

# Passivhus av helväggselement i träull

**-En undersökande och jämförande studie**



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Arkitektur och byggnad miljö/Boende och bostadsutveckling**

Examensarbete:  
Martin Edvardsson  
Pontus Lindeberg Granqvist  
Jonas Standar

© Copyright Martin Edvardsson, Pontus Lindeberg Granqvist, Jonas  
Standar

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2008

## Sammanfattning

Miljöförstöring är ett allt mer växande problem i vår värld, nästan varje dag kommer rapporter om att vi måste göra något åt utsläppen av växthusgaser. Detta samtidigt som människan hela tiden strävar efter ett liv med högre standard och därför använder allt mer energi. Miljön är en fråga som är högst aktuell och allt fler försöker finna lösningar på hur vi ska kunna rädda vår planet. Ett sätt att minska energiförbrukningen är att bygga passivhus, där huset inte har någon aktiv uppvärmning. Det leder till både ett bättre inomhusklimat samt en mindre miljöpåverkan.

I detta arbete har en parameterstudie genomförts för att lyfta fram viktiga detaljer i utformningen av passivhus. Vi har använt oss av helväggselement i träull, där väggen är homogen, välisolerad samt enkel att arbeta med. Träull är en sammansättning av cement och granull, vilka enbart är naturliga material. Idag används det mest i tak som ljudabsorbering, men även som värmeisolering i väggar. För att komma fram till den lösningen som kräver lägst energi och effekt har olika parametrar jämförts och utvärderats. Till exempel har betydelser av fönsterplacering i vägg och väderstreck, geografiskt läge, inomhustemperatur samt väggmaterial jämförts och utvärderats. Beräkningar har gjorts både för hand och simulerats i DEROB-LTH, ett program som räknar fram energi- och effektbehovet för ett hus med hjälp av olika klimatdata.

Träullsväggar med tjockleken 600 mm ger en energiförbrukning för uppvärmning på  $7,7\text{kWh}/\text{m}^2,\text{år}$ . Vår huskonstruktion av mineralull får en högre energiförbrukning för uppvärmning på  $8,7\text{kWh}/\text{m}^2,\text{år}$ , vilket gör att träullsväggen har ett energibehov som är 11,5% lägre än mineralullsväggen. Tillsammans med husets tappvarmvatten blir energibehovet  $28,1\text{kWh}/\text{m}^2,\text{år}$ , detta betyder att husets totalförbrukning är långt under det svenska kravet för passivhus på  $45\text{-}65\text{kWh}/\text{m}^2,\text{år}$  i Sverige. Vårt hus klarar även kravet för ett passivhus effektbehov med god marginal.

Det bör nämnas att det idag inte finns något byggt hus enligt arbetets metod, därför vet vi inte om det fungerar i praktiken.

Nyckelord: Passivhus, träull, energibehov, effektbehov, DEROB-LTH

## Abstract

Environmental destruction is a growing problem in our world. Almost every day there are new reports concerning that we have to do something about the greenhouse gasses. Simultaneously is the human constantly more eager to have a life with higher standards and therefore uses more energy. The environment is a question that is highly up-to-date and more people try to find solutions on how to save our planet. One way to decrease the energy demand is to build passive houses, where the houses don't have any active heating. This leads to a better indoor climate and less environmental impact.

In this report a parameter study has been performed to enlighten important details in the formation of passive houses. We have used wood wool slabs, where the wall is solid, highly isolated and easy to work with. Wood wool is a composition of cement and deal wool, which only is natural materials. Today it's mostly used in roofs as acoustic-insulation, but also as heat-insulation in walls. To reach the solution that demands the lowest energy and effect, different parameters have been compared and evaluated. For example the windows placement in the wall, the direction of the windows, the geographical orientation, indoor temperature as well as the material of the wall has been compared. The calculations have been done both on hand and simulated in DEROB-LTH, a program that counts out the energy and power demand for a house assisted by different climate data.

Wood wool walls with the thickness of 600 mm gives a energy demand for heating of 7,7kWh/m<sup>2</sup>,a. Our construction of the house built in mineral wool gets an energy demand for heating on 8,7kWh/m<sup>2</sup>,a, which makes that the wood wool wall requires 11,5% less energy than the wall built of mineral wool. Added with the houses domestic hot water demand the energy demand is 28,1 kWh/m<sup>2</sup>,a. This means that the house total requirement for heating and domestic hot water is far below the demands of a passive house, which is 45-65kWh/m<sup>2</sup>,a in Sweden. Our house is also reaching the power demands for a passive house with a good margin.

It should be mentioned that there is no house yet built by this reports method, and thereby we don't know if it will work in practice.

Keywords: Passive houses, wood wool, energy demand, power demand, DEROB-LTH

## **Förord**

Studien går ut på att utveckla passivhus av träullselement. Detta sker på programmet Byggteknik med arkitektur vid Lunds tekniska högskola, Campus Helsingborg samt i samarbete med Nike arkitektur AB. Arbetet omfattar 22,5 Hp.

Vi vill tacka vår handledare, Mattias Rückert som har hjälpt oss mycket med tankar och funderingar runt vårt arbete. Vi skulle även vilja tacka vår examinator, Erik Johansson, som har hjälpt oss att hantera programmet DEROB-LTH, vilket mycket av vårt arbete kretsat kring. Tack alla personer som har hjälpt oss, stöttat oss och lyssnat på våra idéer under arbetets gång.

Tack så mycket

Martin Edvardsson, Pontus Lindeberg Granqvist och Jonas Standar

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Problembeskrivning</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Syfte</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Avgränsningar</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Passivhus</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Konceptet</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Utformning .....	4
2.1.2 Ventilation .....	5
2.1.3 Energiförbrukning .....	5
2.1.4 Komfort.....	7
2.1.5 Gratisenergi.....	8
2.1.6 Isolering.....	8
2.1.7 Kostnad .....	8
<b>2.2 Krav</b> .....	<b>9</b>
2.2.1 Tyskland .....	9
2.2.2 Sverige.....	9
<b>2.3 Marknaden</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4 Problem</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5 Passivhus i Sverige</b> .....	<b>11</b>
<b>3 Trällselement</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Bakgrund</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Trällsvägg.....	12
<b>3.2 Att bygga med helväggselement</b> .....	<b>13</b>
<b>4 Huset</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Planlösning</b> .....	<b>15</b>
<b>4.2 Värmeväxlaren</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3 Detaljer</b> .....	<b>17</b>
4.3.1 Vägg.....	18
4.3.2 Fönster och Dörrar .....	19
4.3.3 Mark .....	19
4.3.4 Mellanbjälklag.....	21
4.3.5 Tak .....	22
<b>5 Handberäkningar</b> .....	<b>23</b>
<b>5.1 Beräkningar</b> .....	<b>23</b>
5.1.1 U-värdesberäkning .....	23
5.1.2 Energibehovsberäkning.....	24

5.1.3 Effektbehovsberäkning.....	25
<b>6 DEROB-LTH.....</b>	<b>27</b>
<b>6.1 Resultat .....</b>	<b>27</b>
6.1.1 Simulering.....	27
6.1.2 Olika varianter av byggnaden .....	27
6.1.2.1 Alternativ 1, grundfallet.....	28
6.1.2.2 Alternativ2, fönster indragna.....	31
6.1.2.3 Alternativ 3, mineralull.....	33
6.1.2.4 Alternativ 4, fönsterfasad mot norr.....	34
6.1.2.5 Alternativ 5, höjning av temperatur.....	36
6.1.2.6 Alternativ 6, placeringsort.....	37
6.1.3 Variationer över ett dygn .....	38
<b>7 Avslutning .....</b>	<b>41</b>
<b>7.1 Resultat och analys av handberäkningar .....</b>	<b>41</b>
<b>7.2 Resultat och analys av DEROB-LTH beräkningar.....</b>	<b>42</b>
<b>7.3 Diskussion .....</b>	<b>44</b>
<b>7.4 Slutsats .....</b>	<b>46</b>
<b>8 Källförteckning.....</b>	<b>47</b>

# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Miljöförstöring är ett allt mer växande problem i vår värld, nästan varje dag kommer rapporter om att vi måste göra något åt utsläppen av växthusgaser.

Detta samtidigt som människan hela tiden strävar efter ett liv med högre standard och därför använder allt mer energi. I Sverige går ca 50 % av den totala elanvändningen till bostads- och servicesektorn. Miljön är en fråga som är högst aktuell och allt fler försöker finna lösningar på hur vi ska kunna sänka energibehovet och därmed hjälpa till att rädda vår planet.

Ett exempel på att minska energianvändningen i bostäderna och i sin tur utsläppen av växthusgaser är att bygga passivhus. Tekniken kommer ursprungligen från Tyskland och går ut på att bygga med extra mycket isolering, energisnåla dörrar och fönster. Det viktigaste av allt är kanske att hitta bra lösningar på detaljer för att motverka köldbryggor och få huset så tätt som möjligt. Huset värms upp med så kallad gratisvärme, alltså den värme som alstras från människorna, de apparater som finns i huset samt av solinstrålningen. För att värma tilluften i byggnaden finns ett välutvecklat ventilationssystem som återanvänder energin i frånluften, som är den luft som ventileras ut från ett visst rum. Allt tillsammans gör att det endast krävs ett energibehov för uppvärmning och tappvarmvatten på 45-65kWh/m<sup>2</sup>,år för att få bra komfort i ett passivhus.

När ett passivhus ska byggas krävs en mycket noggrann projektering som tar mer tid än ett konventionellt hus. Detta kan leda till att bostaden blir något dyrare än vanligt. Lösningen på det ekonomiska problemet kan vara att bygga med standardlösningar, det vill säga att alltid bygga enligt samma metod, till exempel så att byggarbetarna vet hur en speciell detalj ska utformas. Ett annat sätt kan vara att bygga med prefabricerade träullselement, det gör byggandet smidigare och innehåller färre arbetsmoment, vilket i sin tur kan leda till en lägre totalkostnad.

## 1.2 Problembeskrivning

Vid ett helt nytt sätt av byggande dyker många frågor upp, till exempel: blir komforten i huset behaglig, vad händer när klimatet är som kallast, är det inte lätt att det börjar mögla i ett passivhus och i ett träullshus?



De största frågorna som behandlas i detta arbete är:

- Kommer det vara möjligt att bygga ett passivhus av träullselement i Sverige?
- Hur påverkar olika parametrar som fönsterplacering, orientering av huset, geografisk placering, lätt eller tung konstruktion och inomhustemperatur ett passivhus energibehov och temperatur?

### **1.3 Syfte**

Arbetet syftar till att utveckla ett passivhus med träullselement som ytterväggar. Vidare ska projektet göra det lättare och mer effektivt att bygga bostäder som drar lite energi och som gör minimalt avtryck på jorden. För att lyckas komma ner till kraven måste nya detaljer tas fram för att bryta köldbryggor och göra huset tillräckligt tätt. Vid olika simuleringar i energiberäkningsprogrammet DEROB-LTH jämförs vårt projekterade träullshus med ett mineralullshus. För att se hur olika parametrar spelar in på energibehovet i en bostad görs olika modifieringar, som att placera bostaden i olika orter, samt att vrida husets stora fönsterparti åt olika vädersträck.

### **1.4 Metod**

Det första steget var att samla bakgrundsfakta om passivhus och träullselement genom att söka i böcker, på Internet, i filmmaterial, ta kontakt med företag och handledaren på Nike arkitektur. Informationen som samlats in har sedan använts för att göra beräkningar både för hand och med DEROB-LTH. De resultat som vi har fått fram har sedan jämförts och analyserats.

Detaljerna har tagits fram med hjälp av handledaren som vi har haft möte med regelbundet under hela projektet.

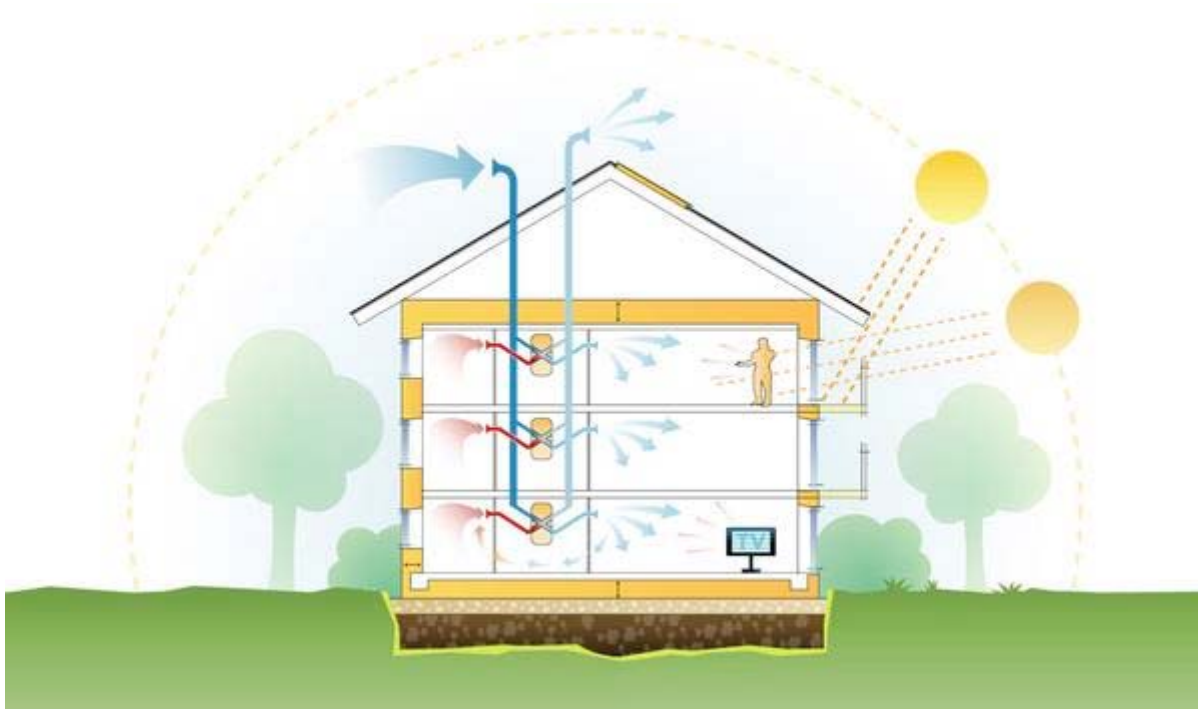
### **1.5 Avgränsningar**

Då energisnåla hus är ett relativt stort ämnesområde har projektet begränsats till att ta fram detaljer samt en väggtyp åt en villa som ska kunna återanvända så mycket gratisenergi som möjligt. Alla beräkningar är datorsimulerade och handberäknade i Malmö, Lund och Stockholm. Eftersom det i dagsläget inte finns några officiella kostnader för något passivhus i Sverige kommer inga exakta ekonomiska jämförelser att kunna göras.

## 2 Passivhus

### 2.1 Konceptet

Ett passivhus är en byggnad där ett komfortabelt inomhusklimat kan uppnås utan ett aktivt värme- och kylsystem. Huset värmer och kyler sig självt, där av ordet passiv (Feist, 2007). Tekniken utvecklades i Tyskland under 1990-talet, då upptäckten gjordes att det gick att bygga hus utan ett traditionellt uppvärmningssystem, bara man såg till att ha tillräckligt små värmeförluster (Passivhuscentrum, 2008). Passivhuset har visat sig vara det mest energieffektiva konceptet för byggandet av energisnåla byggnader och de centrala begreppen är ventilation, täthet och värmeförluster i klimatskalet. Husen kan beskrivas med orden hög komfort, bra inomhusmiljö och låg energianvändning. Nedan följer mer ingående om de olika avsnitten i passivhuskonceptet. (Energimyndigheten, 2007)



Figur 2-1 Visar energicirkulationen i en bostad. Bild från [passivhuscentrum.se](http://passivhuscentrum.se)

#### 2.1.1 Utformning

Husets geometri har stor betydelse för ett passivhus. För att värmeförlusterna ska bli så små som möjligt i förhållande till boyta, vill man att klimatskalet ska ha så liten area som möjligt. Ju mindre omslutande area ett hus har, desto mindre värmeförluster har det. Den optimala formen ur energisynpunkt är en sfärisk byggnad, men då sfären

inte är försvarbar att bygga av konstruktions-, kostnads- och planeringsskäl eftertraktas istället den näst bästa formen, kuben. Den ger den näst högsta inomhusvolymen i förhållande till den omgivande ytan. Just det kvadratiska tvåvåningshuset ger bra proportioner för ett passivhus (Energirådgivningen, 2008).

### 2.1.2 Ventilation

Nutida konstruktioner är relativt lufttäta, därför är luftomsättningen genom infiltration, det vill säga luftläckage, inte tillräcklig i en byggnad. Att ventileras genom att öppna fönster är inte heller ett bra sätt att byta ut luft, då ingen energi tas tillvara i frånluften. En tillräckligt hög volym av frisk luft är inte bara en fråga om komfort, utan ett krav för hälsosamma boendevillkor, därför är mekanisk ventilation mycket viktigt för allt nytt byggande och vid all renovering av redan uppförda byggnader. Mekanisk ventilation med värmeåtervinning fungerar i både kalla och varma klimat eftersom det i lufttäta hus krävs betydligt mindre värme- och kylningsenergi. Trots att mekaniska ventilationssystem ökar investeringskostnaderna, kommer de att minska energikostnaderna markant (Feist, 2007). Ett passivhus fungerar inte utan mekanisk ventilation och en högeffektiv värmeåtervinning. Värme i frånluften är återvunnen och överförd till tilluften via värmeväxlaren, med den här teknologin kan den återvunna värmen bli 8-15 gånger högre än den elektricitet som annars skulle behövas (Passivhaustagung, 2006).

I ett passivhus levereras friskluft konstant från ventilationssystemet utan drag och genom en högeffektiv värmeåtervinning på över 85 % minskar ventilationsförlusterna i stor omfattning (Passivhaustagung, 2006). Värmeförlusterna i ett passivhus är så små att friskluften kan användas som värmebärare. Genom att man placerar ett litet värmelement efter värmeväxlaren i tilluftskanalen så tillgodoses hela det aktiva värmebehovet (Passivhuscentrum, 2008). För en friliggande villa på under 200 m<sup>2</sup> i Sverige är effektkravet på detta värmelement max 12 W/m<sup>2</sup>. (Forum för energieffektiva byggande, 2007)

I Tyskland för man i vissa fall in frisk luft in i huset genom underjordiska kanaler som utbyter värme med jorden. Då blir friskluften även 5°C under kalla vinterdagar (Feist, 2008).

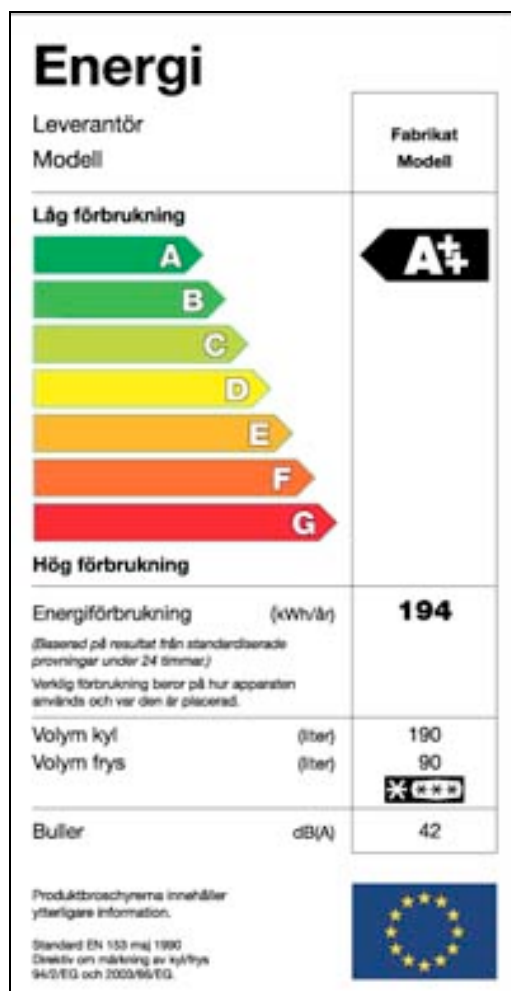
### 2.1.3 Energiförbrukning

När man har jämfört olika koncept för energieffektiva byggnader har passivhus eller det tyska passivhaus visat sig vara den konstruktion som är mest energieffektiv (Energimyndigheten, 2007). Varmvattenbehovet

ska i så stor utsträckning som möjligt tillgodoses med förnyelsebara energikällor, såsom solceller eller värmepumpar.

För att hålla nere energiförbrukningen är energisparande utrustning mycket viktigt i ett passivhus, till exempel bör kylskåp, spisar, frysar, lampor, diskmaskiner och tvättmaskiner vara av bra energiklass (Feist, 2008). I Figur 2-2 ses ett exempel på energimärkning för kyl och frys. I EU är det lag på att alla vitvaror som säljs ska ha en energimärkningsetikett som talar om för kunden vilken energiförbrukning den har. På etiketten visas även bullernivå, volym samt hur bra maskinen diskar, torkar och tvättar.

På en skala från A till G visas hur energismart en viss modell är, där A är den mest energieffektiva. För kyl och frys finns även energiklasserna A+ och A++ (Energimyndigheten, 2007).



Figur 2-2 Exempel på energimärkning för kyl och frys, bild från energimyndigheten

För europeiskt passivhusbyggande är kraven på att dess årliga uppvärmningskrav ska vara mindre än 15 kWh/m<sup>2</sup>, detta ska inte uppnås på bekostnad av ett ökat energibehov för andra syften, till exempel

elektricitet. Tillsvdare, så ska energikonsumtionen i ett europeiskt passivhus inte överskrida 120 kWh/m<sup>2</sup>,år för värme, varmvatten och elektricitet (Feist, 2008).

I Sverige är istället energikraven på uppvärmning för en villa som inte värms upp med direktverkande el mellan 110 och 130 kWh/m<sup>2</sup>,år. Det högsta värdet är för klimatzon norr och det lägsta för klimatzon söder (Boverket, 2006). Ett passivhus får ha en uppvärmning mellan 45 och 65 kWh/m<sup>2</sup>,år, detta beroende på i vilken klimatzon bostaden ligger och hur stor bostaden är (Forum för Energieffektiva Byggnader, 2007).

I ett passivhus är förbrukningen för uppvärmning minskad med 90 % jämfört med sedvanliga hus och med 75 % mot traditionella nybyggda hus. Energifkraven för att värma ett passivhus i Tyskland är 15 kWh per m<sup>2</sup> boyta och år, och är därför mycket mindre än i ett lågenergihus (Passivhaustagung, 2006).

Se ytterligare om energikrav och de andra kraven för ett passivhus i Sverige och Europa i kapitel 2.2.

#### 2.1.4 Komfort

I ett passivhus är komforten signifikant bättre än i ett traditionellt byggt hus (Passivhaustagung, 2006), anledningen till detta är att huset är byggt med en hög kvalitet och att väggarna har samma temperatur som luften inomhus beroende på den tjocka isoleringen. En annan bra sak som spelar in är också att man slipper drag från tilluftsdon bakom radiatorer. Luftkvaliteten i ett passivhus är bättre än i normalbyggandet genom att man har bra mekanisk ventilation med värmeväxlare och ett bra filter som effektivt tar bort pollen och damm från den inströmmande luften. Genom att svensk byggnorm föreskriver en halv luftomsättning per timma i bostäder ventileras dålig luft snabbt bort.

Tätheten i passivhuset gör så att den fuktiga inomhusluften inte går ut i konstruktionen eller att emissioner från byggnads- och ytmaterial tränger in i bostaden. Kontroller av byggmaterialet när ett passivhus byggs, det täta klimatskalet och ventilationen gör att risken för mögel minimeras. De väl isolerade väggarna och fönstren gör att ljudnivån i ett passivhus är mycket låg, liksom bullernivån från ventilationssystemet.

Det som kan minska komforten i ett passivhus, liksom alla andra hus är

att man har alltför stora fönsterpartier som kan ge kallras, därför bör detta undvikas.

(Passivhuscentrum, 2008)

### 2.1.5 Gratisenergi

I motsats till traditionella byggnader, som i europeiskt klimat förlorar mycket av värmen och aktivt måste värmas upp, använder ett passivhus gratisenergin i byggnaden. Med gratisenergi menas värme från personer, elektriska apparater och solenergi. Genom att tillvarata denna energi kan uppvärmningssystemet minskas signifikant. Huset bör också vara orienterat mot söder och hänsyn bör tas till skuggbildning från träd och liknande, då passivt användande av solenergi är en viktig faktor i ett passivhus utformning (Passivhaustagung, 2006).

### 2.1.6 Isolering

För att kunna få ner energibehovet i en byggnad så att den klarar kraven och få kalla sig passivhus är det viktigt att byggnaden har en kompakt form och bra isolering. I Tyskland ska alla komponenter i klimatskalet vara bra isolerade och ha ett U-värde som i medeltal inte överskrider 0,15 W/m<sup>2</sup>K. Fönsterglas och bågar ska vara energieffektiva med ett kombinerat U-värde som inte överskrider 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Klimatskalets lufttäthet måste vara mindre än 0,6 oms/h (Feist, 2008).

Andra saker som är viktiga att isolera är ventilation och tappvattenrören, så att de inte har så stora värmeförluster till omgivningen (European passive houses, 2006).

### 2.1.7 Kostnad

Det finns många olika åsikter om huruvida ett passivhus är lönsamt eller inte. Vissa anser att passivhus inte kommer att betala av sig under sin livstid, medan andra anser att man i längden kan tjäna mycket pengar på att bygga ett passivhus. Sanningen ligger någonstans mittemellan, man ska inte räkna med att tjäna snabba pengar, men över tiden så är ett passivhus en bättre investering än alternativen (Freist, 2007).

Uppförandet av ett passivhus medbringrar många extra kostnader för bland annat extra isolering och mekanisk ventilation. Redan efter ett par år kan totalkostnaden för ett passivhus vara mindre än för ett traditionellt byggt hus, därför är passivhuset i många fall mycket prisvärt (Passivhuscentrum, 2008).

Energibehovet för uppvärmning av ett passivhus är mindre än 10 till 20 kWh/m<sup>2</sup>,år, beroende på klimat. Detta uppskattas till en låg kostnad av 10 till 25 Euro per månad. Alltså är höga energipriser inte längre ett hot för passivhusboende (Freist, 2007).

## 2.2 Krav

Passivhuset är en klar definierad standard i större delen av Europa som en byggnad med ett mycket lågt energibehov. Erfarenheter har visat att en enda definition för passivhuset kan användas mellan latituderna 40°-60°, denna passivhusdefinition har testats i både Skandinavien och södra Europa (Ploss, 2008). Sverige ligger mellan latituderna 54 i söder och 69 i norr (Sverigeatlas, 2008).

Tidigare har man i Sverige använt den tyska kravspecifikationen för bestämning av vad som är ett passivhus, men nu har energimyndigheten utvecklat en egen kravspecifikation som är anpassad för Sveriges klimat (Energimyndigheten, 2007).

### 2.2.1 Tyskland

Kraven för passivhus i Tyskland är att man får ha ett maximalt effektbehov på 10W/m<sup>2</sup> för uppvärmning respektive kyla. Det ska inte finnas någon aktiv komponent för kylning eller uppvärmning och värmeväxlaren ska ha en större verkningsgrad än 75%. Fönster och dörrar ska ha ett U-värde på max 0,8 W/m<sup>2</sup>K. Läckaget vid tryckskillnaden +/- 50Pa ska vara mindre än 0,6 oms/h (Forum för Energieffektiva Byggnader, 2007).

Energikravet för uppvärmning och kylning får uppgå till 15kWh/m<sup>2</sup>,år. Om sedan tappvarmvatten, elektricitet till värmepumpar och ventilation samt hushållsel inräknas får det maximala energibehovet uppgå till 120kWh/m<sup>2</sup>,år (Ploss, 2008).

### 2.2.2 Sverige

För att få kalla ett hus för passivhus i Sverige finns det vissa krav som har tagits fram av Forum för Energieffektiva Byggnader. Kraven är till för att sänka bostadens totala effekt för uppvärmning och uppnå termisk komfort genom endast ventilation. Förutom de krav som Boverkets byggregler(BBR) ställer ska även dessa krav uppnås:

Klimatzon söder

Effektkrav  $P_{\max} = 10\text{W}/\text{m}^2$

Energikrav för uppvärmning ( $\sum E_{fv} + \sum E_{pb} + \sum E_{el}$ )  $\leq 45\text{kWh}/\text{m}^2, \text{år}$

Klimatzon norr

Effektkrav  $P_{\max} = 14\text{W}/\text{m}^2$

Energikrav för uppvärmning ( $\sum E_{fv} + \sum E_{pb} + \sum E_{el}$ )  $\leq 55\text{kWh}/\text{m}^2, \text{år}$

För friliggande villor under  $200\text{m}^2$  får man sänka effektkravet med  $2\text{W}/\text{m}^2, \text{år}$  samt energikravet får reduceras med  $10\text{kWh}/\text{m}^2, \text{år}$ . Energi- och effektbehovet ska vara beräknade med en dimensionerande innetemperaturen på  $20^\circ\text{C}$ . Vi beräkningarna får även den frivärme som alstras från de människor och apparater som befinner sig i byggnaden, detta värde är uppskattat till  $4\text{W}/\text{m}^2$ .

Klimatskalet får maximalt läcka  $0,3\text{ l/s m}^2$  vid tryckskillnaden  $\pm 50\text{Pa}$  och fönstren ska ha ett verifierat U-värde på högst  $0,9\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ . Med den uppvärmda arean avses det utrymme som är uppvärmt till mer än  $10^\circ\text{C}$ .

För uppvärmning ska energianvändningen för ett passivhus ligga mellan  $5\text{-}25\text{kWh}/\text{m}^2, \text{år}$  beroende på var byggnaden ligger och i vilket vädersträck den är orienterad (Forum för Energieffektiva Byggnader, 2007).

### **2.3 Marknaden**

Genom de ökade energikostnaderna samt politikernas och allmänhetens vetskap om bebyggelsens innebörd för klimatförändringar kommer passivhus att byggas över hela världen. När det nästan enbart finns ekonomiska fördelar att bygga i passivhuskonceptet kommer marknaden för detta att växa snabbt (Passivhuscentrum, 2007).

En ny byggnorm arbetas fram av EU och med den vill de att passivhus ska vara den lägsta godtagbara standarden för nybyggnation. Denna byggnorm införs senast 2016, men är i vissa länder redan genomförd (Byggfakta, 2007).

En ny svensk marknadsöversikt visar att marknaden för passivhus, vilka länge funnits i Tyskland, nu också börjar ta fart i Sverige. Även om marknadsundersökningen är positiv finns det mycket kvar att göra för att minska energianvändningen i bebyggelsen, då energieffektiva byggnader snarare är undantag än regel i nybyggnationer (Energimyndigheten, 2007).



## 2.4 Problem

När man bygger ett passivhus är det väldigt viktigt att huset blir så tätt som möjligt. Många menar då att det finns risk för att husen börjar mögla, som byggnaderna gjorde på 70-talet. I verkligheten fungerar det annorlunda, då passivhus använder sig av en mekanisk ventilation. Ett annat problem är att det tar längre tid att planera och bygga, eftersom varje detalj och moment är mer omfattande i ett passivhus än i ett traditionellt hus (Tell Us Stories AB 2007). Att bygga ett passivhus kan vara några procent dyrare än att bygga ett konventionellt hus, detta kommer man troligen att kunna räkna hem på endast några år, då energikostnaderna för uppvärmning nästan är försumbara (Passivhuscentrum, 2007).

## 2.5 Passivhus i Sverige

Idag finns fler än 700 projekterade och byggda lägenheter, villor, radhus och skolor i Sverige. De flesta ligger i sydvästra delen av landet med ett fåtal undantag. I Falun ligger den nordligaste villan i Sverige som är byggd med passivhusteknik. Eftersom huset inte klarar energikravet när det är som kallast har en värmekamin installerats (Passivhuscentrum, 2008).

Det första projektet som byggdes i Sverige är radhusen i Lindås i närheten av Göteborg. De stod klara 2001 och är ett resultat av flera års forskning. Husen är ritade av EFEM arkitektkontor, där väggarna är isolerade med 43cm tjock mineralull. Byggnaden i övrigt är också mycket välisolerad. Mätningar har visat att varje lägenhet använder ca 6000kWh/år, det är något mer än vad man hade räknat med, men tros bero på byggfukten (Anderlind och Stadler, 2004). För att värma varmvattnet finns 5m<sup>2</sup> solfångare på taket till varje bostad, dessa täcker ca 40 % av tappvarmvattensbehovet (Passivhuscentrum, 2007).

Den första villan som byggdes med passivhusteknik stod klar i april 2007, beställare är en barnfamilj och huset är projekterat och byggt av Vårgårdahus. Familjen hade som krav att bygga ett så underhålls- och energisnålt hus som möjligt. Väggarna är uppbyggda av två mineralullslager och mellan de ett lager utav cellplast. För uppvärmningen av varmvatten hade kommunen som krav att fjärrvärme skulle användas. Huset har under det första året förbrukat ca 3300kWh för värmen (Tell Us Stories AB, 2007).

## 3 Trällselement

### 3.1 Bakgrund

#### 3.1.1 Trällsvägg

Trällsväggen är en vidareutveckling av den traditionella trällsplattan, som är uppfunnen i Österrike och patenterades 1908. Plattan blev väldigt populär inom byggbranschen och slog främst igenom som putsbärare och som isolering i väggar. Trällsplattor är en sammansättning av granull, cement och rent vatten, helt utan syntetiska tillsatser. Idag används trällsplattor främst som ljudabsorbent i sport- och simhallar. Mattias Rückert gjorde 1993 ett examensarbete vid Lunds tekniska högskola, arbetet gick ut på att utveckla en yttervägg av trällsblock. Dessa block gav en välisolerad, värmelagrande och fuktsäker konstruktion som även skulle ha samma produktionskostnader som en träregelvägg (Rückert, 1993).

Senare vidareutvecklades dessa trällsväggar från block till helväggselement, detta skapade en mer homogen vägg som är mer välisolerad och väldigt enkel att arbeta med. Dessa väggar är mycket lätta att transportera och tiden för resning av ytterväggarna reduceras kraftigt.



Figur 3-1 Resning av helväggselement i träull. Bild från traullit.se

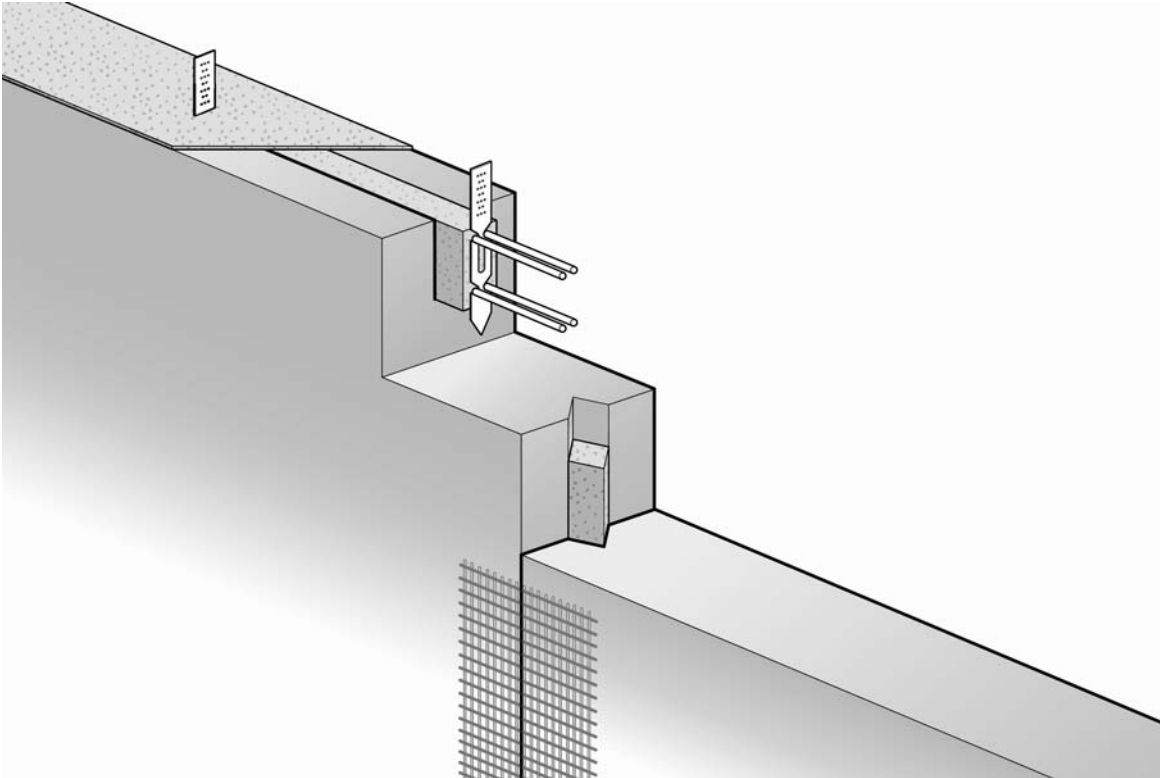
Idag är det familjeföretaget Träullit AB , som står för tillverkningen av träullselement. De har sin fabrik och sitt huvudkontor i södra Östergötland. I tillverkningen finns element i två standardformat, se Tabell 3.1 Det finns även möjlighet att få specialformade väggar som är objektspecifika, dock med maxformatet 2600x6000 mm. (Träullit AB, 2008)

Tjocklek (mm)	Storlek (mm) H*L
400 - 600	2600 x 2400
400 - 600	2600 x 6000

Tabell 3.1 Formaterna som de olika helväggselementen av träull tillverkas i

### 3.2 Att bygga med helväggselement

Helväggselementen är utvecklade för att få ner byggtiden så mycket som möjligt genom att de gjuts på fabrik och kan monteras och eftergutas på mindre än en dag. Elementen kommer ståendes på en lastbil och lyfts direkt på plats med en kran. Mellan de olika byggdelarna gjuts betongpelare och en nätremsa på minst 400mm läggs på ut- och insidan av skarven som sedan slammas. Vid sidan av alla dörröppningar ska betongpelare gutas, dessa måste stabiliseras med formbrädor. I överkant av väggelementet finns en ränna, där det gjuts en armerad betongbalk. Armeringen från pelarna går hela vägen upp till taket. När första våningen är monterad och gjuten kan andra våning lyftas på plats och pelarsystemet gutas. I hammarbandet fästs plattjärn för att takstolarna ska kunna monteras. Om inte fönsteröppningarna har förberetts på fabriken sågas dessa lätt ut med en kedjesåg på plats (Träullit AB, 2008).



**Figur 3-2** Genomsnitt av en träullsvägg

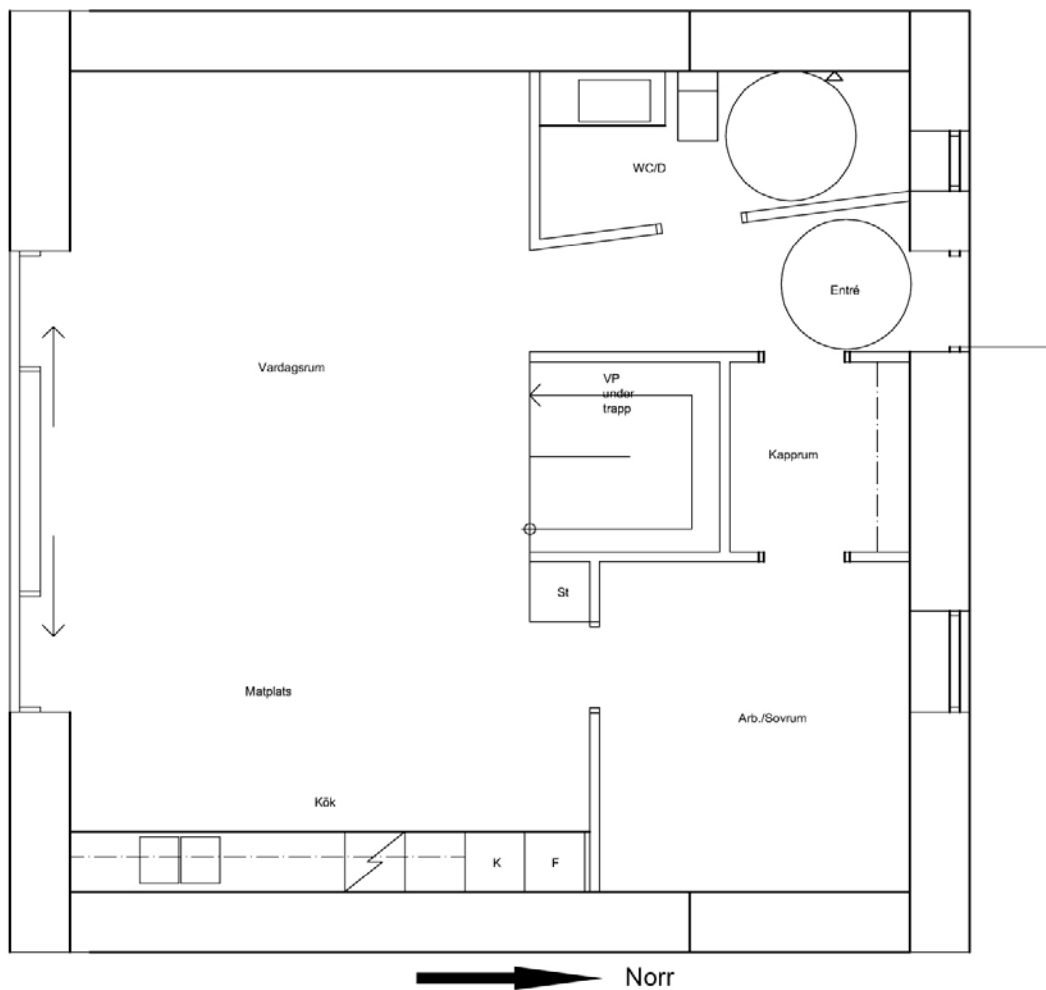
När taket är lagt kan arbetet inomhus påbörjas. Väggarna måste fräsas ur innan installationerna dras och de därefter kan slammats igen och putsas. Det är viktigt att alla genomföringar och kontakter blir helt täta för att den varma luften inte ska läcka ut genom klimatskalet (Rückert, 2008).

## 4 Huset

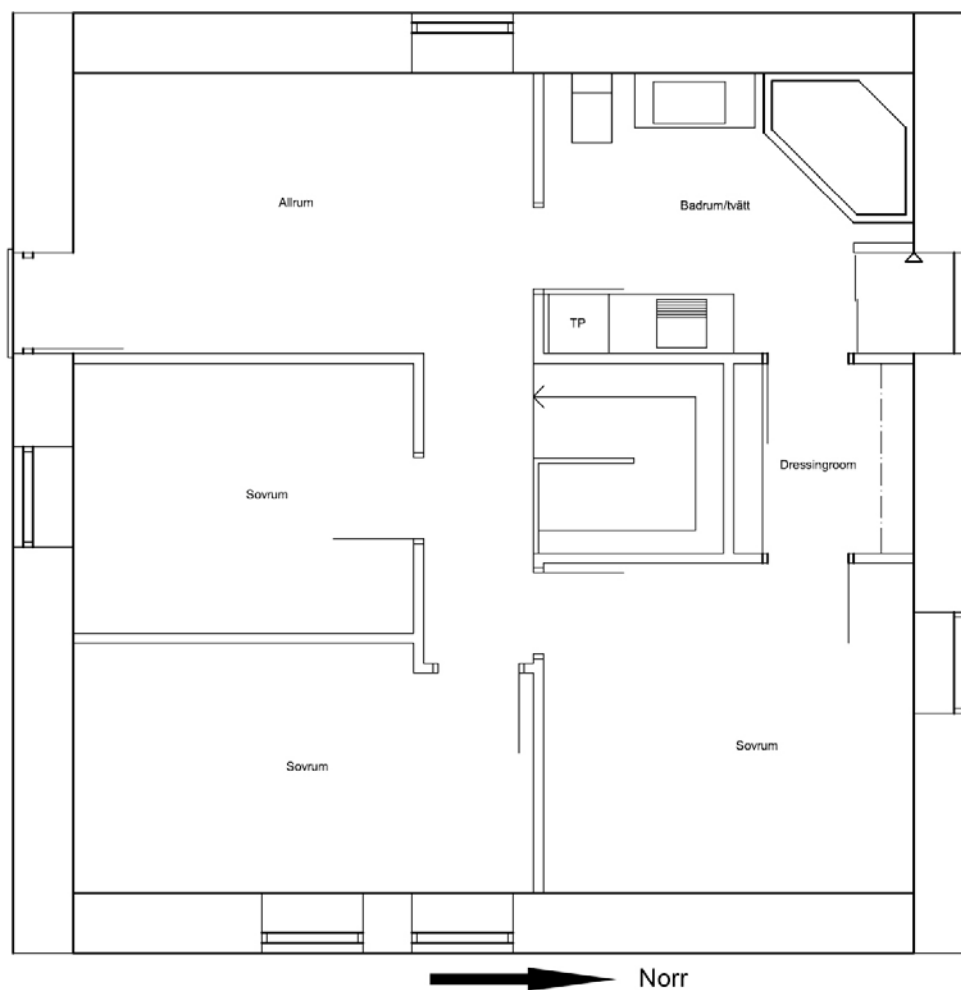
### 4.1 Planlösning

Planlösningen som används genom hela projektet är ett skissförslag ritat av Mattias Rückert från Nike Arkitektur AB.

Huset består av 2 våningar med en boyta av 134 m<sup>2</sup>. Takhöjden på nedervåningen är 2,6 m och 2,4 m på övervåningen. Ytterväggarna är 600 mm tjocka, med puts på både in- och utsidan.



Figur 4-1 Planlösning på den nedre våningen, som används genom hela projektet



**Figur 4-2 Planlösning på den övre våningen, som används genom hela projektet**

Genom att använda en planlösning som har så stor boyta som möjligt till så liten omslutande area så optimerar man förhållandena för att klara kraven för ett passivhus. De olika konstruktionsdelarnas U-värde finns i Tabell 4.1.

Konstruktionsdel	U-värde ( $W/m^2 K$ )
Grund	0.09
Ytterväggar	0.119
Tak	0.066
Ytter dörr	0.6
Skutdörr	0.9
Fönster	0.76 (ej öppningsbara)
	0.60 (öppningsbara)

**Tabell 4.1 U-värde för de olika konstruktionsdelarna**

## 4.2 Värmeväxlaren

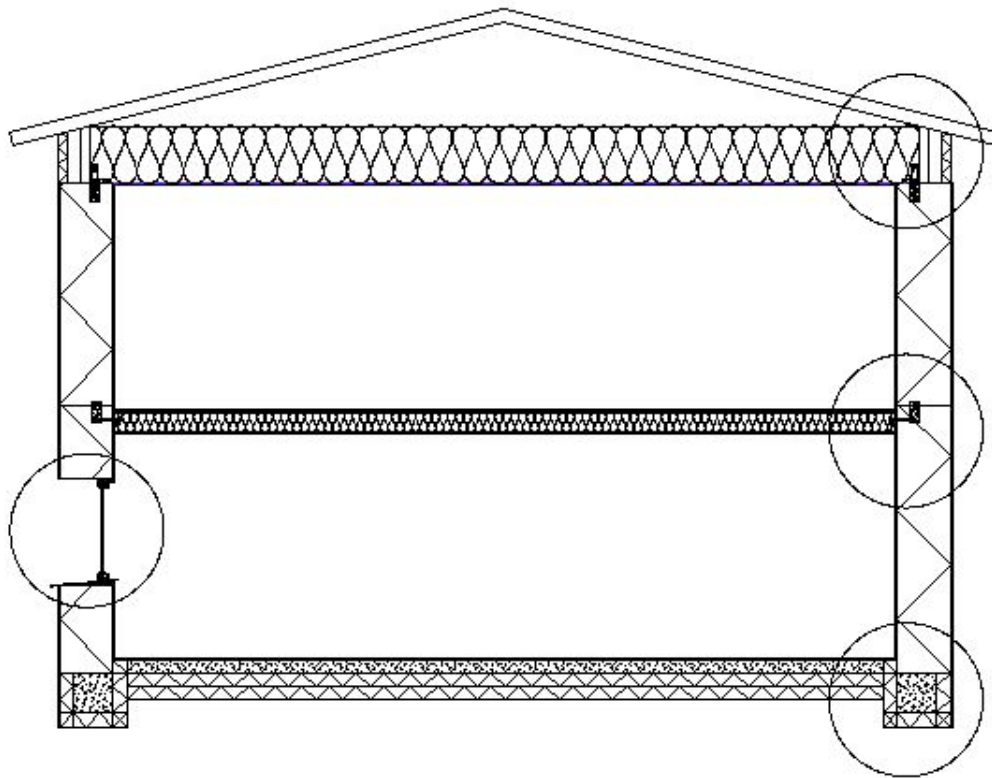
Som det tagits upp tidigare i avsnittet 2.1.2, om ventilation, används alltid en värmeväxlare i passivhus. Denna utrustning används för att återvinna värmen från bostaden. En värmeväxlare av typ motströmsvärmeväxlare används i just detta fall eftersom den har mycket hög verkningsgrad. Friskluften som tas in i bostaden värms upp genom att man tar tillvara på värme från den luft som ventileras bort från bostaden, alltså frånluften. Denna frånluft passerar parallellt med tilluften på var sin sida över ett paket av tunna aluminiumplåtar, detta gör att kontaktytan mellan till- och frånluften blir oerhört stor, vilket gör att den får en hög verkningsgrad mellan 80–90%. Till- och frånluften har aldrig någon direkt kontakt och då sker heller ingen överföring av fukt eller föroreningar mellan de olika luftflödena (REC TemoVex AB, 2006).

Genom att använda en motströmsvärmeväxlare säkerställs att till- och frånluften aldrig har någon direkt kontakt och då sker heller ingen överföring av fukt eller föroreningar mellan de olika luftflödena (Ventin.se, 2008). En annan klar fördel med en värmeväxlare av detta slag är att den skapar en god komfort med bra inomhusklimat (Fresh AB, 2006).

En av de negativa sidorna är att det ibland kan bli lite för torr luft inomhus under de kallaste vinterdagarna, då den relativa fuktigheten är låg. En annan nackdel kan vara det höga priset på motströmsvärmeväxlare i jämförelse med andra värmeväxlare (Vent funktion AB, 2007).

## 4.3 Detaljer

Energien i dagens hus läcker ut på två sätt konvektion och ledning. Konvektion finns av två typer läckage och kontrollerad ventilation, ledningen är den värmen som går ut genom byggnadsdelarna. (Warfvinge, 2001) Därför är detaljerna valda utifrån att ha ett så lågt U-värde som möjligt, detta för att motverka köldbryggor samt luftläckage vilket är det viktigaste vid utveckling av ett passivhus. Alla detaljernas U-värde är uträknade i DEROB-LTH.



Figur 4-3 Sektionsritning, där de detaljer vi fokuserat på är markerade

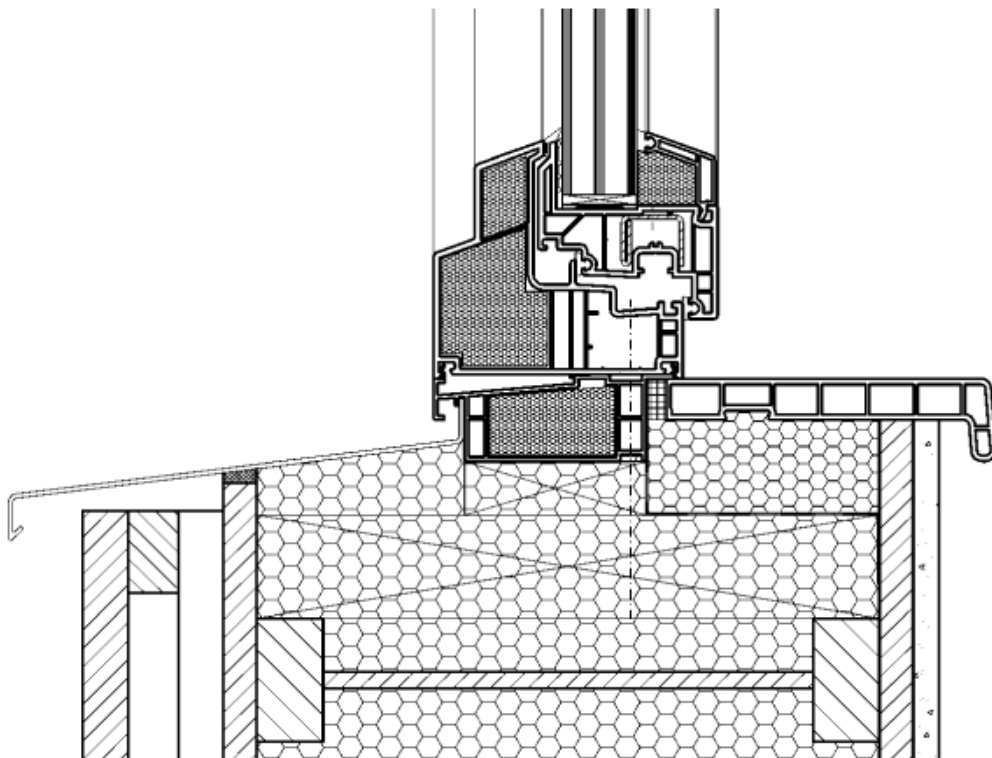
#### 4.3.1 Väg

Väggen består av halvväggselement i träull, för att säkerställa tätheten i klimatskalet putsas både in- och utsidan av byggnaden. I elementen gjuts ett pelarsystem in med dimensionerna 100\*100mm på pelarna och 100\*150mm på hammarbandet.



#### 4.3.2 Fönster och Dörrar

Dörren är av fabrikatet Diplomat utan fönster och har ett U-värde på  $0,84\text{W/m}^2\text{K}$  (Diplomatdörrar, 2008). Fönstret är ett treglasfönster med en karmbredd på 120mm och är av märket Rehaus, typen Clima design. Vid tester på Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) fick fönstret ett U-värde för hela konstruktionen på  $0,76\text{W/m}^2\text{K}$ , där enbart glaset har ett U-värde på  $0,6\text{W/m}^2\text{K}$  (G&B i Rottne AB, 2007). Det stora glaspartiet kommer från Hajom skjutdörrar AB och har ett U-värde på  $0,9\text{W/m}^2\text{K}$  (Hajom skjutdörrar AB, 2008). Fönster och dörrar monteras genom att väggen förborras, pluggas och tätas. För att få det helt tätt ska det extraisoleras runt om fönstret och karmen byggas in i väggen.

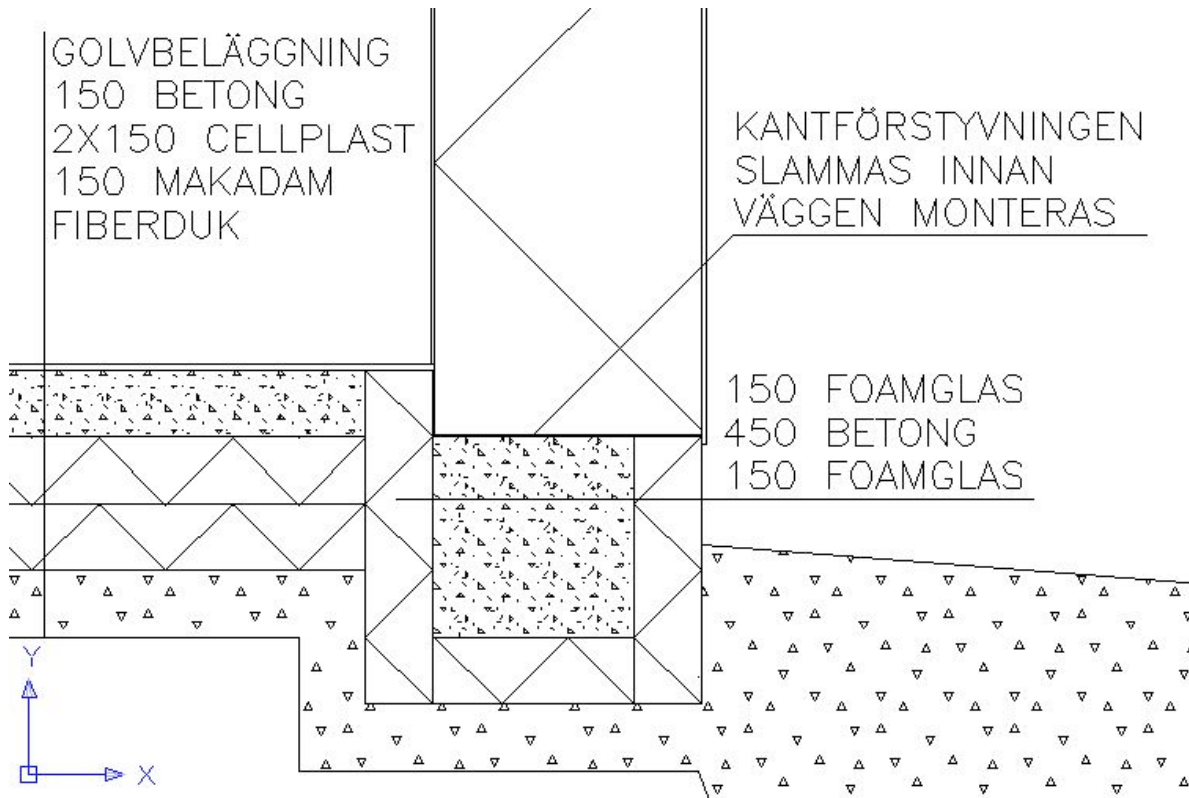


Figur 4-4 Fönsterdetalj, bild från Rehau.de

#### 4.3.3 Mark

Markplattan är gjuten och uppförd enligt Figur 4-5 med underliggande cellplastisolering och ett flytande golv. Eftersom det är viktigt att huset blir så tätt som möjligt är grundbalken skild från övriga plattan och gjuten med isolering av foamglas. Mellan väggen och golvet skjuter foamglaset upp och ser till att anslutningen blir helt tät och att köldbryggan bryts. På utsidan putsas väggen med 12mm puts som går ner över sockeln och väggen putsat även på insidan. Grunden har ett U-värde på  $0,09\text{W/m}^2\text{K}$

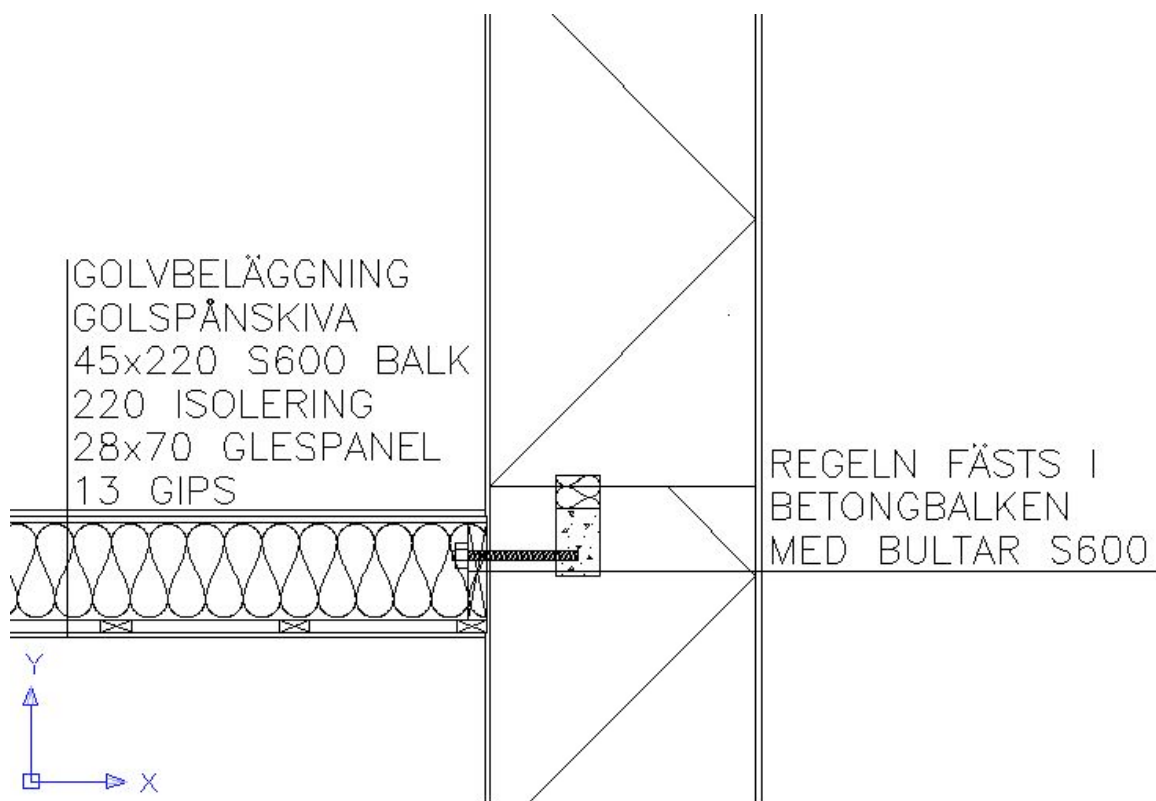
och under den ligger makadam och en fiberduk för att motverka att jorden blandas med makadammen.



Figur 4-5 Detaljanslutning mellan golv och vägg

#### 4.3.4 Mellanbjälklag

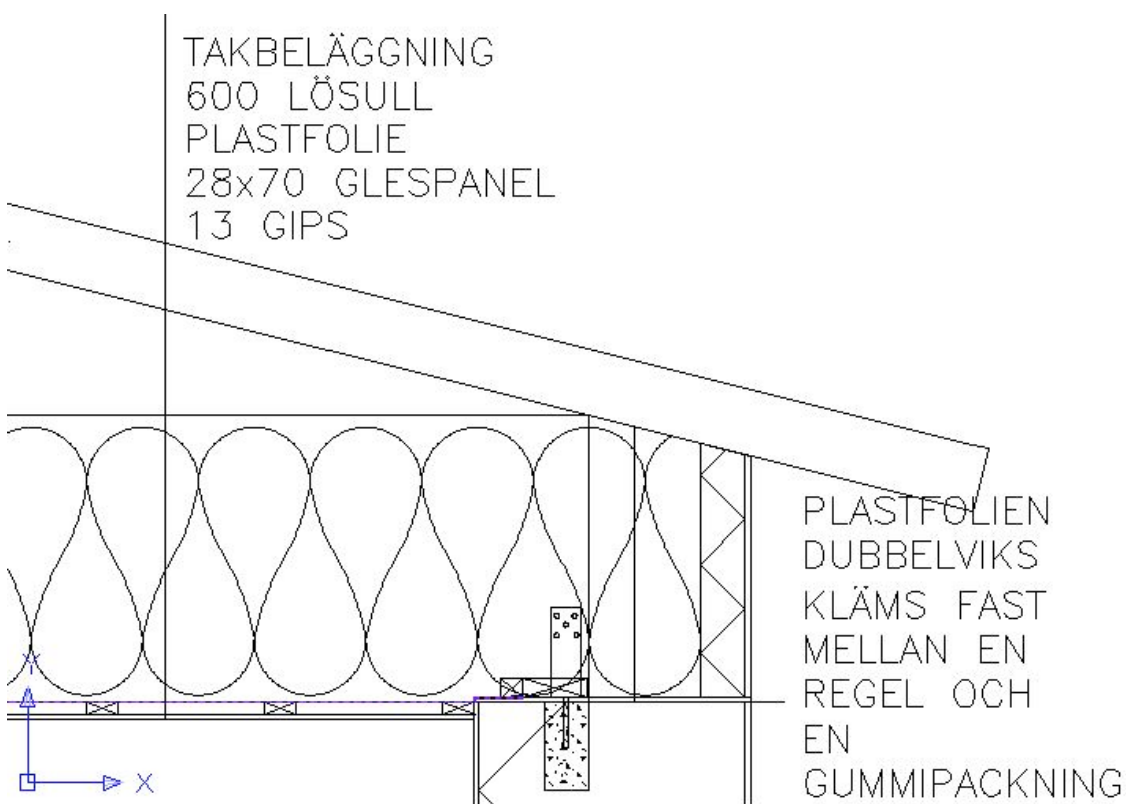
En träbalk bultas fast i ytterväggens balksystem, därefter spikas balkskor fast i balken. De bärande delarna i mellanbjälklaget fästs sedan vid dessa balkskor. Figur 4-6 visar hur anslutningen mellan vägg och mellanbjälklag ser ut. För att få anslutningen helt diffusions­tät måste hålen där bultarna sätts in silikontätas. Innan balkarna sätts upp ska väggen bakom slammas. När betongbalken gjuts i det undre väggelementet sparas 50mm luftficka i ovankant, som sedan fylls med 75mm mineralull. När det övre elementet sätts på plats trycks isoleringen ihop, blir anslutningen tät och köldbryggan minimeras. Väggens U-värde är 0,12W/m<sup>2</sup>K.



Figur 4-6 Anslutning mellanbjälklag och vägg

#### 4.3.5 Tak

Inifrån sett är taket uppbyggt med gipsskivor, glespanel, plastfilm, isolering och taktäckning. För att få det helt tätt är det viktigt att putsa även ovansidan av väggelementet innan plastfolien fästs ovanför glespanelen. Folien ska dubbelvikas och klämmas fast mellan en regel och en gummipackning. Takstolen är av typen uppstolpad takstol och ska monteras efter att plasten skarvats, därefter sprutas vinden med 600mm mineralull. Hela takkonstruktionen, som kan ses i Figur 4-7, har ett U-värde 0,07 W/m<sup>2</sup>K.



Figur 4-7 Anslutning mellan vägg och tak

## 5 Handberäkningar

### 5.1 Beräkningar

#### 5.1.1 U-värdesberäkning

För att beräkna U-värdet finns det två olika metoder,  $\lambda$ -värdesmetoden och U-värdesmetoden. Vår beräkning är utförd med U-värdesmetoden.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

$$U = \frac{1}{\sum R}$$

Definitioner:

$R$  = Värmegenomgångsmotstånd

$\lambda$  = Värmekonduktivitet

$d$  = Byggsdelens tjocklek

$U_i$  = Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdel

$A_i$  = Arean för byggnadsdelens i yta mot uppvärmd inneluft

Byggnadsdel, i	U-värde (W/m <sup>2</sup> K)	A (m <sup>2</sup> )	U*A (W/K)
Vägg	0,119	151,5	18,03
Tak	0,066	68,8	4,54
Grund	0,09	68,8	6,19
Fönster, fasta	0,6	6	3,6
Fönster, öppningsbara	0,71	6,5	4,62
Ytterdörrar	1	2,1	2,1
Skjutpartier	0,9	9,8	8,82

**Tabell 5.1** visar del olika byggnadsdelarnas U-värden och Areor, samt produkten av de båda.

$$\sum (U_i \times A_i) = (U \times A)_{Vä} + (U \times A)_{Ta} + (U \times A)_{Gr} + (U \times A)_{Ff} + (U \times A)_{Fö} + (U \times A)_{Yd} + (U \times A)_{Sp}$$

$$\sum (U \times A) = 18,03 + 4,54 + 6,19 + 3,6 + 4,62 + 2,1 + 8,82 = 47,90 \text{ W/K}$$

$$U_{medel} = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) + \sum_{k=1}^m (l_k \times \psi_k) \sum_{j=1}^p \chi_j}{A_{om}}$$

$$A_{om} = \sum A_i$$

$$A_{om} = 151,5 + 68,8 + 68,8 + 6 + 6,5 + 2,1 + 9,8 = 313,5$$

$$\sum_{i=1}^n (U_i \times A_i) = 47,9 \text{ W/K}$$

$$\sum_{k=1}^m (l_k \times \psi_k) = 2,1 \text{ W/K}$$

$$U_{medel} = \frac{47,9 + 2,1}{138} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 5.1.2 Energibehovsberäkning

$$Q_{tot} = (\sum(U_i \times A_i) + (q_{läck} \times \rho \times c_p) + (1 - \eta) \times (q_v \times \rho \times c_p)) \times S_{korr} + Q_{vv}$$

$$Q_{vv} = \frac{V_{vv} \times 55}{A_{temp}}$$

#### Definitioner:

$E_{tot}$  = totalt energibehov i byggnad (kWh)

$E_{vv}$  = energibehov för tappvarmvatten (kWh)

$E_{tot, krav}$  = maximalt tillåtet energibehov (kWh)

$U_i$  = respektive byggnadsdels U-värde (W/m<sup>2</sup>K)

$A_i$  = respektive byggnadsdels yta (m<sup>2</sup>)

$\rho$  = luftens densitet, (1,2 kg/m<sup>3</sup>)

$c_p$  = specifik värmekapacitet för luft, (1010 J/kg K)

$\eta$  = återvinningens verkningsgrad (%)

$q_{läck}$  = läckage luftflöde (m<sup>3</sup>/s)

$q_{vent}$  = ventilation luftflöde (m<sup>3</sup>/s)

$A_{temp}$  = golvarean i temperaturreglerade utrymmen avsedd att värmas till mer än 10°C begränsade av klimatskärmens insida (m<sup>2</sup>)

$Gt$  = gradtimmar (°Ch)

$P_{gratis}$  = Gratis effekt

$E_g$  = Gratis energi

Bet.	värde	enhet	värde	enhet
$\rho$	1,2	Kg/m <sup>3</sup>		
$c_p$	1010	J/kg K		
$\eta$	0,87	%		
$q_{läck}$	0,1	l/s	49,65	m <sup>3</sup> /h
$q_{läck}$	0,05	oms/h	17,24	m <sup>3</sup> /h
$q_v$	0,35	l/s	173,79	m <sup>3</sup> /h
$Gt$	71800	°Ch		
	3	°C		
$A_{temp}$	137,93	m <sup>2</sup>		
$P_{gratis}$	4	W/m <sup>2</sup>		
$E_g$	4833	Wh/år		

**Tabell 5.2**

$$E_{vv} = \frac{16 \times 4 \times 55}{138} \times 0,8 = 20,42 \text{ kWh/m}^2$$

$E_{vv}$  multipliceras med 0,8 för att det används resurseffektiva engreppsblandare, vilka minskar varmvattensvolymen med 20 %.  
(Kravspecifikation för passivhus i Sverige-energieffektiva bostäder)

Om det sedan använd solfångare kan solenergin användas till tappvarmvatten under vår, sommar och höst. Därigenom kan man minska energibehovet för tappvarmvattnen med ytterligare 40 % (Isolerguiden)

$$E_{vv} = \frac{16 \times 4 \times 55}{138} \times 0,8 \times 0,6 = 12,25$$

I vår bostad har vi ej räknat med att en solfångare installerats.

$$E_{värme} = 47,90 + (17,24 \times 1,2 \times 1010) + ((1 - 0,87) \times 173,79 \times 1,2 \times 1010) \times 71800 = 31,91 \text{ kWh/m}^2$$

$$E_{tot} = E_{värme} + E_{vv}$$

$$E_{tot} = 31,91 + 20,42 = 52,33$$

$$E_{tot,krav} \leq 55 \text{ kWh/m}^2 \text{ och år}$$

$E_{tot,krav}$  avser kraven för en friliggande villa med en area under 200 m<sup>2</sup> som ligger i klimatzon söder.

$E_{tot} \leq E_{tot,krav}$  vilket gör att kravet uppnås för att vår bostad ska klassas som ett passivhus.

### 5.1.3 Effektbehovsberäkning

$$P_{F,dim} = \Sigma(U \times A) \times (\theta_{i,dim} - \theta_{u,dim}) + \Delta Q_{K,dim} + M_U \times c_{pl} \times (\theta_{i,dim} - \theta_{u,dim}) + M_T \times c_{pl} (\theta_{i,dim} - \theta_{u,dim})$$

$$P_{F,dim} / m^2 = \frac{P_{F,dim}}{A_{temp}}$$

$$P_{tot} = P_{F,dim} / m^2 - P_{Gratis}$$

$$P_{F,tot} \leq P_{F,krav}$$

Definitioner:

$P_{F,krav}$  = Maximalt tillåtet effektbehov, i detta fallet 12 W/m<sup>2</sup> och år

$P_{F,tot}$  = Totalt effektbehov

$P_{F,dim}$  = Totalt effektbehov utan gratis effekt

$P_{Gratis}$  = Gratiseffekt motsvarande 4 W

$\Sigma(U \times A)$  = Summan av produkten av U-värde och area

$\theta_{i,dim}$  = Inomhustemperatur

$\theta_{u,dim}$  = dimensionerande utomhustemperatur, EUT5 (medelvärde av extrem utemperatur under 5 dygn)

$\Delta Q_{K,dim}$  = dimensionerande värmeförluster genom köldbryggor

$M_U$  = Läckluftsflöde

$M_T$  = Ventilationsflöde

$c_{pl}$  = specifik värmekapacitet för luft, (1010 J/kg K)

Bet.	värde	enhet	värde	enhet
$P_{gratis}$	4			
$\theta_{i, dim}$	20	°C		
$\theta_{u, dim}$	-10	°C		
$q_{läck}$	0,1	l/s	49,65	m <sup>3</sup> /h
$q_{läck}$	0,05	oms/h	17,24	m <sup>3</sup> /h
$q_v$	0,35	l/s	173,79	m <sup>3</sup> /h

Tabell 5.3

$$P_{F, dim} = 47,90 \times (20 - (-10)) + 0,004789 \times (20 - (-10)) + 0,006276 \times (20 - (-10)) = 1772,16 \text{ W}$$

$$P_{F, dim} / m^2 = \frac{1772,16}{138} = 12,85 \text{ W/m}^2$$

$$P_{F, tot} = 12,85 - 4 = 8,85 \text{ W/m}^2$$

$$P_{F, krav} \leq 12 \text{ W/m}^2$$

$P_{F, krav}$  avser kraven för en friliggande villa med en area under 200 m<sup>2</sup> som ligger i klimatzon söder.

$P_{F, tot} \leq P_{F, krav}$  vilket gör att kravet uppnås för att vår bostad ska klassas som ett passivhus.



## 6 DEROB-LTH

DEROB-LTH är en vidareutvecklad version av beräkningsprogrammet DEROB från arkitekturskolan vid University of Texas. Det är ett dynamiskt beräkningsprogram som först och främst används av forskare runt om i världen för att beräkna hur solavskärmning och solinstrålning påverkar energiförbrukning och innetemperatur i en byggnad. En 3D-modell av byggnaden byggs upp och placeras i en klimatzon som överensstämmer med vart byggnaden ligger geografiskt. Programmet kan bland annat beräkna effekter, energibehov, temperaturer och termiskt klimat för en byggnad. DEROB-LTH behandlar också byggnadens olika rum och zoner (Lunds Tekniska Högskola, 2007)

### 6.1 Resultat

#### 6.1.1 Simulering

När vi började vår planering att skapa ett passivhus av träullsväggar användes den planlösning som beskrivs i kapitel 4.

#### 6.1.2 Olika varianter av byggnaden

I DEROB-LTH har simuleringar gjorts för flera olika varianter av vår byggnad, där man utgått från ett grundfall och utifrån det gjort vissa modifieringar. Bland annat har vi testat att dra in fönstren i fasaden, för att solinstrålningen inte ska bli lika stor och bytt ut materialet i väggarna till mineralull. När dessa förändringar utförts har resultaten av beräkningarna jämförts med varandra och därigenom ser man hur de olika modifieringarna kommer att förändra energiförbrukningen och temperaturen i huset under ett år. I de olika simuleringar som utförts har inputdata från Tabell 6.1 använts i samtliga, medan vi i varje alternativ har använt specifik data.

U-värde:	Grund:	0.09 W/m <sup>2</sup> K
	Ytterväggar:	0.119 W/m <sup>2</sup> K
	Tak:	0.066 W/m <sup>2</sup> K
	Ytter dörr:	0.6 W/m <sup>2</sup> K
	Skutdörr:	0.9 W/m <sup>2</sup> K
	Fönster:	0.76 W/m <sup>2</sup> K (ej öppningsbara)
		0.60 W/m <sup>2</sup> K (öppningsbara)
Ventilation:	Luftläckage:	0,05 oms/h
	Mekanisk ventilation:	0,5 oms/h
	Värmeväxlarens verkningsgrad:	87 %
Orientering:	Fönsterparti mot söder, 0° roterat	
Boyta:	134 m <sup>2</sup>	
Jordmotstånd:	2.2 W/m <sup>2</sup> K	
Grundens reflektion:	20 %	
Innetemperatur:	20 °C	
Klimatdata:	Simuleringen gjordes med klimatdata för Lund.	
Gratis effekt från apparater och personer	4W/m <sup>2</sup>	

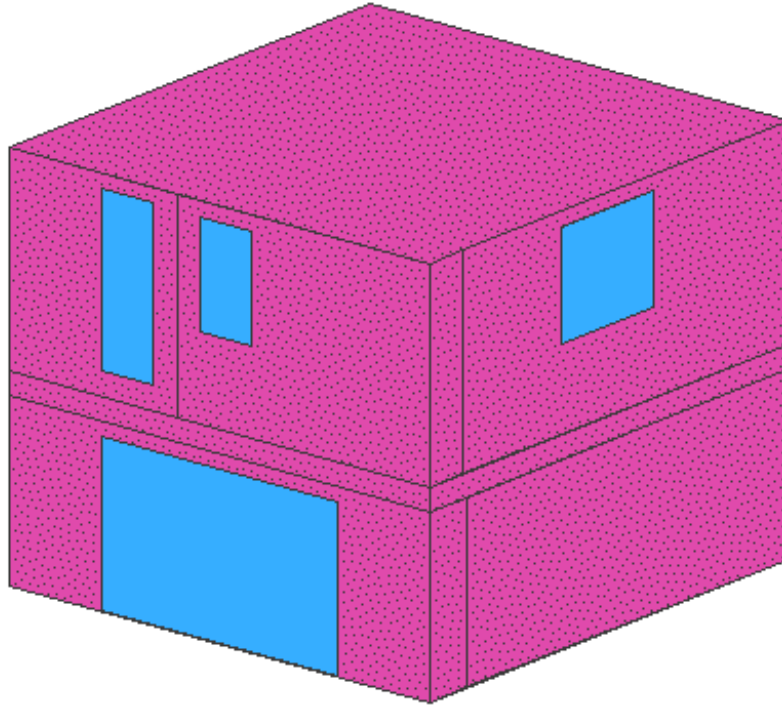
Tabell 6.1 Grundfallets inputdata

Huset värms upp av den energi, vilken personerna som bor i huset producerar. Människor producerar ca 1W/Kg vid sovande tillstånd och ju mer man rör på sig desto mer energi alstras. Vid beräkningarna sätts gratisenergin till 4 W/m<sup>2</sup>, i detta inkluderas all värme från personer och apparater. Soltillskottet ingår inte i dessa 4 W/m<sup>2</sup>, utan medräknas med hjälp av klimatfilen.

I programmet finns idag ingen funktion för att lägga in köldbryggor. Detta löses genom att en väggdel med sämre U-värde placeras in i huset. Denna del kan ses som en sammansatt köldbrygga för hela huset.

#### 6.1.2.1 Alternativ 1, grundfallet

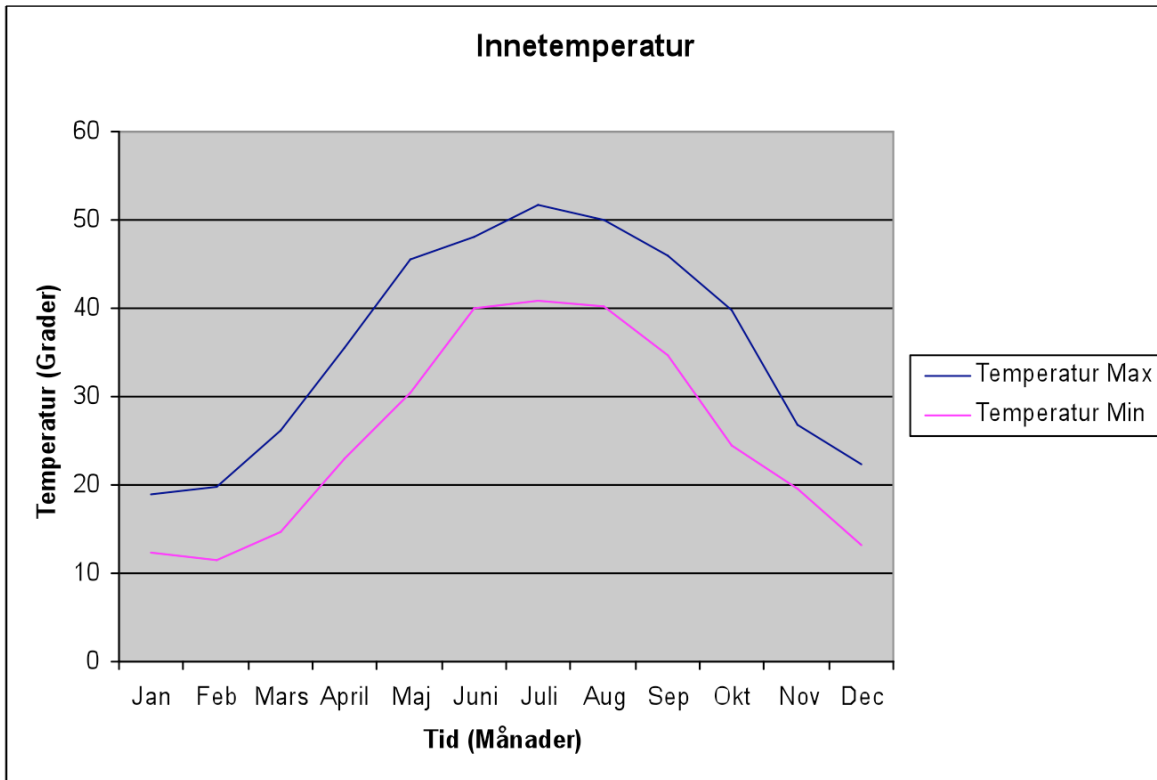
I grundfallet har vi valt att utgå ifrån ett träullshus, basfakta om detta fall kan ses i Tabell 6.2. Figur 6-1 visar hur en modell av bostaden, uppritad i DEROB-LTH ser ut. De rosa delarna är väggar och tak, medan de blå är fönster, dörrar och glaspartier.



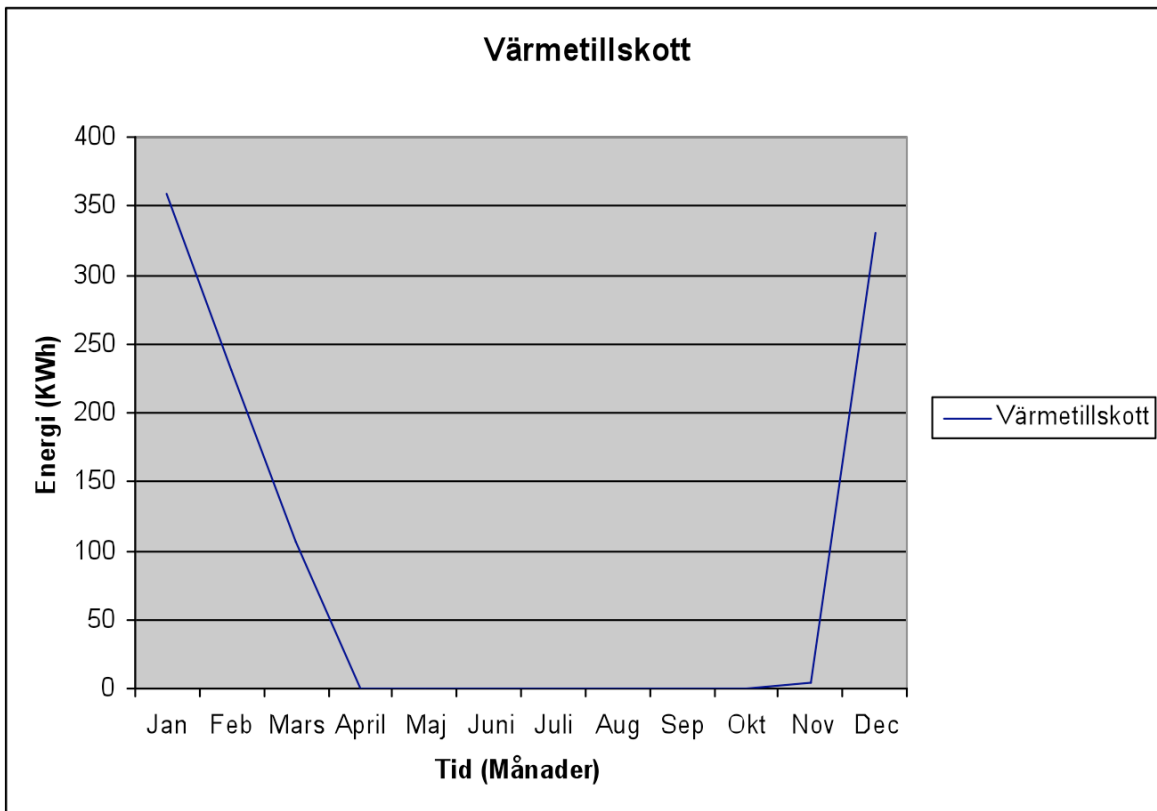
**Figur 6-1 Modell av bostaden i DEROB-LTH**

Väggmaterial	Träull
Vägg tjocklek	600 mm
Värmelagringskapacitet	250 kJ/m <sup>2</sup> °C
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Inomhustemperatur	20°C
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Lund

**Tabell 6.2 Basfakta om vårt grundfall**



Figur 6-2 Temperaturvariation över året utan värmestillskott för alternativ 1



Figur 6-3 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 1

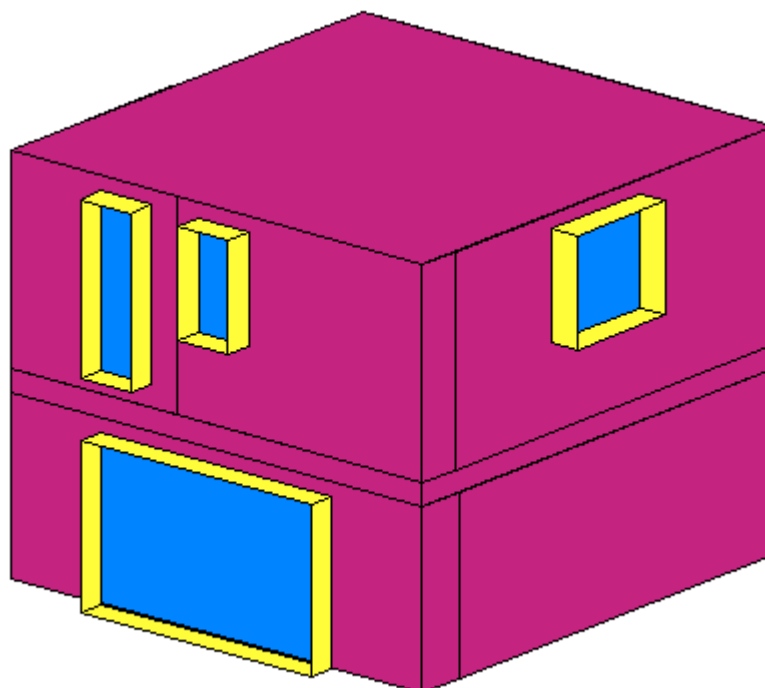
Energibehovet över ett år för denna variant av huset ligger på 7,7 kWh/m<sup>2</sup>.

### 6.1.2.2 Alternativ 2, fönster indragna

I *alternativ 2* har vi testat hur stor skillnaden blir i energiförbrukning och temperatur när fönstren är indragna 500 mm in i fasaden jämfört mot när fönstren var placerade ute i fasaden. Tabell 6.3 innehåller data för *alternativ 2* och Figur 6-4 visar hur fönstren är indragna i fasaden, detta åstadkoms genom att man placerar skärmar runt fönstren som föreställer och fungerar som fönstersmygar.

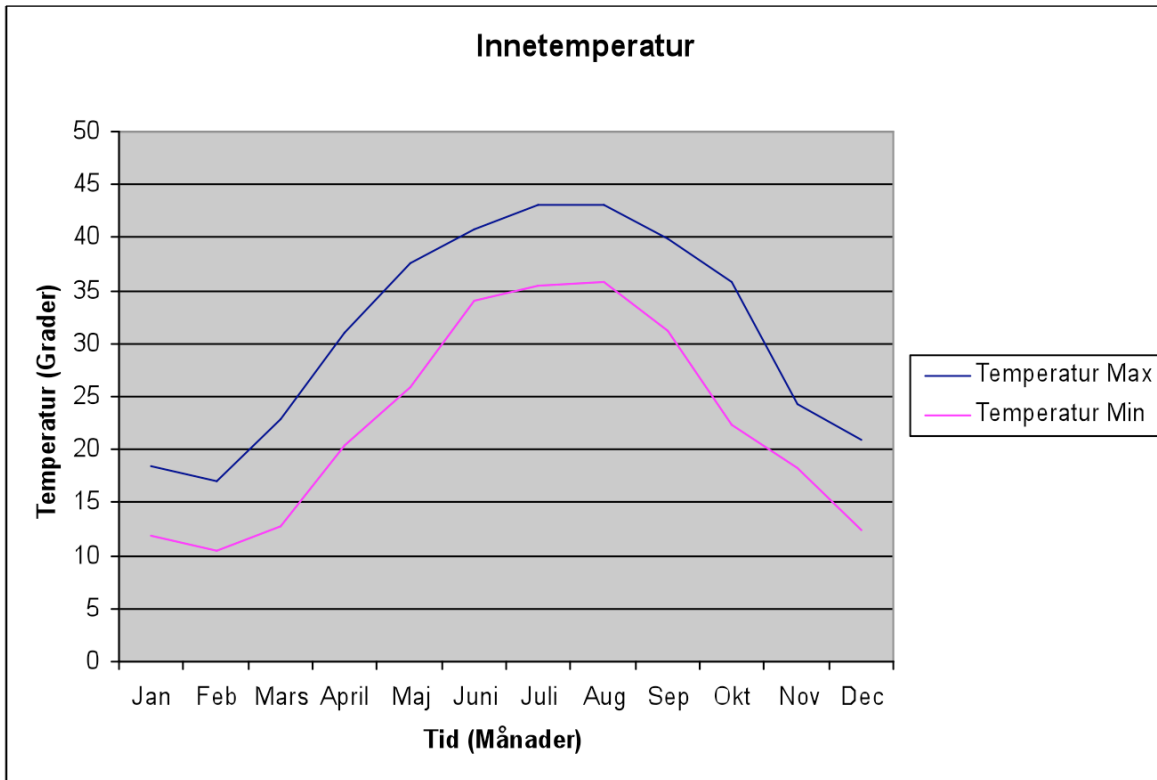
Väggmaterial	Träull
Vägg tjocklek	600 mm
Värmelagringskapacitet	250 kJ/m <sup>2</sup> °C
Fönsterplacering	Indragna i fasaden
Inomhustemperatur	20°C
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Lund

Tabell 6.3 Inputdata för alternativ 2

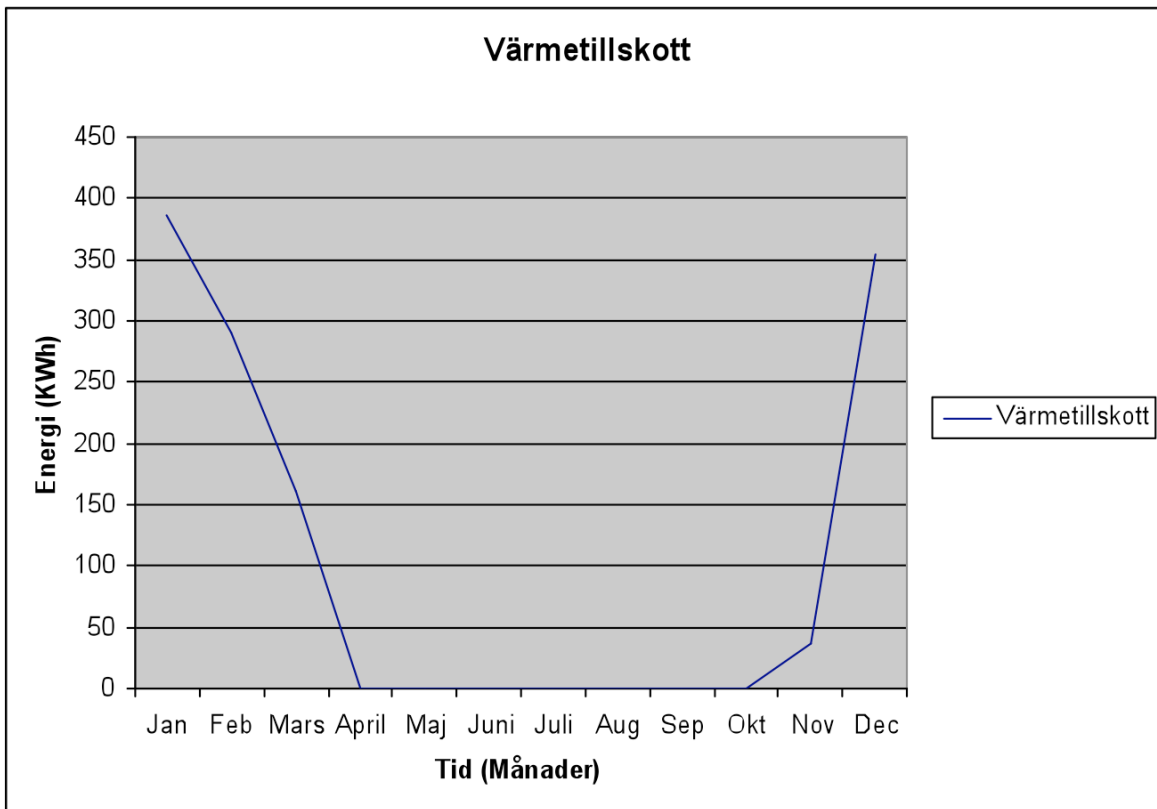


Figur 6-4 Simuleringsmodell i DEROB-LTH.

I Figur 6-5 visas ett diagram på inomhustemperaturens variationer över hela året, både ett max och ett minvärde är utsatt varje månad. Då inomhustemperaturen understiger 20°C går ett värmeelement igång, detta värmer upp tilluften innan den förs in i rummen. Figur 6-6 visar den energi som är nödvändig för att hålla temperaturen över 20°C.



Figur 6-5 Temperaturvariation över året utan värmertilskott för alternativ 2



Figur 6-6 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 2

Energibehov för uppvärmning av bostaden ligger på 9,2 kWh/m<sup>2</sup> och år.

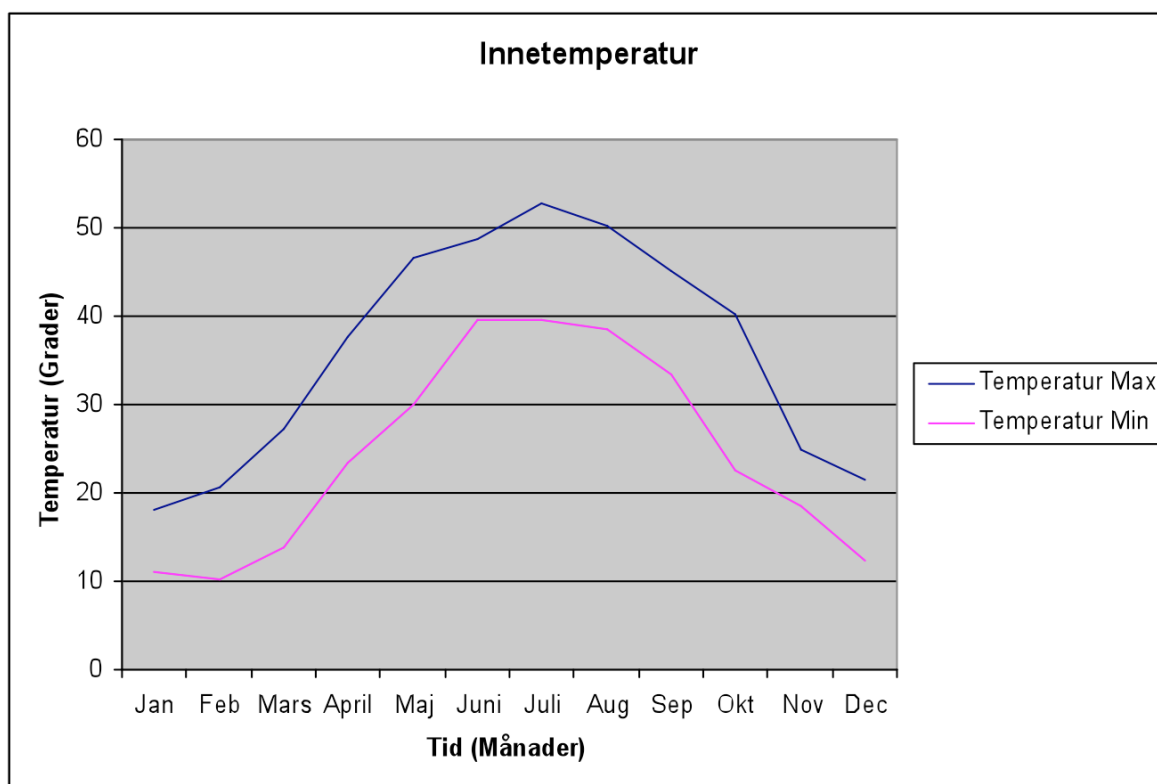
### 6.1.2.3 Alternativ 3, mineralull

I *alternativ 3* gjordes en simulering där väggarna byttes ut till mineralull istället för träull. Mineralullsväggen har utformats så att samma U-värden som i träullsväggen har erhållits. Tabell 6.4 visar data som skiljer *alternativ 3* från grundfallet.

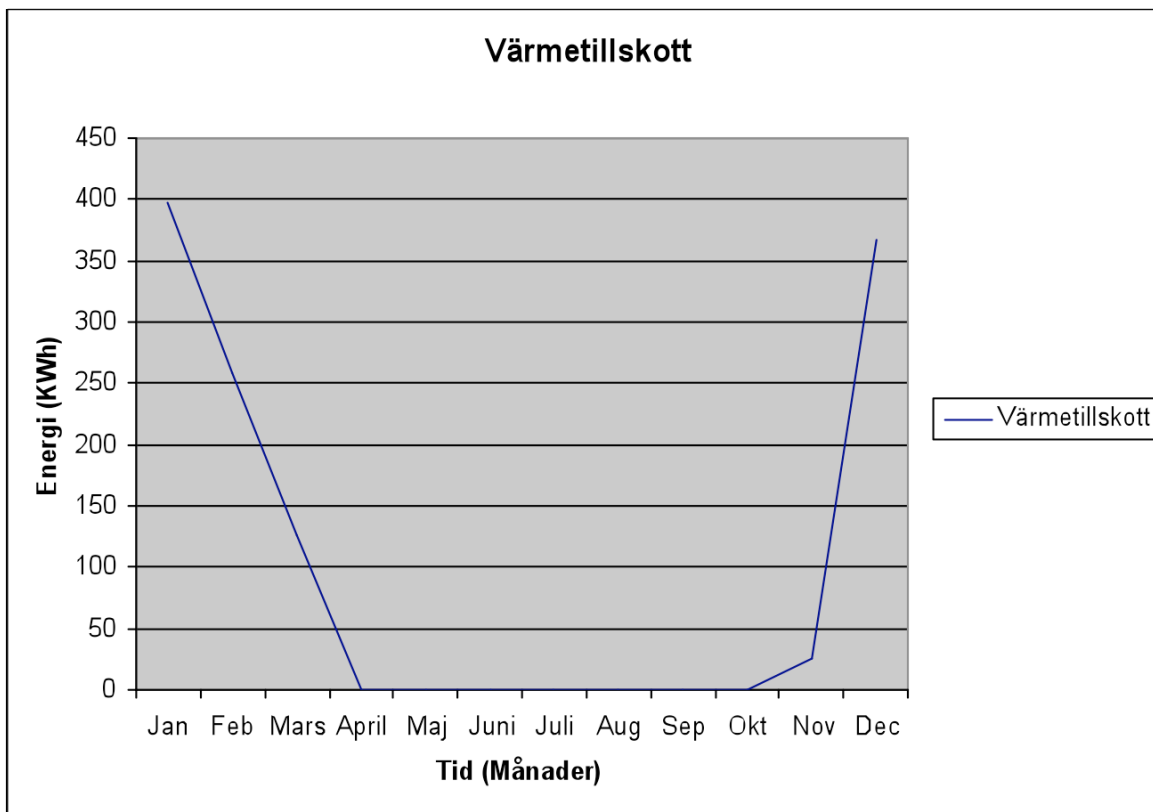
Väggmaterial	Mineralull
Väggtjocklek	353 mm
Värmelagringskapacitet	29,3 kJ/m <sup>2</sup> K
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Inomhustemperatur	20°C
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Lund

Tabell 6.4 inputdata för alternativ 3

Figur 6-7 och Figur 6-8 är diagram över inomhustemperaturen och värmetillskottet i ett mineralullshus med samma U-värden som huset av träull i grundexemplet.



Figur 6-7 Temperaturvariation över året utan värmetillskott för alternativ 3



Figur 6-8 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 3

För huset som vi simulerat med mineralull blir resultatet av energibehovsberäkningen i DEROB-LTH 8,7 kWh/m<sup>2</sup>,år.

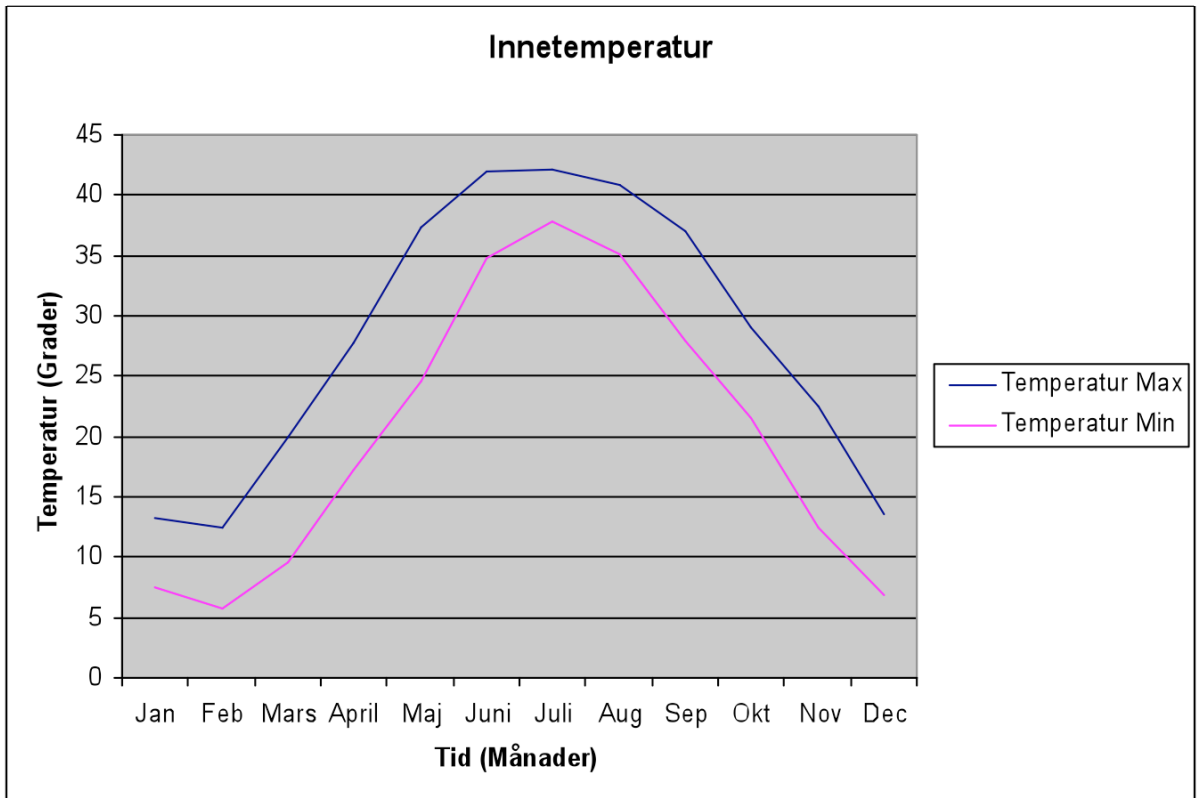
#### 6.1.2.4 Alternativ 4, fönsterfasad mot norr

I *alternativ 4* har vi testat hur stor skillnaden blir om huset roteras 180 grader från söder, så att den tänkta söderfasaden, med det stora fönsterpartiet, vänds åt norr. Data förutom de gemensamma inputdata som använts för alla alternativ syns i Tabell 6.5.

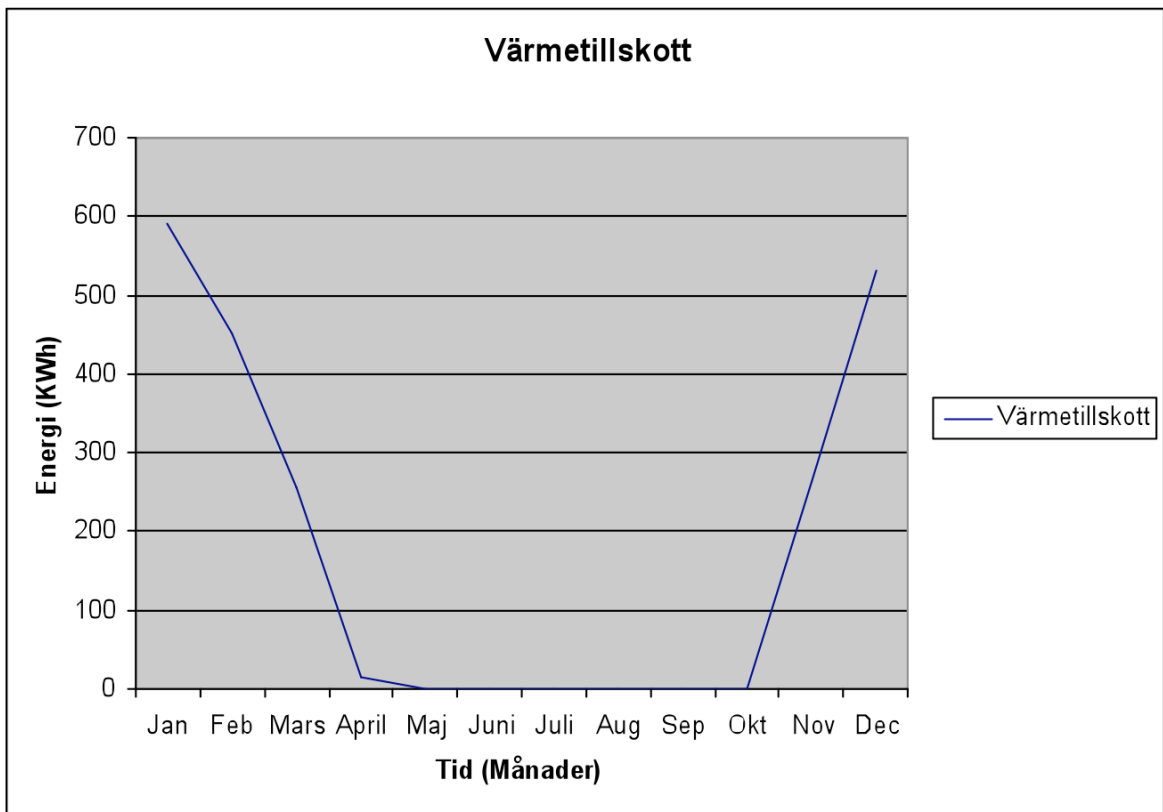
Väggmaterial	Träull
Vägg tjocklek	600 mm
Värmelagringskapacitet	250 kJ/m <sup>2</sup> K
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Inomhustemperatur	20°C
Rotation av huset	180°
Simuleringsort	Lund

Tabell 6.5 inputdata för alternativ 4





Figur 6-9 Temperaturvariationer över året utan värmestillskott för alternativ 4



Figur 6-10 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 4

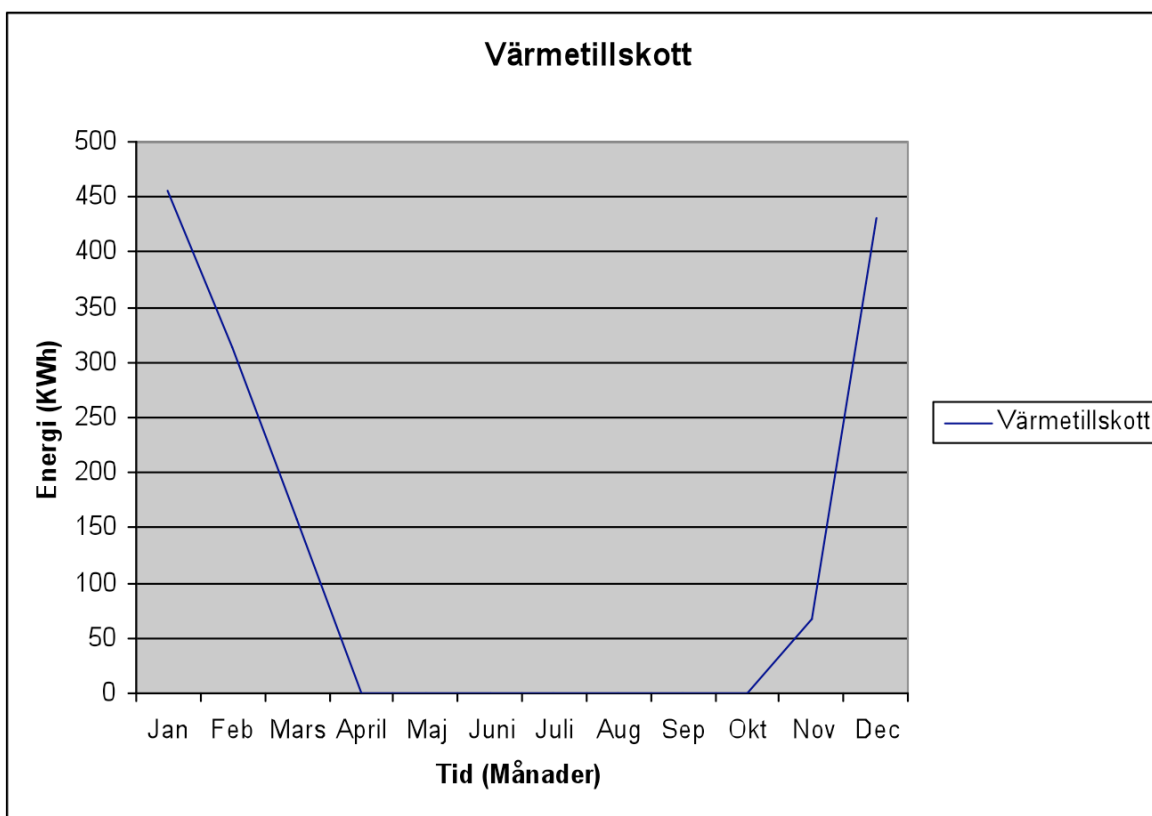
När huset har roterats 180 grader, så att den tänkta söderfasaden, med det stora fönsterpartiet, vänds åt norr, blir det totala energibehovet 15,7 kWh/m<sup>2</sup>,år.

#### 6.1.2.5 Alternativ 5, höjning av temperatur

Vad som händer med energibehovet när inomhustemperaturen ändras från 20°C till 22°C simuleras i *alternativ 5*. De data som gäller för denna variant ses i Tabell 6.6.

Väggmaterial	Träull
Vägg tjocklek	600 mm
Värmelagringskapacitet	250 kJ/m <sup>2</sup> °C
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Inomhustemperatur	22°C
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Lund

Tabell 6.6 inputdata för alternativ 5



Figur 6-11 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 5

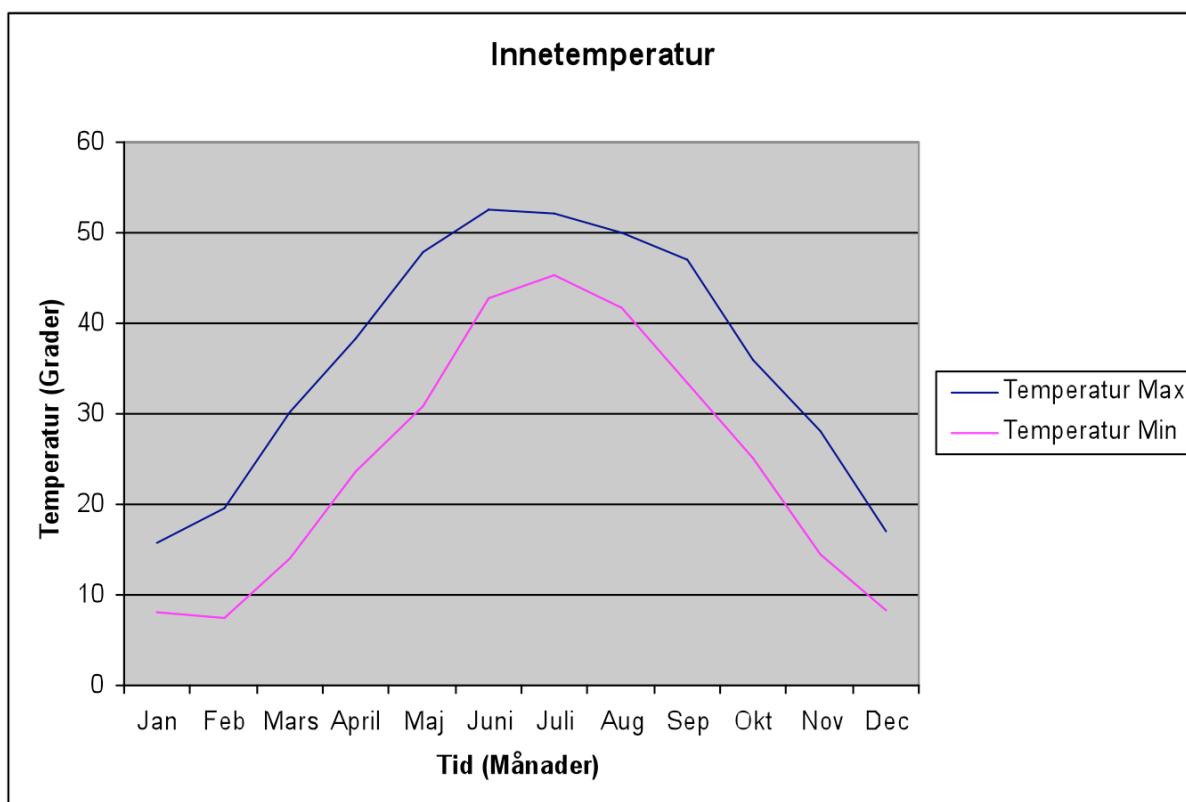
Energibehovet för vår bostad ökar såklart om innetemperaturen höjs till 22°C. Sett över hela året blir energiförbrukningen i bostaden 10,6 kWh/m<sup>2</sup> och i Figur 6-11 ses hur stort uppvärmningsbehovet är varje månad.

### 6.1.2.6 Alternativ 6, placeringsort

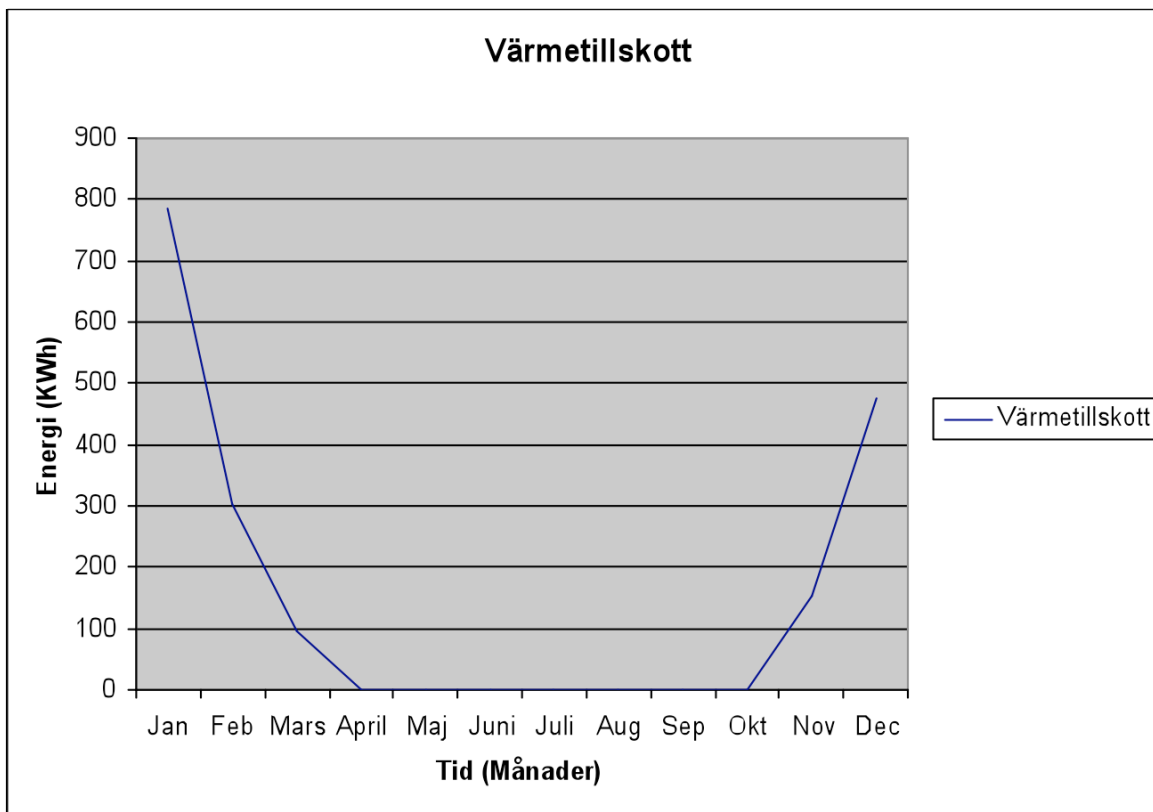
Genom att ändra placeringsort på vår bostad från Lund till Stockholm ser vi hur stor skillnaden blir i energibehovet. Tabell 6.7 visar inputdata som skiljer sig från de övriga alternativen.

Väggmaterial	Träull
Vägg tjocklek	600 mm
Värmelagringskapacitet	250 kJ/m <sup>2</sup> °C
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Inomhustemperatur	20°C
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Stockholm

Tabell 6.7 Inputdata för alternativ 6



Figur 6-12 Temperaturvariationer över året utan värmetillskott för alternativ 6

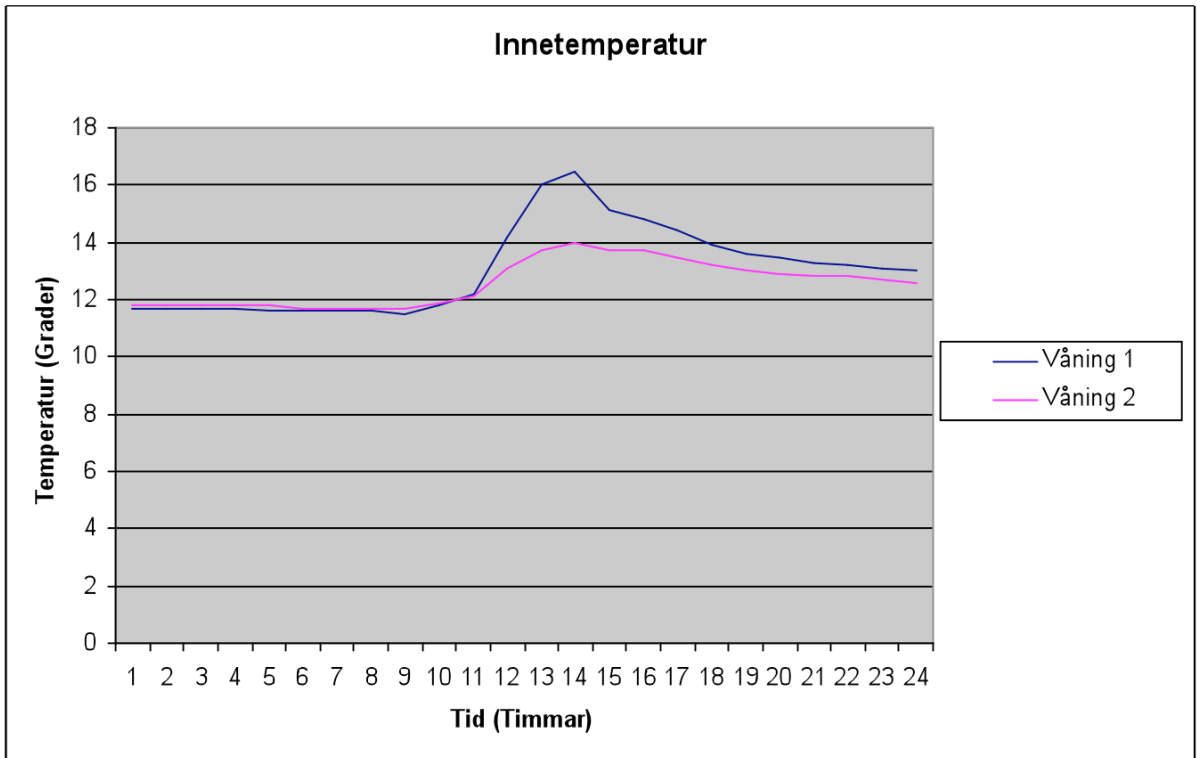


Figur 6-13 Energi för uppvärmning av huset varje månad för alternativ 6

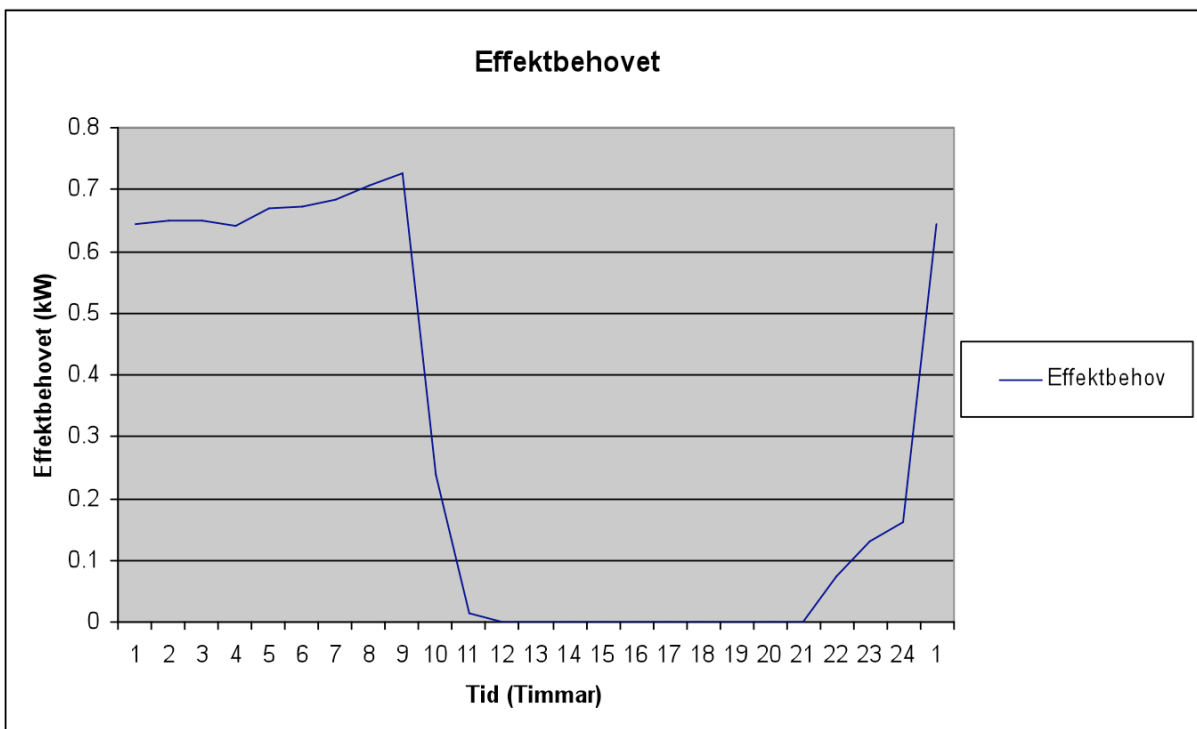
Energibehovet för vår bostad placerad i Stockholm är 13,5 kWh/m<sup>2</sup>,år.

### 6.1.3 Variationer över ett dygn

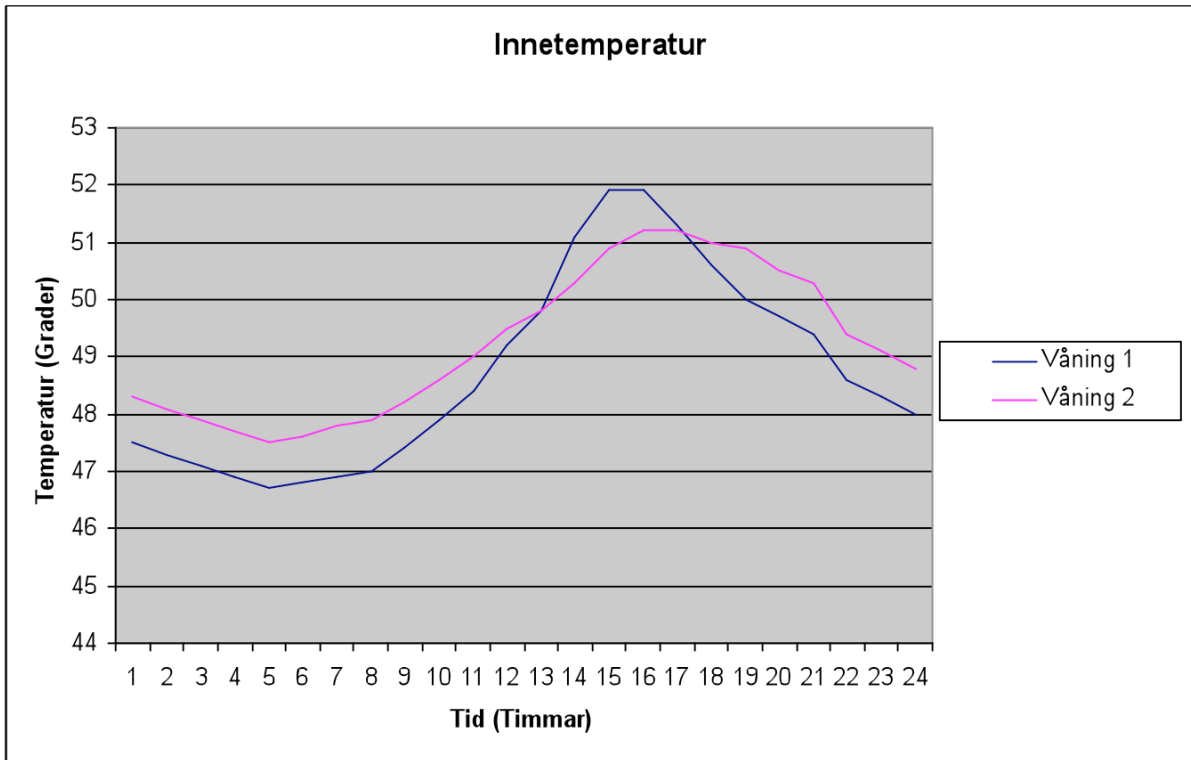
I Figur 6-14 till Figur 6-16 visas hur temperaturen och effektbehovet varierar på två dagar under ett år. Dygnen som vi valt att fokusera på är den kallaste dagen, 5 februari, samt den varmaste, 13 juli, under ett specifikt år. I februari har vi valt att titta på effektbehovet och temperaturen medan vi i juli bara har undersökt temperaturen, då effektbehovet är noll.



Figur 6-14 Temperaturvariationer den 5:e februari utan uppvärmning



Figur 6-15 Effektbehov den 5:e februari



Figur 6-16 Temperaturvariationer den 13:e juli

## 7 Avslutning

Energipriserna ökar mer och mer för varje år vilket gör att vårt boende i sin tur blir dyrare. Passivhus är en lösning på problemet, det saknas dock idag kunskap och förståelse inom området. Vårt arbete syftar till att utveckla ett lättare och mer effektivt sätt att bygga energisnålt. Resultaten från våra DEROB-LTH beräkningar skiljer sig från våra handberäkningar, eftersom simuleringarna är dynamiska och tar mer hänsyn till klimat och solinstrålning.

### 7.1 Resultat och analys av handberäkningar

Vår bostad är en villa i södra Sverige, med en boarea som understiger 200 m<sup>2</sup> och de krav som nämns i detta kapitel avser endast detta fall.

Energibehovet i vår bostad är enligt beräkningarna 52,3kWh/m<sup>2</sup>,år, vilket ligger under kravet på ett energibehov mindre än 55kWh/m<sup>2</sup>,år.

Den energi som behövs för uppvärmning av bostaden ligger på 31,9kWh/m<sup>2</sup>,år, och energin som krävs för att värma upp tappvarmvattnet är 20,4kWh/m<sup>2</sup>,år, detta kan reduceras om solfångare installeras.

Kravet för effektbehov är 12W/m<sup>2</sup>, vilket vår bostad klarar av, som har ett maximalt effektbehov på 8,9W/m<sup>2</sup>.

Resultatet visar att vår bostad klarar kravet för att få kalla sig ett passivhus, dock inte med stor marginal. En anledning till att vi hamnar såpass nära gränsen är att träullsväggen inte har lika bra isolerförmåga som en mineralullsvägg av samma tjocklek. Om vi använt samma U-värde på väggen som ett passivhus av mineralullsisolering, skulle vårt energibehov för uppvärmning minska från 31,9kWh/m<sup>2</sup> till 29,6kWh/m<sup>2</sup>, det visar att materialvalet har stor betydelse för hur enkelt man når upp till passivhuskravet.

För att få ner energibehovet för tappvarmvattnet så lågt som möjligt bör solfångare installeras, då detta kan sänka behovet med upptill 40%. Det skulle leda till att husets totala energiförbrukning skulle komma ner till 44,2kWh/m<sup>2</sup>,år.

Effektbehovs kravet nås enkelt, då huset enligt beräkningarna maximalt kommer att kräva en effekt på 8,9W/m<sup>2</sup>, mot södra Sveriges passivhuskrav på 12W/m<sup>2</sup>.

## 7.2 Resultat och analys av DEROB-LTH beräkningar

I kapitel 6 har sex olika alternativ av huset jämförts, det första av dem är vårt grundfall, *alternativ 1*. Tanken är att grundfallet ska ge en bild av den byggnad som vi ämnar ska kunna utformas till att klara kraven för ett passivhus. *Alternativ 1* har väggar av 600mm träull och fönster placerade långt ut i fasaden. Det är detta grundfall vi kommer att jämföra de andra alternativen med. Resultatet av simulationen i programmet blir då att husets energibehov landar på 7,7kWh/m<sup>2</sup>,år. Detta är ett mycket lägre resultat än vad som kom fram vid våra beräkningar vi gjorde för hand, eftersom man där inte räknar med solen som en värmekälla.

För att se vad som händer när mindre solljus släpps in i byggnaden prövade vi i *alternativ 2* att placera fönstren längre in i fasaden, kontentan av det blev att huset fick en energiförbrukning på 9,2kWh/m<sup>2</sup>,år. Under sommartid, då övervärme är ett problem, sänks i detta alternativ innetemperaturen dock rejält, vilket leder till en högre komfort. När simulationen görs utan uppvärmning får huset ett kyligare inomhusklimat under de kalla månaderna än vad bostaden har i *alternativ 1*.

För att se skillnaden mellan en tung och en lätt konstruktion valde vi att byta ut grundfallets träullsväggar mot mineralullsväggar med samma U-värde, *alternativ 3*. Resultatet för simulationen blir att mineralullen får ett högre energibehov än *alternativ 1*, totalt 8,7kWh/m<sup>2</sup>,år, samt att den maximala innetemperaturen på sommaren blir något högre. Detta beror på att träullsväggen har bättre värmelagringskapacitet än mineralullsväggen.

I *alternativ 4* simulerades byggnaden med en rotation av huset 180°, så att det stora fönsterpartiet som är tänkt att ligga mot söder istället riktas mot norr. Genom denna vridning ser vi hur solens instrålning påverkar komforten och energibehovet i bostaden. I denna simulation fås det högsta energibehovet för uppvärmning av huset, 15,7kWh/m<sup>2</sup>,år, dock är detta fortfarande inom ramarna för kravet på ett passivhus i Sverige.

Idag väljer många människor att ha det något varmare än de 20°C som ligger som grund för passivhuskravet, därför valde vi i *alternativ 5* att simulera bostaden med en innetemperatur på 22°C. I detta fall ökar energibehovet till 10,6 kWh/m<sup>2</sup>,år, jämfört med grundfallets 7,7kWh/m<sup>2</sup>,år.



Eftersom få hus idag är byggda med passivhusteknik i de östra och norra delarna av Sverige valde vi att simulera *alternativ 6* med klimatdata från Stockholm i DEROB-LTH. Energiförbrukning blir då 13,5 kWh/m<sup>2</sup>,år eftersom Stockholm har mindre soltimmar och ett kallare klimat än Lund, i vilken grundfallet är simulerat.

Vid simuleringen av klimatet i huset får man fram vilken medeltemperatur det kommer vara varje månad inne i huset. Temperaturen får inte gå under 20°C om ett behagligt inomhusklimat ska behållas. Från oktober till april räcker inte vår värmeväxlare till för att värma tilluften och temperaturen understiger 20°C. Då temperaturen sjunker så pass lågt aktiveras vår eftervärmare och värmer vår tilluft de sista graderna.

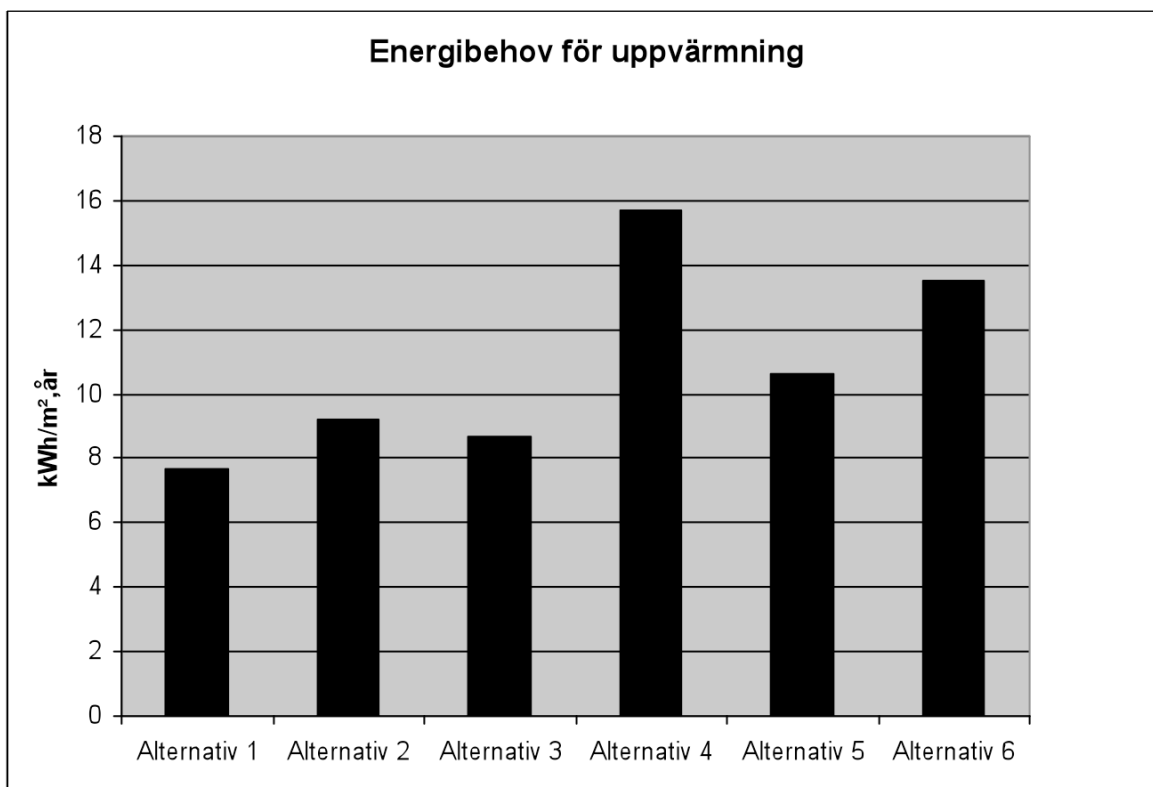
På sommarmånaderna kommer temperaturen att stiga till 45°C. Genom att vädra mycket och använda sig av persienner, markiser och gardiner i fönstren blockerar man solinstrålningen och får då ner temperaturen.

<b>Alternativ 1 - grundfallet</b>	
Väggtyp	Träull
Väggjocklek	600 mm
Värmelagringsförmåga	250kJ/m <sup>2</sup> K
Inomhustemperatur	20°C
Fönsterplacering	Ute i fasaden
Rotation från söder	0°
Simuleringsort	Lund
<b>Resultat</b>	<b>7,7 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>

Figur 7-1 Inputdata och resultat för alternativ 1

<b>Alternativ 2</b>	<b>Alternativ 3</b>	<b>Alternativ 4</b>	<b>Alternativ 5</b>	<b>Alternativ 6</b>
Fönster indragna	Mineralull	Roterar 180°	Temp. 22°C	Stockholm
	Tjocklek: 353mm			
	Värmelagrings- kapacitet: 29,3 kJ/m <sup>2</sup> K			
<b>9,2 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>	<b>8,7 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>	<b>15,7 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>	<b>10,6 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>	<b>13,5 kWh/m<sup>2</sup>,år</b>

Figur 7-2 Resultat och inputdata för alternativ 2-6 som skiljer sig från alternativ 1



Figur 7-3 Diagram över de olika alternativen energibehov för uppvärmning

### 7.3 Diskussion

Alla alternativ som simulerats i rapporten klarar de svenska kraven för passivhus enligt kravspecifikationen för energibehovet, vilket betyder att det är full tänkbart att bygga passivhus av träullselement. Det bör nämnas att detta resultat endast gäller i teorin då vi inte haft någon tid eller möjlighet att testa det i praktiken.

Med stöd av resultatet ser vi att solenergin är mycket viktig för att lyckas med ett hållbart passivhus, vi ser även att energibehovet skiljer sig beroende på vart i Sverige huset placeras. Klimat och solljus i norr skiljer sig mycket från söder och det hade varit en utmaning att klara kraven för ett passivhus i norra Sverige. Då den version av DEROB-LTH vi använt inte har klimatdata för någon ort i Sverige ovanför Stockholm, har det därför inte varit möjligt att göra någon simulation för Norrland.

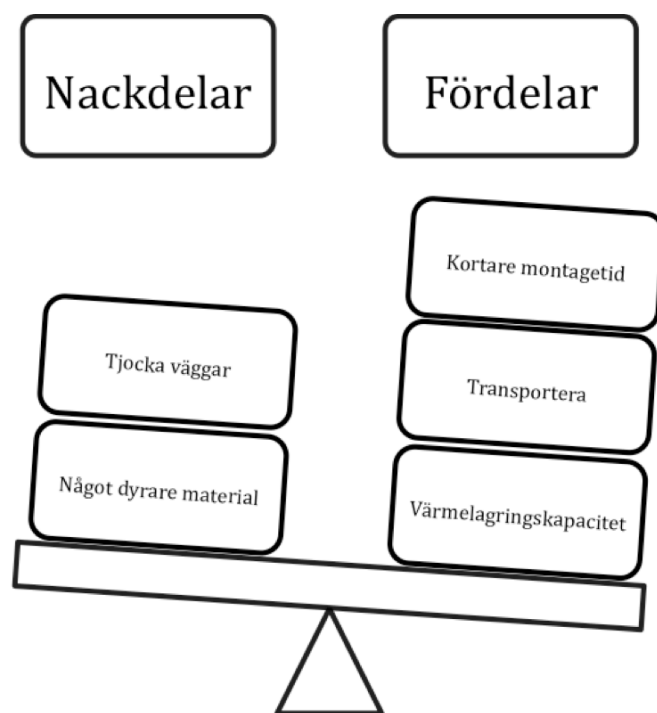
Problemen med passivhus idag är att det tar längre tid att projektera och bygga än ett traditionellt hus och att det är dyrare. Dessa problem kan förmodligen lösas genom att bygga huset med helväggselement av träull, eftersom de prefabriceras i fabrik samt att de har färre moment i uppförandet. Det kommer i sin tur troligen att minska byggtiden och därmed arbetskostnaderna. Däremot är en jämförelse mellan träullsväggar och mineralullsväggar som används vid traditionella

passivhus mycket svår att göra idag, då alla priser på passivhusväggar är hemliga. Den kostnadsbild som är möjlig att få tag på visar att ett passivhus är mellan 2-5% dyrare än en konventionell villa, även ett träullshus är några procent dyrare än ett vanligt nybyggt hus. Om sedan en bostad av träullselement uppförs med passivhuskrav ökar troligtvis kostnaderna ytterligare, men går förmodligen att räkna hem i insparad kostnad för arbetet.

Ett problem i passivhus är att det på sommaren finns risk för övertemperatur, då huset är gjort för att inte släppa ut någon värmeenergi. Därför testade vi att sätta fönstren längre in i väggen för att kunna undvika solinstrålningen och på så sätt sänka värmen i huset. Problemen med detta kan då vara att bostaden känns mörk och vi får en djup fönstersmyg på utsidan som kan kännas onaturlig. Därför kan det möjligen vara bättre att placera fönstren långt ut i fasaden och välja att vädra då inomhustemperaturen blir för hög. Genom en hög nattventilation av luften sänks innetemperaturen. Ett annat alternativ för att sänka innetemperaturen på sommaren är att kyla tilluften innan den ventileras in, exempel på detta är att utnyttja ett kylaggregat eller att föra ner luften i ledningar i marken där den kyls. Det senare alternativet är att föredra då det kräver mindre energi och kan även vintertid användas för att värma tilluften, då marken håller en någorlunda jämn temperatur över hela året. Denna metod har testats med framgång i bland annat Tyskland.

Våra handberäkningar omfattar bara en beräkningsdel där grundfallets energi- och effektbehov tas fram. Skillnaderna på resultatet av denna beräkning jämfört med den som gjorts i DEROB-LTH är stor. Enligt handberäkningarna är energibehovet för uppvärmning av vår bostad 31,91kWh/m<sup>2</sup>,år medan de i DEROB-LTH är 7,7kWh/m<sup>2</sup>,år. Detta gör att vi ifrågasätter om *alternativ 2-6* skulle klara av passivhuskraven om vi beräknat dem för hand istället för i DEROB-LTH. Kan det vara möjligt att handberäkningsmetoden borde förbättras, då den inte tar hänsyn till solenergis inverkan.

Nackdelarna med detta koncept är att väggarna blir tjocka och att materialet är något dyrare. De fördelar som vi anser finns med denna metod är att arbetstiden för resning av dessa väggar blir mindre, att de är lättare att transportera samt att de har en bättre värmelagringskapacitet. Just värmelagringskapaciteten gör att ett passivhus byggt med den här tekniken håller en mycket jämnare temperatur över hela året och hela dygnet.



Figur 7-4 För- och nackdelar med helväggselement i träull

#### 7.4 Slutsats

Genom våra beräkningar som gjorts för hand och i DEROB-LTH har vi kommit fram till att det är fullt möjligt att bygga passivhus av helväggselement i träull. Vidare har vi genom datorberäkningarna konstaterat att många olika parametrar har betydelse för en bostads energibehov, exempel på dessa är fönsterplacering, orientering av huset, geografisk placering, tunghet på stomme och inomhustemperatur.

## 8 Källförteckning

Anderlind och Stadler, 2004, Isolerguiden 04 Swedisol

Boverket, 2006, BBR Energihushållning, (2008-03-26)

Byggfakta, 2007, Klimatsmarta passivhus kan bli standard i Europa (2008-04-16)  
[www.projektnytt.se](http://www.projektnytt.se)

Diplomatdörrar, 2008, Dörrar du trivs med (2008-04-03)  
[www.norratra.se/pdf/Diplomat katalog.pdf](http://www.norratra.se/pdf/Diplomat katalog.pdf)

Energimyndigheten, 2007  
Marknaden för energieffektiva byggnader tar fart (2008-03-14)  
Din övriga energianvändning i hemmet (2008-02-28)  
Energimyndigheten ökar satsningen på energieffektiva byggnader (2008-03-16)  
[www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

Energirådgivningen, 2008, Passiv- och lågenergihus, (2008-04-19)  
[www.energiradgivningen.se](http://www.energiradgivningen.se)

European passive houses, 2006, Passive House Solutions,  
[http://erg.ucd.ie/pep/pdf/Passive\\_House\\_Sol\\_English.pdf](http://erg.ucd.ie/pep/pdf/Passive_House_Sol_English.pdf) (2008-03-13)

Feist, 2007  
Information on passive houses (2008-05-19)  
What is a passivehouse, [www.passiv.de](http://www.passiv.de) (2008-02-20)  
Is it profitable to build a Passive House? (2008-05-05)  
[www.passivhaustagung.de](http://www.passivhaustagung.de)

Forum för energieffektiva byggande, 2007, Kravspecifikation för passivhus i Sverige — Energieffektiva bostäder version 2007:1

Fresh AB, 2006, Värmeåtervinning ventilationsprodukter för bostäder, affärer, lokaler (2008-04-06)  
[http://www.k-rauta.se/Bilder/VVS/Varmeatervinning\\_SE-2376.pdf](http://www.k-rauta.se/Bilder/VVS/Varmeatervinning_SE-2376.pdf)

G&B i Rottne AB, 2007, Clima, (2008-04-01)  
[www.gobfonster.se](http://www.gobfonster.se)

Hajom skjutdörrar AB, 2008, ENERGIKLASS A - U-VÄRDE 0.9,  
(2008-04-12)  
[www.hajomskjutdorrar.se](http://www.hajomskjutdorrar.se)

Lunds Tekniska Högskola, 2007, Derob-Lth (2008-03-19)  
[www.ebd.lth.se](http://www.ebd.lth.se)

Passivhuscentrum, 2008,  
Kravspecifikation, (2008-04-07)  
Mer om passivhus, (2008-05-19)  
Ett sunt boende (2008-03-25)  
Myter om passivhus (2008-04-16)  
Passivhus i Sverige (2008-05-20)  
Lindås Radhus, (2008-04-22)  
[www.passivhuscentrum.se](http://www.passivhuscentrum.se)

Passivhaustagung, 2006,  
Why a mechanical ventilation system is recommended - at least in Passive  
Houses (2008-05-02)  
What is a passivehouse? (2008-04-13)  
[www.passivhaustagung.de](http://www.passivhaustagung.de)

Ploss, 2008, Passive house retrofit: Taking it easy, (2008-04-22)  
[www.renewableenergyworld.com](http://www.renewableenergyworld.com)

REC TemoVex AB, 2006, REC TemoVex RT-250S, (2008-05-21)  
([http://www.rec-  
indovent.se/images/stories/pdf/temovex\\_RT250S\\_DS.pdf](http://www.rec-indovent.se/images/stories/pdf/temovex_RT250S_DS.pdf))

Rückert M, 1993, Nya byggmetoder med träullsplattor, Examensarbete  
Avd. Arkitektur III, Lunds Tekniska Högskola, 1993

Sverigeatlas, 2008, (2008-05-19)  
[www.sverigeatlas.se](http://www.sverigeatlas.se)

Tell Us Stories AB, 2007, Aktivt liv i passivt hus. Film. Beställd från  
[www.tellus.tv/passivhus](http://www.tellus.tv/passivhus)

Träullit AB, 2008, Produkter (2008-04-09)  
[www.traullit.se](http://www.traullit.se)

Ventin.se, 2008, (2008-05-21)

<http://www.ventin.se/temovex-250sv-p-1263.html>

Vent funktion AB, 2007, Vilken typ av ventilationssystem ska man välja till sitt hus? (2008-03-02)

<http://www.ventfunktion.se>

Warfvinge Catarina, 2001, Installationsteknik AK för V, Avd. för installationsteknik, Lunds Universitet, 2003