
4.1.2	Energieffektivisering.....	19
4.1.3	Effektbalans.....	20
4.1.4	Transmissionsförluster .....	21
4.1.5	Ventilationsförluster.....	21
4.1.6	Luftläckage.....	22
4.1.7	Tillförd värme/köpt värme .....	23
4.1.8	Värmekapacitet.....	24
4.1.9	Köldbryggor .....	24
4.2	Mindre marknadsundersökning för energianvändning i flerbostadshus .....	25
4.2.1	Syfte .....	25
4.2.2	Metodik .....	25
4.2.3	Resultat.....	25
4.2.4	Slutsats och diskussion.....	26
4.3	Referenshus.....	27
4.3.1	Punkthus .....	27
4.3.2	Lamellhus .....	29
4.4	Parameterstudie.....	31
4.4.1	Beskrivning av parametrar .....	32
4.4.2	Övriga parametrar som påverkar energianvändningen.....	35
4.4.3	Referensbyggnad.....	37

4.5	Resultat och analys .....	38
4.5.1	Köldbryggor .....	38
4.5.2	Energianvändning för referensfallen .....	43
4.5.3	Energibesparingspotential .....	49
4.5.4	Parametrarnas inverkan på energianvändningen .....	51
4.5.5	Ventilationssystem .....	54
4.5.6	U-värde fönster.....	55
4.5.7	Nyckeltal .....	55
4.5.8	Luftläckage.....	56
4.5.9	U-värde väggar.....	56
4.5.10	Våningsantal .....	56
4.5.11	Form.....	56
4.5.12	U-värde tak .....	56
4.5.13	Krypgrund.....	56
4.5.14	Orientering.....	57
4.5.15	Jämförelse med BBR krav .....	57
	Fuktanalys.....	59
4.6	Teori.....	59
4.6.1	Fuktkrav enligt BBR .....	59
4.6.2	Inneluftventilerad krypgrund.....	61
4.6.3	Byggfukt.....	61
4.7	Resultat och analys .....	62
4.7.1	Simuleringar i Crawl .....	62
4.7.2	Beräkning av ytkondens på träregel i krypgrund .....	66
4.7.3	Fuktteknisk bedömning av krypgrunden.....	67
4.7.4	Simuleringar av relativ fuktighet i ytterväggar i WUFI .....	68
5	Slutsatser och diskussion .....	79
5.1	Energi.....	79
5.2	Fukt.....	82
5.3	Fukt och energi .....	83
6	Framtida forskning.....	85

## Referenser

**Bilaga 1- Tabell över olika parametrars inverkan på energianvändningen**

**Bilaga 2- Indata för fuktberäkningar i datorprogrammet Crawl**

# 1 Inledning

*I detta kapitel introduceras läsaren till problemställningen som har lett till denna studie. Problemställningen presenteras utifrån en bakgrundsbeskrivning. Syftet med studien förs fram och målgrupp samt avgränsningar definieras.*

## 1.1 Bakgrund

Skogskoncernen Derome och byggkonsultföretaget Tyréns arbetar med att utveckla en ny plattform för industriellt byggande i trä. En del i utvecklingsarbetet är att göra en energianalys av byggsystemet för att klara kraven som ställs i BBR 2009.

Enligt de rådande energipolitiska riktlinjerna som ställdes upp 1997 ska Sverige ha en trygg och konkurrenskraftig energiförsörjning. Energipolitikens mål är att skapa villkor för en effektiv och hållbar energianvändning. Riksdagen fattade beslut i juni 2006 om att minska energianvändningen i bostäder med 20 % per ytenhet till år 2020 och energianvändningen ska halveras till år 2050. (Statens energimyndighet, 2009; Statens energimyndighet, 2008a)

Bostäder och service står för ca 35 % av Sveriges energianvändning, där service sektorn är den del av ekonomin som producerar tjänster. Eftersom detta utgör en stor del av den totala energianvändningen i Sverige kommer energieffektivisering inom detta område att ha stor påverkan på den totala energianvändningen i landet som helhet. (Ibid.)

Energihushållningskraven har successivt ökat med tiden, enligt BBR 1994 skulle byggnaderna vara utformade så att energibehovet begränsades genom låga värmeförluster, effektiv värmeanvändning och effektiv elanvändning. Det fanns dock inga krav på att genomföra beräkningar av köldbryggor. (Boverket, 1994)

I BBR 2009 har energihushållningskraven ändrats. Bostäder som har annat uppvärmningssätt än el, ska vara konstruerade så att byggnadernas energianvändning högst uppnår 110, 130 respektive 150 kWh/m<sup>2</sup>, år i klimatzon 3, 2 och 1. För eluppvärmda bostäder är kravet på energianvändningen 55, 75, och 95 kWh/m<sup>2</sup>, år för respektive klimatzon. De nya reglerna ger bättre möjlighet för myndigheterna att kontrollera energianvändningen för enskilda bostäder. För att kunna begränsa det högsta eleffektuttaget under de kallaste timmarna på året har en gräns på den totala installerade effekten införts. (Boverket, 2009a)

Under de senaste åren har byggindustrin genomgått en förändring. Fokus har legat på att minska kostnaderna inom byggbranschen genom att effektivisera byggprocessen. Fortfarande drivs många byggprojekt på det traditionella sättet. Detta fungerar i många fall bra men produktionskostnaderna är ofta höga för dessa projekt. Det finns ofta en låg standardiseringsgrad och för varje nytt projekt brukar det generellt tillsättas en ny organisation. Detta skapar svårigheter att ta lärdom från det som skett tidigare och för att kunna bedriva ett förbättringsarbete krävs det en viss grad av standardisering. (Hamon & Jarebrandt, 2007)

Trä är ett byggnadsmaterial som är fuktkänsligt och kan orsaka mögeltillväxt och röta vid för höga fuktnivåer. Andra oönskade effekter av fukt är bland annat försämrad värmeisolering och hållfasthet. För flerbostadshus brukar de vanligaste fuktproblemen förekomma vid fönster, våtrum, balkonger och fasader. Byggsystemstudier som genomförts visar att cirka hälften av alla byggfel som leder till fuktproblem uppstår i projekteringsfasen i byggprocessen. Det är därför viktigt att fukt beaktas tidigt i utformningen av nya byggnader för att eventuellt förebygga senare fuktproblem. (Nevander & Elmarsson, 1994)

För att människan ska trivas i en byggnad är inneklimatet ett begrepp som kan beskriva människans omgivningssituation. Inneklimatet påverkas av ett antal faktorer såsom termiska, hygieniska, ljusförhållanden och ljudförhållanden. (Warfvinge, 2003) Ett byggsystem kan konstrueras på många olika sätt för att uppfylla dessa faktorer och bör beaktas i samband med andra parametrar som energi och fukt. Energi, fukt och inneklimat kan sägas vara tre parametrar som utgör en byggnad förutom de bärande delarna i konstruktionen. Inomhusklimatet påverkas även av vilken stomtyp byggnaden utformas med. En lätt stomme såsom trä medför att temperaturen i byggnaden kommer variera mer under dygnet medan en tung stomme är värmetrögare och jämnar ut temperaturen under dygnet.

### 1.2 Syfte

Syftet är att med hjälp av en parameterstudie ta fram en metod för att bedöma energianvändningen för ett byggsystem för flerbostadshus i trä i ett tidigt skede av byggprocessen. Metoden syftar till att minimera extra arbete i ett senare skede av projekteringen då den är tänkt att ge en uppfattning om vilka tekniska detaljer som bör väljas för att uppfylla de satta energimålen. Syftet är också att bedöma om byggsystemet blir fuktsäkert.

### 1.3 Målgrupp

Studien är riktad mot personer med en byggteknisk bakgrund, företag som är intresserade av energifrågor och modulbyggande inom byggbranschen.

### 1.4 Problemställning

Hur bedöms energianvändningen för flerbostadshus i ett tidigt skede i projekteringen och hur kommer val av olika parametrar att påverka energianvändningen i byggnaden, samt hur ser fuktförhållandena ut i byggsystemets moduler?

### 1.5 Avgränsning

Examensarbetet kommer i första hand att behandla energianvändningen med hänsyn till de moduler som är tänkta att användas i byggsystemet och energiberäkningarna är begränsade till två referenshus. För fuktsäkerhetsbedömningen görs endast beräkningar för ytterväggar och kryppgrund då det inte finns tillräckligt med underlag för att genomföra beräkningar på andra delar av klimatskalet. Ingen hänsyn tas till synergieffekter vid framtagning av energianvändningen för byggsystemet. Parametrar som inte påverkas av byggsystemets utformning tas inte upp i studien, till exempel brukarvarnor. Inomhusklimatet är en viktig del i en träbyggnad, speciellt sommartid då tempe-



raturen inomhus kan bli hög. Dock har inomhusklimatet avgränsats i studien. Kontroll av brandrisk har också avgränsats i studien.



## 2 Metodik

*Kapitlet beskriver metoderna som används för att genomföra studien och ger en beskrivning av använda beräkningsprogram. Kapitlet tar även upp tillvägagångssättet för studier inom fördjupningsområdena energi och fukt.*

### 2.1 Energi

En litteraturstudie genomförs för fördjupningsområdet energi för att ge en teoretisk bakgrund. Två referenshus modelleras i AutoCad av moduler som är framtagna för byggsystemet som studien syftar till. Referenshusen består av ett punkthus och ett lamellhus.

En parameterstudie genomförs och utgår från referensfall med låsta parametrar som kommer att jämföras med resultaten från simuleringar där parametrar som påverkar energianvändningen varieras. En studie genomförs för ett antal parametrar som används i programmet VIP+. Referenshusens konstruktionsdetaljer analyseras utifrån befintliga konceptritningar som tillhandahålls av Tyréns. Anslutningsdetaljer modelleras i HEAT2 för att beräkna den totala värmetransporten genom köldbryggorna. Indata som erhålls från ritningar och HEAT 2 beräkningar läggs in i VIP+ som simulerar energianvändningen för byggnaden. Parametrarnas inverkan på energianvändningen kvantifieras i kWh/m<sup>2</sup>, år. Detta görs för att lätt kunna jämföra energianvändningen för parametrarna med kraven som ställs av BBR.

### 2.2 Fukt

För att bedöma fuktsäkerheten bakom olika väggkonstruktioner som är tänkta att användas i byggsystemet, genomförs fuktberäkningar i WUFI. Den fuktkänsliga delen av väggarna är det skikt som består av mineralull och träreglar. En fuktteknisk analys av kryppgrunden genomförs med hjälp av programmet Crawl. Genom att bedöma den relativa fuktigheten i väggar och i kryppgrunden kan risken för mögeltillväxt bedömas. För att noggrannare kunna bedöma risken för mögelangrepp i kritiska punkter modelleras kryppgrunden i HEAT 2 där ytemperaturer för kritiska punkter i grunden tas fram och ligger till grund för en kondensriskberäkning.

### 2.3 Använda beräkningsprogram

Eftersom byggsystemet är i utvecklingsfasen finns det inte några färdigställda byggnader och därmed ingen tillgänglig mätdata. Datorsimuleringar har därför genomförts för att uppskatta energianvändningen och fuktförhållandena med kvantitativa mätvärden.

**Crawl vers 2.0** - Datorprogrammet används för att simulera fuktförhållandet i kryppgrunder. Datorprogrammet Crawl beräknar temperatur och relativ fuktighet i inomhus- och utomhusventilerade kryppgrunder. Programmet tar också hänsyn till varierande klimatförhållanden under året. (buildingphysics, 2009)

**HEAT2 vers 7.0** - Programmet beräknar bland annat värmeflöden och temperaturer genom olika byggnadsdelar och dess anslutningar till varandra. HEAT2 löser den allmänna värmeledningsekvationen i två dimensioner.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = C \frac{\partial T}{\partial t}$$

Programmet löser differentialekvationen genom att dela in modellen i finita element. Mellan elementen sker en energibalans som ger värmeflödet mellan elementen. En ny temperatur tas sedan fram för varje element. En ny energibalans genomförs sedan och upprepar samma rutiner, vilket skapar en iterativ lösningsprocess. (Blomberg, 2000)

**VIP+ vers 5.2.1** - Beräknar energianvändningen för byggnader genom en dynamisk beräkningsmodell vilket innebär att beräkningar upprepas timme för timme för temperaturer i luft, material och på materialytor. Utifrån klimatfaktorer som till exempel sol, vind och temperatur beräknas energiflöden. Byggnaden jämförs med gällande krav från BBR. (Strusoft, 2006)

**WUFI vers 4.2** - Är ett beräkningsprogram som används för att analysera värme- och fukttransport i endimensionella byggnadskomponenter. Programmet beräknar bland annat temperaturer, relativa fuktigheter och fukthalter för en timmes intervaller i varje lager i en byggnadskomponent. (WUFI, 2009)

### 2.4 Sammanställning av resultat, analys och slutsats

Resultaten från simuleringarna i VIP+ sammanställs, analyseras och jämförs med varandra och med kraven från BBR. Dessa används för att ta fram en metod som ger energianvändningen för bostäder i olika orter som är konstruerade med moduler från byggsystemet. Resultaten från fuktanalysen formuleras i form av en diskussion kring hur byggnaden bör utformas och vilka kritiska områden som måste beaktas.

## 3 Byggsystem

*Kapitlet beskriver utvecklingsarbetet kring byggsystemet som tas fram av Tyréns och Derome. Det tar också upp vilka moduler som används i det aktuella byggsystemet och hur de är uppbyggda samt vilken påverkan dessa har på systemets energianvändning.*

### 3.1 Beskrivning av byggsystemet

Derome och Tyréns arbetar med att utveckla en ny plattform för industriellt byggande i trä. Målet med utvecklingsprojektet är att ta fram ett flexibelt och anpassningsbart byggsystem som ska vara öppet för byggbranschen. En central del med utvecklingsprojektet är att öka industrialiseringsgraden av byggprocessen samt att utveckla teknik och processområdet. Projektet är kopplat till ett bostadsprojekt i Varberg som ännu inte har påbörjats. Fem huskroppar med 130 lägenheter kommer att byggas. Våningsantalet kommer att variera mellan fyra och sju våningar. De tekniska lösningarna och erfarenheten från projektet är tänkt att föras vidare i kommande projekt. (Tyréns, 2008)

### 3.2 Trä som byggnadsmaterial

Trä är ett komplext byggnadsmaterial, där egenskaperna till stor del har bestämts av naturen. Variationerna i till exempel hållfasthet kan vara stora även inom samma träslag och det finns många störningar som till exempel kvistar, snedvuxenhet och sprickor som också påverkar hållfastheten. Trä är ett väldigt lätt byggnadsmaterial med en densitet på mellan 550-690 kg/m<sup>3</sup>. Denna densitet kan sättas i relation till exempelvis betong som har en densitet på ca 2400 kg/m<sup>3</sup> (Burström, 2004).

I Sverige var det inte tillåtet att bygga hus med trästomme i mer än två våningar före 1995. Efter att byggreglerna ändrades börjades det att forskas inom området för träbyggnadsteknik framförallt tack vare att det nu gick att använda resultaten i verkliga projekt. Att bygga flerbostadshus i trä kräver även nya regler och krav för bland annat akustik-, brand och fuktproblematik. För att få ner kostnaderna och hantera problemen samt för att öka kvaliteten på byggandet med trä har industriellt byggande med trä varit ett förslag till förbättring som diskuterats. Det finns många fördelar att använda sig av ett industriellt byggande med trä och det är bara en liten andel av befintliga resurser som används för just detta ändamål. Regeringen har ett långsiktigt mål på 10-15 år att av de nyproducerade flerbostadshusen ska minst 30 % av dessa ha trä som stommaterial (Regeringen, 2009). Genom att använda träbyggnadsteknik i en industriell byggnadsprocess erhålls ofta många kostnadseffektiva fördelar. Den lätta trästommen bidrar till en enklare och på så vis ofta billigare grundläggning. Träets lätta vikt minskar även transport-kostnaderna och trä i sig är relativt lätthanterligt och kräver inga avancerade montage och verktyg. Trä har i jämförelse med exempelvis betong ingen lång torktid, vilket leder till att byggtiden i många fall kan kortas ner. Idag byggs ca 90 % av alla småhus i Sverige av trä och i Nordamerika byggs merparten av alla flerbostadshus upp till fyra-fem våningar med träregelstomme. Anledningen till detta beror till stor del på att det är ett billigt alternativ att använda träbyggnadsteknik. (Gyproc & Södra, 2003)

Fler fördelar med trä som byggnadsmaterial:

- Skapar ökad konkurrens inom bostadsbyggandet
- Smidigt och billigt att göra till- och ombyggnader
- Stark marknad i Sverige kan öka exporten
- Trä är ett miljövänligt och förnyelsebart material

Några nackdelar med trä som byggnadsmaterial:

- Fortplantar ljud lätt
- Fukt- och brandkänsligt
- Krävs relativt stora dimensioner vid konstruktion
- Har låg värmekapacitet

(Sveriges träbyggnadskansli, 2009)

### 3.3 Tillverkning och montering

Alla modulerna i byggsystemet utgår från ett basmått på 150 mm, vilket innebär att längd och bredd hos modulerna kommer ha en multipel av detta mått. Elementen tillverkas i fabrik och transporteras sedan till byggarbetsplatsen. Där lyfts de på plats och monteras ihop.

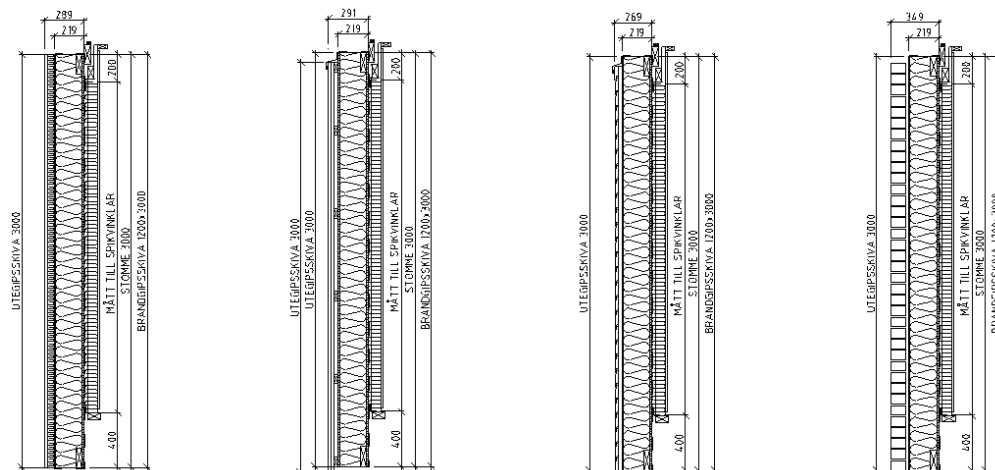
### 3.4 Moduler

#### 3.4.1 Ytterväggsmodul

Den dimensionerande faktorn för väggjocklekar i moderna bostäder brukar vara väggens värmeisoleringsförmåga. Väggsmodulen består av träreglar och mellanliggande isoleringsmaterial. Reglarna i konstruktionen utgör en köldbrygga i konstruktionen och leder till ökad värmetransport genom väggen. Detta måste beaktas då U-värdet för väggen tas fram. Isolermaterial innehåller mycket luft och isoleringsförmågan beror på hur stilla denna luft hålls. För att förhindra luft rörelser i isoleringen täcks mineralullen från båda sidor med lufttäta skikt. Det är också viktigt att undvika att byggfukt byggs in i konstruktionen. Förtillverkning på fabrik skapar bättre förutsättningar för en fuktsäker konstruktion.

Ytterväggen består av två delar, en yttre bärande regelvägg och en innerskalsvägg som tar laster från undertaket. Ytterväggen är anpassad efter modulmått vilket medför begränsningar på hur stora laster byggnaden kan ta. Innerskalsväggen och ytterväggen levereras separat till byggarbetsplatsen.

De fyra olika väggtyperna som är tänkta att användas i systemet visas i figur 3.1.



Figur 3.1: Olika väggtyper som har analyserats i WUFI. (Tyréns, 2009)

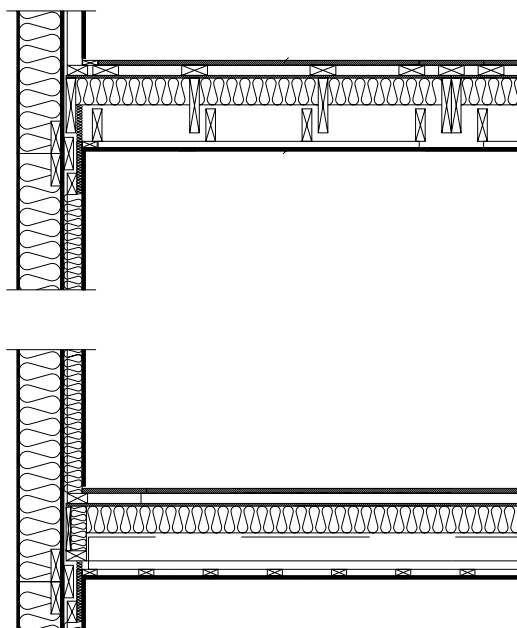
YVA är en benämning på ytterväggen längst till vänster och YVD är ytterväggen längst till höger i figuren ovan. De ingående materialskikten för ytterväggarna visas i tabell 3.1.

Tabell 3.1: Beskrivning av inner- och ytterskalsvägg

YVA	YVB	YVC	YVD
Ytterväggselement utifrån	Ytterväggselement utifrån	Ytterväggselement utifrån	Ytterväggselement utifrån
Tjockputs 50 Putsbärare	22x95 & 22x120 stående panel 28x70 spikläkt	22x95 & 22x120 liggande panel 28x70 spikläkt	110 Fasadtegel 20 Luftspalt
9 GUH vindskiva Massiva reglar 45x195 c-c 600 195 min.ull 15 brandgipsskiva Ångspärr av 0,15 mm PE- folie	9 GUH vindskiva Massiva reglar 45x195 c-c 600 195 min.ull 15 brandgipsskiva Ångspärr av 0,15 PE-folie	9 GUH vindskiva Massiva reglar 45x195 c-c 600 195 min.ull 15 brandgipsskiva Ångspärr av 0,15 PE-folie	9 GUH Vindskiva Massiva reglar 45x195 c-c 600 195 min.ull 15 Brandgipsskiva Ångspärr av 0,15 PE- Folie

### 3.4.2 Bjälklagsmodul

Bjälklagskonstruktionen består till stor del av trä och har ett nedpendlat undertak, där installationssystemet färdigställs. Efter installationerna har monterats på plats fälls undertaket ner. Byggsystemet omfattar också en balkongmodul som fästs på utsidan av ytterväggen med punktinfästningar och utgör därför mycket små punkt-köldbryggor. Dessa kommer ha mycket liten inverkan på energibalansen i byggnaden och har försumrats i energiberäkningarna som genomförts. I figur 3.2 visas en tvär- och längdssektion av bjälklagets infästning till ytterväggsmodulen.



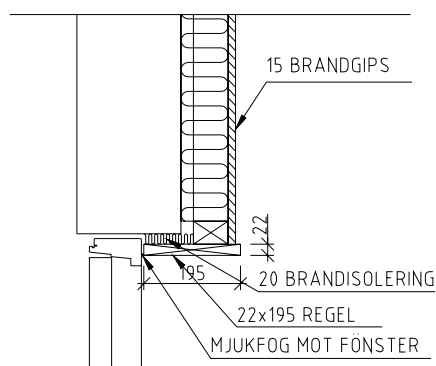
*Figur 3.2: Bjälklagsmodul. Den översta bilden visar ett tvärsnitt av bjälklagets infästning i bärande yttervägg. Undre bild visar längdsnitt av bjälklag till yttervägg. (Tyréns, 2009)*

### 3.4.3 Fönster

U-värden på fönster ligger betydligt högre än den omgivande väggkonstruktionen och det är ofta effektivare att sänka U-värdet på fönster än att öka isolertjockleken på väggarna. Beroende på fönsterytans storlek och fönstrets orientering kan det också vara relevant att förhindra mängden solenergi som tillförs rummet. Detta är främst ett problem i byggnader med stora fönsterpartier mot söder, öster eller väster. I dessa byggnader kan övertemperaturer uppstå under sommarhalvåret och måste då reduceras. Storleken på fönstret kommer att påverka U-värdet (Bülow-Hübe, 2009). Ett mindre fönster kommer att ha en procentuellt större andel av fönsteryta som består av karm/båge. Eftersom karmen har ett högre U-värde än glasets kommer det totala U-värdet för fönstret att närma sig karmens U-värde desto mindre glasarean blir i förhållande till karmens area. Det finns risk för att kondens bildas på utsidan av moderna fönster med låga U-värden. Den goda isoleringsförmågan hos fönster bidrar till att temperaturen på fönstrets utsida hamnar under luftens dagpunkt. Detta brukar dock inte ses som ett större problem då undersökningar har visat att brukare accepterar att det finns kondens under en viss period. (Nilsson; Warfvinge, 2009)



Ett treglasfönster med ett U-värde på  $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$  inklusive karmen har använts vid energiberäkningarna. Dimensionerna 1350x1500 samt 1050x1500 har valts att användas.



Figur 3.3: Fönster. (Tyréns, 2009)

#### 3.4.4 Dörr

Dörrmodulen har dimensionerna 1050x2100 och U-värdet har antagits vara  $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dörrmodulen ansluts till yttervägg precis som fönstermodulen. Se figur 3.3 ovan.

#### 3.4.5 Stabiliserande innerväggsmodul

Vissa stabiliserande innerväggar bär upp bjälklagen tillsammans med ytterväggarna samt ger stabilitet till byggnaden. De fungerar även som lägenhetsavskiljande. Hisschaktet i referenshusen har antagits vara avskärmade från lägenheterna med stabiliserande innerväggsmoduler. Dessa är träregelväggar med innerskals-väggmoduler monterade på båda sidor.

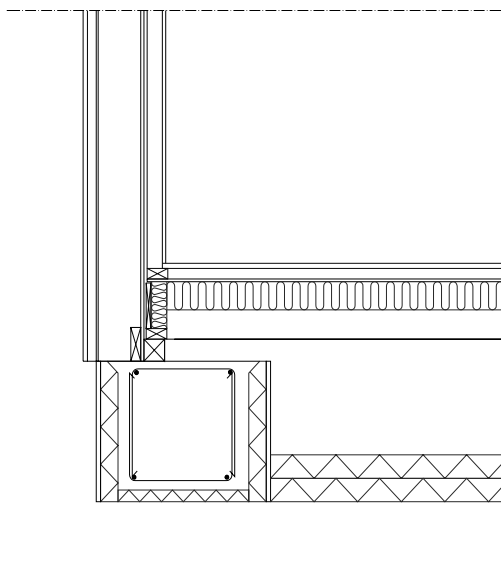
#### 3.4.6 Takmodul

Inga färdiga takmoduler finns tillgängliga. Därför har författarna gjort en del antaganden som är baserade på muntlig kommunikation med inblandade konstruktörer. Takkonstruktionens form kommer vara av typ sadeltak i författarnas referenshus och taket kommer stolpas upp med takstolar av trä. Takbjälklaget kompletteras med 400mm lösull som läggs ovanpå bjälklaget. Takbjälklaget är av samma sort som övriga bjälklag i byggsystemet. Vindsutrymmet ventileras och kommer därmed att ge en kall takkonstruktion.

### 3.4.7 Grund

Inga färdiga ritningar finns på grundkonstruktionen som är tänkt att vara en platta på mark. Grunden antas bestå av en gjuten betongplatta med 200 mm underliggande cellplastisolering.

Krypgrund är ett grundläggningsalternativ till platta på mark som är tänkt att användas i byggsystemet. Krypgrunden består av ett träbjälklag med 45x245 reglar och ett 50 mm ljudstegsdämpande isoleringsskikt. På marken läggs två stycken 100 mm tjocka cellplastskikt. Mellan skikten läggs en ångspärr av PE-folie som förhindrar att fukt tar sig upp i krypgrunden. Ångspärren dras upp längs med grundens kanter in under innerväggs-kiktet för att överlappa ångspärren i väggen. Under cellplasten finns ett kapillärbrytande skikt. Väggen vilar på ett betongfundament med höjden 600mm. Figur 3.4 visar en sektion av krypgrunden.



*Figur 3.4: Krypgrund*

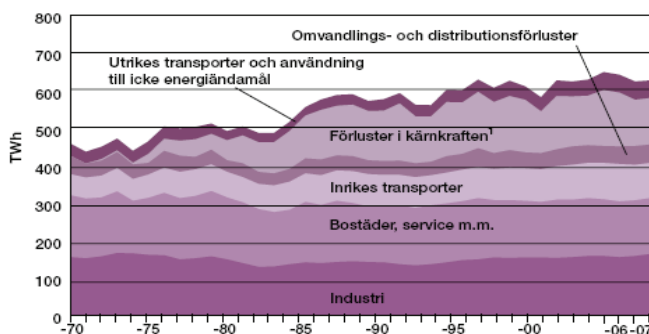
## 4 Energianalys

I detta kapitel ges det teoretiska underlaget som ligger till grund för studien. En parameterstudie har genomförts och redovisas i detta kapitel samt ges en beskrivning av referenshusen som simuleringarna utgår ifrån. Resultaten för energiberäkningarna redovisas också i detta kapitel.

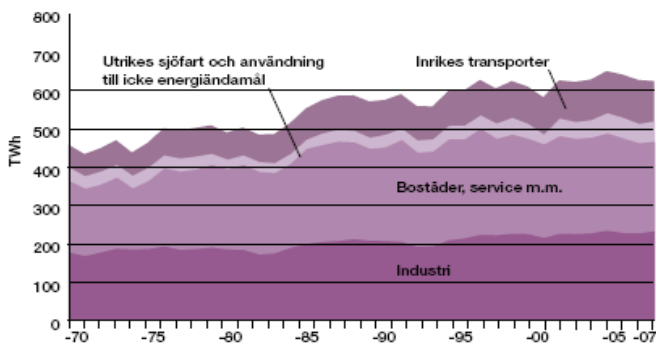
### 4.1 Teori

#### 4.1.1 Energipolitik i Sverige

Energipolitiken i Sverige har som mål att skapa en effektiv och hållbar energianvändning med liten negativ påverkan på hälsa, miljö och klimat samt att underlätta för ett ekologiskt samhälle. Genom att bland annat säkra Sveriges inhemska och förnybara energikällor ska dessa riktlinjer uppfyllas och fastställas. (Energiläget, 2008) Andra exempel som visar på att energidebatten på allvar tagit fart under sekelskiftet, är den lag om energideklarationer som trädde i kraft den 1 oktober 2006. Syftet med denna lag är att få till stånd en effektiv energianvändning och en behaglig inomhusmiljö i byggnader samt att konsumenter ska ges en möjlighet att få en inblick i sin energianvändning för att eventuellt kunna minska sina energikostnader. Lagen gäller för de flesta nya byggnadsverk som villor, radhus, flerbostadshus och hus med lokaler, samt vid försäljning av bostäder. (Regeringen, 2009) Figur 4.1 visar fördelningen för Sveriges totala energianvändning. Från 1970-2007 har efterfrågan på energi ökat med 7.7 % samtidigt som den totala energitillförseln ökat med 36.5 %. Orsaken till detta är att sektorerna industri samt bostäder, service m.m. under perioden 1970-2007 bytt energibärare från olja till fjärrvärme och el i relativt stor omfattning. Tack vare detta byte av energibärare kommer omvandlingsförlusterna att minska hos slutanvändarna och öka hos producenten. Omvandlingsförlusterna kan exempelvis uppstå vid el- och fjärrvärmeproduktion (Energiläget, 2008). Figur 4.2 visar en mer realistisk bild på hur energianvändningen har utvecklats i användarsektorerna med hänsyn till omvandlingsförlusterna. Sektorerna bostäder, service m.m. har el och fjärrvärme som de viktigaste energibärarna.

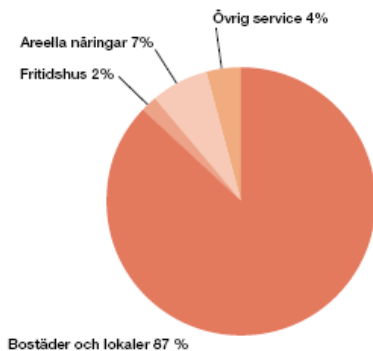


Figur 4.1: Sveriges totala energianvändning 1970-2007. (Statens energimyndighet, 2008a)



Figur 4.2: Sveriges totala energianvändning 1970-2007. Energiomvandlingssektorernas förluster är fördelade på slutanvändarna. (Statens energimyndighet, 2008a)

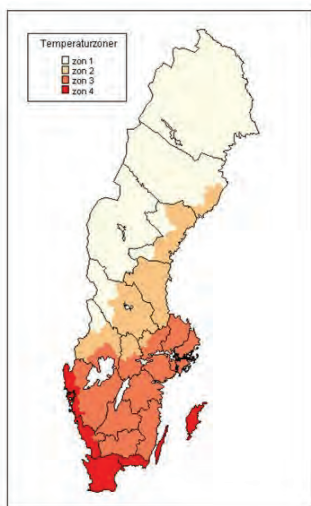
Figur 4.3 visar på att bostäder och lokaler står för 87 % av omsättningen av den totala energianvändningen för sektorn bostad, service m.m. som i sig är 35 % av Sveriges totala energianvändning. En förbättring av byggnaders energieffektivitet skulle leda till en markant minskning av energin som används av sektorn för bostad, service m.m.



Figur 4.3: Fördelning av energin inom sektorn bostäder och service 2006. (Statens energimyndighet, 2008a)

Tabell 4.1: Genomsnittlig energianvändning till uppvärmning av flerbostadshus 2006. (Statistiska centralbyrån, 2009)

Uppvärmningssätt	Temperaturzon				
	1	2	3	4	Samtliga
	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>	kWh/m <sup>2</sup>
Olja	272 *	238	182	195	191
Fjärrvärme	175	160	157	149	156
El	166	150	132	136	140
Gas	-	-	171	150	155
Övrigt	169	179	154	146	155
<b>Samtliga</b>	<b>174</b>	<b>164</b>	<b>156</b>	<b>148</b>	<b>156</b>

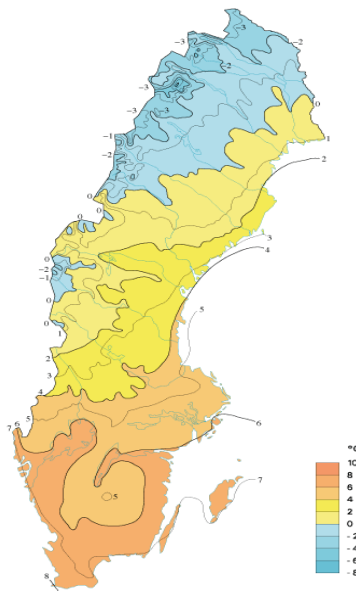


Uppvärmningssätt för olika temperaturzoner i Sverige visas i tabell 4.1. Figur 4.4 visar temperaturzonerna för Sverige. Enligt gamla byggnormer från 1975 användes dessa temperaturzoner som klimatzoner för vilka det ställdes olika krav på tillåtna värmegenomgångskoefficienter för klimatskalet. (Statens planverk, 1975) Detta kan jämföras med den mindre marknadsundersökning som har genomförts där byggföretagen har som rikt mål att nybyggda flerbostadshus bör ha en energianvändning på mellan 75 och 90 kWh/m<sup>2</sup>, år. Dessa värden gäller för nya byggnader i klimatzon 3 med annat uppvärmningssätt än elvärme.

Figur 4.4: Temperaturzoner. (Statistiska centralbyrån, 2009)



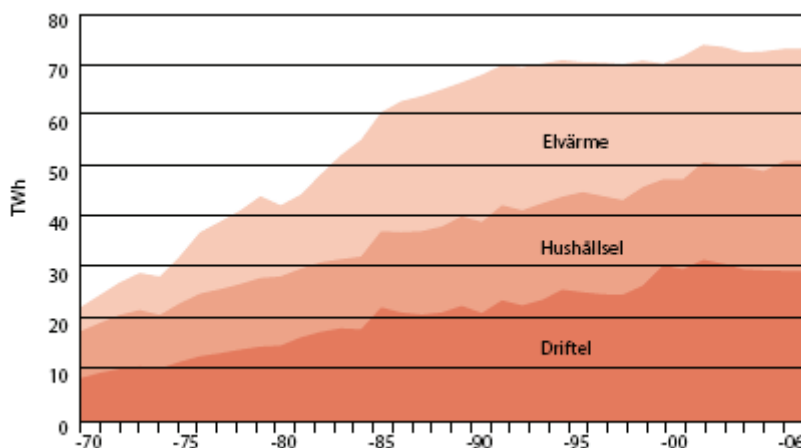
Figur 4.5: Klimatzoner enligt BBR 2009. (Roxull, 2009)



Figur 4.6: Årsmedeltemperatur 1960-1990. (SMHI, 2009)

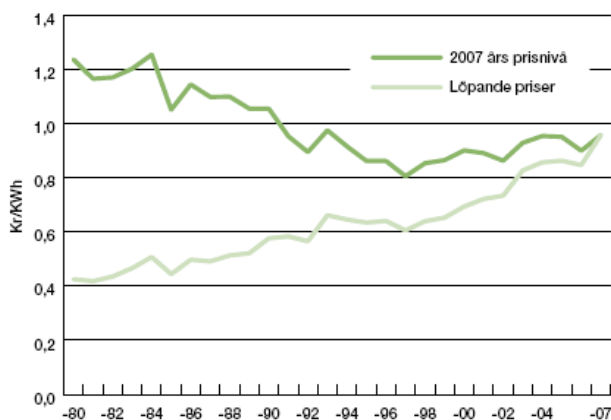
Figur 4.5 visar den nya klimatzonsindelningen enligt BBR 2009. Figur 4.6 visar hur årsmedeltemperaturen är fördelad och hur årsmedeltemperaturerna sammanfaller med klimatzonerna.

Figur 4.7 visar att elanvändningen har ökat markant sedan 1970 talet. De senaste tio åren har elanvändningen legat ganska konstant på ca 70 TWh. En annan viktig aspekt som framgår av figuren är att driftel under samma tidsperiod har stått för en ganska stor del av den totala elanvändningen. En anledning till detta är att serviceverksamheten i Sverige har ökat på senare tid, vilket i sin tur ökar behovet av belysning, kontorsmaskiner och komfortkyla.



Figur 4.7: Elanvändning inom sektorn bostäder och service m.m. 1970-2006, normalårskorrigerad. X-axeln visar årtal. (Statens energimyndighet, 2008)

Figur 4.8 belyser att det reala priset på energi sjunkit mellan 1980 och 1996. Efter sekelskiftet har det reala priset på energi ökat.



Figur 4.8: Prisutveckling för inköpt energi, 2007 års prisnivå, 1980-2007. (Statens energimyndighet, 2008)

I BBR 2009 införs tre klimatzoner, se figur 4.5. Klimatzon 1 omfattar Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län, klimatzon 2 som inkluderar Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län och klimatzon 3 som innefattar Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län. Definitionen för  $A_{temp}$  har också förtydligats i BBR 2009. Definitionen klargör vad som får och inte får räknas med som  $A_{temp}$  i byggnader, se terminologi för definition av  $A_{temp}$ . Eluppvärmda byggnader har skiljts från icke eluppvärmda villor. Kravet på energianvändningen i zonerna ser ut enligt tabell 4.2 & 4.3. (Boverket, 2009a)

Tabell 4.2: Krav på energianvändning för olika klimatzoner för bostäder med annat uppvärmningssätt än elvärme. (Ibid.)

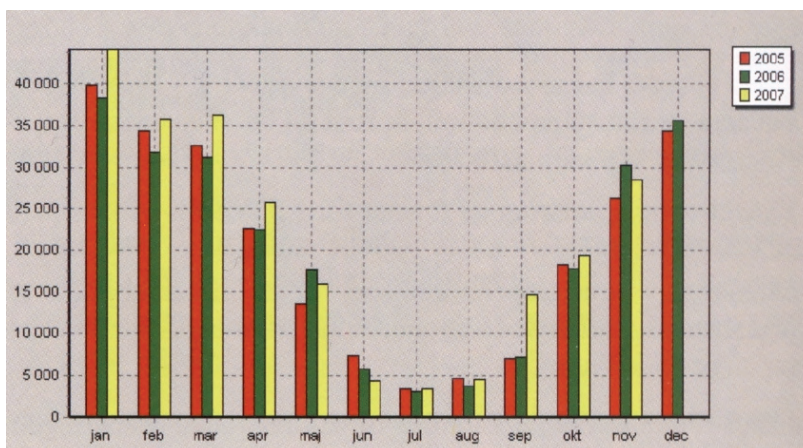
Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning [kWh per m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> och år]	150	130	110
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m <sup>2</sup> K]	0,50	0,50	0,50

Tabell 4.3: Krav på energianvändning för olika klimatzoner för bostäder med elvärme. (Ibid.)

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energianvändning [kWh per m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> och år]	95	75	55
Installerad eleffekt för uppvärmning [kW]	5,5	5,0	4,5
+ tillägg då A <sub>temp</sub> är större än 130 m <sup>2</sup>	0,035(A <sub>temp</sub> - 130)	0,030(A <sub>temp</sub> - 130)	0,025(A <sub>temp</sub> - 130)
Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient [W/m <sup>2</sup> K]	0,40	0,40	0,40

Definitionen för en eluppvärmd bostad är en byggnad med mer än 10 W/m<sup>2</sup> i installerad eleffekt för värme och varmvatten, inklusive komfortelvärm. Kravet på energianvändningen i klimatzon 1 är högre än de krav som fanns i BBR 2008 för samma region. Detta är en anpassning efter rådande klimatförhållanden men en nackdel för konsumenten som får en högre uppvärmningskostnad (Ruud, 2008). Vid bestämning av en byggnads specifika energianvändning måste energi till elektriska kylmaskiner för komfortkyla räknas upp med en faktor 3. (Boverket, 2009a)

Figur 4.9 visar hur månadsanvändningen av energi varierar över året.





Figur 4.9: Månadsenergianvändning över en treårsperiod. Enheten på y-axeln är energianvändning i kWh. (Nilsson; Warfvinge, 2009)

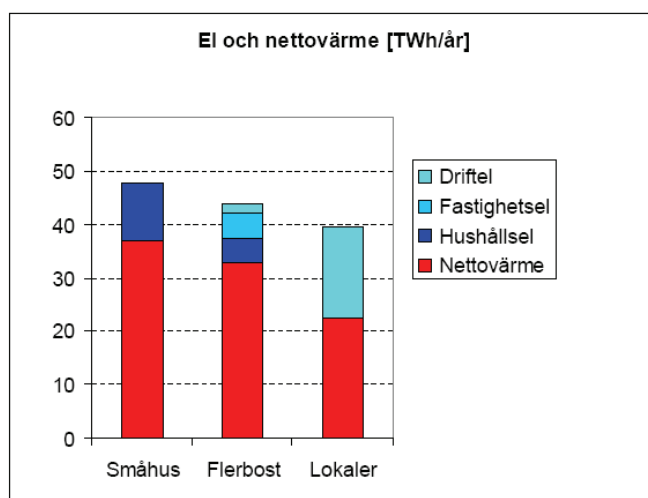
Den största energianvändningen sker under vinterhalvåret och det är därmed här de största energibesparingarna kan göras. Enligt BBR ska nya byggnader förses med mätare för varmvatten, värme och fastighetsel. Detta görs för att underlätta mätningar av den aktuella energianvändningen av byggnaden (Boverket, 2008). Efter två års drift ska byggnadens energianvändning jämföras med kraven. Om byggnaden inte klarar kraven måste byggnaden åtgärdas för att få ner energianvändningen. (Nilsson; Warfvinge, 2009)

#### 4.1.2 Energieffektivisering

Mellan 1970 och 2000 ökade den totala energianvändningen marginellt i Sverige trots att den totala uppvärmda bostadsarean ökade med 30 % samtidigt som befolkningen ökade med ca en miljon. Detta beror främst på de energieffektiviseringsåtgärder som genomfördes under 70-talet under oljekrisen. (Miljövårdsberedningen, 2004)

Även då en bostad är en långsiktig investering är det vanligtvis det fasta priset vid försäljning som brukar avgöra affären medan livscykelkostnaderna inte är lika uppmärksammade. Anledningen till att man avstår från att genomföra investeringar i energieffektivisering beror främst på de stora investeringskostnaderna i startskedet av projektet vid nyproduktion samt att payofftiden för investeringarna bedöms vara för lång. Högre energipriser samt statliga bidrag kan minska payofftiden för investeringen, vilket leder till ökade investeringar i energieffektivisering. Separata mätare för varmvatten och uppvärmning av bostaden hjälper kunden att se kostnaderna, vilket kan motivera brukaren till att sänka sin energianvändning. (Ibid.)

Den totala energianvändningen för bostäder är fördelad enligt figur 4.10 år 2003. Den största energiåtgången i bostäderna är nettovärmen vilket är den energi som går åt för att värma en bostad. (Chalmers energicentrum, 2005)



Figur 4.10: Total energianvändning för bostäder 2003. (Chalmers energicentrum, 2005)

### 4.1.3 Effektbalans

Effektbalansen i en byggnad är den tillförda effekten som är lika med den förlorade effekten och kan beskrivas med följande ekvation. Ekvationen är hämtad från Warfvinge 2003.

$$P_{\text{trans}} + P_{\text{ov}} + P_v = P_w + P_s + P_g \text{ [W]}$$

$P_{\text{trans}}$  är den förlorade effekten i byggnaden som sker genom värmetransport genom byggnadens klimatskal. (Ibid.)

Ventilationsförlusterna i en byggnad kan delas upp i okontrollerade ventilationsförluster och styrda ventilationsförluster. De okontrollerade förlusterna sker genom springor och andra otätheter i konstruktionen. Det är svårt att modellera dessa förluster och istället genomförs lufttäthetsprovningar i färdigställda byggnader. (Ibid.)

Effektörlusten från det okontrollerade flödet beräknas med följande ekvation:

$$P_{\text{ov}} = q_{\text{läck}} \cdot c_p \cdot \rho (T_{\text{inne}} - DUT)$$

Effektörlusten för den styrda ventilationen beräknas på samma sätt som den okontrollerade ventilationen. Eftersom värme återvinns i den styrda ventilationen måste verkningsgraden för värmeåtervinnaren vara känd för att kunna uppskatta energiförlusterna.

$$P_v = q_{\text{vent}} \cdot c_p \cdot \rho (1 - v) (T_{\text{inne}} - DUT)$$

Där  $v$  är verkningsgraden på värmeåtervinningsaggregatet och  $T_{\text{till}}$  är tilluftens temperatur

$P_w$  är den värmeeffekt som tillförs genom värmesystemet. Den köpta värmen kan tillföras genom radiatorer, konvektorer eller golvvärmeslingor. Effektbehovet i radiatorerna bestäms genom att likställa den förlorade effekten i byggnaden med den tillkommande effekten, skillnaden mellan dessa blir effekten på radiatorerna. (Ibid.)

Den tillförda solinstrålningseffekten  $P_s$  kan beräknas med följande ekvation:

$$P_s = A_{\text{fönster}} \cdot f_a \cdot f_{af} \cdot f_{di} (f_{sk} \cdot I_{t,dir} \cdot (I_t - I_{t,dir}))$$

$$A_{\text{fönster}} \quad = \text{fönstrets totala yta (m}^2\text{)}$$

$$f_a \quad = \text{korrektionsfaktor för glasdel (A}_{\text{glas}}\text{/A)}$$

$$f_{af} \quad = \text{avskärmningsfaktor för solavskärmning eller glastyp}$$

$$f_{di} \quad = \text{korrektionsfaktor för smuts på rutan}$$

$$f_{sk} \quad = \text{korrektionsfaktor för skuggor på fönstret}$$

$I_t$	= total transmitterat solinfall genom fönstret, (W/m <sup>2</sup> )
$I_{t,dir}$	= direkt transmitterad strålning genom fönstret, (W/m <sup>2</sup> )
(Ibid.)	

$P_g$  är den effekt som tillförs byggnaden genom spillvärme från elektriska apparater och genom avgiven värme från varmvatten och personer. Gratisenergin minskar den totala mängden köpt energi som krävs för att nå den önskade inomhustemperaturen.

#### 4.1.4 Transmissionsförluster

Transmissionsförlusterna för en byggnad beror på klimatskalets omslutningsarea samt klimatskalets U-värde. U-värdet beror på tjockleken på materialskiktet och materialets värmeledningsförmåga. De specifika värmeförlusterna kan beskrivas som summan av värmeförlusterna genom väggen och värmeförlusterna genom köldbryggorna i väggen. (Warfvinge, 2003)

$$Q_t = \sum U_j \cdot A_j + \psi \cdot L \quad (W / K)$$

$$P_{trans} = Q_t \cdot \Delta T \quad (W)$$

U-värdet i byggnaden påverkas också av fukt. En hög fukthalt i konstruktionen kommer att ge en högre energianvändning i byggnaden. Detta beror främst på att  $\lambda$ -värdet för vatten är högre än för isoleringen samt att fasomvandling i material kräver energi. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Värmeflödet genom olika delar av en konstruktion beror på värmekonduktiviteten,  $\lambda$  av ingående material och deras tjocklek. Värmeflödet kan beskrivas med

$$q(x) = \lambda \cdot \frac{T(x) - T(x + dx)}{dx} = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

där flödet  $q(x)$  mäts i W/m<sup>2</sup> och T är temperaturen i °C. I ekvationen ovan är x ett mått på avståndet från en konstruktions yttersida.

#### 4.1.5 Ventilationsförluster

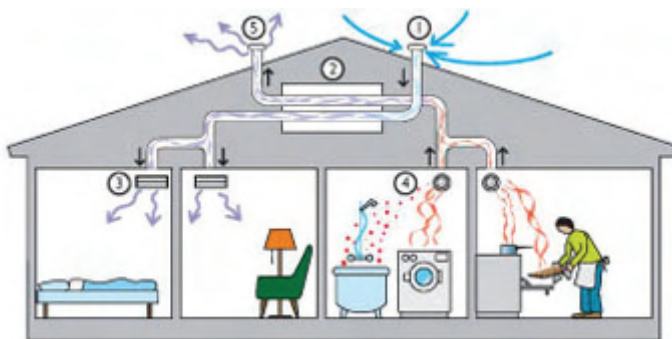
Ett modernt ventilationssystem bör ge god luftkvalitet. Systemet ska också verka som en värmebärare som tillför eller för bort värme i ett rum för att skapa en behaglig inomhusmiljö. (Warfvinge, 2003)

Ventilationssystemet för referenshusen har analyserats med utgångspunkt från tre olika sorters frånluftsprinciper, F, FVP & FTX. Ett F system drivs av en fläkt där uteluften förs in genom ventiler som vanligtvis är placerade i fasadväggen i sovrum och vardagsrum. Frånluftsdonen placeras i kök och badrum för att förhindra förorenad luft från dessa rum att transporteras genom bostaden. FVP fungerar som ett F system med skillnaden att värmen i frånluften återvinns i en värmepump och överför värmeenergin antingen till tappvarmvattensystemet eller till uppvärmningssystemet

eller till båda samtidigt. Frånluftskanalerna är kopplade till en värmeväxlare som oftast ligger i vindsvåningen i byggnaden. Nackdelen med detta system är att tilluften blir kall under vinterhalvåret eftersom luften som förs in i byggnaden är tagen direkt från utomhusluften. Detta medför en försämrad komfort. (Ibid.)

Ett FTX system har ett tilluftssystem och ett frånluftssystem. Dessa är sammankopplade till en värmeåtervinnare som återvinner värmen i frånluften och överför den till tilluften. Den tempererade tilluften förs in i bostaden genom kanalsystem som mynnar i tilluftsdon som vanligtvis är placerade på en invändig vägg i ett sovrum eller vardagsrum. (Ibid.)

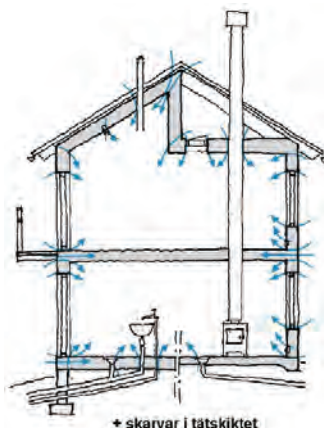
Att installera ett FTX system innebär en högre investeringskostnad än övriga ventilationssystem. Detta kan dock motiveras genom att man gör besparingar på den mängd köpt energi som används till att värma upp byggnaden. FTX system ger även god komfort inomhus eftersom tilluften är uppvärmd. Nackdelen med FTX systemet är att det kräver mer underhåll än F-system eftersom två fläktar måste underhållas. (Warfvinge, 2003; Statens energimyndighet, 2009) Figuren nedan visar ett exempel på hur ett FTX kan fungera.



Figur 4.11: Principbild av ett FTX system. (Statens energimyndighet, 2009)

### 4.1.6 Luftläckage

Luftläckage sker igenom alla byggnadsdelar i klimatskalet. Lufttäteten i en byggnad påverkar inneklimatet och energianvändningen. Problem med lufttätet förekommer ofta vid anslutningar vid fönster, dörr, mot golv och tak samt vid skarvar och genomföringar av kanaler och rör. Av figur 4.12 framgår de vanliga läckagevägarna. (Nilsson, 2009a) Andra onödiga luftläckage är bristfälliga tejpningar av plastfolien. Energimässigt spelar inte luftläckaget mellan lägenhetsavskiljande väggar någon stor roll men andra aspekter som ljus och lukt bör beaktas för att skapa ett bättre inomhusklimat (Svensson, 2009b).



Figur 4.12: Vanliga läckagevägar i en byggnad. (Nilsson, 2009a)

”BBR kraven anger att tryckförhållandena mellan till- och frånluftsinstallationer ska vara anpassade till installationernas täthet så att strömning av frånluft till tilluft inte sker.” (Boverket, 2009, sid 127)

För att undvika att föroreningar kommer in till värmeväxlaren måste tilluftssidan ha ett högre lufttryck. (Boverket, 2009) I otäta byggnader påverkas ventilationen kraftigt av utomhustemperatur och vindhastigheter. Ökad ventilation på grund av otätheter ger en högre energianvändning eftersom tillkommande luft måste värmas till rumstemperatur. Otätheter kan skapa rörelser i luften i isolermaterialet, detta kan kraftigt påverka isoleringens isoleringsförmåga. Otätheter bidrar även till lokala sänkningar av temperaturen i konstruktionen vilket kan leda till kallras och ökad värmestrålningsförluster. I träkonstruktioner är det viktigt att begränsa otätheter eftersom lokala temperatursänkningar kan orsaka hög relativ fuktighet vilket ökar risken för fuktskador. I tidigare versioner av BBR fick luftläckaget inte överstiga  $3\text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$  eller ca  $0,8\text{ l/s, m}^2$  vid  $\pm 50\text{Pa}$ . (Sandin, 1996) Detta kan jämföras med kravet för passivhus där luftläckaget i en byggnad måste understiga  $0,3\text{ l/s/m}^2$  vid  $\pm 50\text{Pa}$  (Statens Energimyndighet, 2008c). Det är lättare att förbättra lufttätheten tidigt i byggprocessen samtidigt som det är mycket mer kostnadseffektivt. Det är därför lämpligt att göra en läckagesökning i ett tidigt skede. En läckagesökning kan till exempel göras med hjälp av en värmekamera, lufthastighetsmätare eller med rökgas. Ett enkelt sätt att hitta luftläckage är att använda handen. I stora byggnader är det extra viktigt att göra en luftläckagesökning eftersom det inte alltid går att täthetsprova dessa byggnader (Nilsson, 2009a)

#### 4.1.7 Tillförd värme/köpt värme

Den tillförda värmen till uppvärmningsystemet är inte alltid lika med den köpta värmen. Detta beror på vilket system som används i byggnaden. Använder byggnaden olja sker omvandlingen av olja till värme i byggnadens värmepanna. De omvandlingsförluster som uppstår sker innanför systemets gränser och ökar den specifika energianvändningen. I det fall då fjärrvärme används sker omvandlingsförlusterna i ett fjärrvärmeverk och byggnadens nettoenergianvändning blir lägre. Om byggnaden förses med värme från till exempel en bergvärmepump som förses med el, kan vär-

mepumpens värmefaktor tillgodoräknas för byggnadens energianvändning. Värmen som värmepumpen förser byggnaden med anses inte köpt och räknas därmed inte med i den specifika energianvändningen. Detta är en förklaring till att det är strängare krav på energianvändningen för byggnader med elvärme. Utifrån detta är det därmed lämpligt att minimera användningen av hushålls- och verksamhetsel. (Elmroth, 2007)

### 4.1.8 Värmekapacitet

Värmekapaciteten är ett mått på hur bra förmåga ett material har att lagra termisk energi. Solida kroppar och vätskor har väldigt bra värmelagringsförmåga. Dessa har ofta en värmekapacitet  $> 1 \text{ MJ/m}^3 \text{ K}$ . Material med låg densitet har mycket sämre värmelagringsförmåga. För t.ex. gaser är värmekapaciteten ca  $1 \text{ kJ/m}^3 \text{ K}$ . Vid analys av värmetransport brukar den termiska diffusiviteten användas som ett mått på förhållandet mellan konduktiviteten och värmekapaciteten. Diffusiviteten beskriver således materialets förmåga att ta upp termisk energi relativt till dess förmåga att lagra denna. Material med hög diffusivitet svarar snabbare på temperaturförändringar i omgivningen och har på så vis lättare att anpassa sig till rådande termiska förhållanden. Dock lagrar dessa material värme sämre och har ingen temperaturutjämnande effekt. (DeWitt D & Incropera, 2002) För trä som används som byggnadsmaterial brukar värmekonduktiviteten ligga kring  $0.14 \text{ W/m K}$  och värmekapaciteten kring  $1500 \text{ J/kg K}$ . Betong brukar ha en konduktivitet som är ca  $1.7 \text{ W/m K}$  och en värmekapacitet på ca  $900 \text{ J/kg K}$ . (Sandin, 1996)

### 4.1.9 Köldbryggor

En köldbrygga kan beskrivas som en konstruktionsdetalj som skapar ett ökat värme-flöde som är orsakat av att detaljen består av ett material med högre värmeledningsförmåga än övriga normalskiktet. Det finns både konstruktiva och geometriska köldbryggor samt köldbryggor som uppkommer vid genomföringar av installationer. Exempel på konstruktiva köldbryggor kan vara reglar och fästnanordningar som kramlor och skruvar m.m. (Sandin, 1996). Konstruktiva köldbryggor inkluderas vid beräkning av U-värdet (Nilsson A, Warfvinge). Hörn och kanter i klimatskalet, bjälklagsanslutning i yttervägg, utkragande balkong, anslutning yttervägg/tak är exempel på geometriska köldbryggor.

Köldbryggors negativa egenskaper:

- Försämrad energihushållning
- Strålningsdrag
- Lokal nedsmutsning av ytterväggar vid köldbryggor
- Sänkt temperatur på en väggs insida vilket kan leda till kondensation och andra olägenheter

(Sandin, 1996)

I projektet har ett antal väsentliga anslutningar analyserats med hjälp av datorprogrammet HEAT2.  $\Psi$ -värdet för köldbryggorna tas fram genom att modellera alla anslutningsdetaljer i HEAT2. Detta görs med en temperaturskillnad på en grad Kelvin.

## **4.2 Mindre marknadsundersökning för energianvändning i flerbostadshus**

### **4.2.1 Syfte**

Syftet med marknadsundersökningen är att få en uppfattning om vilka mål företagen har när det gäller energieffektivisering i förhållande till de krav som ställs i BBR. Syftet är också att undersökningen ska bidra med ett jämförelsevärde för energianvändningen för byggsystemet som analyserats.

### **4.2.2 Metodik**

Följande fråga har ställts till sex stora entreprenörs- och konsultföretag. Alla företagen är rikstäckande.

”Vilka energikrav brukar ni sätta vid nyprojektering av flerbostadshus?”

Frågan är riktad till personer som arbetar med energifrågor inom företagen och undersökningen är utförd via e-post.

### **4.2.3 Resultat**

Tre personer svarade på frågan. Resultaten från undersökningen visas i tabell 4.4.

Tabell 4.4: Resultat från marknadsundersökningen. En jämförelse görs i tredje kolumnen för klimatzon 3 där kravet från BBR är 110 kWh/m<sup>2</sup>, år.

Företag 1 (entreprenör)	Genomsnittligt värde på 75kWh/m <sup>2</sup> , år	75 kWh/m <sup>2</sup> , år
Företag 2 (konsult)	50-75 % av BBRs krav	55-82,5 kWh/m <sup>2</sup> , år
Företag 3 (entreprenör)	20kWh/m <sup>2</sup> , år under BBRs krav	90 kWh/m <sup>2</sup> , år

Företag 1 har beslutat att från och med 2008 bygga alla hus som lågenergihus. Det bör dock nämnas att det saknas en strikt definition för lågenergihus och innebörden av begreppet varierar mellan olika företag. För företag 1 innebär det att företaget har vidtagit energieffektiviseringar som resulterar i att alla deras bostäder får en genomsnittlig energianvändning på 75kWh/m<sup>2</sup>, år.

Företag 2 förklarar att det ofta beror på vilken ambition som beställaren har i de enskilda projekten, men att de normalt försöker påverka och föreslå att det utreds om bostadens energianvändning ska gå mot passivhusstandard och även vilken typ av värmeåtervinning som är lämplig. Tillsammans påverkar detta helheten. En sådan utredning visar ofta tillsammans med en LCC-kalkyl att det med god ekonomi går att få en energianvändning som är ca 50-75% av BBRs krav. Företag 2 påpekar också att många beställare idag vill gå lägre än BBRs krav för att skapa en säkerhetsmarginal mot den verifiering som måste göras i den färdiga byggnadens drift.

Företag 3 beskriver att då de är byggherre och ställer kraven själva, brukar de projektera för att energianvändningen minst får vara 20 kWh, m<sup>2</sup>, år lägre än de krav som BBR ställer. De anmärker att den ofta är betydligt lägre än så. Företag 3 bygger också passivhus med krav på 45 kWh/m<sup>2</sup>, år. Vid övriga entreprenader styrs Företag 3 precis som Företag 2 av beställarens krav och de projekterar för att klara dessa med en säkerhetsmarginal samtidigt som Företag 3 ofta brukar lämna alternativa anbud, där olika förslag på energibesparande åtgärder föreslås.

#### 4.2.4 Slutsats och diskussion

Slutsatsen kring denna marknadsundersökning är att företagen som svarade utgår från beställarens krav på energianvändning vid nyprojektering av flerbostadshus. För att försäkra sig om att energianvändningen ligger under BBRs 2009 krav och för att få en billig drift av byggnaden brukar beställaren vilja att kraven ska ligga inom intervallet 55-90 kWh/m<sup>2</sup>, år enligt undersökningen för klimatzon 3. Enligt BBR 2009 får denna zon ha en maximal energianvändning på 110 kWh/m<sup>2</sup>, år för uppvärmning med annat sätt än elvärme. Det går givetvis att applicera resultaten för de andra klimatzonerna då resultaten gäller för hela Sverige. För att locka nya beställare och klara kraven krävs det nya och bättre konstruktionslösningar som minskar energianvändningen.



### 4.3 Referenshus

Författarna har modellerat två fiktiva flerbostadshus med modulelement från byggsystemet. Energianvändningen i flerbostadshusen analyseras genom att variera olika parametrar som påverkar energianvändningen i byggnaderna. Ett punkt- och ett lamellhus har valts eftersom dessa är vanligt förekommande byggnadstyper samt för att kunna jämföra om energianvändningen skiljer sig åt för de olika huskropparna. Flerbostadshusen har modellerats med en hög grad av repetition av modulelement för att rationalisera beräkningarna. Referenshusen är tänkta som referensobjekt för energianvändningen av nyproducerade bostäder med byggsystemet. Det kommer att finnas stora likheter i energianvändningen för nyproducerade bostäder som är byggda med byggsystemets moduler. Detta möjliggör därför en jämförelse mellan referenshusen och nyproducerade bostäder. Beställaren ska kunna utgå ifrån referenshusen för att få en tidig inblick i hur energianvändningen kan komma att se ut samt få en uppfattning om hur byggnaden bör utformas för att uppfylla energikraven som ställs. Figur 4.13 och 4.15 är renderingar av referenshusen.

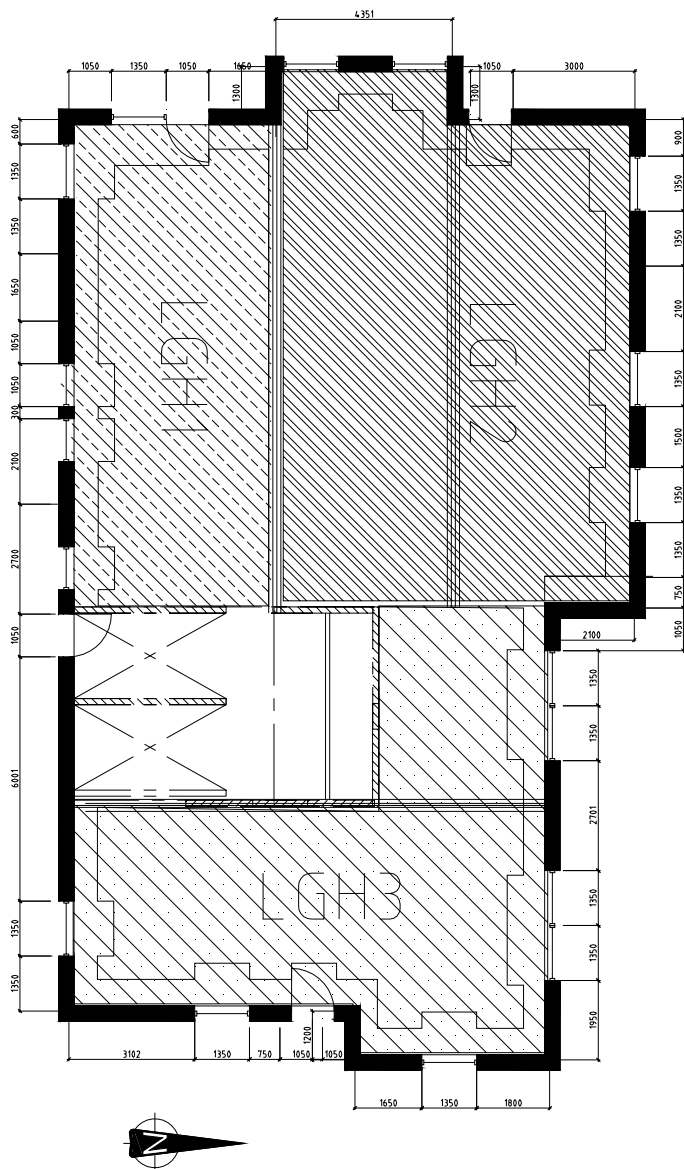
#### 4.3.1 Punkthus



Figur 4.13: Punkthuset

Punkthuset är sju våningar högt och består av tre lägenheter per våning. Lägenheterna är kopplade intill ett hisschakt där det är tänkt att ventilationsschakt också skall dras. Lägenheterna varierar i storlek mellan  $58 \text{ m}^2$  och  $105 \text{ m}^2$ . Rumshöjden är  $2,6 \text{ m}$  på varje våning. Hisschaktet upptar  $29 \text{ m}^2$  markyta och är separerat från bostäderna med hissväggar. Den totala bostadsarean i punkthuset blir  $1637 \text{ m}^2$ . Våningsantalet har

valts så att bostadsarean för lamell och punkthuset är nästan lika stora. Detta underlättar jämförelsen mellan flerbostadshusen. Figur 4.14 visar lägenhetsfördelningen för punkthuset.



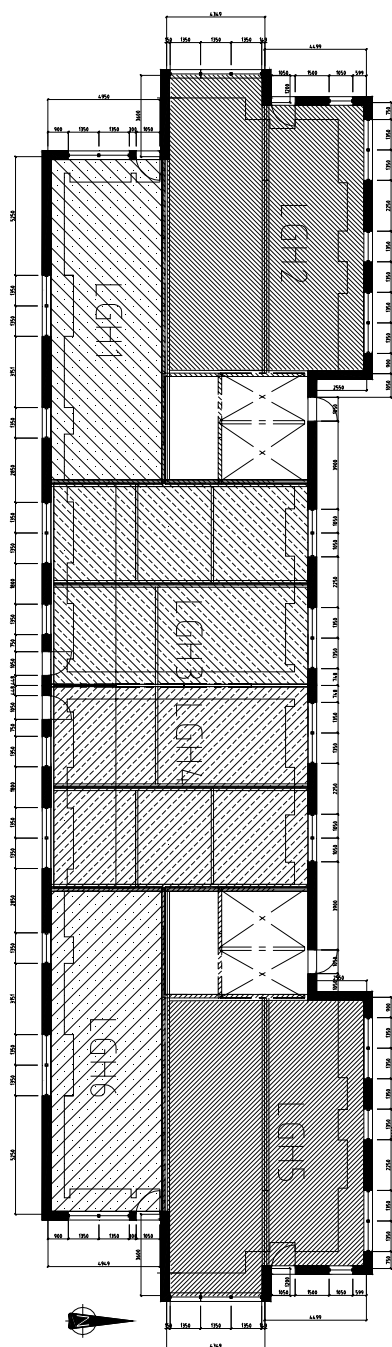
Figur 4.14: Lägenhetsindelning av punkthus (ej skalenlig)

### 4.3.2 Lamellhus



*Figur 4.15: Lamellhuset*

Lamellhuset består av 3 våningar med två hisschakt som försörjer tre lägenheter var. Lägenheterna varierar i storlek från  $69 \text{ m}^2$  till  $107 \text{ m}^2$ . Lamellhusets bostadsarea är  $1663 \text{ m}^2$ . Figur 4.16 visar lägenhetsindelningen för lamellhuset.

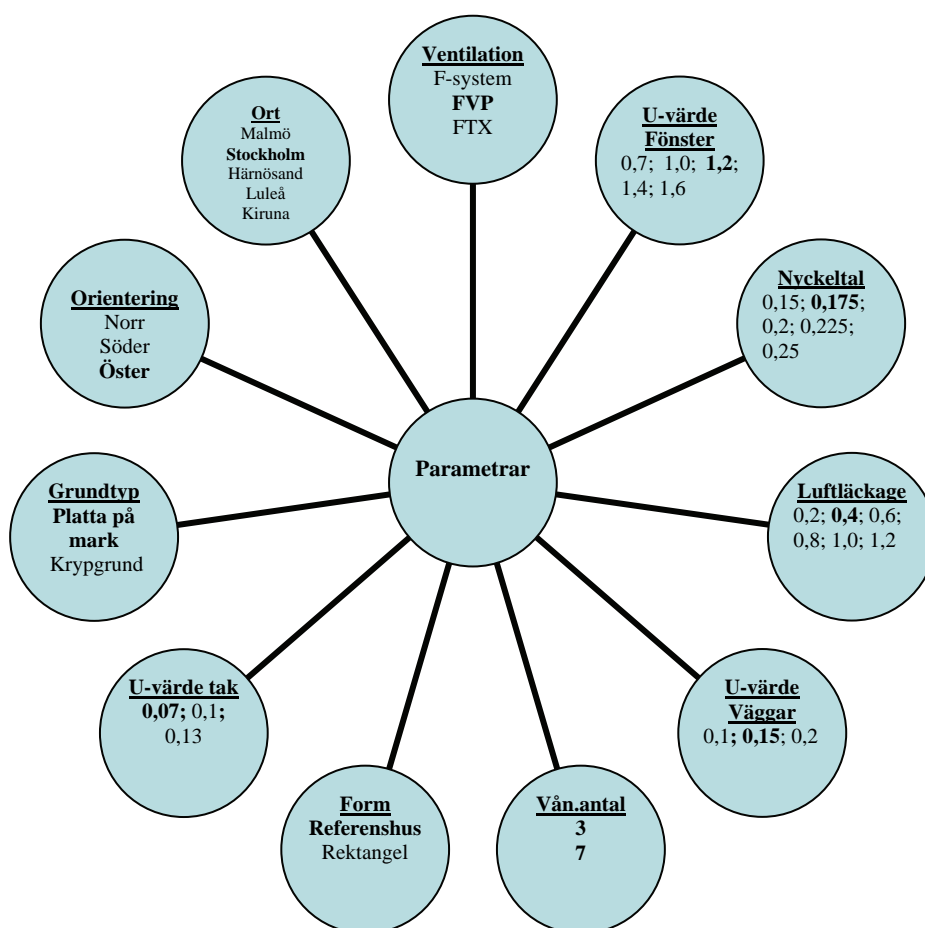


Figur 4.16: Lägenhetsindelning av lamellhus (ej skalenlig)

## 4.4 Parameterstudie

För att skapa ett flexibelt byggsystem där beställaren kan påverka och få inblick i energianvändningen har olika parametrar som påverkar energibalansen i byggnaden analyserats. Energinvändningen i bostaden ska kunna anpassas och optimeras till beställarens krav genom olika parameterkombinationer.

Simuleringarna kommer att utgå ifrån ett referensfall. Analysen av energianvändningen för olika parameterkombinationer har gjorts och jämförts med referensfallet. Figur 4.17 visar parametrarna som kommer att varieras. De fetstilta värdena är parametrarna som ingår i referensfallet och beskrivs senare.



Figur 4.17: Simulerade parametrar

#### 4.4.1 Beskrivning av parametrar

##### Ventilation

Ventilationen för vanliga bostäder bör minst vara 0,35 l/s, m<sup>2</sup> (Boverket, 2009a). FTX, FVP och F-system är vanligt förekommande ventilationssystem i flerbostadshus och har därför valts som ingående parametrar. Luftvolymen som tillförs systemen är konstant över tiden.

Den specifika fläkteffekten är den effekt som krävs av fläkten för att driva ett visst luftflöde genom ventilationssystemet och anges i kW/(m<sup>3</sup>/s). Enligt Boverket gäller följande fläkteffekter för ventilationssystemen, se tabell 4.6.

Tabell 4.6: Specifik fläkteffekt värden för olika sorters ventilationssystem

Ventilationstyp	SFP, kW/(m <sup>3</sup> /s)
Från- och tilluft med värmeåtervinning	2,0
Från- och tilluft utan värmeåtervinning	1,5
Frånluft med återvinning	1,0
Frånluft	0,6

Kraven för eluppvärmda bostäder är höga eftersom el anses vara en för högvärdig energikälla för att värma bostäder. Tanken från Boverket är att bostadsbyggande ska gå ifrån eluppvärmning. (Myresjöhus, 2009) Därför har ett fjärrvärmesystem använts vid simuleringarna. BBR tillåter då en energianvändning på 110, 130 respektive 150 kWh/m<sup>2</sup> A<sub>temp</sub> och år för respektive klimatzon 3, 2 och 1 för uppvärmning med fjärrvärme.

Kondensoreffekten på värmepumpen beräknas med följande ekvation

$$P = \rho \cdot c \cdot q_{vent} \cdot \Delta T \left( 1 + \frac{1}{COP} \right) [W] \text{ (NIBE, 2009)}$$

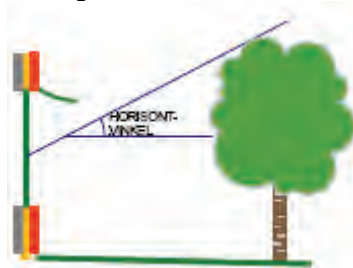
$\rho$	= Luftens densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
$c$	= Luftens värmekapacitet [J/kg K]
$q_{vent}$	= Ventilationsflödet i bostaden [m <sup>3</sup> /s]
$\Delta T$	= Temperaturskillnaden i frånluften och avluften
COP	= Är faktor som anger hur effektiv värmepumpen är

Den totala kondensoreffekten blir 16500 W för punkthuset och 16700 W för lamellhuset. Värdena är framtagna med en temperaturdifferens på 17 °C på från- och avluft. Verkningsgraden på värmepumpen har antagits till 2,5 (Bülow-Hübe, 2009). Samma metod har använts för att beräkna det totala värmebehovet för hisschakten då dessa också är mekaniskt ventilerade. Kondensoreffekten för hisschaktet beräknas med en temperaturdifferens på 15 grader. Den totala effekten för värmepumpen för hisschaktet har beräknats till 1800 W för punkthuset och 1600 W för lamellhuset.

Elenergin till cirkulationspumparna har antagits vara 4 % av den totala uppvärmningseffekten av tilluft och rummen. Fläktar, belysning och drift av hiss i hisschaktet antas avge spillvärme som motsvarar ca  $1 \text{ W/m}^2$ .

### U-värde fönster

Infallande solstrålar kan antingen absorberas, transmittas eller reflekteras i fönsterretorna. Omgivningen kring byggnaden kan hindra strålning från solen att nå fönstrets yta. Värdet för horisontvinkeln har antagits till 15 grader i alla väderstreck. Värdet är ett schablonvärde som har använts då det saknas information för hur omgivningen kring byggnaderna ser ut. Figur 4.19 illustrerar en horisontvinkeln.



Figur 4.19: Horisontvinkel (Strusoft AB 2006)

U-värdena för fönster har varierats mellan  $0,7$  och  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . För att åstadkomma ett U-värde på  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  krävs ett fönster med treglasskikt, argongas, två lågemissionsskikt och isolerad karm.  $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$  är ett värde för fönster i typisk svenska passivhus. Ett U-värde på  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  motsvarar ett tvåglasfönster med ett lågemissionsskikt och argongas mellan glasen. g-värde och ST-värde för fönster har valts enligt tabell 4.5. Markens solreflektion har antagits till 20 % av den totala inkommande strålningen (Bülow-Hübe, 2009).

Tabell 4.5 U-värden och soltransmittans för fönster (Bülow-Hübe, 2008)

Fönsteruppbyggnad	U-värde [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]	g-värde [%]	ST-värde [%]
3 glas, 2 le skikt +argon	0,9-1,0 (0,7)	31	24
3 glas, 2 le skikt +argon	0,9-1,0	46	34
3 glas, 1 le skikt +argon	1,2-1,4	50	39
2 glas, 1 le skikt +argon	1,6	56	46

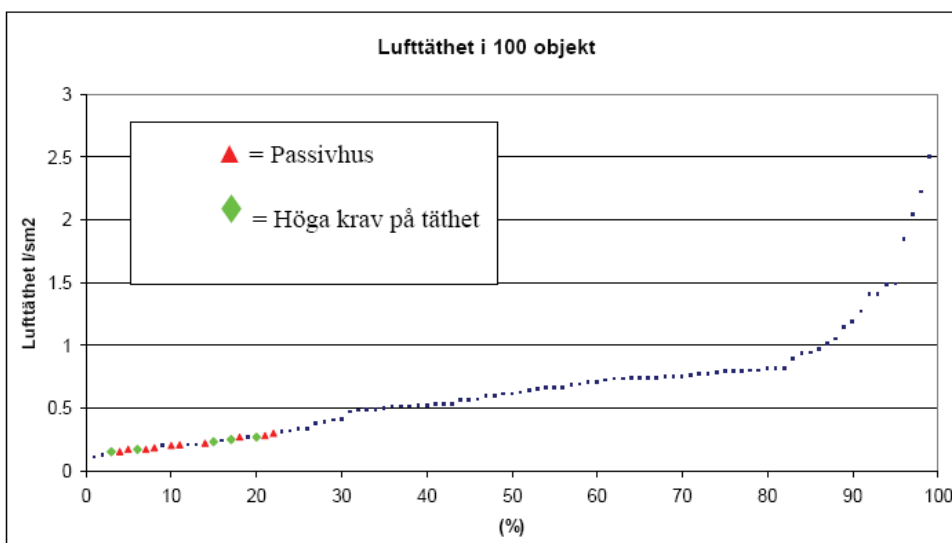
### Nyckeltal

Fönsterareans betydelse för energianvändningen analyseras genom att jämföra olika nyckeltal. Nyckeltalet är ett värde som fås genom att dividera totala fönsterarean med bostadsarean för hela byggnaden. Nyckeltalen varierar mellan  $0,15$  och  $0,25$ . Enligt Boverket bör fönsterglasarean minst vara 10 % av golvarean, när fönstret har två eller

tre klarglas. Vid mindre ljusgenomsläppligt glas bör glasarean ökas. (Boverket, 2008a)

### Luftläckage

Luftläckaget för ca 90 % av alla nybyggda bostäder ligger mellan 0,2 och 1,2 l/s, m<sup>2</sup> omslutande yta vid ± 50 Pa. Mätvärdena är gjorda i flerbostadshus, villor, skolor och förskolor och både lätta och tunga konstruktioner har analyserats. Se figur 4.18 Simuleringarna görs därför mellan dessa värden. Jämförelsevis är 0,3 l/s, m<sup>2</sup> ett riktvärde som används för passivhus.



Figur 4.18: Lufttäthetsmätningar på nyproducerade byggnader från SP byggnadsfysik (Svensson, 2009)

### U-värde väggar

Vid simulering har värmeledningskoefficienterna för ytterväggarna med regler beräknats med  $\lambda$ -värdets metoden.

$$\lambda_{res} = \alpha \cdot \lambda_{isol} + \beta \cdot \lambda_{regel}$$

$\alpha$  = andel yta där det finns isolering

$\beta$  = andel yta där det finns regler (Sandin, 1996)

Samma metod har använts vid beräkningen av  $\lambda$ -värde för innerskalsväggen. Vid simuleringen av ytterväggarnas totala U-värde har ytskiktet utanför luftspalten inte tagits med i beräkningen. U-värdena för väggarna varierar med 0,10; 0,15 och 0,20 W/m<sup>2</sup>K. 0,10 W/m<sup>2</sup>K är ett standardvärde för passivhus och för att uppnå värdet krävs 415mm isolering. Vägghöjden U-värde är 0,15 W/m<sup>2</sup>K med 290mm isolering. 190mm isolering ger ett U-värde på 0,20 W/m<sup>2</sup>K. Alla väggar isoleras med mineralull



## Våningsantal

Byggsystemet är tänkt att användas för byggnader med tre till sju våningar och därför har energianvändningen för referenshusen kontrollerats för gränsvärdena.

## Form

Formens effekt på energianvändningen analyseras genom att variera byggnadens form. Förlusterna genom köldbryggorna kommer att minska då antalet hörn minskar i den rektangulära byggnaden. (Nilsson; Warfvinge, 2009) Referensbyggnaderna har därför jämförts med rektangulära byggnader med samma golvarea som referenshusen.

## U-värde tak

Tjockleken på isoleringen på taket varierar mellan 150, 250 och 400mm. Till dessa värden kommer 120 mm brandisolering som ligger i bjälklaget. Dessa konstruktioner motsvarar U-värden på 0,13, 0,10 och 0,07 W/m<sup>2</sup>K.

## Grundtyp

En simulering görs för att jämföra energianvändningen mellan platta på mark och en inomhusventilerad kryppgrund. Luften som förs ner i kryppgrundar kyls vilket ökar energianvändningen. Strålningsförlusterna för platta på mark och kryppgrund antas vara lika stora eftersom det är i stort sett samma temperaturdifferens över mark och insida isolering.  $\lambda$ -värdet på marken har antagits vara 2,3 W/mK.

## Orientering

Byggnadens energianvändning analyseras i väderstrecken norr, söder, öster och väster.

## Ort

Parameterstudien utförs i orterna Malmö, Stockholm, Härnösand, Luleå och Kiruna.

### 4.4.2 Övriga parametrar som påverkar energianvändningen

#### Klimat

Vid beräkning av en byggnads energianvändning är det nödvändigt att ha tillgång till klimatdata för regionen där byggnaden kommer att uppföras. Klimatdata som har använts vid beräkningarna i VIP+ kommer från programmets egna klimatdatafiler som är tagna från SMHI eller Meteonorm. (Strusoft, 2006) Beräkningarna genomförs för samma referenshus i tre klimatzoner enligt BBR 2009. Detta har gjorts för att jämföra energianvändningen för referenshusen i olika delar av Sverige där utomhusklimatet skiljer sig åt. Energiberäkningarna för referenshusen i Härnösand har genomförts med klimatdatafilen från Sundsvall eftersom klimatdata för Härnösand inte finns med som klimatfil i VIP+. Anledningen till detta är att programmet Crawl som används vid fuktberäkningar i ett senare kapitel bara har indata för Härnösand. Städerna ligger mycket nära varandra och båda ligger på samma avstånd från havet, vilket gör att klimatskillnaderna kan antas vara små.

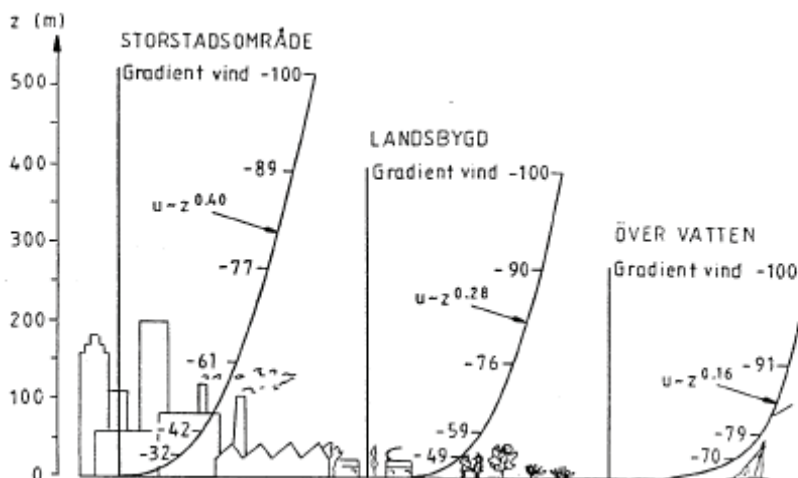
Även då orten inte går att påverka i ett byggprojekt har denna analyserats eftersom den har stor inverkan på energianvändningen. Orterna är valda så att medelårstempe-

raturen för orterna under ett år skiljer sig med ca 1-3 grader. Orterna ligger i olika klimatzoner se tabell 4.7.

Tabell 4.7: Klimatzon för simulerade orter

Ort	Klimatzon	Årsmedeltemperatur
Malmö	3	7,5
Stockholm	3	6,3
Härnösand	2	4,3
Luleå	1	1,5
Kiruna	1	-1,6

Vindhastigheten har antagits till hälften av värdena som finns i klimatdatafilen eftersom flerbostadshusen antas vara byggda i tätorter, där byggnader hindrar vinden. Figuren nedan visar gradienterna för vindhastighet för luftströmning vid olika markbeskaffenheter.



Figur 4.20: Vindhastighetsprofil vid olika markbeskaffenheter (Sandin, 1990)

### Klimatskalet

Ingående material och dess dimensioner har tagits från tillgängliga konstruktionsritningar. Alla isolermaterial är tillverkade av Isover. Värmeförlusterna genom köldbryggorna har simulerats genom att sammanställa värmeförlusterna för alla köldbryggor i byggnaden och simulera förlusterna med en kvadratmeter yta som har ett  $\lambda$ -värde som ger en energitransport som motsvarar förlusterna genom byggnadens köldbryggor. Data för klimatskalet tas direkt från modellerna i AutoCad som författarna har skapat.

### Brukarvanor

För brukarvanorna i VIP+ har data hämtats från energimyndighetens program för passivhus och lågenergihus. Vid beräkning av frivärme anges  $4\text{W/m}^2$ . Detta inkluderar värme från apparater, personer och soltillskott. (Statens energimyndighet, 2008c) I VIP+ har gratisenergin delats upp i två poster,  $1\text{W/m}^2$  för personvärme och  $3\text{W/m}^2$  för verksamhetsenergi.

Energianvändningen som krävs för uppvärmning av tappvarmvatten för referenshusen beräknas enligt följande ekvation:

$$E_{vv} = V_{vv} \cdot 55 / A_{temp} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$V_{vv}$  är den totala volymen för årlig varmvattenanvändning.

För en lägenhet beräknas  $V_{vv}$  till  $12\text{m}^3 + 18\text{m}^3/\text{person}$ . Antal personer som bor per lägenhet är tagna från tabellen nedan. (ibid.) Tabell 4.8 har använts för att erhålla den totala mängden personer per referenshus.

Tabell 4.8: Schablonvärde för antal personer per lägenhet

1 rok	1 person/lgh
2 rok	1,5 person/lgh
3 rok	2,0 person/lgh
4 rok	3,0 person/lgh
5 rok	3,5 person/lgh

(Statens energimyndighet, 2008c)

För referenshusen har följande värden använts:

Referenshus	Lamellhus	Punkthus
Bostadsarea [ $\text{m}^2$ ]	1663	1637
Antal boende	40	41
Antal lägenheter	18	21

Vid beräkning fås följande energianvändning för tappvarmvatten för ett år.

$$E_{vv, lamell} = V_{vv} \cdot 55 / A_{temp} = 31,0 \text{ [kWh/m}^2\text{, år]}$$

$$E_{vv, punkt} = V_{vv} \cdot 55 / A_{temp} = 33,3 \text{ [kWh/m}^2\text{, år]}$$

Detta motsvarar en energianvändning på 5,9 respektive 6,4  $\text{W/m}^2$  för lamell- och punkthuset. Dessa värden används som indata vid energibalansberäkning i VIP+. Brukarvanorna kommer inte varieras i VIP+ eftersom parametern är beroende av brukaren och inte byggsystemet.

### Driftfall

Driftförhållandena har delats upp i två fall, ett för dagen och ett för natten. Under natten kan användningen av tappvarmvattnet antas vara noll. Temperaturen på kallvattnet och varmvattnet har antagits till 8 respektive 55 °C, detta för att förhindra legionellatillväxt.

#### 4.4.3 Referensbyggnad

Referensbyggnaden är ett referenshus med låsta parametrar som simuleringarna utgår ifrån. Ingångsdata för referenshuset visas i tabell 4.9.

Tabell 4.9: Ingångsdata för referenshuset

Parameter	Indata
Ort	Stockholm
Ventilation	FVP
U-värde på fönster	1,2 [W/m <sup>2</sup> K]
Nyckeltal	0,175
U-värde på väggar	0,15 [W/m <sup>2</sup> K]
Luftläckage	0,4 [l/s, m <sup>2</sup> ]
Orientering	Öster
U-värde tak	0,07 [W/m <sup>2</sup> K]
Grund	Platta på mark
Våningsantal	3/Lamell 7/Punkt
Form	Referens

Eftersom många av parametrarna inte är beroende av varandra kan antalet simuleringar begränsas genom att låsa varje parameter och utföra simuleringarna var för sig. Ett antal simuleringar genomförs för varje parameter och antalet simuleringar som genomförs är beroende på vilken parameter som analyseras, t.ex. genomförs bara tre simuleringar då U-värdet på väggarna varieras, medan fem simuleringar genomförs då nyckeltalet granskas. Parametrar som luftläckage och nyckeltal är beroende av andra parametrar som t.ex. ventilation och orientering. Detta kommer inte tas upp i studien då synergieffekterna av parametrarna har avgränsats. Referenshusen har modellerats med ett fjärrvärmesystem, d.v.s. den specifika energianvändningen i byggnaden kommer att jämföras med kraven som ställs i BBR för bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme.

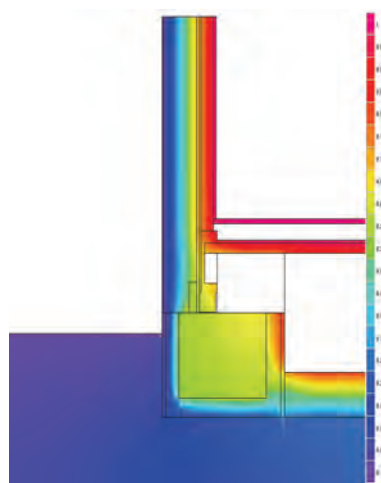
Grunden till referensbyggnaden har valts till platta på mark och byggnaden är belägen i Stockholm. Stockholm har valts då det ligger i Mellansverige och har ett klimat som ligger mellan de extrema fallen i norr och i söder. För att klara BBRs krav i referenshusen måste ett FVP system vara installerat och därmed har dessa ventilationssystem använts för referenshusen. Vid framtagning av olika nyckeltal för fönsterarea har  $A_{temp}$  satts till en konstant area. 0,175 har valts som referensnyckeltal. Lamellhuset har 3 våningar i referensfallet och punkthuset har 7 våningar i referensfallet, detta görs eftersom detta medför att båda byggnaderna får ungefär lika stora boareor vilket underlättar jämförelsen mellan referenshusen.

## 4.5 Resultat och analys

### 4.5.1 Köldbryggor

#### Grund - vägg anslutning

Som ett alternativ till platta på mark har ett förslag på inomhusventilerad kryppgrund tagits fram. Detta gör det möjligt att använda bjälklagselementet på bottenvåningen. Ventilationen i grunden styrs mekaniskt av fläktar. Tio procent av frånluften i byggnaden evakueras ner till kryppgrunden och värmer utrymmet. Detta luftflöde motsvarar en omsättning på två oms/h i kryppgrunden. Innan avluften släpps ut återvinns värmen i en värmeväxlare. Uppvärmning av luften då ånghalten är konstant i kryppgrunden minskar den relativa fuktigheten vilket gör konstruktionen fuktsäkrare. Golvet blir också bättre ur komfortsynpunkt. (Björk F. et al, 1994) Samma köldbrygga används för platta på mark eftersom det inte finns några ritningar på denna. Temperaturskillnaden har satts till 1 K vilket innebär att  $\Psi$ -värdet och summan av köldbryggorna lika gärna kan ses som W/m respektive W. Denna temperaturskillnad har valts därför att skillnaden i temperatur mellan ute och inne ska kunna väljas fritt.



Figur 4.21 Temperaturprofil av kryppgrund

Figur 4.21 visar hur temperaturen genom grunden varierar. Den kallaste delen i grunden finns vid reglarna som ansluter ytterväggen till fundamentet.

### Fönster/Yttervägg

Fönster har ett betydligt högre U-värde än övriga klimatskalet. Förutom detta har fönstrets konstruktiva utformning även stor betydelse för om det uppkommer köldbryggor eller inte. I de flesta fall är det svårt att undvika köldbryggor vid fönster, speciellt vid karm och fönsterbåge där det ofta finns många konstruktionsmässigt nödvändiga regler. Fönstret har delats upp i en karmdel och en glasdel för att förenkla modelleringen i HEAT 2. Vid beräkning av fönsterköldbryggan har karmens  $\lambda$ -värde beräknats med följande ekvation:

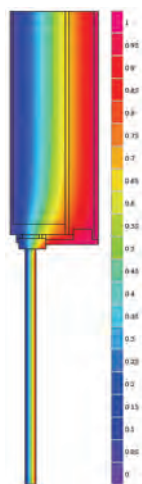
$$U_{win} = \frac{U_{cog} \cdot A_g + U_f \cdot A_f + l_g \psi}{A_g + A_f}$$

$U_{cog}$  = U-värdet för glaset, cog står för centre of glas

$A_g$  = Arean av glasandelen

- $U_f$  = U-värde för karm  
 $A_f$  = Area av karm  
 $l_g$  = längd av glasandel  
 $\psi$  =mått på köldbryggans storlek per längdmeter  
 Bülow-Hübe (2001)

Beräkningen utfördes med ett fönster med måtten 1050x1500 mm<sup>2</sup>. Detta är det mindre av de två fönsterna som kommer att användas i byggsystemet. Det andra har måtten 1350x1500 mm<sup>2</sup>. Det genomsnittliga U-värdet för fönster varierar med fönstrets storlek. Eftersom karmen har ett högre  $\lambda$ -värde än glasdelen kommer karmens andel av den totala arean att påverka fönstrets U-värde. För små fönster är karmandelen stor vilket ger sämre U-värde än för större fönster där karmandelen minskar. För att inte överskatta fönstrets isoleringsförmåga användes det mindre fönstret. Genom att sätta in värden i ekvationen ovan, löses  $U_f$  ut och med hjälp av detta värde beräknas  $\lambda_{karm}$  till 0,167 W/m K för fönstret med dimensionerna 1050x1500 mm<sup>2</sup>.

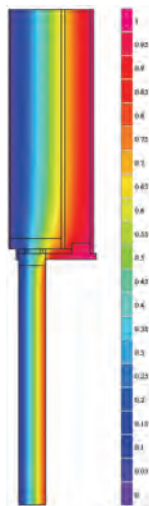


Figur 4.22: Temperaturprofil mellan yttervägg och fönster

Figur 4.22 visar att fönstret blir kallast vid anslutning karm-glas.

## Dörr/Yttermvägg

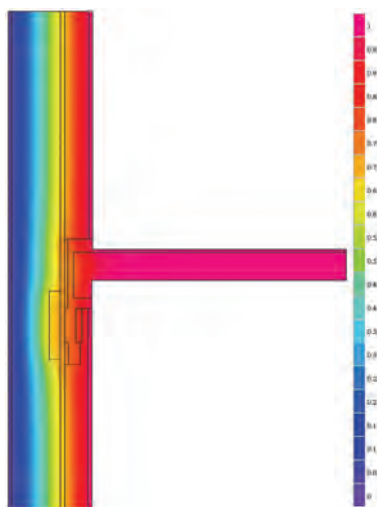
Köldbryggan kring dörren liknar köldbryggan för fönstret. På samma sätt som för fönster blir den kallaste delen vid anslutning mellan karm och dörr.



Figur 4.23: Temperaturprofil av köldbrygga mellan yttermvägg och dörr

## Anslutning mellan bjälklag och yttermvägg

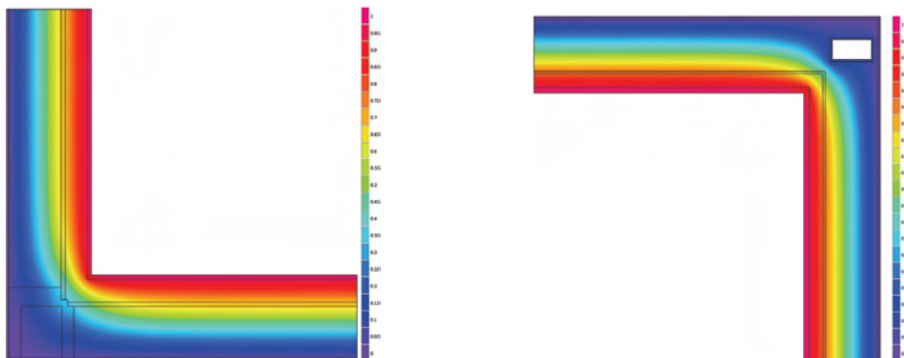
Figur 3.2. i kapitel 3 visar anslutningsdetaljen för bjälklaget i yttermägg. Köldbryggan som uppkommer av reglarna blir liten då det finns 150 mm isolering som minskar värmeflödet vid anslutningen. Figur 4.24 visar temperaturprofilen för anslutningen mellan väggen och bjälklaget. Köldbryggan kan dock inte försummas eftersom den är mycket lång, detta kommer att bidra till att den totala värmeförlusten genom köldbryggan blir märkbar.



Figur 4.24: Temperaturprofil av anslutningsdetalj mellan bjälklag och yttermvägg

### Hörnanslutningar

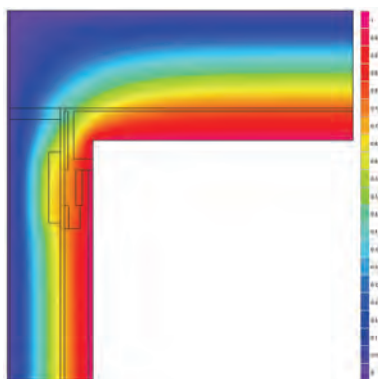
Alla hörn och alla elementanslutningar i en byggnad utgör en köldbrygga och har analyserats. Figuren visar temperaturprofilen genom hörn i byggsystemet. Den vänstra bilden visar anslutningen mellan två ytterväggsmoduler och bilden till höger visar ett hörn med en stålpelare. Det är bara de utåtvända hörnen som har stålpelare.



Figur 4.25: Temperaturprofiler av hörn. Vänstra figuren visar inåtgående hörn och figuren till höger visar utåtgående hörn

### Tak/vägg anslutning

Takanslutningen består av ett bjälklag på vilket lösull läggs, köldbryggan mellan tak och vägg blir därmed lika stor som köldbryggan mellan ytterväggen och bjälklaget.



Figur 4.26: Temperaturprofil av takanslutning



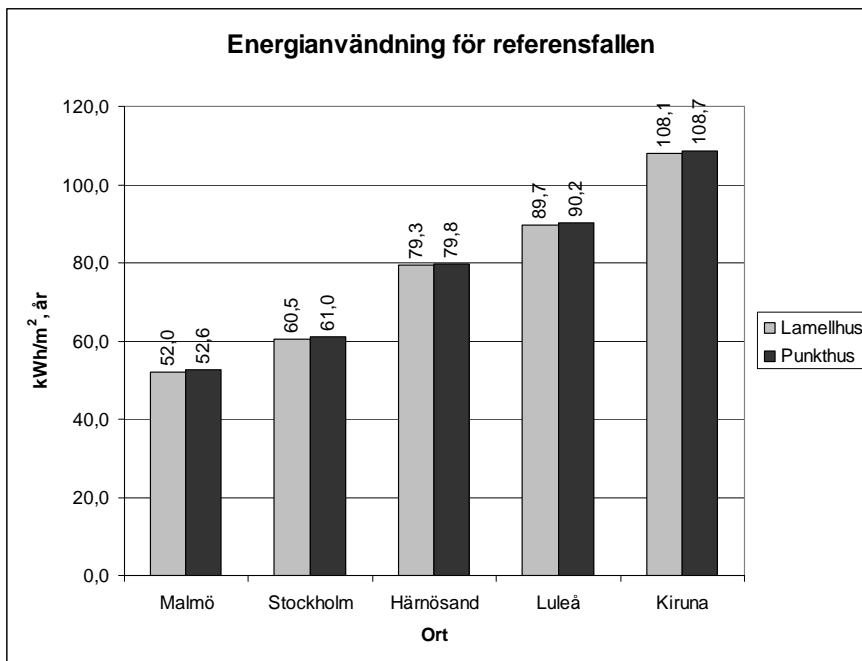
Tabell 4.10. Köldbryggor för lamell- och punkthus

Anslutningsdetalj	$Q_t$ med Köldbrygga [W/mK]	$Q_t$ utan köldbrygga [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]	Punkthus [W/K]	Lamellhus [W/K]
Yttervägg/Fönster	1,1	0,99	0,11	83,93	86,79
Yttervägg/Bjälklag	0,33	0,31	0,02	7,67	4,69
Yttervägg/Dörr	1,34	1,26	0,08	10,76	4,61
Yttervägg/Tak	0,32	0,3	0,02	1,61	2,96
Platta på mark/Krypgrund	1,21	1,19	0,02	1,65	3,02
Ytterväggshörn med stål- pelare	0,42	0,38	0,03	4,8	2,57
Ytterväggshörn utan stål- pelare	0,35	0,34	0,01	0,55	0,36
$\Sigma$				111	105

Tabell 4.10 visar storleken på köldbryggorna som finns i byggsystemet. Det totala värmeflödet genom köldbryggorna gäller för punkthuset med sju våningar och för lamellhuset med tre våningar. De största köldbryggorna i byggsystemet finns vid anslutning mellan yttervägg/fönster samt yttervägg/dörr

#### 4.5.2 Energianvändning för referensfallen

Referensfallen har simulerats i programmet VIP+ och den specifika energianvändningen för referensfallen visas i figur 4.27.



Figur 4.27: Energianvändning för referensfallen

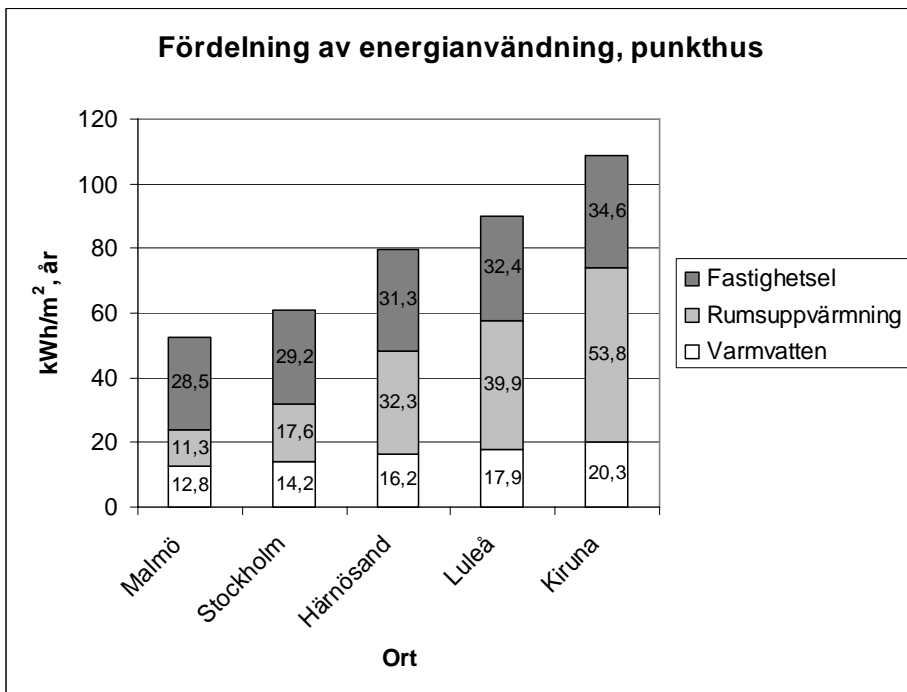
Det framgår tydligt att energianvändningen ökar konstant från Malmö till Kiruna men även att det inte finns någon större skillnad i energianvändning mellan punkt- och lamellhuset. En förklaring till att skillnaden inte är särskilt stor kan vara att de båda referenshusen i princip har lika stora bostadsareor och att det genomsnittliga U-värdet för klimatskalet för referenshusen är i stort sätt lika för båda referenshusen. Den stora skillnaden mellan de båda husen är att krypprunden och taket är större i lamellhuset. Som framgår av figur 4.27 har detta inte haft någon större inverkan på den totala energianvändningen för byggnaden. Resultaten visar att orten har mycket stor betydelse för energianvändningen i en byggnad. Skillnaden i energianvändning mellan referenshus i Malmö och i Kiruna är ca 56 kWh/m<sup>2</sup>, år. Energianvändningen är relativt låg för de flesta orter där till exempel Malmö har en energianvändning på 52 kWh/m<sup>2</sup>, år. För referensfallen i Stockholm, Härnösand, Luleå och Kiruna är energianvändningen även där relativt låg i jämförelse med det krav som ställs av BBR 2009. Referensfallen jämförs med kraven på specifik energianvändning och genomsnittligt U-värde som ställs i BBR 2009. Detta visas i Tabell 4.11.

Tabell 4.11: Referensfallen i jämförelse med BBR 2009

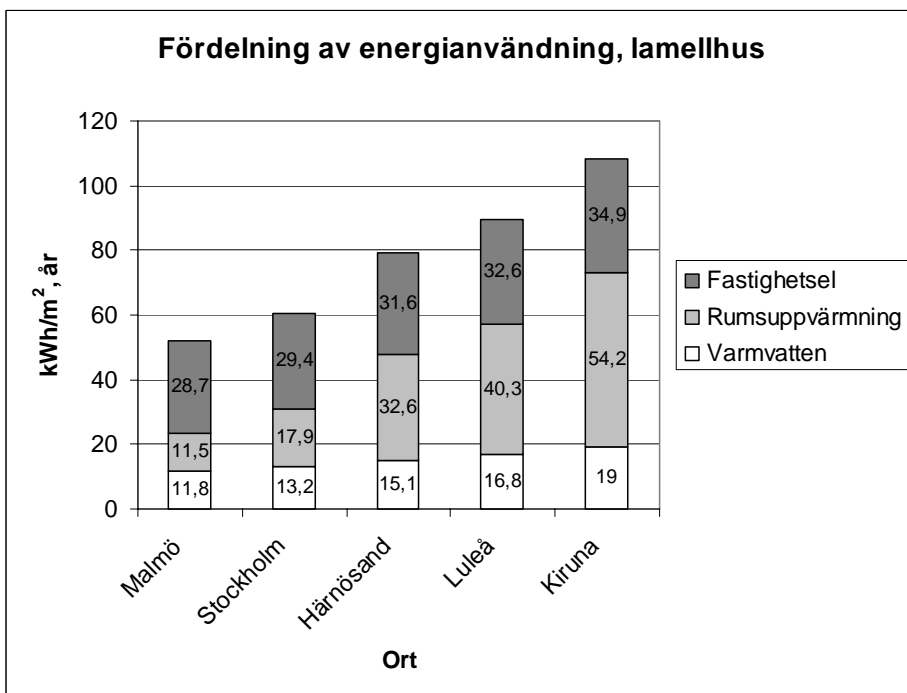
Ort	Lamell [kWh/ m <sup>2</sup> , år]	Punkt [kWh/ m <sup>2</sup> , år]	Krav BBR 2009 [kWh/ m <sup>2</sup> , år]	U <sub>m, punkt</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	U <sub>m, lamell</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Krav BBR 2009 [W/m <sup>2</sup> K]
Malmö	52,0	52,6	110	0,37	0,32	0,5
Stockholm	60,5	61,0	110	0,37	0,32	0,5
Härnösand	79,3	79,8	130	0,37	0,32	0,5
Luleå	89,7	90,2	150	0,37	0,32	0,5
Kiruna	108,1	108,7	150	0,37	0,32	0,5

Fördelningen av den specifika energianvändningen, även benämnd ”köpt energi” fördelar sig för de olika orterna enligt figur 4.28 och figur 4.29 för referensfallen. Figureerna visar att den största delen av den köpta energin går till värmeförsörjningen av byggnaden där rumsuppvärmning och tappvarmvatten ingår. Den andra delen av den köpta energin är fastighetselen som i fallen består av el till fläktar och pumpar. Värmeåtervinning från värmepump ger störst bidrag till rumsuppvärmning av byggnaden. Detta framgår av figur 4.30 och figur 4.32 som visar den tillförda energin till referenshusen. Tillförd solenergi och elförsörjning bidrar ungefär lika mycket till uppvärmningen av byggnaden. Processenergin är den energi som verksamheten använder i byggnaden, d.v.s. den andel av hushållselen som utnyttjas för att värma husen (Strusoft, 2006). Från figur 4.31 och figur 4.33 som visar den avgivna energin framkommer att en energieffektivisering av en byggnad i första hand bör fokusera på att minska transmissions- och ventilationsförlusterna som är det största förlustposterna.

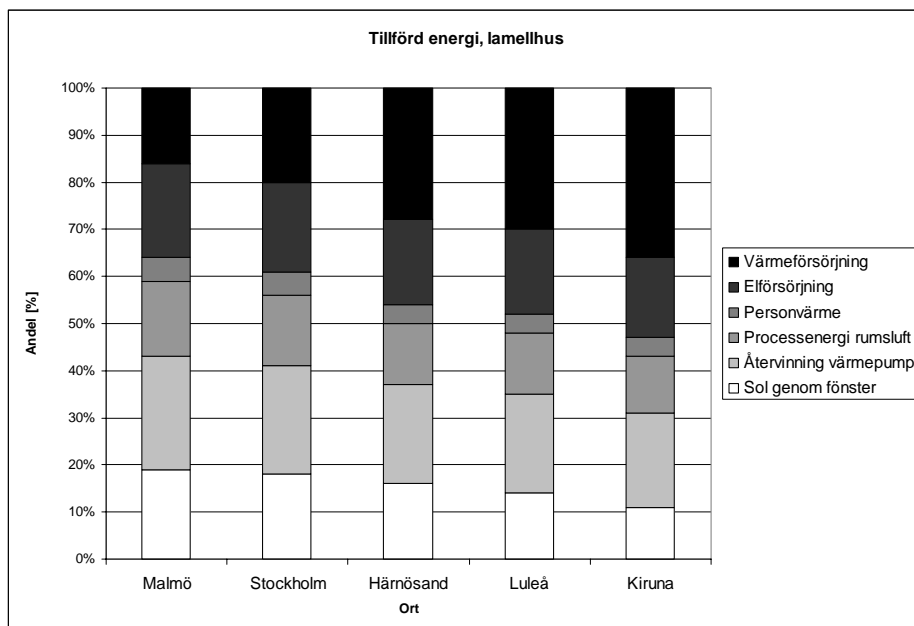
Energianvändningen för referenshusen i klimatzon 3 varierar mellan cirka 50 och 60 kWh/m<sup>2</sup>, år. Marknadsundersökningen i kapitel fyra visar att beställare brukar ställa krav på att energianvändningen bör ligga mellan 55 och 90 för byggnader i klimatzon 3.



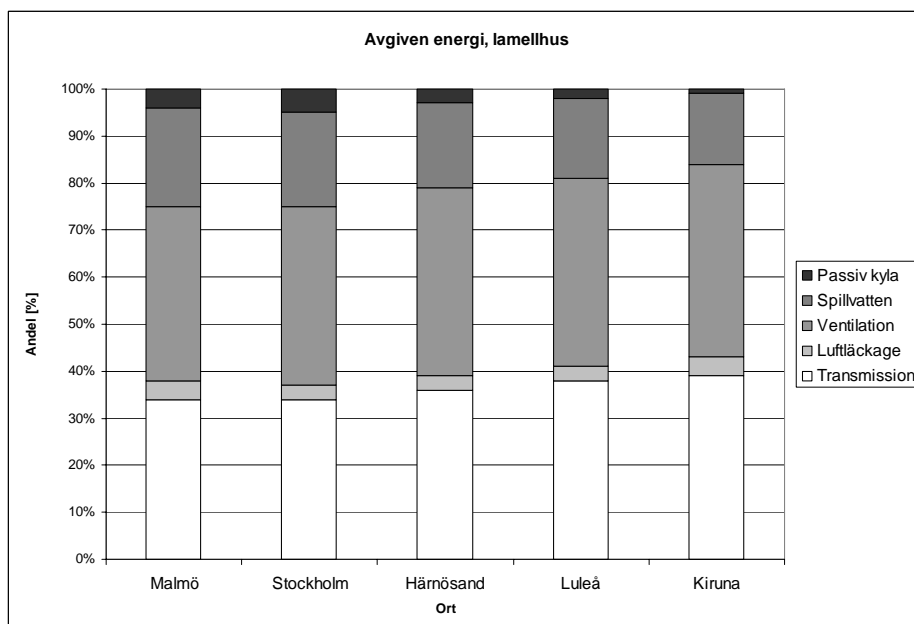
Figur 4.28: Fördelning av energianvändning för referensfallen för punkthusen



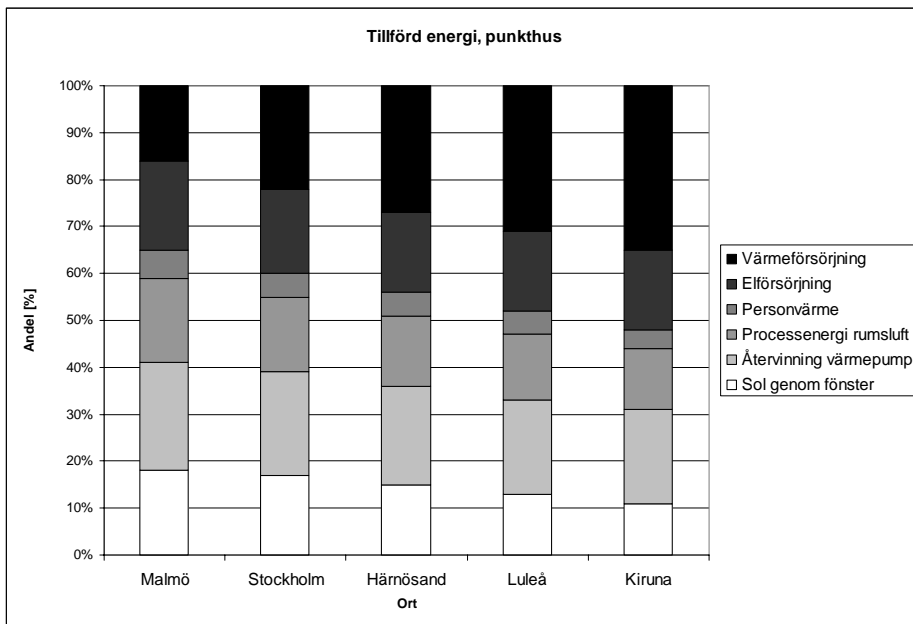
Figur 4.29: Fördelning av energianvändning för referensfallen för lamellhusen



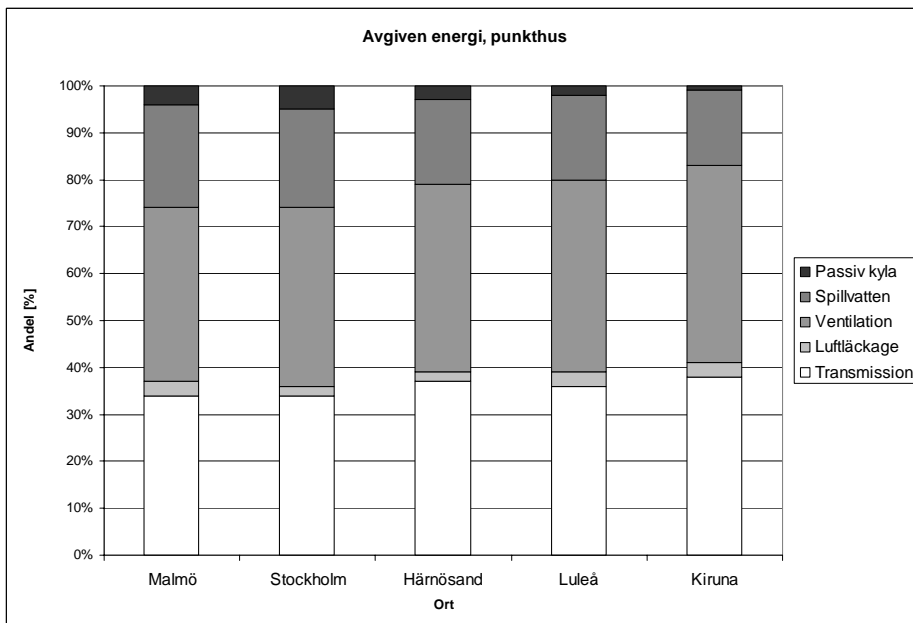
Figur 4.30: Procentuell fördelning av tillförd energi för referensfall, lamellhus belägna i olika orter



Figur 4.31: Procentuell fördelning av avgiven energi för referensfall, lamellhus belägna i olika orter



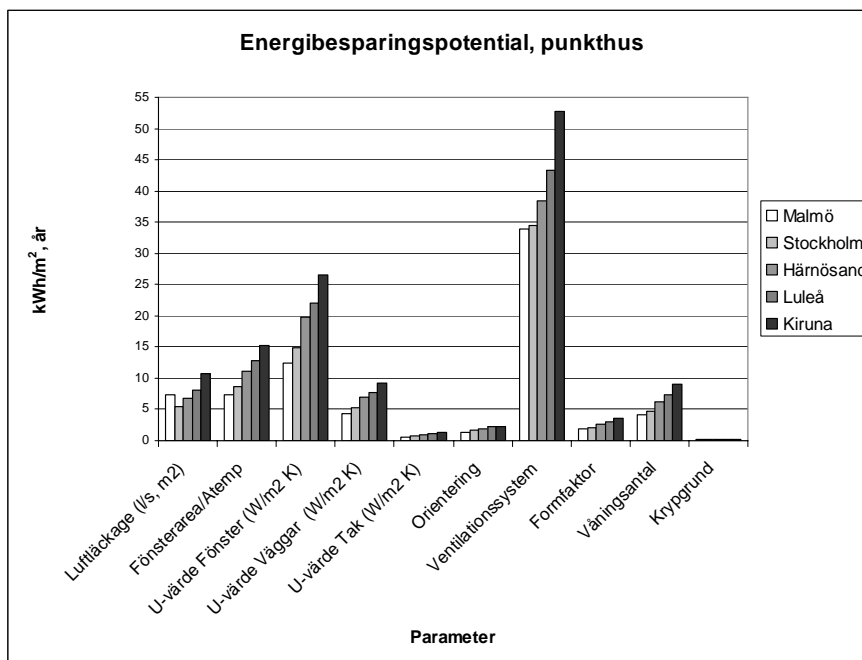
Figur 4.32: Procentuell fördelning av tillförd energi för referensfall, punkthus belägna i olika orter



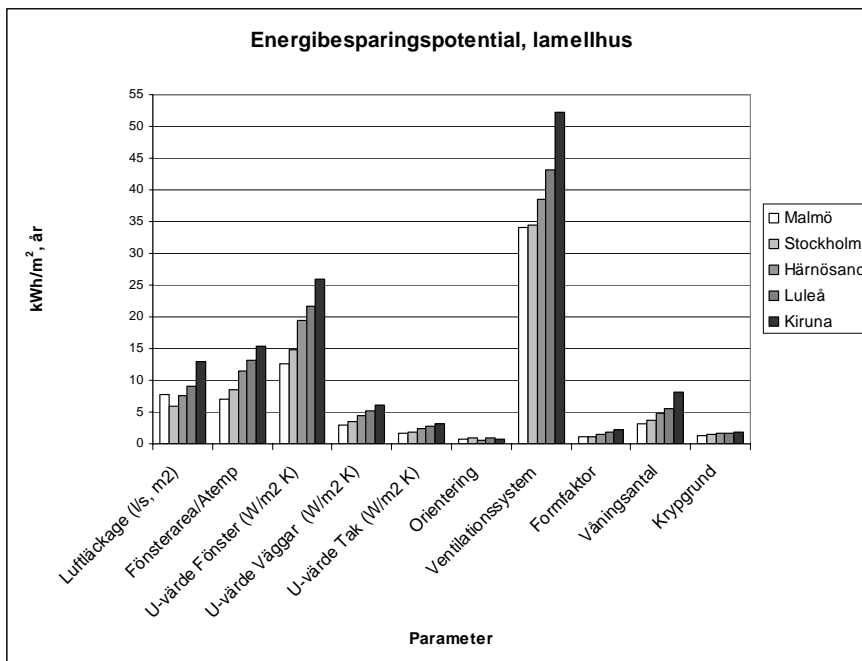
Figur 4.33: Procentuell fördelning av avgiven energi för referensfall, punkthus belägna i olika orter

### 4.5.3 Energibesparingspotential

För att analysera hur stor påverkan de olika parametrarna har på energianvändningen i orterna har en differens beräknats mellan den största energiminskningen och den största energiökningen för varje enskild parameter i studien. I tabellerna i bilaga 1 redovisas alla resultat för simuleringarna. Differensen visar vilket intervall energianvändningen varierar med för varje parameter och ger på så vis en bild av hur stor energibesparingspotentialen är för varje parameter. Energibesparingspotentialen för de olika orterna visas i figur 4.34 och 4.35.



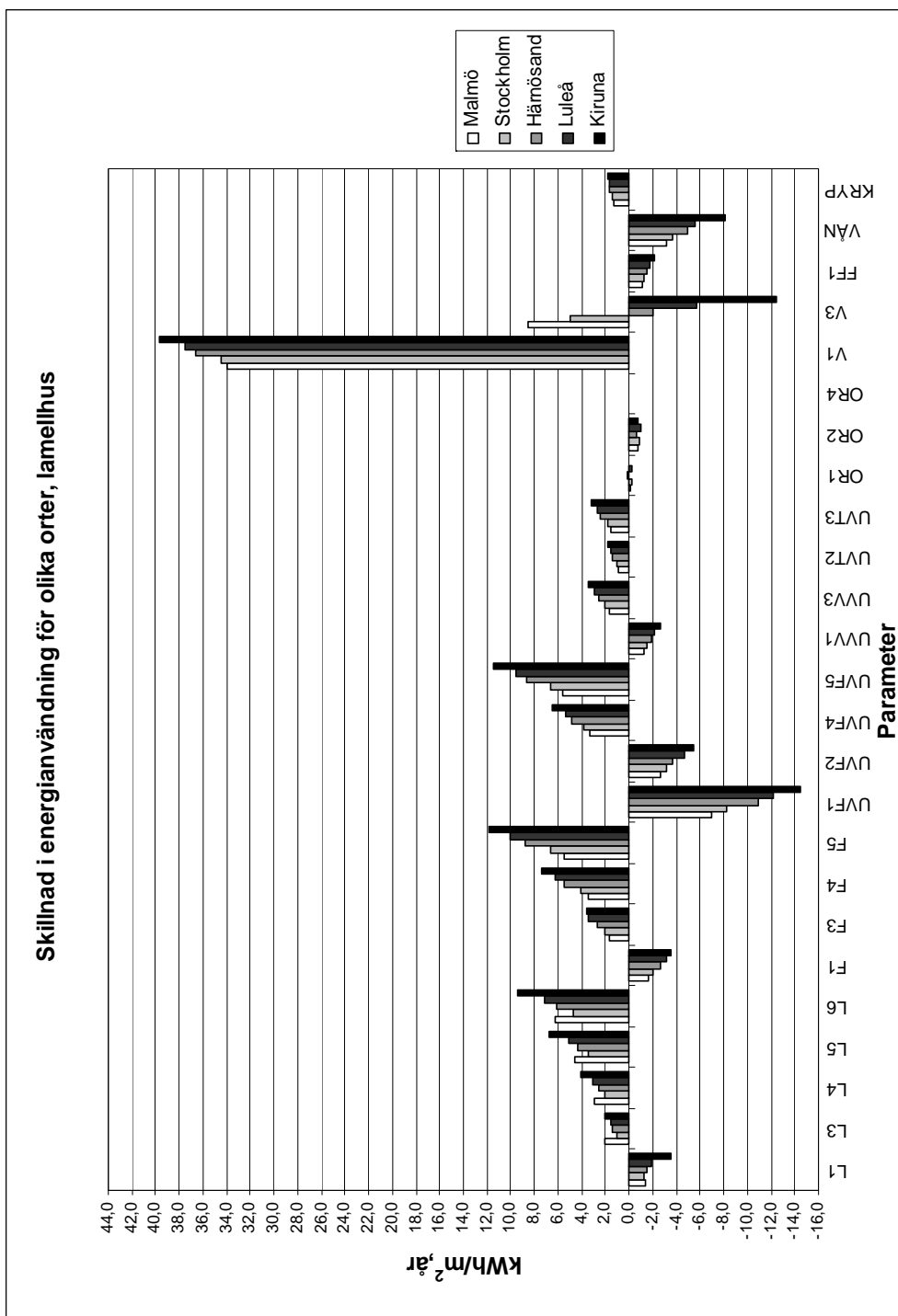
Figur 4.34: Energibesparingspotential för punkthus



Figur 4.35: Energibesparingspotential för lamellhus



### 4.5.4 Parametrarnas inverkan på energianvändningen



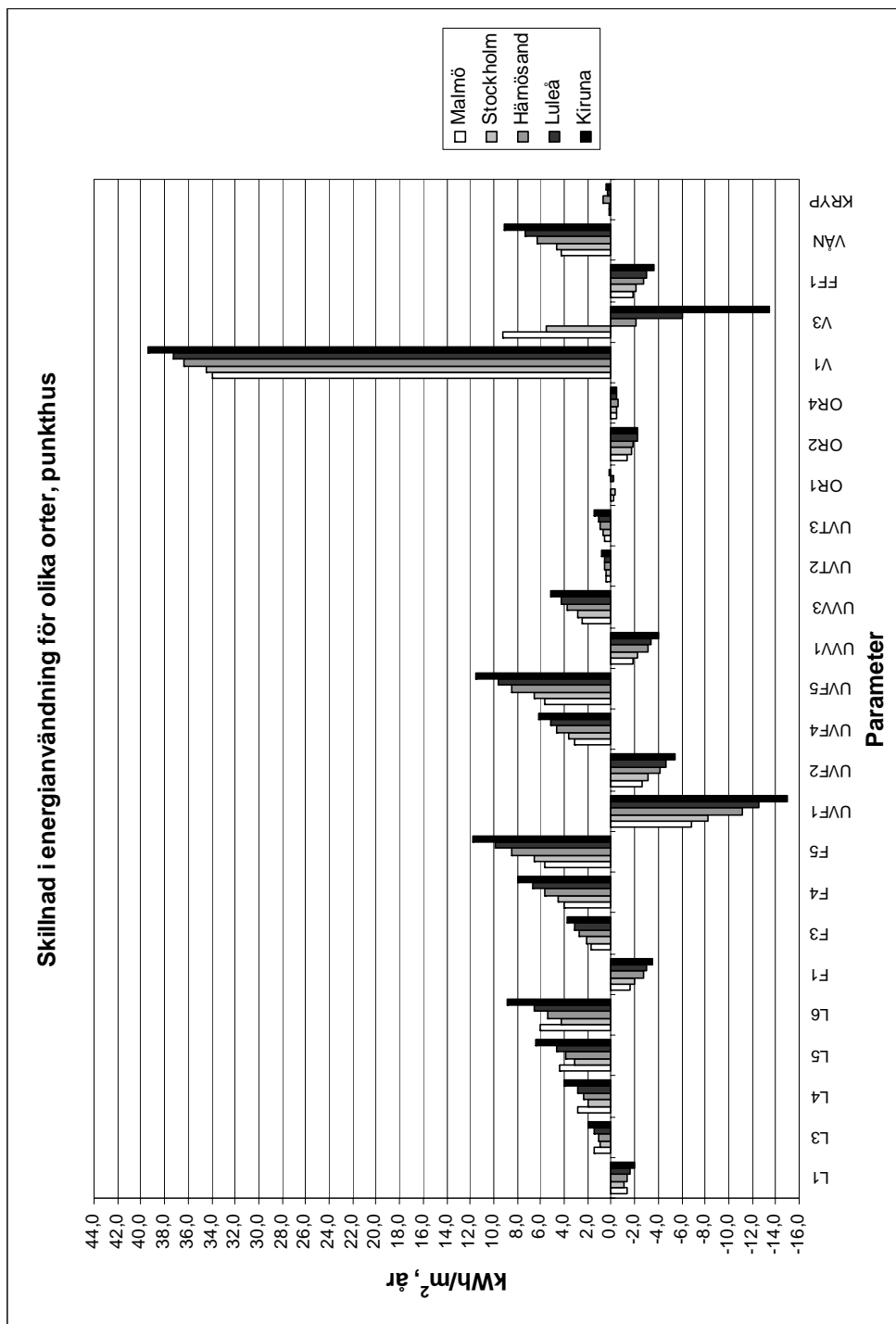
Figur 4.36: Skilnad i energianvändning för lamellhuset från referensfallet för olika orter

Av figur 4.36 framgår hur energianvändningen ändras utifrån referensfallet för olika orter och parametrar för lamellhuset. En beskrivning av parametrarna på x-axeln finns i tabell 4.12. De parametrar som är markerade i fetstil är de parametrar som referensfallen utgår ifrån och de finns inte med i figur 4.36 eftersom skillnaden blir noll.

Tabell 4.12: Beskrivning av parametrar tillhörande figur 8.14 och 8.15

Parameter	Åtgärd
L1	Luftläckage= 0,2 l/ s
<b>L2</b>	<b>Luftläckage= 0,4 l/ s</b>
L3	Luftläckage= 0,6 l/ s
L4	Luftläckage= 0,8 l/ s
L5	Luftläckage= 1,0 l/ s
L6	Luftläckage= 1,2 l/ s
F1	Nyckeltal= 0,150
<b>F2</b>	<b>Nyckeltal = 0,175</b>
F3	Nyckeltal = 0,200
F4	Nyckeltal = 0,225
F5	Nyckeltal = 0,250
UVF1	U-värde Fönster= 0,7 W/m <sup>2</sup> K
UVF2	U-värde Fönster= 1,0 W/m <sup>2</sup> K
<b>UVF3</b>	<b>U-värde Fönster= 1,2 W/m<sup>2</sup>/K</b>
UVF4	U-värde Fönster= 1,4 W/m <sup>2</sup> K
UVF5	U-värde Fönster= 1,6 W/m <sup>2</sup> K
UVV1	U-värde Väggar= 0,10 W/m <sup>2</sup> K (425mm isolering)
<b>UVV2</b>	<b>U-värde Väggar= 0,15 W/m<sup>2</sup> K (290mm isolering)</b>
UVV3	U-värde Väggar= 0,20 W/m <sup>2</sup> K (205mm isolering)
<b>UVT1</b>	<b>U-värde Tak= 0,07 W/m<sup>2</sup> K (290mm isolering)</b>
UVT2	U-värde Tak= 0,10 W/m <sup>2</sup> K (350mm isolering)
UVT3	U-värde Tak= 0,13 W/m <sup>2</sup> K (275mm isolering)
OR1	Orientering= Norr
OR2	Orientering= Söder
<b>OR3</b>	<b>Orientering= Öster</b>
OR4	Orientering= Väster
V1	Ventilationssystem= F-system
<b>V2</b>	<b>Ventilationssystem= FVP-system</b>
V3	Ventilationssystem= FTX-system
FF1	Form= Rektangelbyggnad
<b>VÅN</b>	<b>Våningsantal= 7 (Punkthus)</b>
<b>VÅN</b>	<b>Våningsantal= 3 (Lamellhus)</b>
KRYP	Krypgrund
<b>PPM</b>	<b>Platta på mark</b>

Skillnaden i energianvändning för punkthuset visas i figuren nedan. Parametrarna i figur 4.37 beskrivs i tabell 4.12



Figur 4.37: Skillnad i energianvändning för punkthuset från referensfallet för olika orter

Figur 4.36 och 4.37 ger både en jämförelse av energianvändningen utifrån referensfallen samtidigt som det går att utläsa om det finns några trender mellan de olika orterna och parametrarna som varierats.

Parametrarna har rangordnats enligt sjunkande energibesparingspotential.

### 4.5.5 Ventilationssystem

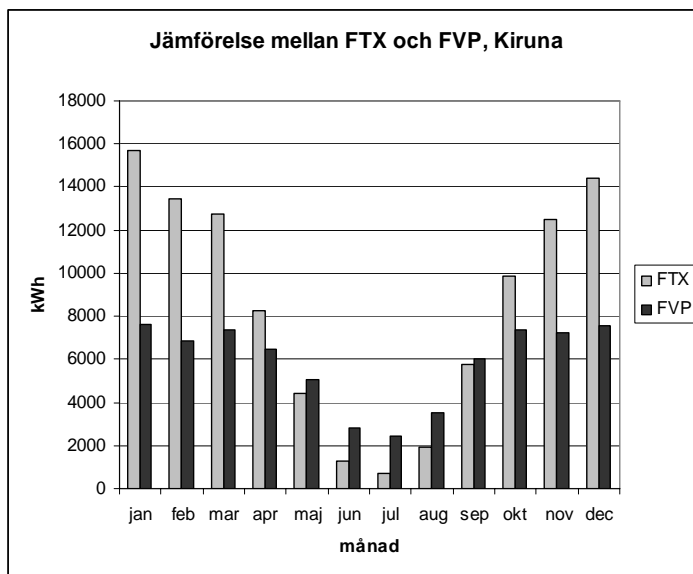
Den största energibesparing kan göras genom att ändra ventilationssystem från ett F-system till ett FVP eller FTX system. Detta gäller både för lamell- och punkthus.

F-systemet visar hur energianvändningen skulle se ut om värmepumpen inte var installerad. Denna parameter visar en tydlig trend med ökad energianvändning. Denna trend gäller inte för ett ventilationssystem med både från- och tilluft med återvinning av frånluften, FTX system. En användning av ett FTX system i Malmö och Stockholm kommer att öka energianvändningen medan samma system i Härnösand, Luleå och Kiruna kommer att minska energianvändningen med störst minskning i Kiruna.

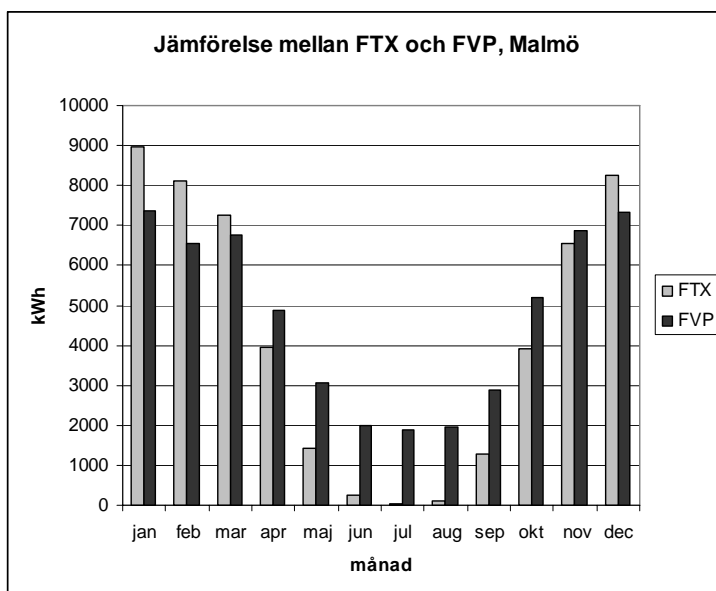
Vid simulering av FTX system har en konstant verkningsgrad använts. För FVP har ett konstant värde använts för COP. Figur 4.34 och 4.35 visar att det finns en energibesparingspotential för ventilationssystem på ca 52 kWh/m<sup>2</sup>, år för lamell- och punkthus byggda i Kiruna.

Figuren visar att ett FTX system kommer att innebära en högre energianvändning i Malmö och Stockholm över ett år. Detta beror på att ett FVP system bidrar till uppvärmningen av tappvarmvattnet under sommarhalvåret och att ett FTX system har två eldrivna fläktar.

Eftersom uppvärmningssäsongen är längre högre upp i landet blir energibesparingen med ett FTX system relativt stor under vinterhalvåret. Besparingen under vinterhalvåret är större än de besparingar som görs med ett FVP system under sommaren. Simuleringarna visar att nettoenergibesparingen blir större för ett FTX system norr om Stockholm. Figur 4.38 och 4.39 visar att återvinningen blir större i Kiruna i jämförelse med Malmö under vinterhalvåret för ett FTX system. FVP systemet är endast effektivare under maj-sep för Kiruna. I Malmö är ett FVP systemet effektivare mellan april- nov.



Figur 4.38: Jämförelse av värmeåtervinning för varje månad i Kiruna



Figur 4.39: Jämförelse av värmeåtervinning för varje månad i Malmö

#### 4.5.6 U-värde fönster

Besparingspotentialen är ungefär lika stor som för lamell- och punkthuset. Ett lägre U-värde hos fönstren har stor inverkan på energianvändningen.

#### 4.5.7 Nyckeltal

Det är ingen större skillnad i besparingspotentialen mellan de olika referenshusen när det gäller förändring av fönsterarean i förhållande till golvarean. Nyckeltalet har stör-

re inverkan på energianvändningen än luftläckage i byggnaden med undantag för Malmö.

### 4.5.8 Luftläckage

Luftläckaget har också en betydelsefull påverkan på den totala energianvändningen för bostäderna i förhållande till de föregående parametrarna. Parametern för luftläckage, L1 för Malmö avviker från de andra städerna med samma parameter vilket kan förklaras i att Malmö är mer utsatt för vind än de övriga städerna. (Strusoft, 2006).

### 4.5.9 U-värde väggar

Resultaten i figurerna visar att det är gynnsammare att förbättra U-värdet för väggar i punkthuset än för lamellhuset. Anledningen till att punkthuset kommer att påverkas mer av variationerna beror på att väggarna utgör en större andel av klimatskalet.

### 4.5.10 Våningsantal

Tak- och golvandelen minskar som procentandel av det totala klimatskalets yta då antalet våningar ökar. Effekten av detta blir att energianvändningen minskar med ökande våningsantal. Detta överensstämmer med teorin om att med en ökande storlek hos en kropp minskar omslutande arean i förhållande till volymen (byggteknik, 2006). Lamellhusets energianvändning påverkas mer positivt av en ökning av antalet våningar.

### 4.5.11 Form

Transmissionsförlusterna i byggnaden kommer att minska i den rektangulära formen eftersom det omslutande klimatskalet blir mindre. Simuleringen visar att skillnaderna i energianvändning är små. Detta gäller framförallt för lamellhuset. Punkthusets form i referensfallen är något mer irreguljär än lamellhuset vilket ger punkthuset en större besparingspotential i det fall byggnaden görs mer rektangulär. Detta beror på att antalet köldbryggor minskar med en rektangulär form vilket tidigare har nämnts samtidigt som omslutningsarean också minskar. . En simulering genomfördes för båda referenshusen utan inverkan av köldbryggorna. För lamellhuset blev den nya energianvändningen 46,9 kWh/m<sup>2</sup>, år. Detta motsvara 9,8 % av den totala energianvändningen för lamellhuset. För punkthuset blev motsvarande energianvändning utan köldbryggorna 47,1 vilket motsvarar 10,5 % av den totala energianvändningen i punkthuset.

### 4.5.12 U-värde tak

Resultaten från simuleringarna visar att en ökning av isolertjockleken medför en liten förbättring av den specifika energianvändningen för byggnaden. Skillnaderna blir större för lamellhuset än för punkthuset eftersom taket utgör en större del av klimatskalet i lamellhuset.

### 4.5.13 Krypgrund

Krypgrunden har i de flesta fall en större energibesparingspotential än variation av orienteringen. Undantag gäller för punkthuset där orientering har större besparingspotential. Detta beror på att krypgrunden är mindre i punkthuset än i lamellhuset vilket

innebär att det är mer energieffektivt att bygga ett lamellhus utan kryppgrund. Figur 4.36 visar att skillnaden i energianvändning mellan platta på mark och kryppgrund kommer vara ungefär konstant oavsett var lamellhuset byggs i Sverige. Det framkommer också av resultaten att det är bättre ur energisynpunkt att bygga med platta på mark.

#### 4.5.14 Orientering

Som framgår av figur 4.36 och 4.37 blir energianvändningen i stort sätt likvärdig oavsett vilken ort byggnaderna är placerade i. Synergieffekterna kring orientering kommer också att påverka energiförbrukningen i bostäderna men har inte analyserats eftersom detta har avgränsats från studien. Genom att öka fönsterarean mot söder kan gratisvärmern som tillförs med solen öka samtidigt som det ökar risken för övertemperaturer under sommarmånaderna.

För parametrarna OR1-OR4 går det inte att se en direkt trend i energianvändningen förutom att energianvändningen kommer att minska då byggnaderna är orienterade mot söder. Störst skillnad i energianvändning fås för punkthuset och anledning till detta är att punkthuset har större fönsterarea mot söder. Figurerna visar även att orienteringen inte har någon större inverkan på energianvändningen i allmänhet för andra orienteringar. OR4 har inte förändrat energianvändningen och detta beror på att lamellhuset har symmetriska fasader mot öster och väster och att i referensfallet är byggnaden orienterad mot öster vilket på grund av symmetriskäl bör ge samma skillnad i energianvändning för väster.

#### 4.5.15 Jämförelse med BBR krav

För att uppfylla kraven i BBR 2009 på ett genomsnittligt värmemotstånd hos klimatskalet har byggnaden kontrollerats för det värsta fallet. Simuleringarna visar att  $U_m$  för lamell- och punkthuset blir 0,41 respektive 0,48  $W/m^2K$ .

Tabell 4.13: Extremvärden för byggnader i olika klimatzoner, med F system

Ort	Lamell	Punkt	BBR krav
Stockholm	118,1	121,2	110
Härnösand	146,1	150,2	130
Kiruna	189,0	196,3	150

Som framgår ur tabell 4.13 klarar byggnaderna inte kraven från BBR 2009 med den sämsta parameterkombinationen.

En jämförelse har också genomförts för extremfall utan F system eftersom det finns stora energibesparingspotentialer vid användning av FVP eller FTX system. Dessa kommer därför inte väljas bort i första hand. Från tabell 4.14 framgår det att kraven inte uppfylls i Kiruna med den sämsta parameterkombinationen utan ett F system.

*Tabell 4.14: Extremvärden för byggnader i olika klimatzoner, utan F system*

Ort	Lamell	Punkt	BBR krav
Stockholm	88,6	91,3	110
Härnösand	109,5	113,9	130
Kiruna	149,2	156,9	150



## Fuktanalys

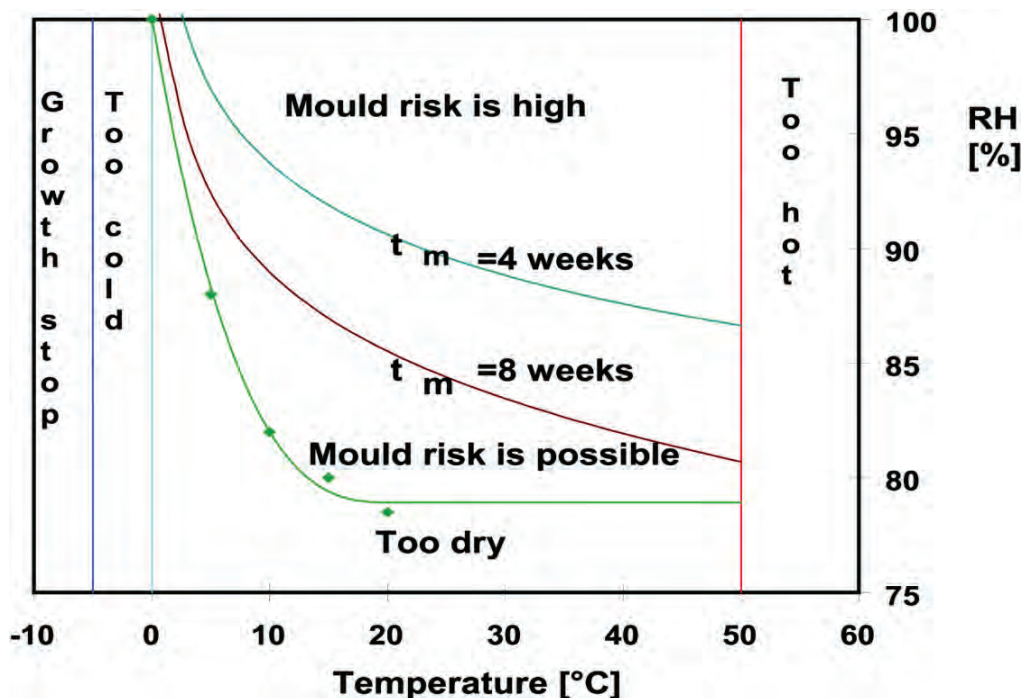
*En fuktanalys av konstruktionen genomförs i detta kapitel. Kraven som ställs på byggnaden beskrivs och beräkningar för grundkonstruktionen genomförs i programmet Crawl för tre orter belägna i tre olika klimatzoner. Den relativa fuktigheten i väggmodulerna beräknas i WUFI för att analysera risken för mögeltillväxt. En diskussion förs om hur referenshusen skall byggas för att bli fuktsäkra. Heat2 används för att beräkna temperaturer i konstruktionen som används för att bedöma om kritiska gränsvärden för RF överskrids.*

### 4.6 Teori

#### 4.6.1 Fuktkrav enligt BBR

Enligt BBR 2008 gäller följande regler vid nybyggnation.

- Byggnader bör konstrueras så att fukt inte leder till skador, elak lukt eller andra besvär som påverkar människors hälsa.
- För att förhindra att vatten på mark tränger in i en byggnad bör en lutning på minst 1:20 finnas inom 3 meters avstånd från byggnaden.
- Ett dränerande skikt invid och under en byggnad ska kunna släppa igenom och avleda tillförda vattenmängder, t.ex. från nederbörd.
- I de fall då byggnader utformas med kryppgrunder ska dessa kunna inspekteras.
- Väggar, fönster, dörrar och fasader ska konstrueras så att fukt inte kan nå fuktkänsliga byggnadsdelar.
- Det bör minst vara ett avstånd på 200 mm mellan markytan och underkant fuktkänsliga fasader för att bl.a. undvika regnstänk.
- Enligt BBR 2009 bör den relativa fuktigheten inte överstiga 75 %. Detta ger en viss säkerhetsmarginal för mögeltillväxt enligt figur 5.1. (Boverket, 2008)



Figur 5.1: Risk för mögeltillväxt hos furu och gran vid varierande temperaturer och relativ fuktighet. (Viitanen, 2007)

”Fuktkällor som bör beaktas under projektering är följande

- Nederbörd
- Luftfukt, både utom- och inomhus
- Vatten i och på mark (vätske- och ångfas)
- Byggfukt
- Vatten från installationer
- Fukt i samband med rengöring”

(Boverket, 2008 s 156)

Eftersom trä är ett mycket fukt känsligt material måste detta tas hänsyn till vid alla delar av konstruktionen. Fukt kan tillföras konstruktionen på olika sätt:

- ”Fuktransport i vätskefas
- Konvektion
- Diffusion
- Effusion och termodiffusion
- Kapillär stigning
- Byggfukt ”

(Nevander & Elmarsson, 1994)

#### 4.6.2 Inneluftventilerad krypgrund

För att en inneluftventilerad krypgrund ska vara fuktsäker krävs det att den uppfyller vissa krav med avseende på tekniska detaljer och utförande. En inneluftventilerad krypgrund kan ventileras på tre olika sätt.

1. **Undertryckssystem:** Luft sugas in från byggnaden ovanpå p.g.a. undertryck i kryprummet. För undertryckssystem är det viktigt att hålla tätt för att förhindra att luft tränger in i krypgrunden från grundbotten och grundmurarna. Om luft utifrån tränger in i krypgrunden leder detta till energiförluster och kalla golv.
2. **Balanserat system:** Denna typ av system använder sig av en tilluftsfläkt med filter samt en frånluftsfläkt.
3. **Övertryckssystem:** Systemet har en fläkt som är placerad i tilloppskanalen till kryprummet. En nackdel med detta system är att kondens kan bildas på grundmurarna och att luft som lagrats i kryprummet kan tryckas tillbaka upp i byggnaden. (Nevander & Elmarsson, 1994)

Följande avsnitt refererar till (Nevander & Elmarsson, 1994). Grundmurar och grundbotten bör ha ett värmemotstånd på minst  $2,4 \text{ m}^2\text{K/W}$  och för att undvika köldbryggor bör grundmurarna värmeisoleras på utsidan. Köldbryggor kan leda till en låg temperatur vilket även kan leda till kondensrisk vid t.ex. reglar. Värmeledningen genom grunden är störst vid ytterväggarna. Detta beror på att ytterväggen är ansluten till grunden med träreglar. Marken har en värmeisoleringsförmåga som isolerar i mitten av byggnaden. Detta innebär att ur energisynpunkt bör tjockast isolering placeras vid ytterkanten av grunden. Motsatsen gäller ur fuktsynpunkt. Den relativa fuktigheten i marken antas alltid vara 100 % och för att sänka RF i grunden till en acceptabel nivå, ca 75 % krävs en tillräckligt stor temperaturskillnad mellan isoleringsskikten. För att åstadkomma detta krävs ett tjockare lager isolering i mitten av byggnaden. I praktiken används samma isoleringstjocklek under hela grunden eftersom det är lätt att genomföra på plats. Plastfolien bör helst placeras ovanför isoleringen vilket ställer krav på att markisoleringen kan tåla 100 % relativ fuktighet. Plastfolien bör skarvas lufttät eller svetsas. Skarven bör också anslutas till ångspärren i väggen.

En varm krypgrund bör vara lika lufttät som det övriga klimatskalet. Markisoleringen bör läggas på ett dränerande skikt. Det är meningen att en inneluftventilerad krypgrund bör hållas varm och därför bör inte bottenbjälklaget isoleras mer än högst 50mm. Om bottenbjälklaget är välisolerat kommer kryprummet att bli kallare. Detta leder till att den relativa fuktigheten också blir högre då ånghalten är konstant, vilket är sämre ur fuktsynpunkt. Inomhusventilerade krypgrundar är också bra ur radonsynpunkt eftersom radon ventileras bort från grunden och tränger därmed inte in i bostaden. (Ibid.)

#### 4.6.3 Byggfukt

Det är viktigt att trämaterialiet som används i konstruktionen är tillräckligt torrt så att det inte finns risk för att byggfukt byggs in i konstruktionen. Det är också viktigt att kontrollera fukthalterna i byggmaterialet vid leverans. Då väggarna tillverkas i fabrik är det lättare att kontrollera fukthalterna i byggnadsmaterialet. Det är viktigt att förhindra ångtransport inifrån byggnaden till yttre kallare delarna av konstruktionen.

## 4.7 Resultat och analys

### 4.7.1 Simuleringar i Crawl

En analys av fuktillståndet i kryppgrunden har genomförts för att bedöma risken för att det relativa fuktighetstillståndet inte kommer att överskrida tillåtna värden enligt BBR. Vid simuleringen har ett antal förenklingar och antagande gjorts. Antagande har gjorts för värmeledningsförmågan i marken. Det är tänkt att byggnaden ska kunna byggas över hela Sverige därför har markens  $\lambda$ -värde antagits till  $3,0 \text{ W/m}^2$  vilket är det högsta  $\lambda$ -värdet för morän. Värmekapaciteten för jorden har antagits vara  $1 \text{ MJ/m}^3\text{K}$  (Nevander & Elmarsson, 1994). Programmet tar dock inte hänsyn till skillnader i lambda värden för marken då denna fryser. Höjden på kryppgrunden är 0,5 m. På nittioalet genomförde SIB en omfattande mätstudie på 1200 bostadshus i Sverige. Denna visade att genomsnittstemperaturen är  $22,2 \text{ }^\circ\text{C}$  inomhus under uppvärmningssäsongen för flerbostadshus (Boverket, 2007). Inomhustemperaturen har därför antagits till  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  i beräkningarna och därmed är även luftflödet ner i kryppgrunden  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Beräkningarna är genomförda med antagandet att ångspärrens ånggenomgångsmotstånd är  $2000 \cdot 10^3 \text{ s/m}$  och att omsättningen i kryppgrunden är  $2 \text{ omsh}^{-1}$ . Fuktillskottet till kryppgrunden har antagits till  $1 \text{ g/m}^3$ . Den konvektiva värmeövergångskoefficienten för påtvingad konvektion  $\alpha_{cv}$  har beräknats genom att anta att luft hastigheten  $u$  i kryppgrunden är  $0 \text{ m/s}$ . Värmeövergångskoefficienten  $\alpha_{cv}$  erhålls till  $6 \text{ W/m}^2\text{K}$  enligt ekvationen nedan.

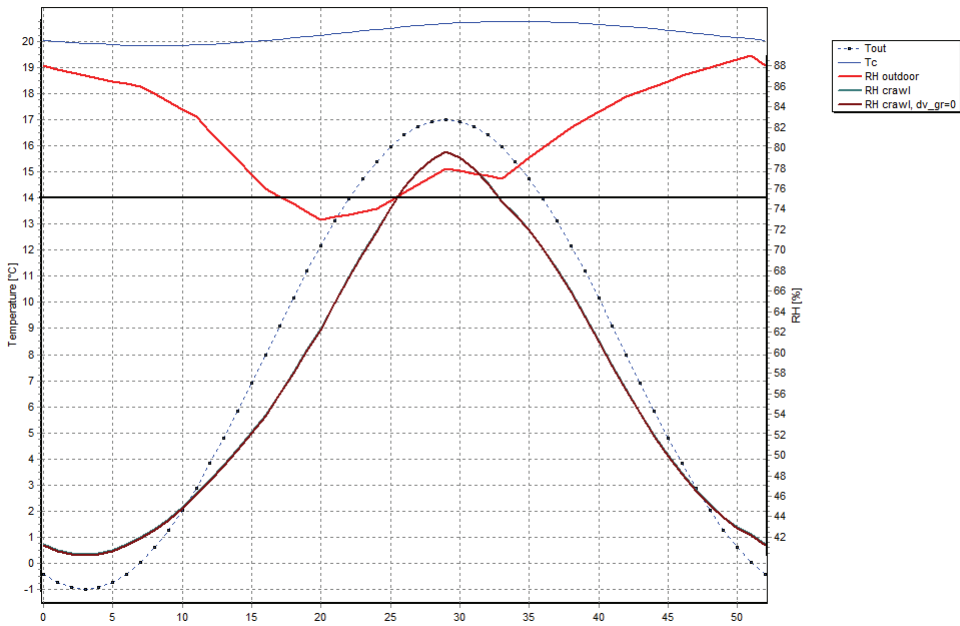
$$\alpha_{cv} = 6 + 4 \cdot u \quad u \leq 5 \text{ m/s}$$

Klimatfilerna innehåller ett medelvärde av den relativa fuktigheten för orterna för 14 veckor som är fördelade jämnt över hela året. Crawl räknar på en rektangulär grund vars dimensioner anges som indata. Eftersom referenshusen inte är helt rektangulära har en approximation på byggnadens form gjorts.

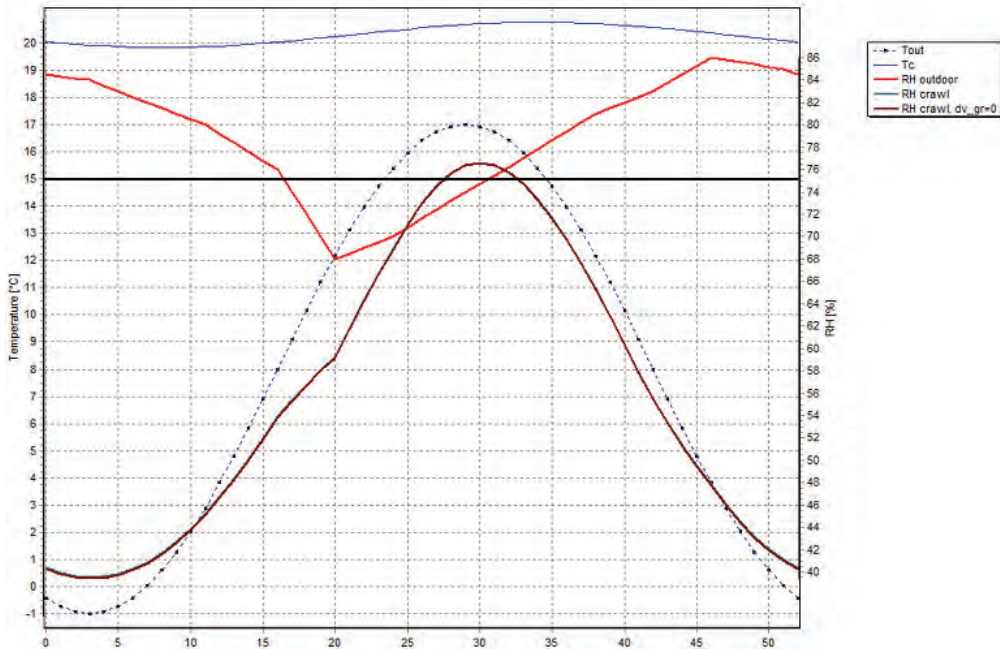
Programmet är tänkt att ge en grov bild av de rådande förhållandena i kryppgrunden. Noggrannare beräkningar kan genomföras om mer omfattande klimatfiler importerats, dock finns det en hel del parametrar som är osäkra före projekteringen och resultaten är mer tänkta att ge en fingervisning till om konstruktionen kan förbättras ur fuktsynpunkt. Indata till crawlberäkningar erhålls i bilaga 2.

### Punkthus

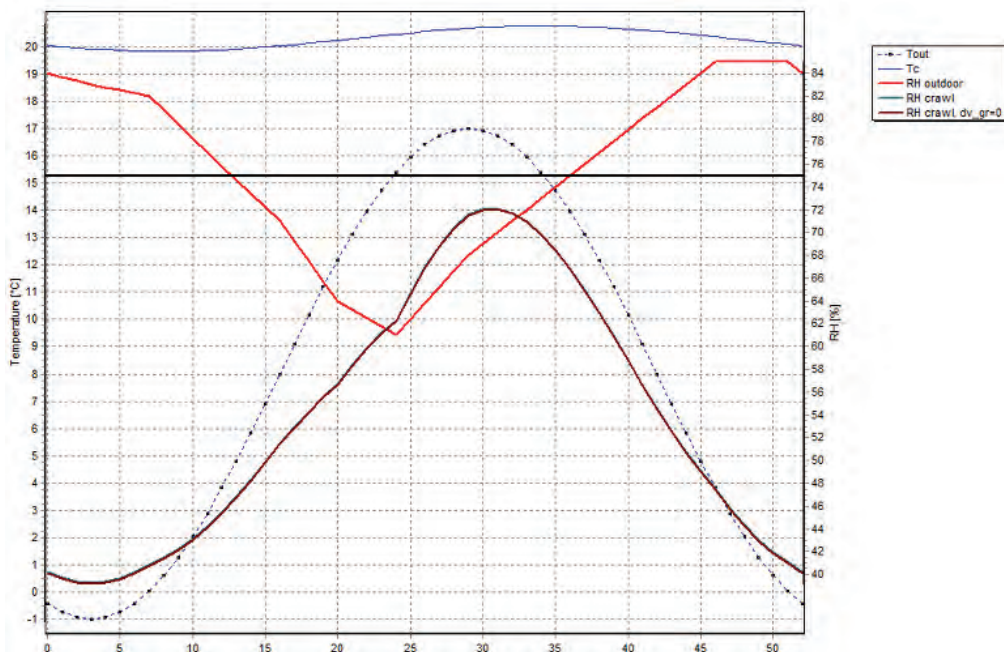
I figurerna 5.2 visas simuleringarna för en kryppgrund som tillhör punkthuset i olika orter.



Figur 5.2: Simulering av RF i krypgrund för punkthuset beläget i Malmö

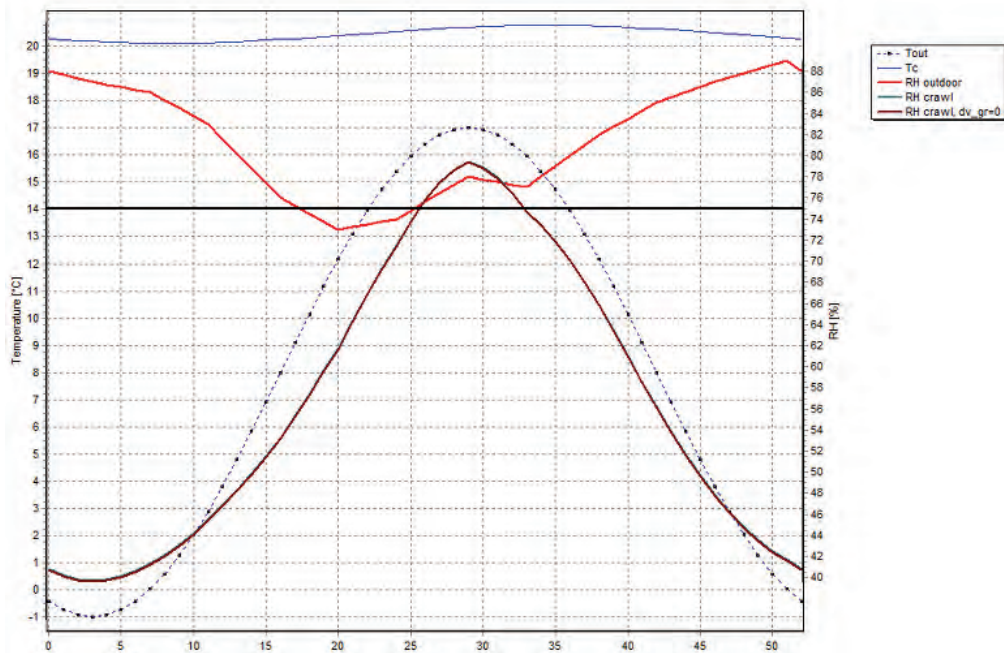


Figur 5.3: Simulering av RF i krypgrund för punkthuset beläget i Härnösand

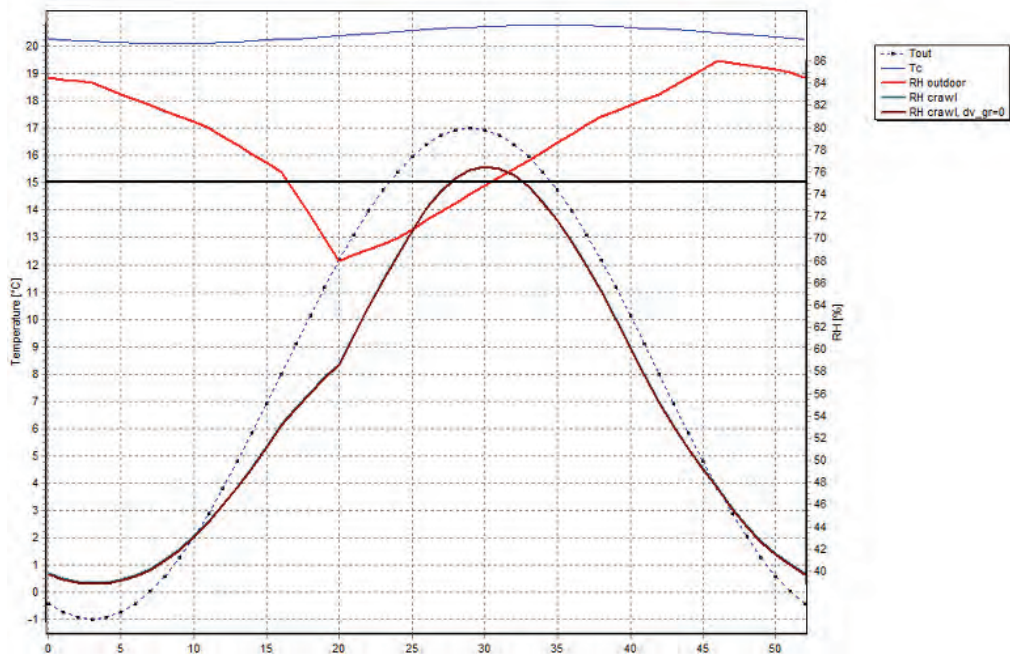


Figur 5.4: Simulering av RF i krypgrund för punkthuset beläget i Kiruna

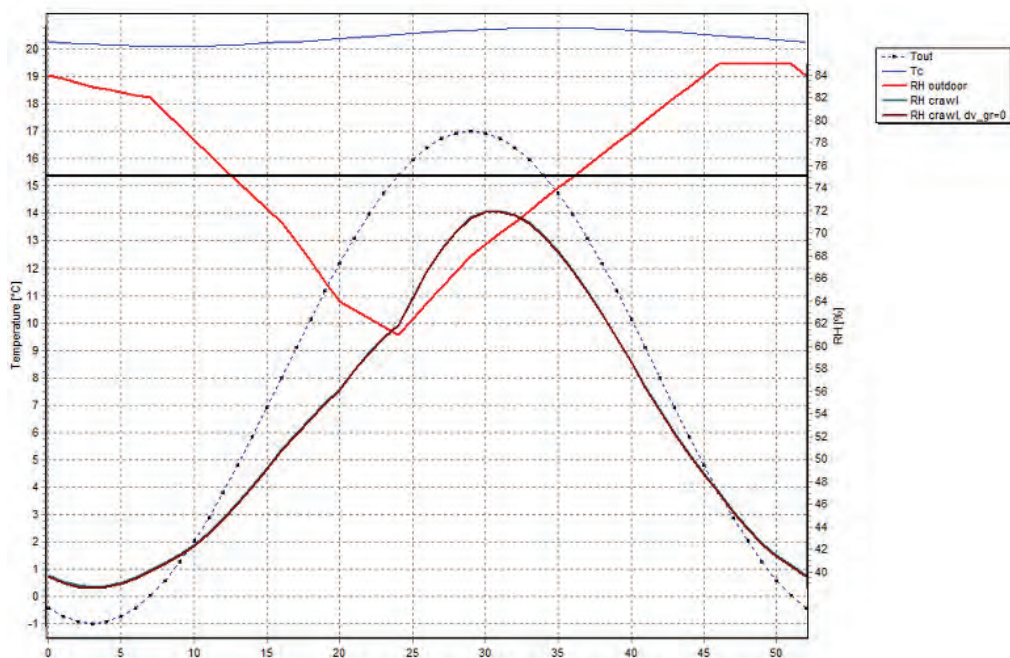
### Lamellhus



Figur 5.5: Simulering av RF i krypgrund för lamellhuset beläget i Malmö



Figur 5.6: Simulering av RF i krypgrund för lamellhuset beläget i Härnösand



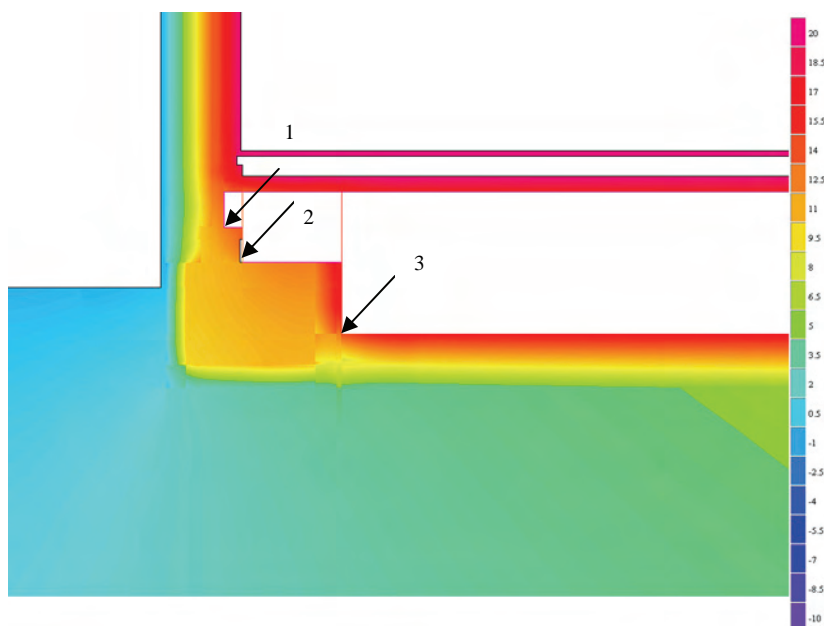
Figur 5.7: Simulering av RF i krypgrund för lamellhuset beläget i Kiruna

Från figur 5.2 framgår det att den relativa fuktigheten i krypgrunden för Malmö är högst av de undersökta orterna. Den maximala relativa fuktigheten blir ca 79 %. Detta

överstiger BBRs riktvärde under ca 5-6 veckor under sommarmånaderna. Figur 5.1 visar att en relativ fuktighet som understiger 80 % kan accepteras en kortare period.

#### 4.7.2 Beräkning av ytkondens på träregel i krypgrund

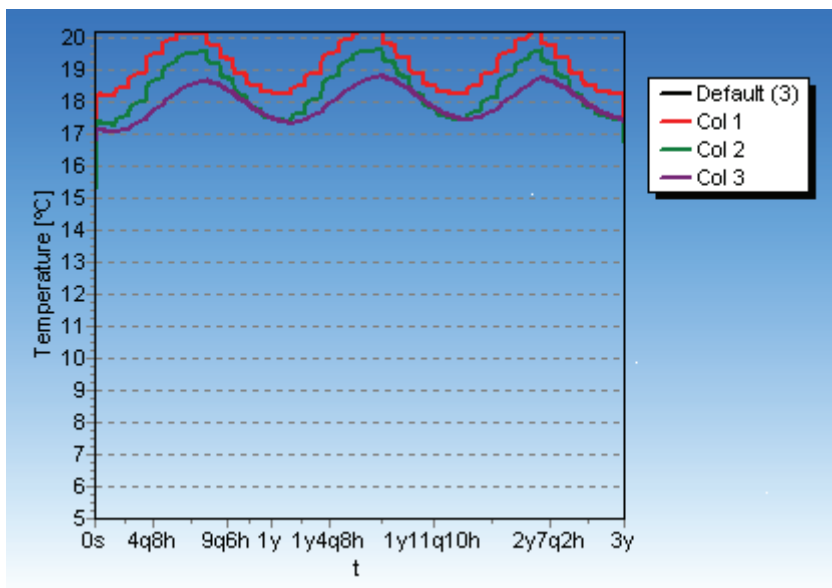
Vid lokal nedkylning av t.ex. regler vid köldbryggor kan det finnas risk för att temperaturen blir tillräckligt låg för att kondens kan bildas. För att bedöma risken för att kondens bildas under kritiska månader måste en kondensberäkning genomföras på krypgrunden. Genom att simulera krypgrunden under tre år med icke stationära beräkningar kan en uppskattning av temperaturen göras för att sedan beräkna kondensrisken. Ånghalten i luften erhålls från de tidigare genomförda Crawlsimuleringar och temperaturen för träreglarna simuleras i programmet HEAT2. För att kunna kontrollera om kondens bildas måste det värsta fallet granskas. Enligt Crawlberäkningarna har det visat sig att den relativa fuktigheten blir högst i Malmö. Simuleringar har gjorts med stegvis konstant medeltemperatur för varje månad. Klimatfiler för Sturup har använts för beräkningarna eftersom det ligger nära Malmö och kan antas ha samma klimat. Tidsperioden avslutas med en köldknäpp på -10 grader Celsius som varar i en vecka och för att erhålla det ogynnsammaste förhållandet för marken har  $\lambda$ -värdet antagits till 3W/mK. Eftersom marken är värmetrög kommer temperaturprofilen att variera över simuleringsperioden. Data för temperaturvariationerna har lagrats för tre punkter som kan tänkas bli kalla då de ligger vid köldbryggorna, se figur 5.8.



Figur 5.8 Mätpunkter för krypgrunden

Enligt figur 5.9 blir temperaturen i grunden lägst för punkt 3 under det sista året och därmed kontrolleras kondensrisken i grunden endast för denna punkt. Fukttillskottet till grunden har antagits vara  $1 \text{ g/m}^3$ .





Figur 5.9 Temperaturfördelning för utvalda punkter över en trårsperiod

Tabell 5.1: Kontroll av kondensrisk

Månad	RF <sub>kryp</sub> %	V <sub>s</sub> (T <sub>i</sub> ) + V <sub>FT</sub> [g/m <sup>3</sup> ]	T <sub>i</sub> [°C]	V <sub>s</sub> (T <sub>s</sub> ) [g/m <sup>3</sup> ]
feb (köldknäpp)	43	8,65	16,5	14,05
juli	79	15,04	18,5	15,83

Tabell 5.1 visar att ånghalten vid reglarna är mindre än mättnadsånghalten för de uppmätta temperaturerna i punkt 3 för februari och juli månad.  $8,65 \text{ g/m}^3 < 14,05 \text{ g/m}^3$  och  $15,04 \text{ g/m}^3 < 15,83 \text{ g/m}^3$ , det vill säga att enligt beräkningarna kommer det inte att bildas kondens i februari och juli vid den mest utsatta regeln. Tabellen visar också att marginalen till kondensbildning är liten i juli.

#### 4.7.3 Fuktteknisk bedömning av krypgrunden

Simuleringarna i Crawl visar att RF överstiger gränsvärdena under ca 5-6 veckor. Klimatdatan i Crawl är månadsmedelvärden för Malmö och detta medför att värdena för RF och temperatur kommer underskattas för vissa extrema fall.

Tillverkarna av konstruktionsvirke brukar ange kritiska fuktillstånd mellan 30-60%. I verkligheten kommer dessa värden inte kunna hållas i byggnader under ett år. Dessa värden är riktlinjer för att begränsa fuktrörelserna i virket. Risken för mögeltillväxt förekommer främst då temperaturerna på virket är höga. Då temperaturen på trä ligger kring 10-15 grader finns det liten risk för mögelskador då virket utsätts för kortvariga perioder med en hög relativ fuktighet. Det är också viktigt att ta hänsyn till uttorkningsmöjligheterna för byggmaterialet. Ett byggmaterial som utsätts för regn under en kort period kommer inte att skadas om det får möjlighet att torka ut i en omgivning med en RF som understiger 75 %. Om det blöta materialet byggs in i en konstruktion och angränsar till ett annat material kommer det ta lång tid för träet att torka ut och

risken ökar därmed för fuktskador. För att försäkra att fukt inte byggs in i konstruktionen är det viktigt att skydda byggnadsmaterialet från sågverk tills det att det byggs in i konstruktionen. (Nilsson, 2007) Det är viktigt att träet aldrig kommer i kontakt med stående vatten eftersom trä suger vatten kapillärt längs fiberriktningen. För att försäkra att konstruktionen utförs rätt är det viktigt att informera om fuktproblematiken för de som ska utföra arbetet.

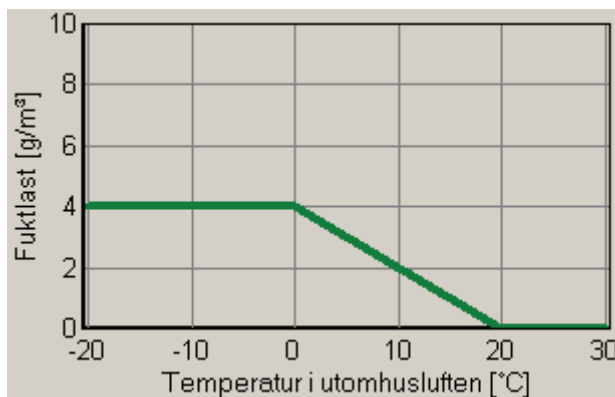
### 4.7.4 Simuleringar av relativ fuktighet i ytterväggar i WUFI

Simuleringarna är genomförda med klimatdata från Lund och genomförs för varje timme under en treårsperiod. Söderorienterade fasader har analyserats eftersom dessa är mest utsatta för slagregn i södra Sverige, se figur 5.10.



Figur 5.10: Karta på slagregnsriktning i olika orter i Sverige (Sandin, 1996)

Simuleringarna har genomförts med antagandet att fasaden är behandlad med en mörk kulör. Inomhustemperaturen antas vara 22 °C och fuktillskottet har antagits vara fördelat enligt figur 5.11



Figur 5.11: Antagande för fördelning av fuktillskottet tagen ur WUFI

Kontroll av fukthalterna genomförs endast på träreglarnas yttre del eftersom de är känsligast för fuktskador. Värdena som erhålls vid simulering av RF i träreglarna har jämförts med risken för mögelutveckling enligt figur 5.1.

Fyra olika väggtyper ingår i byggsystemet och har analyserats. Alla väggkonstruktionerna utgår från figur 3.1. Fasadmaterialet för YVA består av ett lager tjockputs och en mörk putsbärare. YVB har en fasad av liggande träpanel och YVC har en fasad av stående träpanel. YVD har en tegelskalmur.

Antagande för hur mycket byggfukt som finns i materialen har gjorts för att få en noggrannare bild över hur den relativa fuktigheten kommer att se ut över en treårsperiod. Värdena finns inbyggda i WUFI, se tabell 5.2.

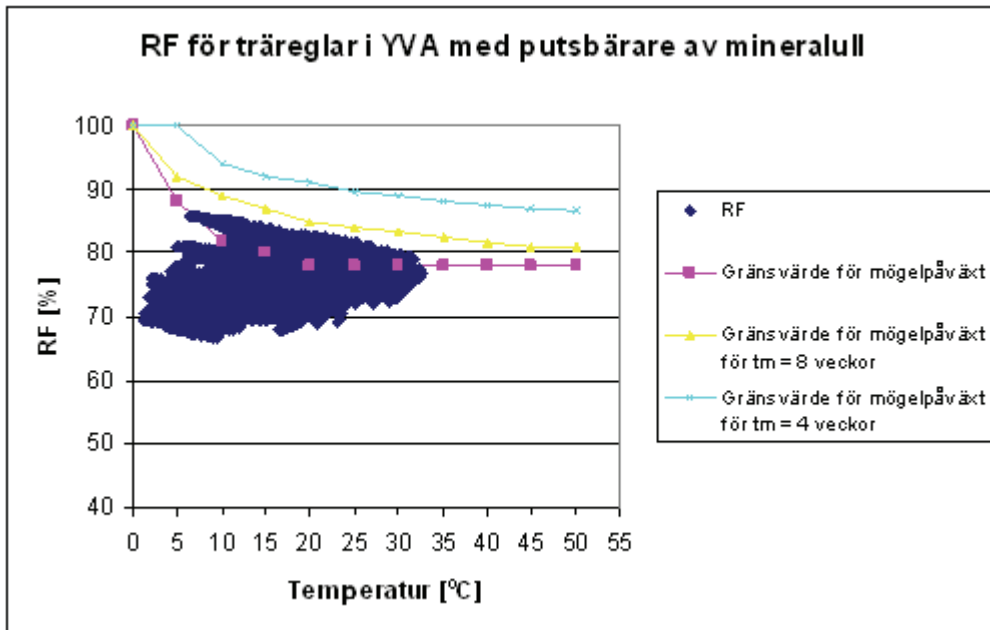
Tabell 5.2: Antagen byggfuktmängd för olika materialskikt

Materialsikt	Tjocklek [m]	Vatteninnehåll [kg/m <sup>2</sup> ]
Tjockputs	0,02	10
Putsbärare Mineralull	0,095	0
Utvändig gipsskiva	0,009	20
Mineralull/Reglar (0,04 W/mK)	0,195	0
Gipsskiva invändigt	0,013	20
PE-folie	0,0002	0
Mineralull/Reglar (0,04 W/mK)	0,095	0
Invändig gipsskiva	0,013	20

### YVA Putsad fasad

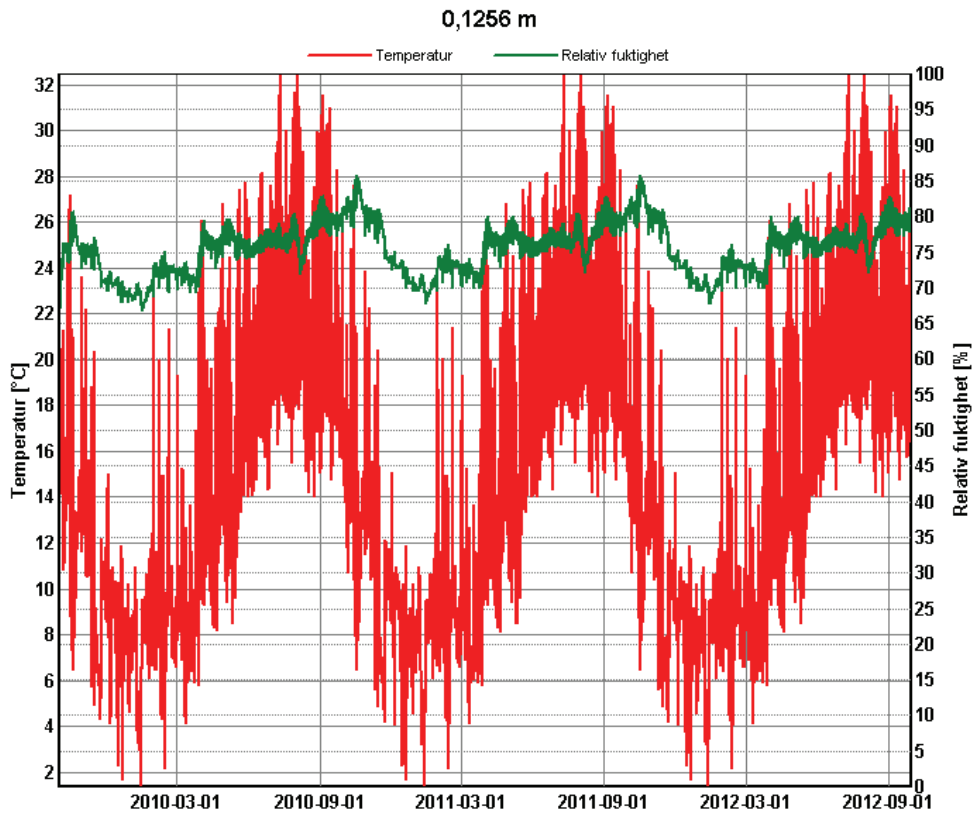
I projektet analyseras möjligheten att applicera tjockputs utan mellanliggande luftspalt med putsbärare direkt på bakomliggande träregelkonstruktion. YVA simuleras då putsbäraren består av mineralull eller extruderad cellplast. Putsskiktet är 20mm tjockt. Byggfukten i materialet torkar därmed ut snabbt. När det regnar kommer putsskiktet att suga vatten tills det är vattenmättat, därefter bildas en vattenfilm på fasadytan. När det har slutat regna diffunderar fukt ut genom putsen och konstruktionen torkar ut (Nevander & Elmarsson, 1994).

Figur 5.12 visar den relativa fuktigheten för den putsade fasaden då mineralull används som putsbärare.



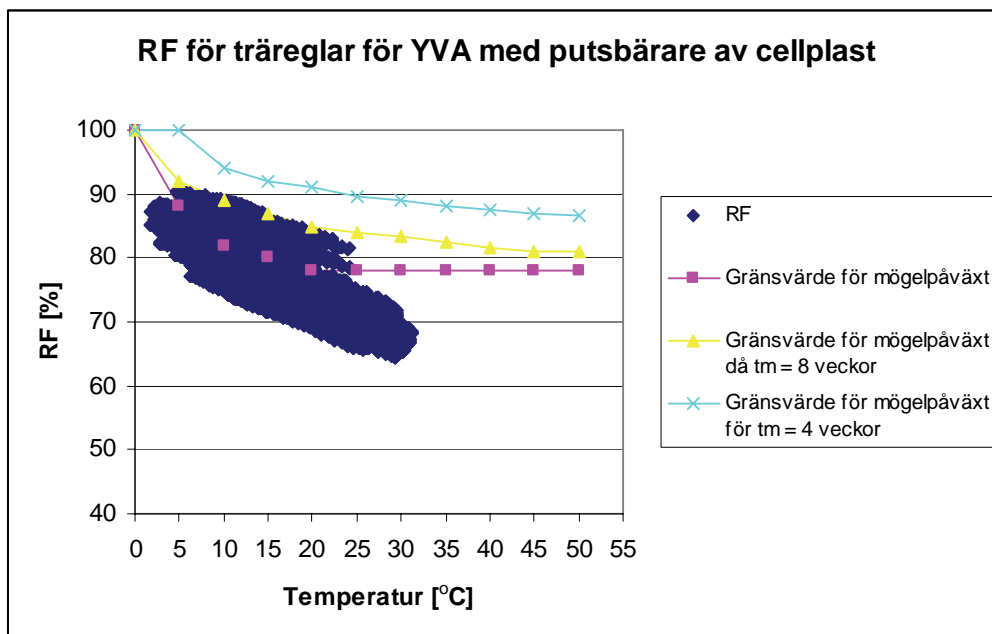
Figur 5.12: Relativa fuktigheten vid olika temperaturer över en treårsperiod för YVA med putsbärare av mineralull

Figuren ovan visar att RF överstiger gränsen för risk till mögeltillväxt under vissa tider på året. Figur 5.13 visar hur temperatur och relativ fuktighet varierar under en treårsperiod i utkanten på de bärande träreglarna och som figuren antyder överstiger den relativa fuktigheten 75 % periodvis. Figur 5.13 visar även att temperaturen är hög då RF överstiger gränsvärdet.



Figur 5.13: Temperatur och RF fördelning över en treårsperiod

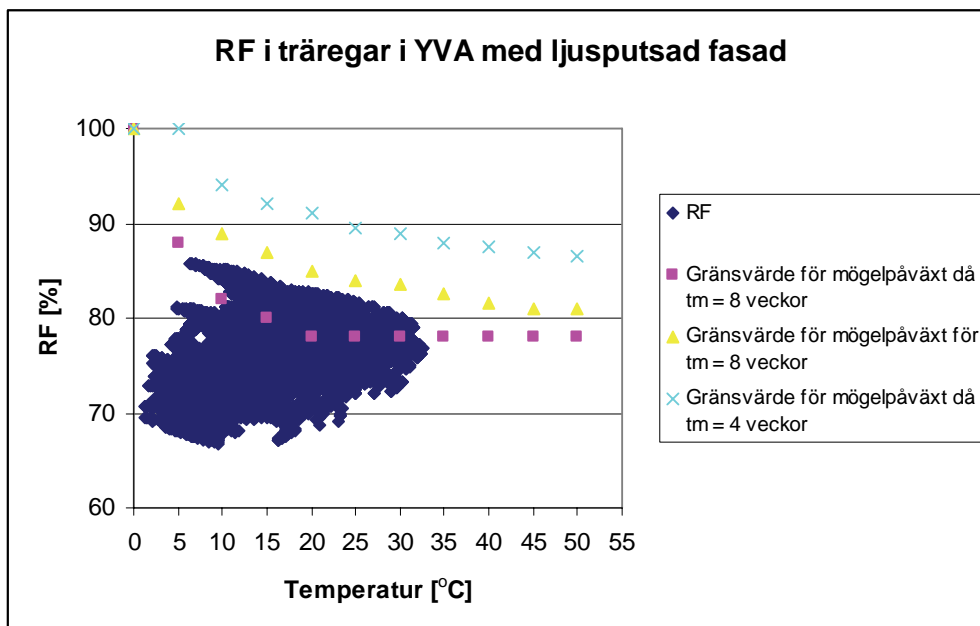
Figur 5.14 visar resultaten för simuleringarna för YVA med putsbärare bestående av cellplast.



Figur 5.14: Relativa fuktigheten vid olika temperaturer för treårsperiod för YVA med putsbärare av extruderad cellplast

Som framgår ur figuren finns det risk för mögeltillväxt eftersom höga RF värden varar i över åtta veckor. En noggrannare analys av informationen visar att RF är högst under de första fem månaderna, därefter sjunker RF och stabiliserar i ett intervall mellan 70 och 80 %. Detta beror på att det tar tid för den inbyggda byggfukten att försvinna och för materialet att komma i balans med rådande fuktförhållanden. Det kan dock fortfarande bidra till mögeltillväxt.

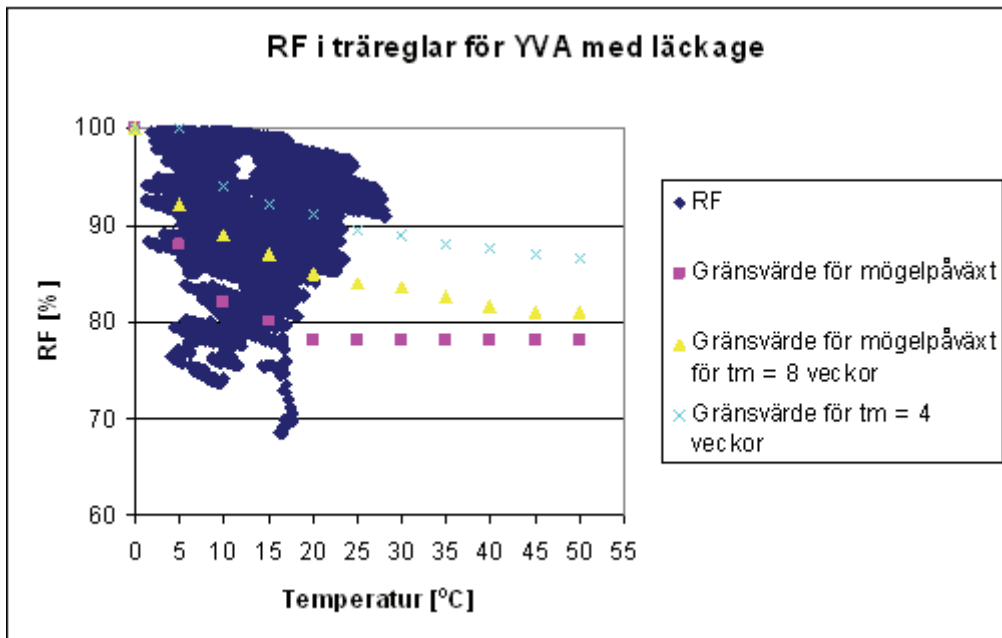
Eftersom byggnadernas kulör kommer variera analyseras hur fuktförhållandena påverkas av kulören. Under perioder då ytemperaturen är hög vandrar fukt inåt mot den kallare konstruktionen. Höga temperaturer ger också större temperaturrelateringar vilket kan bidra till att sprickor uppstår i putsen. Figur 5.15 visar RF för träreglarna för en ljusputsad fasad.



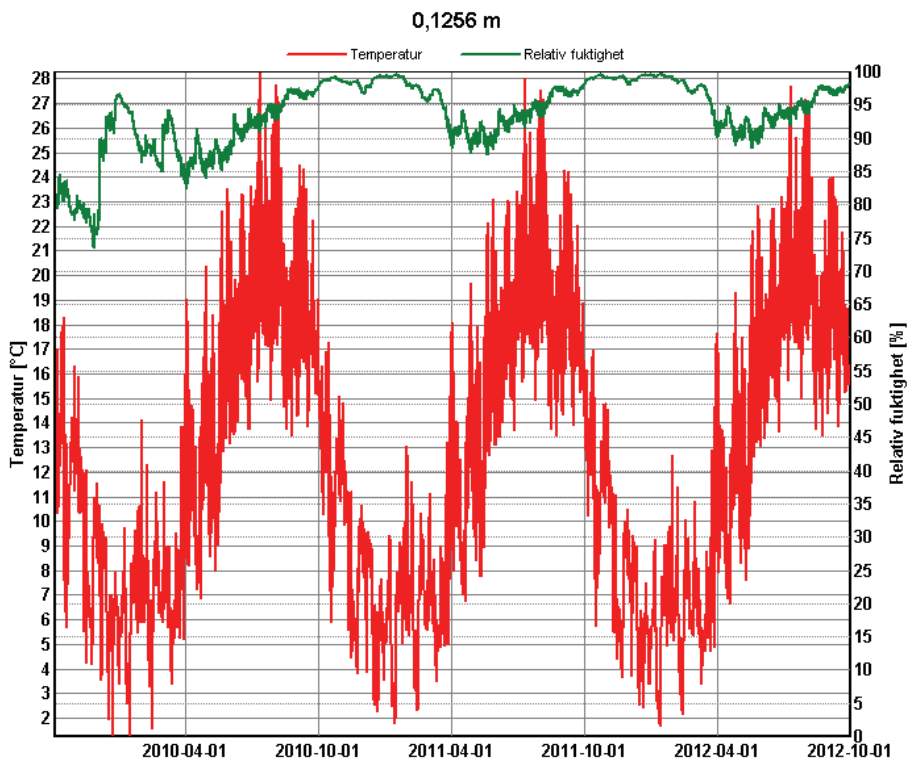
Figur 5.15: RF över en treårsperiod för YVA med ljus fasadkulör

Figur 5.15 visar att skillnaderna i RF blir små då byggnadens kulör varieras.

Sprickor och andra genomföringar i den putsade fasaden kan ge problem eftersom vatten kan tränga in i konstruktionen. Vatten i konstruktionen tar lång tid att torka ut eftersom det inte finns någon ventilationsspalt som ger möjlighet för detta. Risken för att vatten tränger in genom sprickor är störst på slagregnssidan. Effekterna av vatteninträng genom sprickor har simulerats. Figur 5.16 visar hur RF är fördelad och de höga RF värdena kommer att orsaka mögeltillväxt på träreglarna. Figur 5.17 visar hur RF fördelar sig över tre år då vatteninträngning sker genom att 1 % av slagregnet tränger in i konstruktionen.



Figur 5.16: Relativ fuktighet i YVA med simulerat vattenintrång vid slagregn.



Figur 5.17: Fördelning för temperatur och relativ fuktighet i träregel under en tre-årsperiod med läckage som motsvarar 1 % av slagregnet som når fasaden.

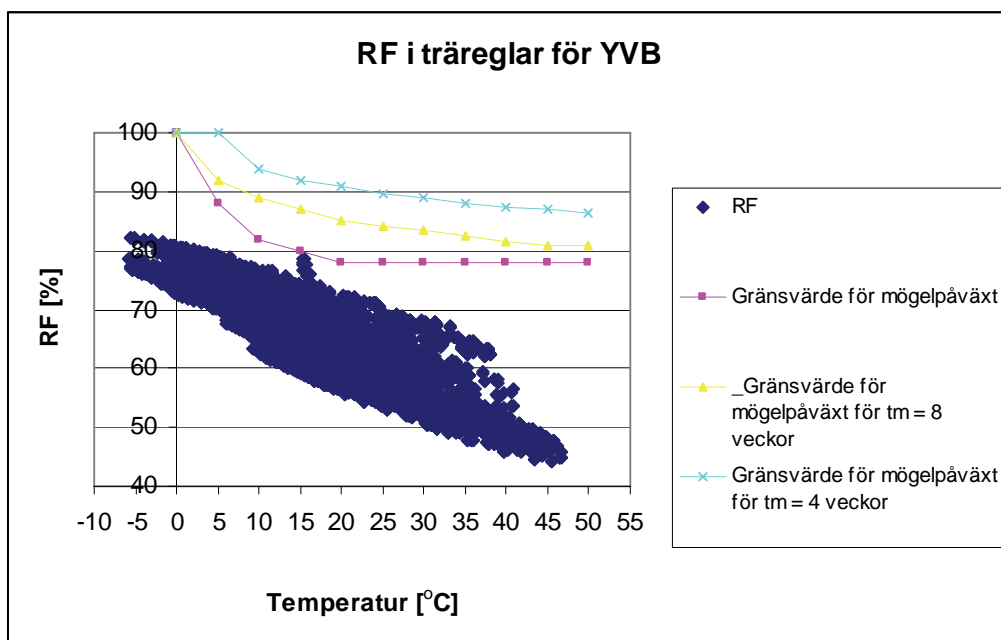


Från figur 5.17 framgår det tydligt att vattnet som läcker in i konstruktionen inte hinna torka ut vilket med tiden ökar den relativa fuktigheten i konstruktionen. Detta kommer att orsaka fuktskador i konstruktionen. SP avråder att bygga med putsade enstegstätade träregelkonstruktioner eftersom det finns risk att vatten tränger in kring anslutningar kring fönster och dörrar. Vattnet som har trängt in i konstruktionen har inga möjligheter att torka ut. YVA bör därför genomföras med en luftspalt så att fukten som eventuellt tränger in kan dräneras bort. (Jansson, 2007)

### YVB Stående träpanel

Klimatskalet på YVB består av stående träpanel. Samma antagande om byggfukt är gjorda för YVB som för YVA med skillnaden att träpanelen innehåller 40 kg/m<sup>2</sup> byggfukt. Panelen fäst till fasaden på horisontella regler som förhindrar luftutbyte i höjded (Nevander & Elmarsson, 1994). Omsättningen i luftspalten har därför antagits till 0,3 oms/h (Olsson, 2009). Figur 5.18 visar den relativa fuktigheten i träreglarna över en treårsperiod.

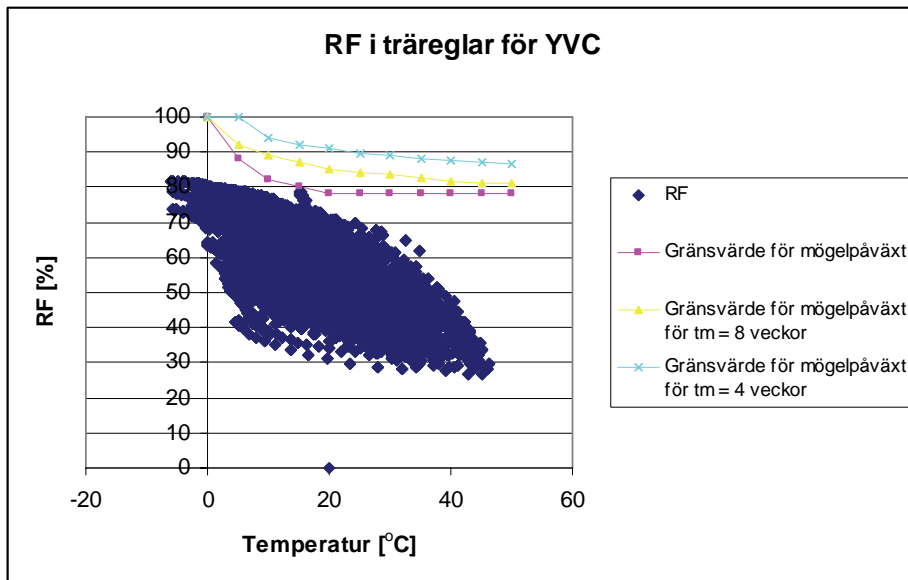
Ur figur 5.18 framgår det att det inte finns någon risk för mögeltillväxt på utsidan av reglarna eftersom RF i reglarna alltid ligger under gränsvärdena för mögeltillväxt.



Figur 5.18: RF för yttre delen av träreglarna i YVB

### YVC Liggande träpanel

Klimatskalet för YVC består av liggande träpanel. Panelen fäst i stående regler, detta ger goda möjligheter för luftspalten att ventileras genom vertikala luftrörelser. Luftomsättningen för liggande träpanel blir därmed högre än för stående panel. Luftomsättningen i luftspalten har antagits till 25 oms/h. (Olsson, 2009). RF för utsidan av träreglarna i konstruktionen visas i figur 5.19.

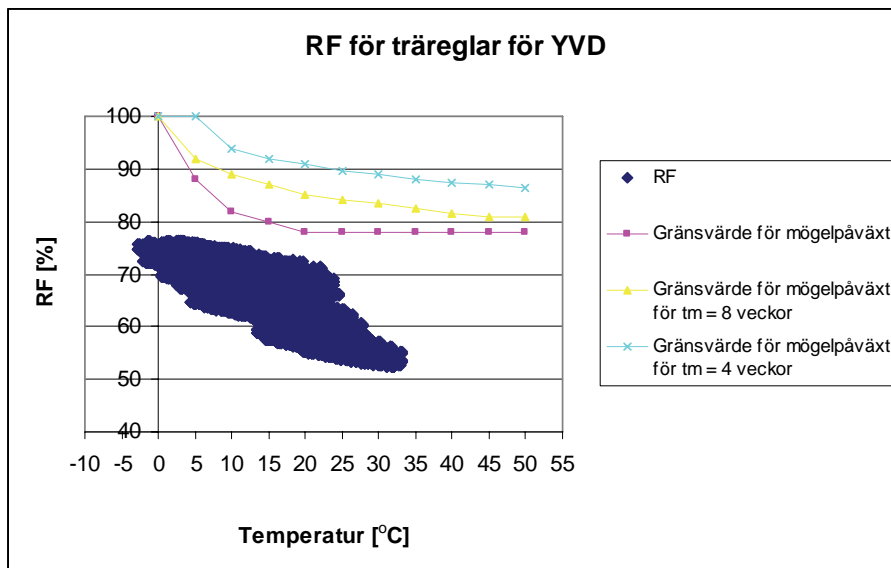


Figur 5.19: Relativa fuktigheten i yttre delen av träreglar i YVC

Resultaten visar att konstruktionen fungerar bra ur fuktsynpunkt, det förekommer ingen risk för mögeltillväxt.

### YVD Tegelfasad

Klimatskalet för YVB består av en skalmur i tegel. Då slagregn träffar fasaden suger teglet upp vatten. Vattnet i teglet torkar sedan ut under torra perioder. Då stora mängder slagregn träffar fasaden bildas en vattenfilm på fasaden vilket kan föra in vatten i konstruktionen genom spricker. Vattnet som har trängt in i konstruktionen kan sedan dräneras genom luftspalten.



Figur 5.20: RF fördelning för YVD under en treårsperiod.

Resultaten från simuleringarna visar att konstruktionen fungerar bra under de rådande förhållandena, se figur 5.20.



## 5 Slutsatser och diskussion

*I detta kapitel dras slutsatser från resultaten och förs kring dessa*

### 5.1 Energi

Resultaten visar att de fyra parametrar som har störst inverkan på energianvändningen för byggsystemet är:

- Ort
- Ventilationssystem
- U-värde hos fönster
- Nyckeltal för fönsterarea/Atemp

Följande parametrar har också en relativt stor inverkan på energianvändningen dock inte lika stor som föregående.

- Luftläckaget (bör begränsas mer för byggnader i Malmö. )
- U-värde hos väggar
- Våningsantal

Följande parametrar har liten påverkan på energianvändningen.

- Form
- U-värde tak
- Krypgrund
- Orientering

Detta gäller både för lamell- och punkthuset som är relativt lika i storlek. Överlag för de olika parametrarna är skillnaden i energianvändning mellan Malmö och Stockholm relativt liten. Detta beror på att årsmedeltemperaturen för dessa städer endast skiljer sig åt med ca 1,2 grader.

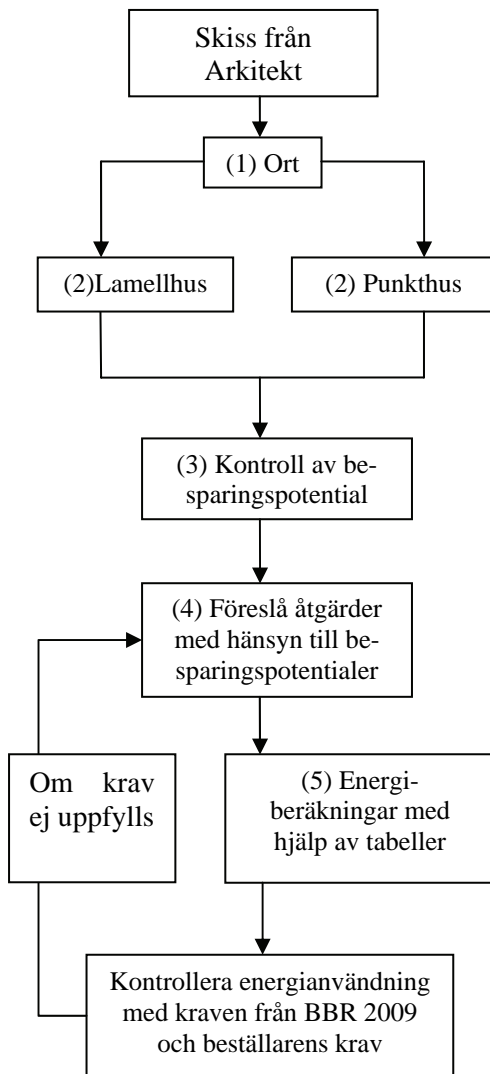
Med de sämsta parameterkombinationerna kommer byggsystemet inte att klara kraven från BBR 2009. Genom att endast byta ventilationssystem från ett F system till antingen FVP eller FTX klarar de flesta fallen kraven, d.v.s. det krävs värmeåtervinning på ventilationssystemet. Antaganden som gjorts ger en viss felmarginal i beräkningarna och en parameterkombination som ger en säkerhetsmarginal till kraven bör därför användas. Den sämsta kombinationen av U-värde för klimatskalet har också kontrollerats och denna kombination klarar kraven som ställs av Boverket.

Resultaten visar att energianvändningen minskar då ett FTX system används i regioner norr om Stockholm och att FVP system är bättre ju längre söderut byggnaden är belägen. Eftersom verkningsgraden för pumpen har antagits vara konstant kommer detta bidra till osäkerhet i resultaten eftersom verkningsgraden egentligen är beroende på temperaturen. Även COP för värmepumpen varierar och kommer därmed också att påverka resultaten.

### **Metod för användning av resultat**

För att göra resultaten användbara för beställare och projektörer är all data för simuleringarna sammanställda i tabellerna i bilaga 1. Det är tänkt att metoden ska fungera som ett hjälpmedel vid projektering och att bredda byggnadsprojektörernas och arkitekternas kompetens inom energiområdet. Tabellerna visar bland annat vilken inverkan de olika parametrarna har på energianvändningen och genom att summera skillnaden i energianvändningen från referensfallen för olika parameterförändringar erhålls ett positivt eller negativt värde. Ett positivt värde innebär att energianvändningen ökar och ett negativt att den minskar. Skillnaden adderas till referensfallets energianvändning för orten. Meningen är också att tabellerna ska kunna användas för andra orter med ungefär samma klimat som de studerade orterna.

Följande arbetsgång har tagits fram för att skapa en möjlighet att snabbt bilda en uppfattning om vilken energianvändning som fås med valda parameterförändringar. Figur 6.1 illustrerar arbetsgången.



## Arbetsgång:

1. Val av ort och vilken klimatzon orten ligger i enligt BBR 2009. Det referensfall som mest överensstämmer med valet av ort väljs. En energianvändning för orten erhålls från bilaga 1.
2. Bestäm byggnadens form.
3. Kontrollera besparingspotentialer för det referensfall som valts, se figur 4.34 och 4.35.
4. Utifrån besparingspotentialerna väljs egna parameterkombinationer.
5. Från tabellerna i bilaga 1 erhålls förändringen av energianvändning för valda parameterkombinationer. Dessa värden summeras och adderas till energianvändningen som fås i punkt 1.
6. Slutligen jämförs energianvändningen för byggnaden med kraven som ställs i BBR.

Figur 6.1: Arbetsgång för energiberäkning

Figur 6.1 beskriver hur processen kan tänkas se ut, där metoden för att beräkna energianvändningen används tillsammans med arkitekter, beställare och andra involverade personer i projekten. Processen är speciellt användbar om arkitekten inte har någon större inblick i vilka faktorer det är som påverkar energianvändningen och utifrån skisser som används i ett tidigt skede i byggprocessen går det att uppskatta byggnadens energianvändning. Om beställaren inte är nöjd med energianvändningen eller om kraven inte uppfylls upprepas processen tills målen är uppfyllda.

### Exempel för ett lamellhus i Malmö:

Energianvändning för referensfall: 52,0 kWh/m<sup>2</sup>, år

Följande parametrar varierar från referensfallet:

Fönster med U-värde= 1,0 (W/m<sup>2</sup> K)

Nyckeltal= 0,20

Luftläckage= 0,8 (l/s, m<sup>2</sup>)

Detta ger summan  $-2,6+1,7+2,9=2,0$ . Siffrorna är tagna från Malmötabellen för lamellhus i bilaga 1. Totalt bidrar dessa förändringar till att energianvändningen kommer öka med 2,0 kWh/m<sup>2</sup>, år utifrån referensfallet. Energianvändningen blir därmed 54,0 kWh/m<sup>2</sup>, år efter parameterförändringarna för ett lamellhus placerat i Malmö med ovanstående parameterförändringar.

### Metodens styrkor och brister

Metoden som tas fram i studien ger ett snabbt och enkelt sätt att uppskatta energianvändning i ett tidigt skede i byggprocessen. Personer som använder sig av tabellerna behöver inte vara insatta i hur beräkningsprogram fungerar. Byggsystemet kan anpassas för nybyggnationer i hela Sverige med parameterkombinationer som ger den bästa och effektivaste utnyttjandet för enskilda projekt.

En noggrann energiberäkning måste genomföras i slutskedet för att kontrollera hur stor energianvändningen blir. Då brukarvanorna skiljer sig från medelvärdet som används för referensfallen blir noggrannheten i beräkningarna sämre. Inga byggnader har än så länge byggts med byggsystemet. Därför går det inte att kontrollera hur de uppskattade värdena överensstämmer med verkligheten. För att styrka resultaten för energianvändningen som fås från VIP+ borde en jämförelse med verkliga värden genomföras. Metoden fungerar bäst då formen på byggnaderna efterliknar referensbyggnaderna. Vissa synergieffekter kommer att ha större inverkan än andra t.ex. fönsterearea och fönster U-värde. Dessa effekter har inte analyserats.

## 5.2 Fukt

Simuleringarna i Crawl visar att den relativa fuktigheten i kryppgrunden minskar ju högre upp i Sverige byggnaden är belägen. Eftersom Crawl använder månadsmedelvärden för relativ fuktighet kommer resultaten från simuleringarna endast att ge en grov uppskattning av fuktförhållandena.

Kondensberäkningarna visar att ånghalten ligger närmast gränsen för kondensbildning under sommaren och visar att marginalerna till kondensbildning är små  $<1\text{g/m}^3$ . Om fuktillskottet är högre än det antagna värdet eller om det förekommer en månad med temperaturer och ånghalter som avviker stort från medelvärdet för juli kan det finnas risk för kondensbildning. Beräkningen ger endast risken för kondens i kryppgrunden, det finns fortfarande risk att den relativa fuktigheten överstiger gränsvärdena för mögeltillväxt under en viss period i utsatta regler. Om denna period är tillräckligt lång kommer mögel att angripa reglarna i kryppgrunden. Det kan även finnas risk för kondens på reglarna i kryppgrunden för byggnader i Kiruna eftersom reglarna är kalla-



re högre upp i landet. Svårigheten att bedöma fuktsäkerheten i krypgrunden medför att det kan finnas risker med att använda denna typ konstruktion.

Simuleringarna visar att en luftspalt är nödvändig för att förhindra mögeltillväxt i ytterväggsmodulerna. Det finns risk för mögelangrepp i träreglarnas ytterdel för den putsade fasaden eftersom den inte har en luftspalt. Vatten som läcker in i konstruktionen ventileras bort i ytterväggskonstruktionerna med luftspalt men vatten som tränger in i konstruktion i den putsade ytterväggen stannar där och den relativa fuktigheten ökar i konstruktionen med tiden. Simuleringarna för ytterväggen med stående träpanel fasad och tegelskalmursfasaden visar att dessa konstruktionslösningar fungerar bra och inte kommer att ge mögelskador. Tegelfasaden klarar kraven men det finns skadefall där skalmurskonstruktioner har fått fuktskador, vilket ofta beror på utförandefel i form av brukstuggor som leder fukt till bakomliggande träkonstruktioner. En längre simuleringsperiod och extremvärden för klimatdata hade ökat säkerheten i resultaten.

### **5.3 Fukt och energi**

En helhetsbild av byggnadens egenskaper bör tas fram genom att kontrollera både energi-, fukt- och klimatförhållandena. I studien har fokus lagts på de två förstnämnda faktorerna. Höga fukthalter i till exempel ytterväggar leder till att värmeflödet genom väggarna ökar och på så vis ökar energianvändningen och risken för fuktskador. Otäta byggnader ökar luftläckaget som påverkar energianvändningen och leder till lokal nedkyllning och kan öka risken för fuktskador. Ett ökat luftläckage påverkar även klimatet i byggnaden och kan orsaka drag och andra olägenheter som minskar komforten. Energianvändningen, fuktförhållandena och inomhusklimatet kommer alla tre att påverkas positivt genom att till exempel minska antalet köldbryggor och luftläckage. Detta visar att parametrarna påverkar varandra vilket bör tas hänsyn till vid projektering.



## 6 Framtida forskning

*Förslag på fortsatta studier och framtida forskning baserad på erfarenheter under arbetets gång föreslås i detta kapitel.*

Denna studie har utgått från ett byggsystem som befinner sig i utvecklingsskedet vilket bidragit till att alla simuleringar har gjorts med ett antal antaganden av författarna. För att skapa en mer tillförlitlig och precis energianvändning skulle det vara intressant att vid en användning av byggsystemet göra en uppföljning av energianvändningen för att sedan kontrollera hur bra denna studie stämmer överens med uppmätta värdena på energianvändningen. Det skulle också vara intressant att simulera fler kombinationer av parametrar för att kontrollera hur stor inverkan olika synergieffekter påverkar energianvändningen, speciellt synergieffekterna mellan fönsterarea i förhållande till golvarean och U-värdet för fönster.

I studien har det inte funnits tillräckligt med information för att kunna göra livscykelberäkningar kopplade till energianvändningen. Kostnadsberäkningar av denna typ hade gett beställaren ett bättre underlag för val av parametrar. Eftersom alla moduler inte finns i nuläget bör de kommande modulerna också analyseras ur fuktsynpunkt och kopplas till energianvändningen. För att försäkra om att inomhusklimatet blir bra bör en studie kring detta genomföras.

Utifrån rapporten hade ett par olika system även kunnat tas fram som är optimerade ur energisynpunkt. En fortsatt studie hade kunnat utveckla och analysera dessa ur ett byggnadsmekaniskt perspektiv där kontroller görs för att säkerställa att systemen klarar de laster byggnaderna kommer att utsättas för.



# Referenser

## Tryckta källor

Blomberg, T. (2000): *HEAT2, Manual with brief theory and examples*. Version 5.0, Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics, Department of Building Physics, Lund University, Building Technology Group, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge

Boverket (1994): *Boverkets Byggregler -94, (föreskrifter och allmänna råd), BBR 94*, Karlskrona

Boverket (2007): *Indata för energiberäkningar i kontor och småhus, En sammanställning av brukarrelaterad indata för elanvändning, personvärme och tappvarmvatten*, Upplaga 1, ISBN 978-91-8575-65-5, Karlskrona

Boverket (2008a): *Regelsamling för byggande, BBR 2008*. Upplaga: 1. Karlskrona

Boverkets författningssamling, (2008): 2008:20 BBR 2009, Karlskrona

Boverket (2009a): *Regelsamling för byggande, BBR 2008. Supplement februari 2009, 9 Energihushållning*. Upplaga: 1. ISSN: 1654-8817. Karlskrona

Boverket (2008b): *Industriellt bostadsbyggande - koncept & processer*, upplaga 1, ISBN 978-91-85751-99-0, Karlskrona

Björk F. et al (1994): *Byggnadsteknikens grunder*, avd. för byggnadsteknik KTH, Stockholm

Burström, P. G. (2004): *Byggnadsmaterial*, upplaga 4, Studentlitteratur, Lund

Bülow-Hübe, H. (2001): *Energy-Efficient Window Systems, effects on energy use and daylight in buildings*, doctoral dissertation, Lund university, ISSN 1103-4467, KFS AB, Lund

Bülow-Hübe, H. (2006): *Beräkning av årsenergibehov, föreläsningssanteckningar*, Energi och Bygghusdesign, Lund

Bülow-Hübe, H. (2008): *Ingenjörutbildning om lågenergihus, föreläsningssanteckningar*, Tyréns byggprojektering, Malmö

Byggteknik (2006): *Inomhusmiljön i fokus*, Nr 5, ISSN 0281-658X, Förlags AB Bygg & Teknik, Stockholm

Chalmers EnergiCentrum CEC (2005): *Åtgärder för ökad energieffektivisering i bebyggelsen*, Göteborg

DeWitt, D. & Incropera, F. (2002), *Fundamentals of heat and mass transfer*, 5th edition, ISBN 0-471-38650-2 R.R. Donnelley & Sons, Company. USA.

Nevander L-E. & Elmarsson B., (1994): *Fukthandbok*. Tredje utgåvan, AB Svensk Byggtjänst, Stockholm

Elmroth, A. (2007) *Energihushållning och värmeisolering*, Svensk byggtjänst, Stockholm

Gyproc AB & Södra Buildings Systems AB, (2003): *Högre hus med trästomme*, utgåva 1, upplaga 2, ISBN 91-974489-1-5

Hamon, E. & Jarebrandt C, (2007): *Effektivt byggande - Utmana dina processer*, ISBN 978-9189158-82-2, Tyréns, Malmö

Anderlind, G. Stadler, C-G. (2004): *Isolerguiden 04, en vägledning till Boverkets byggregler om energihushållning och värmeisolering*, ISBN: 91-973761-6-7

Jansson, A. Samuelson, I. Mjörnell, K. (2007): *Skador i putsade träregelväggar*, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Borås.

Johansson, D. (2008): *Värmebehovsberäkningar*, Föreläsninganteckning i kursen nybyggnadsteknik, LTH

Johansson, P. (2005): *Kritisk fuktillstånd för mikrobiell tillväxt på byggmaterial kunskapsmanfattning*, Sveriges provnings- och forskningsinstitut rapport 2005:11, ISBN 91-85303-442-9, Borås

Miljövårdsberedningen (2004): *Strategi för energieffektiv bebyggelse*, Miljö och samhällsdepartementet, Stockholm

Nilsson, L-O. (2007): *Fukt, Byggvägledning 9 en handbok i anslutning till Boverkets byggregler*, Svensk byggtjänst, Stockholm

Nilsson, A. Warfvinge, C. (2008): *Undvik fel och fällor som ökar energianvändningen i byggnader*, ISSN 1652-6392. Sveriges Byggindustrier, Malmö

Nilsson, I. Sikander, E. Svenson, O. Wahlgren, P. (2009a): *Utvärdering av byggnaders lufttäthet, konferensdokumentation Passivhus Norden, 27-29 april*, Göteborg

Sandin, K. (1990): *Luftströmning*, LTH

Sandin, K. (1996): *Värme och fukt*, Lunds Tekniska Högskola, Lund

Statens energimyndighet, (2008a): *Energiläget 2008*, ISSN 1403-1892, Eskilstuna

Statens energimyndighet, (2008b): *Energiindikatorer 2008*, ISSN 1403-189, Eskilstuna

Statens energimyndighet, (2008c): *Kravspecifikation för passivhus i Sverige- Energi-effektiva bostäder*, Version 2008:1, LTH rapport EBD-R-08/21  
IVL rapport nr A1548, Eskilstuna

Statens planverk. (1975): *Svensk byggnorm*, utgåva 3, ISBN 91-38-03848, LiberFörlag

Strusoft AB. VIP+ Beskrivning. Structural Design Software. (2006): VIP+. Manual Version 5.2.1

Svein R. (2008): *Hur kan man bygga för att uppfylla energikraven i kommande BBR 2009*, Sveriges tekniska forskningsinstitut, Borås

Svensson O. Hägerhed-E L. (2009): *Förbättringsmöjligheter av lufttätheten i byggnader erfarenheter och exempel från lufttäthetsmätningar, konferensdokumentation Passivhus Norden, 27-29 april, Göteborg*

Tyréns (2008): *Ansökan om utvecklingsstöd från Centrum för Byggnad och Boende med Trä CBBT*

Tyréns (2009): *Arbetsmaterial*

Viitanen, H. (2007), *Improved model to predict mold growth in building materials*, ASHRAE

Westrup, U. Edel, C. Sjöbäck, K. (2005): *Skrivhandboken, Vägledning i att skriva vetenskapliga texter*, första upplagan. ISBN 91-631-6705-0, Klippan

Warfvinge, C. (2003): *Installationsteknik AK för V*, Avdelning för installationsteknik Institutionen för byggande och arkitektur, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

## Elektroniska källor

Bokföringstips, [www.Bokforingstips.se](http://www.Bokforingstips.se), 2009-06-01

Boverket, [www.boverket.se](http://www.boverket.se), 2009-01-28

Buildingphysics, [www.buildingphysics.com](http://www.buildingphysics.com), 2009-05-20

CTC värme, [www.ctcvarme.se](http://www.ctcvarme.se), 2009-03-26

Energieffektiva byggnader, [www.energieffektivabyggnader.se](http://www.energieffektivabyggnader.se), 2009-08-03

Myresjöhus, [www.myresjohus.se](http://www.myresjohus.se), 2009-08-03

Statens Energimyndighet, [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se), 2009-01-27

Statistiska Centralbyrån, [www.scb.se](http://www.scb.se), 2009-01-27

Sveriges meteorologiska & hydrologiska institut, [www.smhi.se](http://www.smhi.se), 2009-05-06

Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, [www.sp.se](http://www.sp.se), 2009-01-28

Sveriges träbyggnadskansli, [www.trabyggnadskanslite.se](http://www.trabyggnadskanslite.se), 2009-01-29

Regeringen, [www.regeringen.se](http://www.regeringen.se) 2009-01-23

Roxull, [www.roxul.se](http://www.roxul.se), 2009-05-06

WUFI, [www.wufi.se](http://www.wufi.se) 2009-05-20

### **Muntliga källor**

Bülow-Hübe, Helena, 2009-01-24, Affärsutvecklare-Energi, Tyréns

Josef Olsson, 2009-05-27, Fuktansvarig, Tyréns

Lars-Erik, Harderup, 2008-10-11, Teknisk doktor, Avdelning för byggnadsfysik, LTH  
NIBE support, 2009-04-16

### **Använda datorprogram**

AutoCad 2008

Crawl 2.0

Heat 7.0

Vip+ 5.2.1

WUFI 4.2



## Bilaga 1 Tabell över olika parametrars inverkan på energianvändningen

### Lamellhus

	Parameter	Specifik energianvändning (kWh/m <sup>2</sup> ,år)	Skillnad från ref. (kWh/m <sup>2</sup> ,år)	Besparing %	Skillnad mellan max och min värden (kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Malmö</b>				
	<b>Referensfall</b>	<b>52,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	50,6	-1,4	3,3	
L2	0,4(Ref)	52,0	0,0	0,0	
L3	0,6	54,0	2,0	-4,4	
L4	0,8	54,9	2,9	-6,2	
L5	1	56,6	4,6	-9,5	
L6	1,2	58,3	6,3	-12,6	7,7
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	50,4	-1,6	3,8	
F2	0,175(Ref)	52,0	0,0	0,0	
F3	0,200	53,7	1,7	-3,8	
F4	0,225	55,4	3,4	-7,2	
F5	0,250	57,5	5,5	-11,2	7,1
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	45,0	-7,0	19,1	
UVF2	1,0	49,4	-2,6	6,3	
UVF3	1,2(Ref)	52,0	0,0	0,0	
UVF4	1,4	55,3	3,3	-7,0	
UVF5	1,6	57,6	5,6	-11,4	12,6
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	50,8	-1,2	2,8	
UVV2	0,15(Ref)	52,0	0,0	0,0	
UVV3	0,2	53,7	1,7	-3,8	2,9
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	52,0	0,0	0,0	

## Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

UVT2	0,1	52,9	0,9	-2,0	
UVT3	0,13	53,6	1,6	-3,5	1,6
<b>Orientering</b>					
OR1	Norr	51,9	-0,1	0,2	
OR2	Söder	51,2	-0,8	1,9	
OR3	Öster(Ref)	52,0	0,0	0,0	
OR4	Väster	52,0	0,0	0,0	0,8
<b>Ventilationssystem</b>					
V1	F-system	86,0	34,0	-46,4	
V2	FVP-system(Ref)	52,0	0,0	0,0	
V3	FTX -system	60,5	8,5	-17,8	34,0
<b>Form</b>					
REF	Referensform	52,0	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	50,9	-1,1	2,6	1,1
<b>Våningsantal</b>					
REF	3	52,0	0,0	0,0	
7 Vån	7	48,8	-3,2	7,9	3,2
KRYP	<b>Krypgrund</b>	53,3	1,3	-2,9	1,3

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
		(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Stockholm</b>				
	<b>Referensfall</b>	60,5	0,0	0,0	
<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>					
L1	0,2	59,3	-1,2	2,4	
L2	0,4(Ref)	60,5	0,0	0,0	
L3	0,6	61,5	1,0	-1,9	
L4	0,8	62,6	2,1	-3,9	
L5	1	63,9	3,4	-6,1	
L6	1,2	65,2	4,7	-8,3	5,9
<b>Nyckeltal</b>					
F1	0,150	58,5	-2,0	4,0	
F2	0,175(Ref)	60,5	0,0	0,0	
F3	0,200	62,5	2,0	-3,7	
F4	0,225	64,6	4,1	-7,3	
F5	0,250	67,1	6,6	-11,3	8,6

	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	52,2	-8,3	19,0	
UVF2	1,0	57,3	-3,2	6,6	
UVF3	1,2(Ref)	60,5	0,0	0,0	
UVF4	1,4	64,3	3,8	-6,8	
UVF5	1,6	67,1	6,6	-11,3	14,9
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	59,0	-1,5	3,0	
UVV2	0,15(Ref)	60,5	0,0	0,0	
UVV3	0,2	62,5	2,0	-3,7	3,5
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	60,5	0,0	0,0	
UVT2	0,1	61,5	1,0	-1,9	
UVT3	0,13	62,3	1,8	-3,4	1,8
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	60,2	-0,3	0,6	
OR2	Söder	59,6	-0,9	1,8	
OR3	Öster(Ref)	60,5	0,0	0,0	
OR4	Väster	60,5	0,0	0,0	0,9
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	95,0	34,5	-41,9	
V2	FVP-system(Ref)	60,5	0,0	0,0	
V3	FTX -system	65,5	5,0	-9,5	34,5
	<b>Form</b>				
REF	Referensform	60,5	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	59,3	-1,2	2,4	1,2
	<b>Våningsantal</b>				
REF	3	60,5	0,0	0,0	
7 Vån	7	56,8	-3,7	7,7	3,7
KRYP	<b>Krypgrund</b>	61,9	1,4	-2,6	1,4

	<b>Parameter</b>	<b>Specifik energianvändning</b>	<b>Skillnad från ref.</b>	<b>Besparing</b>	<b>Skillnad mellan max och min värden</b>
	<b>Härnösand</b>	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Referensfall</b>	<b>79,3</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	

Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

	Luftläckage (l/s, m <sup>2</sup> )				
L1	0,2	77,8	-1,5	2,2	
L2	0,4(Ref)	79,3	0,0	0,0	
L3	0,6	80,7	1,4	-2,0	
L4	0,8	81,9	2,6	-3,6	
L5	1	83,7	4,4	-5,9	
L6	1,2	85,4	6,1	-8,0	7,6
<b>Nyckeltal</b>					
F1	0,150	76,7	-2,6	3,8	
F2	0,175(Ref)	79,3	0,0	0,0	
F3	0,200	82,0	2,7	-3,7	
F4	0,225	84,8	5,5	-7,3	
F5	0,250	88,1	8,8	-11,1	11,4
<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVF1	0,7	68,4	-10,9	18,4	
UVF2	1,0	75,6	-3,7	5,6	
UVF3	1,2(Ref)	79,3	0,0	0,0	
UVF4	1,4	84,2	4,9	-6,5	
UVF5	1,6	87,9	8,6	-10,9	19,5
<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVV1	0,10	77,4	-1,9	2,8	
UVV2	0,15(Ref)	79,3	0,0	0,0	
UVV3	0,2	81,9	2,6	-3,6	4,5
<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVT1	0,07(Ref)	79,3	0,0	0,0	
UVT2	0,1	80,7	1,4	-2,0	
UVT3	0,13	81,7	2,4	-3,3	2,4
<b>Orientering</b>					
OR1	Norr	79,4	0,1	-0,1	
OR2	Söder	78,7	-0,6	0,9	
OR3	Öster(Ref)	79,3	0,0	0,0	
OR4	Väster	79,3	0,0	0,0	0,6
<b>Ventilationssystem</b>					
V1	F-system	115,9	36,6	-35,5	
V2	FVP-system(Ref)	79,3	0,0	0,0	
V3	FTX -system	77,3	-2,0	3,1	38,6
<b>Form</b>					

REF	Referensform	79,3	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	77,8	-1,5	2,2	1,5
	<b>Våningsantal</b>				
REF lamell	3	79,3	0,0	0,0	
7 Vån	7	74,4	-4,9	7,5	4,9
KRYP	<b>Krypgrund</b>	81,0	1,7	-2,4	1,7

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Luleå	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Referensfall</b>	89,7	0,0	0,0	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	87,8	-1,9	2,4	
L2	0,4(Ref)	89,7	0,0	0,0	
L3	0,6	91,2	1,5	-1,8	
L4	0,8	92,8	3,1	-3,7	
L5	1	94,8	5,1	-6,0	
L6	1,2	96,8	7,1	-8,1	9,0
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	86,6	-3,1	4,0	
F2	0,175(Ref)	89,7	0,0	0,0	
F3	0,200	93,1	3,4	-4,1	
F4	0,225	95,9	6,2	-7,2	
F5	0,250	99,7	10,0	-11,1	13,1
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup> K)</b>				
UVF1	0,7	77,5	-12,2	17,9	
UVF2	1,0	85,0	-4,7	6,2	
UVF3	1,2(Ref)	89,7	0,0	0,0	
UVF4	1,4	95,1	5,4	-6,3	
UVF5	1,6	99,2	9,5	-10,6	21,7
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup> K)</b>				
UVV1	0,10	87,5	-2,2	2,8	
UVV2	0,15(Ref)	89,7	0,0	0,0	

Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

UVV3	0,2	92,6	2,9	-3,5	5,1
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	89,7	0,0	0,0	
UVT2	0,1	91,2	1,5	-1,8	
UVT3	0,13	92,4	2,7	-3,3	2,7
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	89,5	-0,2	0,2	
OR2	Söder	88,7	-1,0	1,3	
OR3	Öster(Ref)	89,7	0,0	0,0	
OR4	Väster	89,7	0,0	0,0	1,0
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	127,2	37,5	-32,8	
V2	FVP-system(Ref)	89,7	0,0	0,0	
V3	FTX -system	84,0	-5,7	8,0	43,2
	<b>Form</b>				
REF	Referensform	89,7	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	87,9	-1,8	2,3	1,8
	<b>Våningsantal</b>				
REF	3	89,7	0,0		
7 Vån	7	84,1	-5,6	7,5	5,6
KRYP	<b>Krypgrund</b>	91,4	1,7	-2,1	1,7

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Kiruna	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Referensfall</b>	<b>108,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	104,6	-3,5	3,7	
L2	0,4(Ref)	108,1	0,0	0,0	
L3	0,6	110,2	2,1	-2,1	
L4	0,8	112,2	4,1	-4,0	
L5	1	114,9	6,8	-6,5	
L6	1,2	117,5	9,4	-8,7	12,9
	<b>Nyckeltal</b>				

F1	0,150	104,5	-3,6	3,8	
F2	0,175(Ref)	108,1	0,0	0,0	
F3	0,200	111,7	3,6	-3,5	
F4	0,225	115,5	7,4	-7,0	
F5	0,250	119,9	11,8	-10,7	15,4
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	93,6	-14,5	17,3	
UVF2	1,0	102,6	-5,5	5,9	
UVF3	1,2(Ref)	108,1	0,0	0,0	
UVF4	1,4	114,6	6,5	-6,2	
UVF5	1,6	119,5	11,4	-10,4	25,9
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	105,5	-2,6	2,7	
UVV2	0,15(Ref)	108,1	0,0	0,0	
UVV3	0,2	111,6	3,5	-3,4	6,1
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	108,1	0,0	0,0	
UVT2	0,1	109,9	1,8	-1,8	
UVT3	0,13	111,3	3,2	-3,2	3,2
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	108,1	0,0	0,0	
OR2	Söder	107,3	-0,8	0,8	
OR3	Öster(Ref)	108,1	0,0	0,0	
OR4	Väster	108,1	0,0	0,0	0,8
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	147,8	39,7	-29,4	
V2	FVP-system(Ref)	108,1	0,0	0,0	
V3	FTX -system	95,6	-12,5	15,1	52,2
	<b>Form</b>				
REF	Referensform	108,1	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	105,9	-2,2	2,3	2,2
	<b>Våningsantal</b>				
REF	3	108,1	0,0	0,0	
7 Vån	7	100,0	-8,1	9,0	8,1
	<b>Krypgrund</b>				
KRYP		109,9	1,8	-1,8	1,8

## Punkthus

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Malmö	(kWh/m <sup>2</sup> , år)	(kWh/m <sup>2</sup> , år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> , år)
	<b>Referensfall</b>	<b>52,6</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	51,2	-1,4	<b>3,3</b>	
L2	0,4(Ref)	<b>52,6</b>	0,0	<b>0,0</b>	
L3	0,6	54,0	1,4	<b>-3,1</b>	
L4	0,8	55,4	2,8	<b>-6,0</b>	
L5	1	57,0	4,4	<b>-9,2</b>	
L6	1,2	58,6	6,0	<b>-12,1</b>	7,4
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	51,0	-1,6	<b>3,8</b>	
F2	0,175(Ref)	<b>52,6</b>	0,0	<b>0,0</b>	
F3	0,200	54,3	1,7	<b>-3,8</b>	
F4	0,225	56,6	4,0	<b>-8,4</b>	
F5	0,250	58,3	5,7	<b>-11,6</b>	7,3
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	45,8	-6,8	<b>18,5</b>	
UVF2	1,0	50,0	-2,6	<b>6,3</b>	
UVF3	1,2(Ref)	<b>52,6</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVF4	1,4	55,7	3,1	<b>-6,6</b>	
UVF5	1,6	58,2	5,6	<b>-11,4</b>	12,4
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	50,7	-1,9	<b>4,6</b>	
UVV2	0,15(Ref)	<b>52,6</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVV3	0,20	55,1	2,5	<b>-5,4</b>	4,4
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	<b>52,6</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVT2	0,10	53,0	0,4	<b>-0,9</b>	
UVT3	0,13	53,2	0,6	<b>-1,4</b>	0,6
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	52,4	-0,2	<b>0,5</b>	



OR2	Söder	51,2	-1,4	3,3	
OR3	Öster(Ref)	52,6	0,0	0,0	
OR4	Väster	52,1	-0,5	1,2	1,4
<b>Ventilationssystem</b>					
V1	F-system	86,5	33,9	-46,4	
V2	FVP-system(Ref)	52,6	0,0	0,0	
V3	FTX -system	61,8	9,2	-19,0	33,9
<b>Form</b>					
REF	Referenshus	52,6	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	50,7	-1,9	4,6	1,9
<b>Våningsantal</b>					
3 Vån	3	56,8	4,2	-8,8	
REF	7	52,6	0,0	0,0	4,2
<b>Krypgrund</b>					
KRYP		52,8	0,2	-0,5	0,2

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Stockholm	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	Referensfall	61,0	0,0	0,0	
<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>					
L1	0,2	59,9	-1,1	2,2	
L2	0,4(Ref)	61,0	0,0	0,0	
L3	0,6	61,9	0,9	-1,7	
L4	0,8	62,9	1,9	-3,5	
L5	1	64,1	3,1	-5,6	
L6	1,2	65,3	4,3	-7,7	5,4
<b>Nyckeltal</b>					
F1	0,150	59,0	-2,0	4,0	
F2	0,175(Ref)	61,0	0,0	0,0	
F3	0,200	63,1	2,1	-3,9	
F4	0,225	65,5	4,5	-8,0	
F5	0,250	67,6	6,6	-11,3	8,6
<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVF1	0,7	52,8	-8,2	18,8	
UVF2	1,0	57,9	-3,1	6,4	

## Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

UVF3	1,2(Ref)	61,0	0,0	0,0	
UVF4	1,4	64,6	3,6	-6,5	
UVF5	1,6	67,6	6,6	-11,3	14,8
<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVV1	0,10	58,7	-2,3	4,6	
UVV2	0,15(Ref)	61,0	0,0	0,0	
UVV3	0,20	63,9	2,9	-5,3	5,2
<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>					
UVT1	0,07(Ref)	61,0	0,0	0,0	
UVT2	0,10	61,4	0,4	-0,8	
UVT3	0,13	61,7	0,7	-1,3	0,7
<b>Orientering</b>					
OR1	Norr	60,7	-0,3	0,6	
OR2	Söder	59,3	-1,7	3,4	
OR3	Öster(Ref)	61,0	0,0	0,0	
OR4	Väster	60,5	-0,5	1,0	1,7
<b>Ventilationssystem</b>					
V1	F-system	95,4	34,4	-42,0	
V2	FVP-system(Ref)	61,0	0,0	0,0	
V3	FTX -system	66,5	5,5	-10,4	30,2
<b>Form</b>					
REF	Referenshus	61,0	0,0	0,0	
FF1	Rektangel	58,9	-2,1	4,2	2,1
<b>Våningsantal</b>					
3 Vån	3	65,7	4,7	-8,3	
REF	7	61,0	0,0	0,0	4,7
KRYP	<b>Krypgrund</b>	61,2	-0,2	0,4	0,2

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Härnösand	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	Referensfall	79,8	0,0	0,0	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				

L1	0,2	78,4	-1,4	<b>2,0</b>	
L2	0,4(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
L3	0,6	80,9	1,1	<b>-1,5</b>	
L4	0,8	82,2	2,4	<b>-3,3</b>	
L5	1	83,7	3,9	<b>-5,3</b>	
L6	1,2	85,2	5,4	<b>-7,1</b>	6,8
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	77,1	-2,7	<b>4,0</b>	
F2	0,175(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
F3	0,200	82,5	2,7	<b>-3,7</b>	
F4	0,225	85,5	5,7	<b>-7,5</b>	
F5	0,250	88,3	8,5	<b>-10,8</b>	11,2
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	68,6	-11,2	<b>19,0</b>	
UVF2	1,0	75,6	-4,2	<b>6,4</b>	
UVF3	1,2(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVF4	1,4	84,4	4,6	<b>-6,1</b>	
UVF5	1,6	88,3	8,5	<b>-10,8</b>	19,7
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	76,7	-3,1	<b>4,6</b>	
UVV2	0,15(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVV3	0,20	83,6	3,8	<b>-5,1</b>	6,9
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVT2	0,10	80,3	0,5	<b>-0,7</b>	
UVT3	0,13	80,7	0,9	<b>-1,3</b>	0,9
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	79,8	0,0	<b>0,0</b>	
OR2	Söder	78	-1,8	<b>2,6</b>	
OR3	Öster(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
OR4	Väster	79,2	-0,6	<b>0,9</b>	1,8
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	116,1	36,3	<b>-35,3</b>	
V2	FVP-system(Ref)	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	
V3	FTX -system	77,7	-2,1	<b>3,3</b>	38,4
	<b>Form</b>				
REF	Referenshus	<b>79,8</b>	0,0	<b>0,0</b>	

Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

FF1	Rektangel	77,1	-2,7	<b>4,0</b>	2,7
	<b>Våningsantal</b>				
3 Vån	3	86,1	6,3	<b>-8,2</b>	
REF	7	<b>79,8</b>	0	<b>0,0</b>	6,3
	<b>Krypgrund</b>				
KRYP	Krypgrund	80,5	0,7	<b>-1,0</b>	0,2

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Luleå	(kWh/m <sup>2</sup> , år)	(kWh/m <sup>2</sup> , år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> , år)
	<b>Referensfall</b>	<b>90,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	88,6	-1,6	<b>2,0</b>	
L2	0,4(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
L3	0,6	91,6	1,4	<b>-1,7</b>	
L4	0,8	93,1	2,9	<b>-3,5</b>	
L5	1	94,9	4,7	<b>-5,5</b>	
L6	1,2	96,7	6,5	<b>-7,5</b>	8,1
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	87,2	-3,0	<b>3,9</b>	
F2	0,175(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
F3	0,200	93,3	3,1	<b>-3,7</b>	
F4	0,225	96,9	6,7	<b>-7,7</b>	
F5	0,250	100	9,8	<b>-10,9</b>	12,8
	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	77,7	-12,5	<b>18,5</b>	
UVF2	1,0	85,6	-4,6	<b>6,1</b>	
UVF3	1,2(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVF4	1,4	95,3	5,1	<b>-6,0</b>	
UVF5	1,6	99,8	9,6	<b>-10,7</b>	22,1
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	86,8	-3,4	<b>4,4</b>	
UVV2	0,15(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVV3	0,20	94,5	4,3	<b>-5,1</b>	7,7
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	

UVT2	0,10	90,8	0,6	<b>-0,7</b>	
UVT3	0,13	91,3	1,1	<b>-1,4</b>	1,1
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	90,0	-0,2	<b>0,3</b>	
OR2	Söder	88,0	-2,2	<b>2,8</b>	
OR3	Öster(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
OR4	Väster	89,7	-0,5	<b>0,6</b>	2,2
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	127,5	37,3	<b>-32,7</b>	
V2	FVP-system(Ref)	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
V3	FTX -system	84,2	-6,0	<b>8,5</b>	43,3
	<b>Form</b>				
REF	Referenshus	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	
FF1	Rektangel	87,2	-3,0	<b>3,9</b>	3,0
	<b>Våningsantal</b>				
3 Vån	3	97,5	7,3	<b>-8,4</b>	
REF	7	<b>90,2</b>	0,0	<b>0,0</b>	7,3
KRYP	<b>Krypgrund</b>	90,5	0,3	<b>-0,4</b>	0,2

	Parameter	Specifik energianvändning	Skillnad från ref.	Besparing	Skillnad mellan max och min värden
	Kiruna	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)	%	(kWh/m <sup>2</sup> ,år)
	<b>Referensfall</b>	<b>108,7</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	
	<b>Luftläckage (l/s, m<sup>2</sup>)</b>				
L1	0,2	106,7	-2,0	<b>2,1</b>	
L2	0,4(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
L3	0,6	110,7	2,0	<b>-2,0</b>	
L4	0,8	112,7	4,0	<b>-3,9</b>	
L5	1	115,1	6,4	<b>-6,1</b>	
L6	1,2	117,5	8,8	<b>-8,2</b>	10,8
	<b>Nyckeltal</b>				
F1	0,150	105,2	-3,5	<b>3,7</b>	
F2	0,175(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
F3	0,200	112,5	3,8	<b>-3,7</b>	
F4	0,225	116,7	8,0	<b>-7,6</b>	
F5	0,250	120,5	11,8	<b>-10,8</b>	15,3

Energi- och fuktanalys av ett träbyggnadssystem för flerbostadshus

	<b>U-värde fönster (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVF1	0,7	93,7	-15,0	<b>18,1</b>	
UVF2	1,0	103,3	-5,4	<b>5,8</b>	
UVF3	1,2(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVF4	1,4	114,9	6,2	<b>-6,0</b>	
UVF5	1,6	120,2	11,5	<b>-10,5</b>	26,5
	<b>U-värde väggar (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVV1	0,10	104,7	-4,0	<b>4,3</b>	
UVV2	0,15(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVV3	0,20	113,9	5,2	<b>-5,0</b>	9,2
	<b>U-värde tak (W/m<sup>2</sup>K)</b>				
UVT1	0,07(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
UVT2	0,10	109,5	0,8	<b>-0,8</b>	
UVT3	0,13	110,1	1,4	<b>-1,4</b>	1,4
	<b>Orientering</b>				
OR1	Norr	108,9	0,2	<b>-0,2</b>	
OR2	Söder	106,4	-2,3	<b>2,4</b>	
OR3	Öster(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
OR4	Väster	108,2	-0,5	<b>0,5</b>	2,3
	<b>Ventilationssystem</b>				
V1	F-system	148,1	39,4	<b>-29,3</b>	
V2	FVP-system(Ref)	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
V3	FTX -system	95,3	-13,4	<b>16,5</b>	52,8
	<b>Form</b>				
REF	Referenshus	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	
FF1	Rektangel	105,1	-3,6	<b>3,8</b>	3,6
	<b>Våningsantal</b>				
3 Vån	3	117,8	9,1	<b>-8,5</b>	
REF	7	<b>108,7</b>	0,0	<b>0,0</b>	9,1
KRYP	<b>Krypgrund</b>	109,1	0,4	<b>-0,4</b>	0,2

## Bilaga 2-Indata för Crawlberäkning

### INPUT DATA Punkthus-Malmö

Length of building L=25 m  
 Width of building B=11.85 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file MALMO.RH

### INPUT DATA Punkthus-Härnösand

Length of building L=25 m  
 Width of building B=11.85 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file HARNOSND.RH

INPUT DATA Punkthus-Kiruna

-----

Length of building L=25 m  
 Width of building B=11.85 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file KIRUNA.RH

INPUT DATA Lamellhus-Malmö

-----

Length of building L=54.5 m  
 Width of building B=14.4 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file MALMO.RH



## INPUT DATA Lamellhus-Härnösand

Length of building L=54.5 m  
 Width of building B=14.4 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file HARNOSND.RH

## INPUT DATA Lamellhus-Kiruna

Length of building L=54.5 m  
 Width of building B=14.4 m  
 Height of crawl-space H=0.5 m  
 Depth of soil layer H1=0.5 m  
 Indoor temperature: Ti=22°C  
 Outdoor temperature:  
 Maximum value at: v 29  
 Annual mean value T0=8°C  
 Seasonal amplitude T1=9°C  
 Ground insulation:  
 Thickness di=0.2 m  
 Thermal conductivity lambdai=0.036  
 W/(m·K)  
 U-Values:  
 Wall Uw=0.15 W/m²·K  
 Floor Uf=0.8 W/m²·K  
 Soil:  
 Moisture resistance between soil and air  
 Z=2E6 s/m  
 Thermal conductivity lambda=3.0  
 W/(m·K)  
 Volumetric heat capacity C=1E6  
 MJ/(m³·K)  
 Heating season:  
 Start time v 36 ta=253 days  
 Stop time v 20 tb=140 days  
 Step pulse during cold period:  
 Temperature pulse T2=-10°C  
 Duration of pulse t2=7 days  
 Ventilation: Indoor air  
 Air ventilation rate n=2 1/h  
 Moisture supply to indoor air dv=3  
 g/m³  
 Convective heat transfer coeff. ac=6  
 W/m²·K  
 Climate file KIRUNA.RH