

# Utvärdering av köldbryggor

- En inventering och utveckling av Skanskas Standardbyggdelar



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Bygg- och Miljöteknologi/Byggnadsfysik

Examensarbete:  
Erik Persson  
Ludde Gölén



© Copyright Erik Persson, Ludde Gölén

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 2012

## Sammanfattning

Syftet med det här examensarbetet är att utvärdera och försöka reducera köldbryggor i Skanskas standardbyggdelar med fokus på ytterväggar.

Köldbryggor uppstår när ett sämre isolerat material bryter igenom ett bättre isolerat. Man får då en ökad energiförlust i dessa områden än i resten av byggdelen. Utöver ökad energiförlust så bidrar också köldbryggor till sämre termiskt klimat, högre relativ fuktighet på insidan, nedsmutsning, kallras, missvisande värden vid termostater mm.

Efter misslyckanden i bygget av Hammarby sjöstad så började utvecklingen av olika standardbyggdelar för att effektivisera byggandet och minimera riskerna. Dessa byggdelar har under åren utvecklats vidare och vår uppgift var att undersöka ett urval av dem efter köldbryggor, ta reda på hur stora dom är och försöka hitta lösningar för att reducera dem.

För att undersöka byggdelarna har vi använt oss av ett värmetransportprogram som heter HEAT3 där värmefflöde genom väggen kan beräknas och beskrivande bilder kan tas fram.

När vi beräknar köldbryggorna så har vi ritat en referensvägg för varje väggtyp som vi sedan jämfört med respektive konstruktionsdel, skillnaderna mellan värmefflödet genom referensväggen och varje konstruktionsdel med samma yta ger värdet för köldbryggan. Köldbryggorna som vi fått fram har vi även satt in i ett referenshus som vi utformat för att kunna se hur mycket de egentligen påverkar energianvändningen.

Vi har kommit fram till att köldbryggorna har relativt stor inverkan på energiförlusterna i Skanskas standardbyggdelar, de bidrar med en ökning mellan 20 – 67 procent på energiförlusterna i vårt referenshus. Fönsteranslutningen är den del som bidrar mest till den ökade energianvändningen i vårt referenshus och är den del vi har tittat mest på.

Nyckelord: Köldbryggor, Energianvändning, beräkningar, HEAT 2, HEAT3, Skanska standardbyggdelar, BBR, Psi-värde.

## Abstract

The purpose of this study is to evaluate and try to reduce thermal bridges in Skanska's standard building components.

Thermal bridges occur when an inferior insulating material breaks through better insulated. You then get an increased energy loss in these areas compared to the rest of the particular building part. In addition to increased energy loss, thermal bridges can also give rise to poor thermal climate, higher relative humidity on the inside, soiling, cold drafts and misleading values for temperature controls.

After failures in the construction of Hammarby Sjöstad, Skanska began to develop a variety of standard building elements to improve the efficiency of construction and minimize the above mentioned risks. These building elements have successively been developed over the years and our task was to examine a selection of these for thermal bridges, find out how big they are and try to find solutions to reduce them.

To investigate the building elements, we used a heat transfer program called HEAT3 where the heat flow through the wall can be calculated and descriptive images can be produced.

When we calculated the thermal bridges, we drew a reference wall for each type of wall, which we then compared with the respective structural part, the differences between the heat flow through the reference wall and every structural component with the same area gave the value for the thermal bridge. We have improved the thermal bridges and placed them in a reference building that we have designed in order to see how much they really affect energy consumption.

We found that thermal bridges have a relatively large effect on energy losses in Skanska's standard building components; they contribute to an increase of between 20- 67 percent of the energy losses in our reference building. The window connection is the part that contributes most to the energy consumption in our reference house and is the part we've looked at most.

Keywords: Thermal bridges, Energy, calculations, HEAT2, HEAT3, Skanska standard building components, BBR, Psi factor.

## Förord

Det här är ett examensarbete på 22,5 poäng, utfört under våren 2012 på LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg och i samarbete med byggfysikavdelningen på Skanska Teknik och Skanska Sverige AB.

När vi började fundera över vad vi skulle skriva examensarbetet om så gick vi igenom de tre åren för att komma på till vilket ämne som har intresserat oss mest. Vi kom fram till att byggnadsfysik har varit roligt och mycket av framtiden kommer att handla om att bygga så energieffektivt som möjligt. Vi bestämde oss för att inrikta oss på köldbryggor och tog kontakt med Petter Wallentén på LTH och Stefan Ferrari på Skanska Teknik. Det visade sig att Skanska hade ett förslag på arbete som vi nappade på.

Uppgifterna har under hela arbetets gång utförts tillsammans för att vi båda ska bilda oss en så bra uppfattning som möjligt inom området och ha bra vetskap om alla resultat lösningar.

Vi vill först rikta ett stort tack till vår handledare, Petter Wallentén för hans mottagning och stöd under genomförandet av detta arbete. Vi vill också rikta ett stort tack till vår handledare på Skanska, Stefan Ferrari som har varit till stor hjälp i vår utveckling och process av vårt arbete. Främst har han varit till hjälp med sin kunskap om Skanskas standardbyggdelar.

Vi vill även tacka Thomas Blomberg som gett oss våra licenser för HEAT vilket har varit till stor hjälp i utformningen av våra värden för de olika standardbyggdelarna.

Tack till Jens Erik Jörgensen som gett oss information om bakgrunden till varför man startade med standardbyggdelar.

Helsingborg, juni 2012

Erik Persson & Ludde Gölén

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.5 Definitioner</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5.1 Förkortningar</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Köldbryggor</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 Allmänt</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2 Isoleringens tjocklek och inverkan</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3 Inverkan på energianvändningen</b> .....	<b>6</b>
<b>2.4 Konsekvenser av köldbryggor</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Skanska Standardbyggdelar</b> .....	<b>8</b>
<b>4 HEAT</b> .....	<b>9</b>
<b>4.1 Beskrivning av program</b> .....	<b>9</b>
4.1.1 HEAT 2.....	9
4.1.2 HEAT 3.....	9
<b>5 Beräkning av köldbryggor</b> .....	<b>10</b>
<b>5.1 Exempel på beräkning av ett hörn</b> .....	<b>11</b>
<b>5.2 Exempel på beräkning av en fönstersmyg</b> : .....	<b>12</b>
<b>5.3 Exempel på beräkning av en balkonganslutning</b> : .....	<b>13</b>
<b>5.4 Exempel på beräkning av en balkonganslutning med     fönster/dörr</b> : .....	<b>14</b>
<b>5.5 Exempel på beräkning av bjälklag</b> .....	<b>15</b>
<b>5.6 Beräkning av energianvändning</b> .....	<b>16</b>
<b>5.7 Referenshuset</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Simulering och Resultat</b> .....	<b>18</b>
<b>6.1 VAB12</b> .....	<b>18</b>
6.1.1 Beskrivning av del .....	18
6.1.2 Resultat .....	19
6.1.3 Analys .....	21
6.1.4 Möjliga lösningar .....	23
<b>6.2 VAB15</b> .....	<b>25</b>
6.2.1 Beskrivning av del .....	25
6.2.2 Resultat .....	26
6.2.3 Analys .....	28
6.2.4 Möjliga lösningar .....	29
<b>6.3 VAB20</b> .....	<b>31</b>
6.3.1 Beskrivning av del .....	31

6.3.2 Resultat.....	32
6.3.3 Analys .....	34
6.3.4 Möjliga lösningar.....	34
<b>6.4 VAB21 .....</b>	<b>35</b>
6.4.1 Beskrivning av del .....	35
6.4.2 Resultat.....	36
6.4.3 Analys .....	38
6.4.4 Möjliga lösningar.....	39
<b>6.5 VAU – vägg .....</b>	<b>40</b>
6.5.1 Beskrivning av del .....	40
6.5.1.1 Förenkling av slitsad stålregelvägg .....	42
6.5.2 Resultat.....	43
6.5.3 Analys .....	44
<b>6.6 VMB – vägg .....</b>	<b>46</b>
6.6.1 Beskrivning av del .....	46
6.6.2 Resultat.....	48
6.6.3 Analys .....	50
<b>7 Regelverk gällande byggbranschen .....</b>	<b>51</b>
<b>7.1 Energihushållning enligt Boverkets Byggregler .....</b>	<b>51</b>
<b>8 Felkällor .....</b>	<b>57</b>
<b>9 Diskussion .....</b>	<b>58</b>
<b>10 Slutsats .....</b>	<b>61</b>
<b>11 Källförteckning.....</b>	<b>62</b>
<b>11.1 Materiallista med värden .....</b>	<b>63</b>



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

I en tid när miljöfrågor ständigt står i fokus, och mer energisnåla lösningar efterfrågas i hela samhället så har så klart byggbranschen krav på sig att både byggnader och byggprocessen ska vara så bra som möjligt för miljön. För att ett hus ska få så billig driftkostnad och så låg miljöpåverkan som möjligt är det viktigt att alla problem som kan öka värmeförlusterna minimeras. Ett av dessa problem är köldbryggor.

Vi har nu kommit till det stadiet i utvecklingen där fokus inte bara läggs på att isolera mer i byggdelar utan man måste också ta hänsyn till köldbryggor vid ökad isolering på den övriga konstruktionen får större relativ betydelse. Om man isolerar mer kring en köldbrygga så får köldbryggan en procentuellt större inverkan jämfört med isoleringen.

Skanska har tagit fram standardbyggdelar för att förenkla byggnationen och säkerställa en hög kvalitet. De har utvecklat ett stort utbud av dessa byggdelar för att kunna anpassa sig till kundens önskemål.

Det som saknas omkring dessa byggdelar är värden på köldbryggor och därmed exakta värden för energianvändningen.

I och med att U-värdet är angivet så förväntas en given energianvändning. När sedan mätningar och beräkningar genomförts så finner man ett större energibehov än förväntat, detta beror ofta på att köldbryggor inte hanteras på rätt sätt.

Det Skanska vill att vi ska göra är att undersöka deras byggdelar, ta fram, utvärdera och försöka reducera eventuella köldbryggor.

## 1.2 Syfte

Syftet med vårt examensarbete är främst att hjälpa Skanska att förbättra sina standardbyggdelar och förebygga eventuella problem i dessa.

Målet är att inventera de befintliga byggdelarna, identifiera och ta fram relevanta siffror för energiförlusterna för att sedan kunna förbättra dem.

Utöver detta kommer vi också fördjupa oss inom köldbryggor så att läsaren får en överblick och helhet om vad det är och vad de bidrar med.

Vårt mål är att fördjupa oss så pass mycket inom köldbryggor att de eventuella problem vi finner i Skanska byggdelar ska kunna lösas och vara så användbara som möjligt för Skanska.

Den stora frågan som vi vill svara på med detta ex-jobb är om det egentligen finns några större köldbryggor i ett så etablerat företags standardbyggdelar som Skanska?

### **1.3 Metod**

Att inventera Skanskas standardbyggdelar med hänsyn till köldbryggor innebär att vi kommer få studera dessa grundligt. Genom ett värmetransportprogram kallat HEAT kommer vi kunna hitta köldbryggor i olika skalor, både i 2D och 3D. De värden vi får ut kommer vi analysera och på basis av detta försöka förbättra byggdelen. Detta kommer vi göra i kontakt med Stefan Ferrari på Skanska Teknik.

Den teoretiska biten innefattar allmänt om vår fördjupning av köldbryggor som också ibland anknyts till den praktiska biten och kontrollen av standardbyggdelarna från Skanska teknik.

Teorin om köldbryggor kommer vi finna genom en övergripande litteratursökning via bibliotek, kontakter, gamla ex-jobb, internet och övriga källor för att få den överblick som vi behöver.

### **1.4 Avgränsningar**

Eftersom Skanska har tagit fram en mängd olika byggdelar med olika dimensioner så kommer Stefan Ferrari vår handledare på Skanska att välja ut de byggdelar som används mest och där han anser att köldbryggor har en väsentlig inverkan. Teorin om köldbryggor kommer dels att anknytas till de standardbyggdelar vi får av Stefan Ferrari men mest kommer vi lägga kraft på generaliseringen kring köldbryggor.

Vi kommer inte i vårt arbete ta hänsyn till att en köldbrygga kan förvärras i en standardbyggdel då den monteras på ett felaktigt sätt under byggskedet. Vi tar inte hänsyn till att köldbryggor påverkar fukt. Köldbryggor finns ofta vid anslutning med dålig lufttäthet vilket vi heller inte tar hänsyn till. Golv och tak kommer vi inte att utvärdera, vi kommer bara ta hänsyn till vägg, balkong och fönster.

Kramlor, infästningar och andra punktköldbryggor tar vi inte hänsyn till i våra beräkningar. Dessa genererar endast mycket små värden och i diskussion med Stefan Ferrari kom vi fram till att det inte var relevant att ta med eftersom det är köldbryggor i anslutningar som vi ska undersöka.

## 1.5 Definitioner

### 1.5.1 Förkortningar

$A$  = Area. ( $m^2$ )

$C$  = Specifik värmekapacitet. ( $J/m^3K$ )

$E$  = Energianvändning. (Wh)

$G_T$  = Gradtimmar, den sammanlagda temperaturskillnaden under ett år. (Kh).

$T_{inne}$  = Den temperatur som avses hållas inomhus när byggnaden brukas. (C)

$T_{ute}$  = Temperatur utomhus. (C)

$\Delta T$  = Temperaturskillnad. (C)

$Q$  = Värmefflöde. (W), (W/m), (W/mK), (W/m<sup>2</sup>K)

$\lambda$  = Värmeledningsförmåga för ett material (W/mK)

$U$  = Värmegenomgångskoefficient för en byggdel. (W/m<sup>2</sup>K)

$UA$  = U-värdet multiplicerat med Areal (W/K)

$U_m$  = En byggnads genomsnittliga U-värde (W/m<sup>2</sup>K)

$\psi_k$  = Värmegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan, k (W/mK).

$L_k$  = Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan, k (m).

$\chi_j$  = Värmegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan, j (W/K).

$RF$  = Relativ luftfuktighet. (%)

## 2 Köldbryggor

### 2.1 Allmänt

En köldbrygga är en del av klimatskärmen där värmeflödet är större än övriga delar av samma klimatskärm. Orsaken till detta utgörs oftast av en mindre isolerad bit i väggen eller ett material med högre värmeledningsförmåga dvs. ett material som släpper genom värme lättare än omgivningen t.ex. är metall, trä och betong sådana material och de bör beaktas vid byggnation.

Det finns två typer av köldbryggor. Den ena är materialberoende, vilket innebär ett lokalt material med högre värmeledningsförmåga som förklarar ovan. Den andra är geometriskt beroende vilket innebär att det är en tunnare del av konstruktionen eller där ytan är större i kontakt med utomhus än inomhus. Ibland är också köldbryggan en effekt av båda företeelser (Martinsson, 2008).

Exempel på geometriska köldbryggor kan vara

- Alla hörn där utsidan är större än insidan
- Bjälklagsanslutning i yttervägg
- Bärande vägg som ansluter i yttervägg
- Anslutning mellan källargolv och källarvägg
- Anslutning mellan grund och yttervägg
- Anslutning mellan yttervägg och tak
- Infästning av fönster
- Anslutning yttervägg och dörr
- Fönstersmygar
- Infästning av utkragad balkong

Genom ständig förbättring av isoleringsstandarden i våra bostäder blir det viktigare att ta hänsyn till köldbryggors inverkan på energibalansen eftersom högre isoleringsgrad oftast leder till att köldbryggans genomslag blir relativt större.

## 2.2 Isoleringens tjocklek och inverkan

Om man väljer den privatekonomiskt mest lönsamma isolertjockleken (den som i dagligt tal brukar kallas för ekonomisk isolertjocklek) så visar det sig att den i allmänhet är kraftigare än vad BBR kräver. Den ger dessutom ett behagligare inomhusklimat och den ger framför allt bättre energihushållning sett från samhällets synpunkt när nu även miljöhänsyn allt oftare vägs in. Den mest lönsamma isoleringen måste beräknas utifrån en viss livstid för huset (Anderlind.G & Stadler CG. 2006).

Mineralull slits inte, kräver inget underhåll och behöver inte bytas ut. Man brukar räkna med en livstid på 50 år för klimatskalet, fönster undantagna, vilket skulle motsvara en tänkt brukstid för byggnaden. Det är egentligen alldeles för lite. De flesta byggnader har en mycket längre livslängd. Om konstruktionen är rätt utformad finns det ingenting som påverkar mineralullen där den ligger på plats. Den har avsedd isolerande effekt så länge den finns där och hur gammal en isolering kan bli det vet vi ännu inte. Livslängden är i teorin obegränsad. Det är därför som en livscykelanalys för en mineralullsisolerad konstruktion visar att man borde isolera avsevärt mycket mera än vad BBR anger. Det är alltså viktigt att man isolerar ordentligt med sikte på framtiden när man bygger nytt eller renoverar. Sett över byggnadens livstid så finns det knappast någon åtgärd som är så lönsam för husägaren som just en kraftig isolering (Anderlind.G & Stadler CG. 2006).

Även om en bättre isolerstandard än vad BBR kräver och byggkostanden ökar så är det nästan alltid en mycket lönsam åtgärd i förhållande till sin effekt. På några få år har den extra isoleringen betalat sig. Det ligger alltså god ekonomi i att gardera sig mot stigande energipriser så att man slipper göra en större investering i tilläggsisolering längre fram. Att välja en hög isolerstandard är en lönsam försäkring mot framtida energiprishöjningar (Anderlind.G & Stadler CG. 2006).

## 2.3 Inverkan på energianvändningen

Energianvändningen påverkas av köldbryggan genom att köldbryggan ”slukar” värme genom transport via sämre isolerade delar eller material i vägg, tak och golv. Detta medför att man måste tillföra mer energi för att kompensera för ökad värmeförlust samt att den minskade yttemperaturen ger sämre strålningskomfort. Ökningen av energianvändningen präglas av hur stor eller liten köldbryggan är.

I vanliga småhus kan man erfarenhetsmässigt konstatera att inverkan av de linjära köldbryggorna normalt kan motsvara en ökning av  $U_m$ -värdet med 15–20 %. I flerbostadshus kan inverkan av linjära köldbryggor vara ännu större (Boverket1).

- Ett alternativt sätt att ta hänsyn till inverkan av linjära köldbryggor kan vara att inte ta med några  $\Psi$ -värden vid beräkning av  $U_m$  utan istället göra ett generellt påslag om 20 % på framräknat  $U_m$ -värde inkluderande de köldbryggor som finns i klimatskärmen.
- Värmeflödet för punktformiga köldbryggor är vanligen så litet att det kan försummas i en  $U_m$ -beräkning. Anledningen är att detta värme flöde är litet i förhållande till övriga värmeförluster genom klimatskärmen (Boverket1).

För att beräkna den ökade energianvändningen på grund av en köldbrygga behövs ett förlusttal angivet i kWh/år, detta gör vi för att enklare kunna jämföra våra olika resultat och andra byggnader.

## 2.4 Konsekvenser av köldbryggor

- Ökad energianvändning
- Sämre termiskt klimat
- Högre relativ fuktighet
- Missvisande värden
- Nedsmutsning
- Kallras

Köldbryggan påverkar inte bara energianvändningen negativt utan den bidrar också med eventuella problem för det termiska klimatet genom värmestrålning. Den känner vi från alla ytor som är kalla, oftast på grund av att de är dåligt isolerade. Egentligen är det så att huden och den kalla ytan strålar värme mot varandra men eftersom den kalla ytan strålar mindre så upplever vi en nettoförlust och huden kyls ner. De kallaste ytorna är normalt fönster eller ytterdörrar men även väggar i äldre hus. Ytor som ligger nära köldbryggor blir också avkylda.

Vid rumstemperatur har man en viss Relativ Fuktighet (RF). Den relativa fuktigheten vid konstant ånghalt, beror på mätnadsånghalt som i sig är beroende av temperaturen och ånghalten i luften. Vid en köldbrygga där temperaturen är lägre får man ett högre RF på grund av att mätnadsånghalten sjunker vilket leder till högre luftfuktighet och miljön i omgivning av detta blir fuktigare. I vissa fall blir RF så pass hög att den når daggpunkt (100 % RF) vilket innebär att kondens skapas på insidan. På grund av att RF ökar kan detta också leda till mögelpåväxt.

En kall konstruktionsdel smutsas också ner snabbare än en varm konstruktionsdel, det är därför som man t.ex. ofta kan se alla kalla spikhuvuden i äldre byggnader (Energilotsen).

En annan konsekvens kan vara att man placerar sin termostat i närhet av en köldbrygga vilket gör att den ger missvisande värden då en köldbrygga alstrar fel temperatur jämfört med vad man egentligen vill mäta.

Kallras är en kombination av strålningsobalans och luftrörelser på grund av temperaturskillnader till exempel det vi känner vid fönster. Luft som kyls ner av den kalla glasrutan blir tyngre och sjunker ner mot golvet. Det kan resultera i att man fryser om fötterna om man sitter nära ett fönster. Det var därför som man tidigare alltid placerade radiatorer under fönstret. Med dagens standard på fönster är detta normalt inte nödvändigt för att undvika obehag av kallras (Anderlind.G & Stadler CG. 2006).

### 3 Skanska Standardbyggdelar

Jens-Erik Jörgensen<sup>1</sup> berättar detta i en intervju:

Arbetet med att ta fram Skanskas Standardbyggdelar tog fart 2001 efter att Hammarby Sjöstad byggdes. Man fick i detta projekt stora problem med fukt i ytterväggar, en inventering gjordes och man upptäckte en hel del risker och brister i val och produktion av ytterväggar så man gjorde en utredning och delade in de typerna av ytterväggar man använt i olika riskklasser.

År 2003 tog man fram några Standard ytterväggar med ”Tänk efter före dokument” som tar upp fördelar och nackdelar och anvisningar om hur väggen ser ut och ska byggas.

Avdelningen för byggdelsutredningar på Skanska startade år 2006 och får årligen pengar för att vidare utveckla byggdelarna.

Vid utvecklingen av byggdelarna har man fokus på att pressa ner garantikostnaderna genom att hålla en hög och jämn kvalitet med så få misstag som möjligt.

För att höja effektiviteten försöker man få så många som möjligt att göra likadant, en liten förbättring ger då ett betydligt större utslag än om man ska utveckla alla enskilda lösningar var för sig.

Man lägger också mycket kraft på energieffektivitet eftersom det är något som kunderna är villiga att betala för.

Det kan vara svårt att använda sig av Standardbyggdelarna i vissa fall då en del byggnader är väldigt unika, därför eftersträvas så mycket hjälp och information som möjligt men så stor frihet som möjligt att utforma byggnaden som man vill.

1

---

<sup>1</sup> Gruppchef Jens-Erik Jörgensen, Skanska Teknik, avd.f. Byggfysik, intervju 2012-04-27.



## 4 HEAT

### 4.1 Beskrivning av program

#### 4.1.1 HEAT 2

HEAT2 är ett PC-program för beräkning av värmetransport i tvådimensionella geometrier.

HEAT2 kan bland annat användas för:

- *Analys av köldbryggor*
- *Beräkning av U-värde för byggnadsdelar*
- *Uppskattning av yttemperaturer*
- *Beräkning av värmeförluster genom husgrund*
- *Optimering av isolering*
- *Analys av golvvärmesystem.*

Byggnadsmaterialet ritas in med rätt geometri i form av rektanglar, för varje material anges värmeledningsförmåga ( $\lambda$ ) och specifik värmekapacitet (C). Man anger också randvillkor där inne- och utetemperatur samt värmeövergångsmotstånd definieras. HEAT2 beräknar sedan ett stationärt värmeflöde för modellen och man kan till exempel få fram både bilder i 2D och siffror på hur värmen sprider sig och var värmeflödet är som störst. Programmet hanterar i första hand värmeledning genom fasta material men kan även hantera vissa specialfall, till exempel hålrum med strålnings och konvektionsutbyte (Blomberg, 1996).

#### 4.1.2 HEAT 3

HEAT3 är ett PC-program för värmeberäkning i tredimensionella geometrier. HEAT3 liknar HEAT2 på många sett, både utseendemässigt och i användningsområden men lämpar sig extra bra för mer komplicerade problem som till exempel korslagda regler i en isolerad vägg, punktformiga köldbryggor så som kramlor, armeringsjärn, installationer och andra genomgående material.

Även i detta program kan man få fram överskådliga bilder på temperaturskillnader och värmeflöde, även i 3D-format.

När man ritat in geometrierna kan man välja vilken numerisk noggrannhet man vill använda, vi har testat alla olika noggrannheter och kommit fram till att det högsta antalet celler också ger högst värde. Till exempel blir köldbryggan för hörnet i den tunna dimensionen i VAB12 (redovisas i kapitel 6.1) 0,065 W/mK med det högsta antalet celler och 0,061 W/mK med det lägsta antalet celler. Därför har vi valt att använda det högsta antalet celler för att inte riskera att köldbryggan underskattas.

I våra beräkningar har vi använt oss enbart av HEAT3 version 6,0, både i fallen då konstruktionerna är tvådimensionella och när de är tredimensionella eftersom vi anser att det inte fanns någon mening med att använda två olika program för att beräkna liknande problem .

För att få en så enkel beräkning som möjligt har vi satt utetemperaturen till 0°C, innetemperaturen till 1°C och med 1 meter väggdjup för att få ett svar i W/mK direkt.

Värmegenomgångsmotståndet på utsida och insida har antagits till 0.04 m<sup>2</sup>K/W respektive 0.13 m<sup>2</sup>K/W.

Samtliga balkong-, balkongfönster anslutningar är tredimensionella problem eftersom det sitter en betongklack som är 300 mm djup och en armering på varje djupmeter. VAU och VMB (redovisas i kapitel 6.5 respektive 6.6) är också tredimensionella problem eftersom det sitter reglar i två riktningar på dem som har en bestämd tjocklek.

## 5 Beräkning av köldbryggor

En köldbrygga beräknas och anges på två olika sätt, antingen punktvis eller linje vis. En punktvis köldbrygga kan vara en infästning eller exempelvis hörn mellan tak och två ytterväggar och de betecknas med  $\chi$  och har enheten W/K. En linjär köldbrygga är exempelvis en väggregel, ett hörn av vägg/vägg, vägg/fönster och liknande. Den linjära köldbryggan betecknas med  $\Psi$  och har enheten W/mK. Den linjära köldbryggan måste multipliceras med längden på köldbryggan för att få den i W/K som kan jämföras med husets sammanlagda UA-värde som också anges i W/K. En köldbrygga kan också definieras i W/m<sup>2</sup>K dvs. över en yta, så som ett U-värde anges (Martinsson, 2008; Energilotsen).

Vi har i HEAT 3D gjort värmeflödesberäkningar på våra olika anslutningar, referensväggar och hörn där vi utgår från 1 meter väggdjup.

Resultaten i kapitel 6 visar värmeflödet för den minsta och största dimensionen. Detta har vi valt att göra för att kunna se om köldbryggan får en större inverkan vid högre isoleringsgrad.

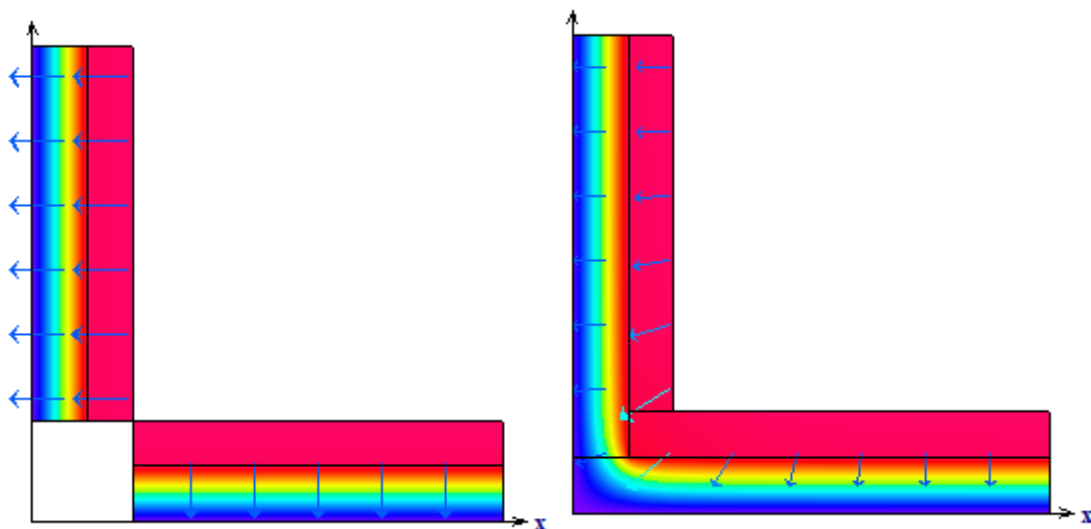
I diskussion med Stefan Ferrari har vi bestämt att bortse från fasaden och den ventilerade luftspalten. I och med att det antas finnas en väl ventilerad luftspalt så anses det som att vara utomhus och den blir då ”obefintlig” för resultatet. Istället lägger man endast till de vanliga motståndstalen 0.04 m<sup>2</sup>K/W på utsidan och 0.13 m<sup>2</sup>K/W på insidan.

Alla kortsidor på byggdelarna är totalisolerade förutom vid fönstret där den nedre ändan är totalisolerad och den ytan där fönstret är placerat på ovansidan.

Tjockleken på fönsterkarmarna som vi räknat med är tagna från ett Elit-Objekt 2+1-fönster.

### 5.1 Exempel på beräkning av ett hörn:

När U-värdet beräknas tas endast hänsyn till väggens insida vilket betyder att den kylande inverkan på hörnets utsida har försummats. Ett beräkningsprogram som HEAT tar hänsyn till detta och ett riktigt värmefflöde kan beräknas. Skillnaden mellan det totala värmefflödet och värmefflödet genom endast vägg utan hörn blir köldbryggan för hörnet.



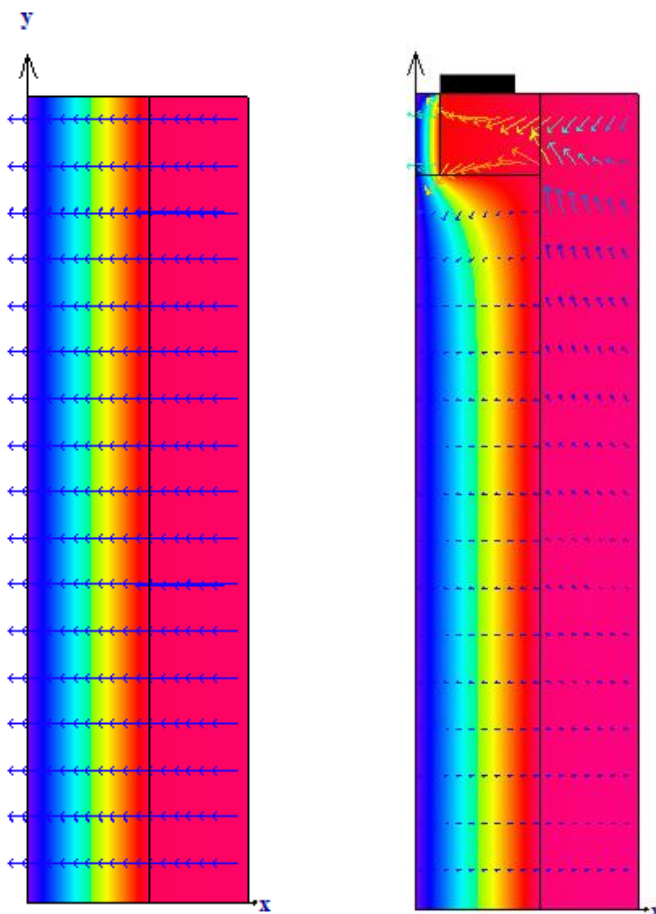
**Figur 1.** Som visar hur man tänker vid beräkning av ett hörn. Bilden till vänster visar temperaturfördelningen med värmefflödespilar i en vägg utan hörn. Bilden till höger visar samma sak fast med hörnet. Här jämför vi två kvadratmeter av referensväggen med ett hörn som har två sidor som är en kvadratmeter vardera. Skillnaden mellan dessa blir köldbryggan för hörnet.

$$\Psi = Q_{\text{Hörn}} - 2Q_{\text{Ref}} \quad [\text{W/mK}]$$

## 5.2 Exempel på beräkning av en fönstersmyg:

Fönstersmygar eller fönsteranslutningar är också en sorts köldbrygga då anslutningen bidrar med en materiell köldbrygga som tränger igenom den normala konstruktionen. Ytan blir större på insidan än på utsidan och det blir då även en geometrisk företeelse. Det som vi skall undersöka är köldbryggan som uppstår på grund av annorlunda konstruktion av väggen vid anslutning av fönster och inte fönstrets karm som ingår i fönsterleverantörens angivna värden. Där den svarta rutan sitter är det totalisolerat, alltså ingen värmetransport genom denna yta.

Likasa i detta fall är köldbryggan skillnaden mellan värmeflödet i vägg med fönsteranslutning och referens vägg.



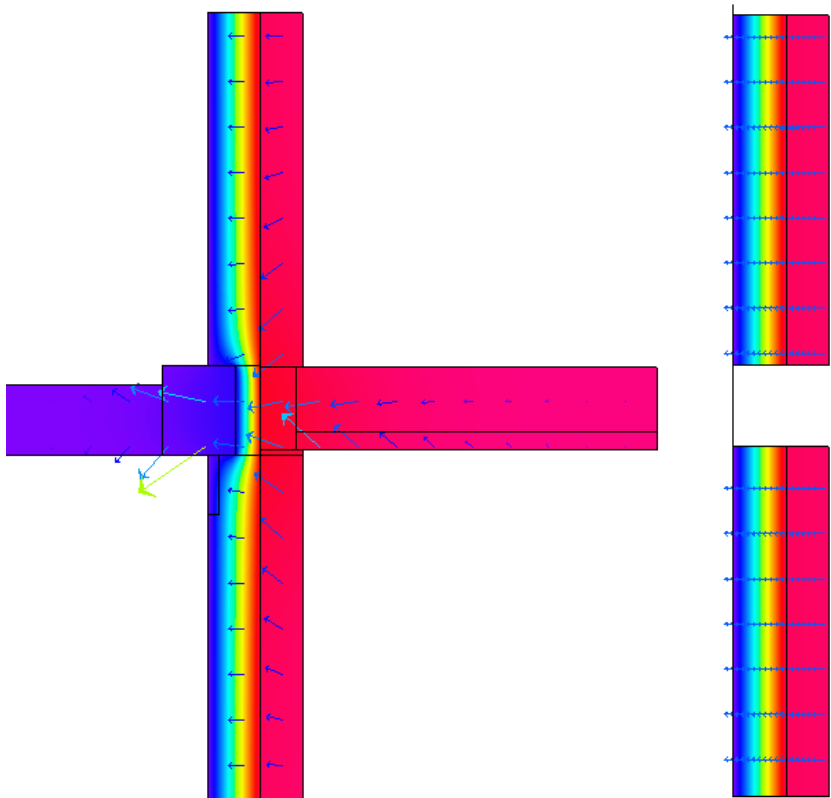
**Figur 2.** Som visar hur man tänker vid beräkning av fönsteranslutning. Bilden till vänster visar temperaturskillnaden med värmeflödespilar i en referens vägg. Bilden till höger visar samma vägg fast nu med en fönsteranslutning. Skillnaden mellan dessa blir köldbryggan för fönsteranslutningen.

$$\Psi = Q_{\text{Fönster}} - Q_{\text{Ref}} \quad [\text{W/mK}]$$

### 5.3 Exempel på beräkning av en balkonganslutning:

En balkonganslutning är också en sorts köldbrygga då anslutningen bidrar med en materiell köldbrygga som tränger igenom den normala konstruktionen. I våra fall där balkongen är gjord av betong är man tvungen att på vissa ställen ha genomgående betong från bjälklag till balkong just för att kunna fylla sin funktion d.v.s. att bära. Där den genomgående betongen finns har man också ett armeringsjärn för att motverka drag i ovankant på balkongen. En betongklack är utsatt på undersidan av den genomgående betongen för att kunna infästas ordentligt. Betongklacken är 300 \* 100 \* 150 mm och anges 1 styck per meter balkong.

I detta fall är köldbryggan skillnaden mellan värmeflödet i balkonganslutning plus 2 väggdelar minus 2 väggdelar, vilket visas nedan.



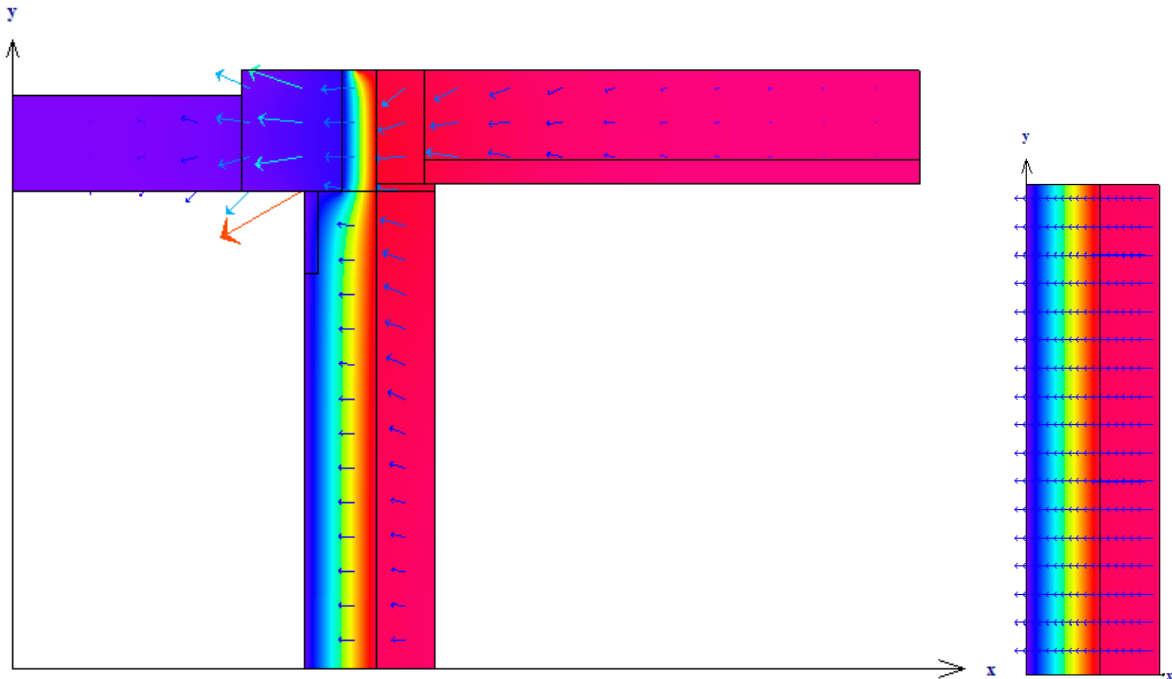
**Figur 3.** Som visar hur man tänker vid beräkning av balkonganslutning. Bilden till vänster visar temperaturskillnaden med värmeflödespilar i en balkonganslutning. Bilden till höger visar samma sak fast utan balkonganslutning. Skillnaden mellan dessa blir köldbryggan för balkonganslutningen.

Här jämför vi två kvadratmeter av referensväggen med en balkong som har en kvadratmeter vägg på vardera sidan. Enligt standard SS-EN ISO 14683:2007 så har vi en meter bjälklag på insidan och 0.6 meter balkong på utsidan.

$$\Psi = Q_{Balkong} - 2Q_{Ref} \quad [\text{W/mK}]$$

## 5.4 Exempel på beräkning av en balkonganslutning med fönster/dörr:

Denna anslutning skiljer sig inte särskilt mycket från exemplet ovan mer än att den istället för en vägg har ett fönster/dörr i anslutning med balkongen. Köldbryggan förstärks jämfört med ovan då både fönstret/dörren är en köldbrygga i samband med balkongen som ansluts in till bjälklaget.



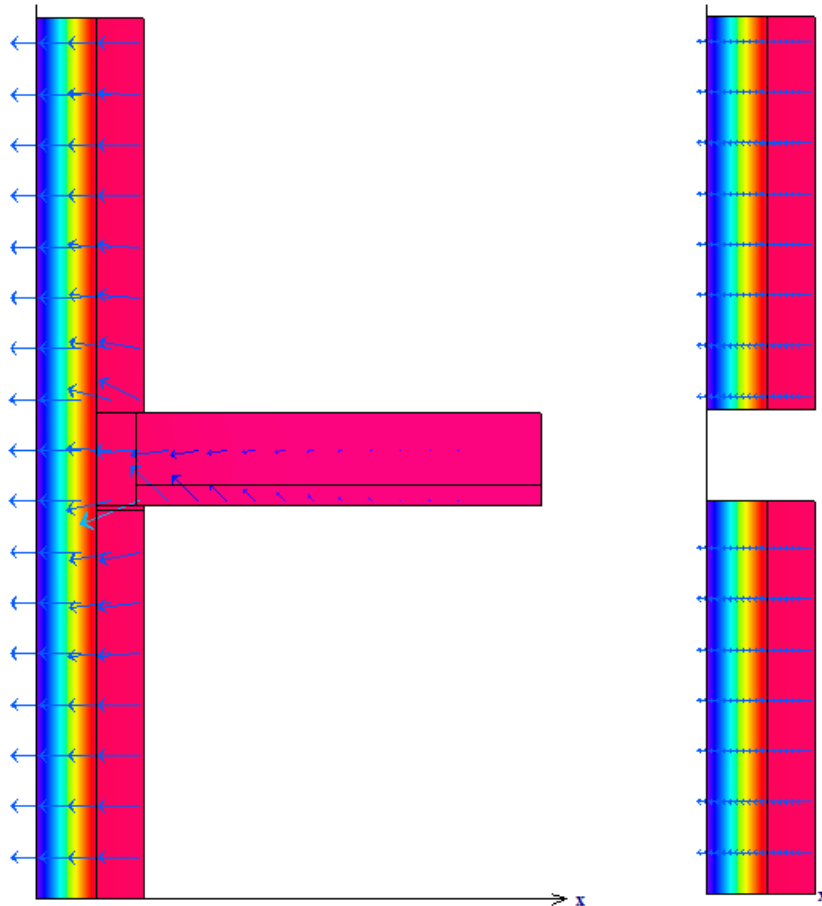
**Figur 4.** Som visar hur man tänker vid beräkning av balkonganslutning med fönster/dörr. Bilden till vänster visar temperaturskillnaden med värmeflödespilar i en balkong-fönster anslutning. Bilden till höger visar samma sak som den vänstra bilden fast utan balkong-fönster anslutning. Skillnaden mellan dessa blir köldbryggan för balkong-fönster anslutningen.

Enligt standard SS-EN ISO 14683:2007 så har vi en meter bjälklag på insidan och 0.6 meter på utsidan.

$$\Psi = Q_{Balkong - fönster} - Q_{Ref} \quad [\text{W/mK}]$$

## 5.5 Exempel på beräkning av bjälklag:

Bjälklaget bidrar med en köldbrygga runt hela huset där den är infäst i väggen. Beräkningen fungerar ungefär likadant som vid balkonganslutningarna bara att nu finns där ingen balkong på utsidan av väggen.



**Figur 5.** Som visar hur man tänker vid beräkning av bjälklaget. Bilden till vänster visar temperaturskillnaden med värmeväggar hos en VAB12 (redovisas i kapitel 6.1) med två referensväggar plus bjälklag. Bilden till höger visar samma sak som den vänstra bilden fast utan bjälklag.

Skillnaden mellan dessa blir köldbryggan för bjälklaget.

$$\Psi = Q_{Bjälklag} - 2Q_{Ref} \quad [\text{W/mK}]$$

## 5.6 Beräkning av energianvändning

$$1. \quad E = Q * G_T \quad [\text{Wh}]$$

$$Q \quad = \text{Värmeflödet genom byggnadsdel} \quad [\text{W/K}]$$

$$G_T \quad = \text{Gradtimmrar} \quad [\text{Kh}]$$

För att överslagsmässigt beräkna en byggnads energibehov används ofta begreppet gradtimmrar. Gradtimmrarna kan beskrivas som den sammanlagda temperaturskillnad som råder mellan inomhus och utomhus under ett år och definieras:

$$2. \quad G_T = \int (T_{\text{inne}} - T_{\text{ute}}) dt \quad [\text{Kh}]$$

Den enklaste uppskattningen av gradtimmrarna fås genom att sätta utetemperaturen till ortens årsmedeltemperatur som i vårt fall är 8 grader för Lund och innetemperaturen till 22 grader och multiplicera med årets alla timmar enligt följande exempel:

$$G_{\text{Lund}} = (22-8) * 365 * 24 = 122640 \quad [\text{Kh}]$$

(Svensson.J & Westberg.A, 2006).



## 5.7 Referenshuset

För att kunna analysera och jämföra resultaten som vi har fått fram genom beräkningarna i HEAT så har vi valt att utforma ett referenshus att sätta in värden för köldbryggorna i.

För att göra det så enkelt som möjligt har vi valt att utforma huset väldigt simpelt.

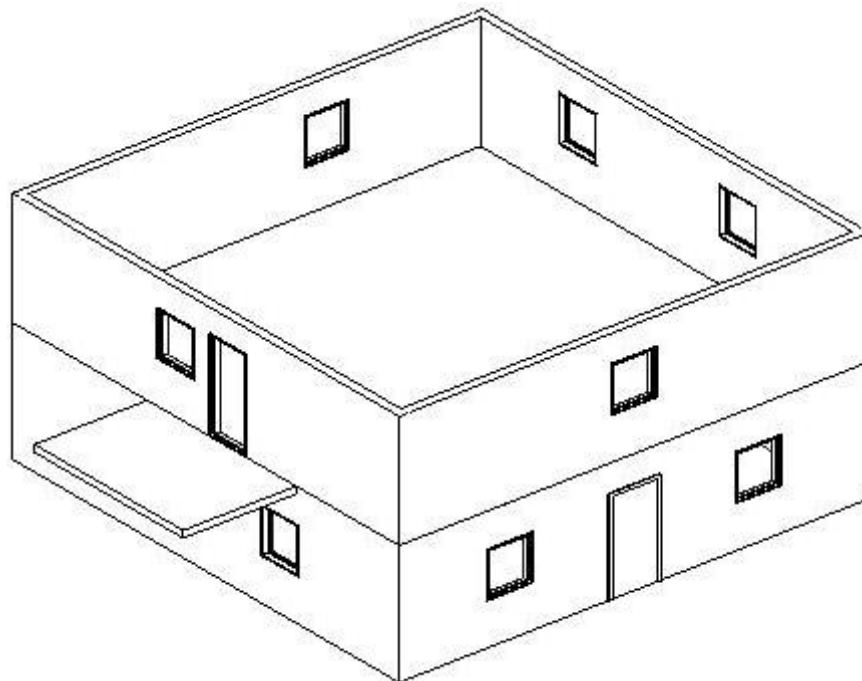
Huset är kvadratisk utformat med de invändiga måtten 10 x 10 meter, det är två våningar som vardera är 2,5 meter höga. Det är totalt 10 fönster som är 1 x 1 meter, en balkong-dörr/fönster som är två meter hög och en meter bred, en balkong som är tre meter exklusive dörr/fönster samt en ytterdörr som är 2 x 1 meter och antas ha samma infästning som fönster.

Huset är placerat i Lund.

Den totala invändiga väggytan blir då:  $(10 * 5 * 4) - 10 - 2 - 2 = 186 m^2$

Köldbryggornas längder:

Hörn:	$2,5 * 2 * 4 = 20 m$
Fönsteranslutning:	$4 * 10 + 5 + 5 = 50 m$
Balkonganslutning:	$3 m$
Balkongfönster/dörr:	$1 m$
Bjälklag	$10 * 4 - (3 + 1) = 36 m$



**Figur 6.** Visar hur referenshuset som vi har använt för att jämföra värden för köldbryggorna ser ut.

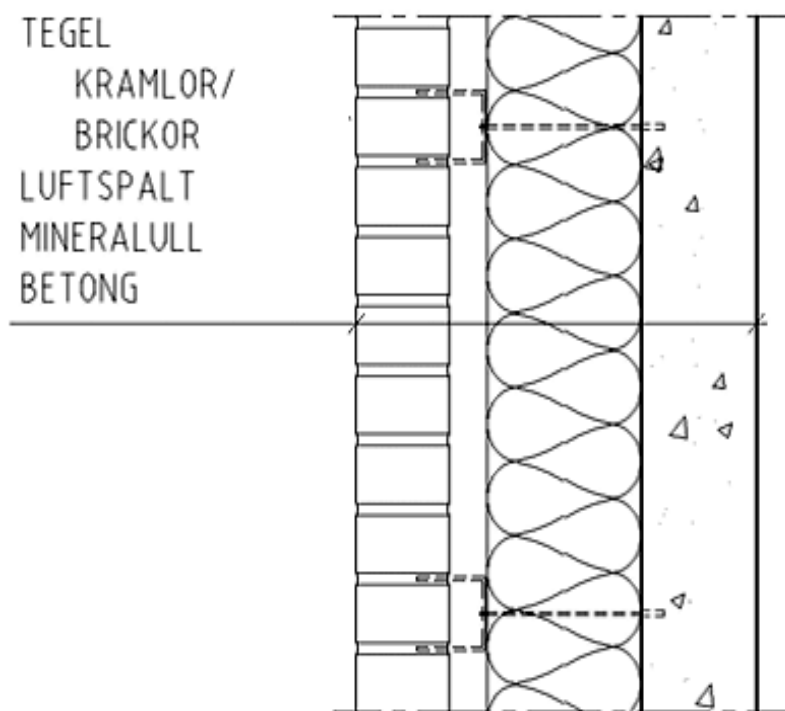
## 6 Simulering och Resultat

### 6.1 VAB12

#### 6.1.1 Beskrivning av del

VAB12 är en betongvägg med tegelfasad avsedd för alla typer av byggnader och konstruktionslösningar.

Stommen består av en inre skiva av betong med utanpåliggande isolering. Som standardutförande räknas betongskiva 100-200 mm och isolertjocklek 150-200 mm.

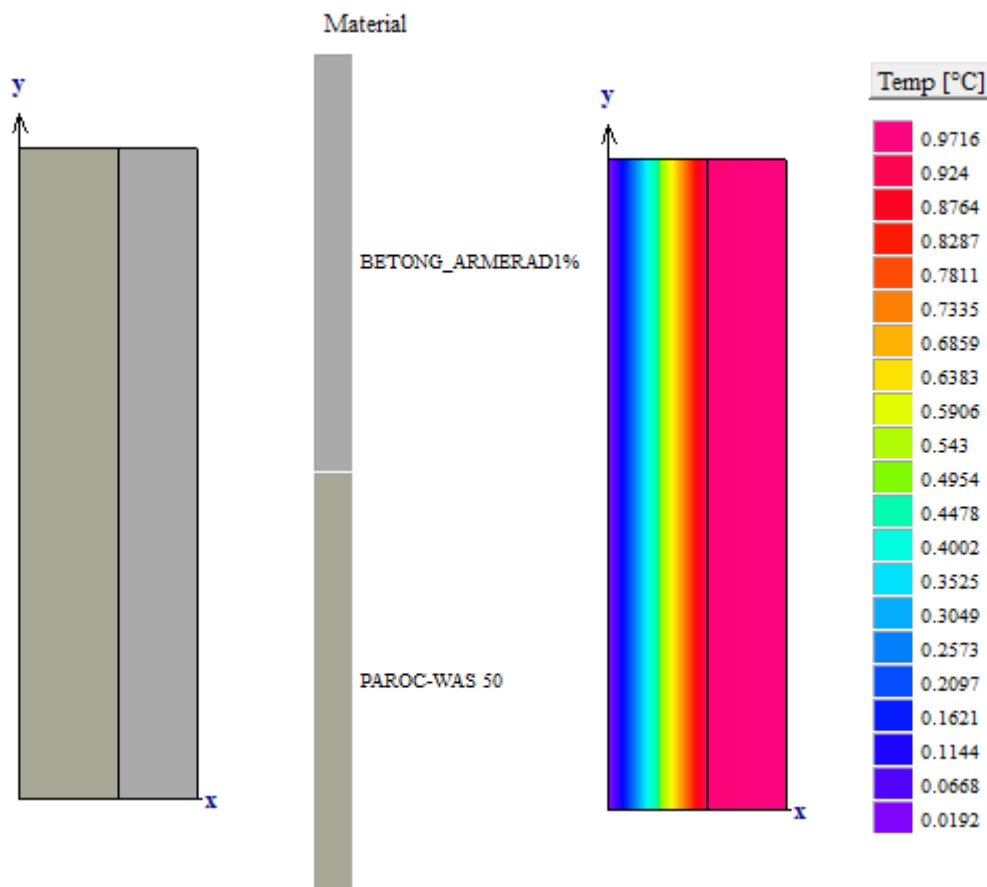


Materialsikt	Specifikation
120 (108) Tegel	Endast dokumenterat frostbeständiga material. Fabriksblandat murbruk anpassat till murstenen. Armering av syrafast och rostfritt stål lägst kvalitet SS 2347. Murkramlor av typ Joma U-kramla av syrafast och rostfritt stål av kvalitet SS 2347.
30 – 50 luftspalt	Fri från brukstuggor och bruksspill.
150-200 mineralull	Paroc WAS 50 Skalmursskiva eller likvärdigt. Densitet: ca 45 kg/m <sup>3</sup> Värmeledning: $\lambda_d = 0,034 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ Fästs med pendelkramlor, brickor och murkramlor.
100-200 betong	Betongkvalitet enligt objekthandlingar, lägst C25/30. Platsgjuten eller prefabricerad. Betongskivan dimensioneras objektsvis.

(Skanskas interna dokument1).

## 6.1.2 Resultat

VAB12 Referensvägg:



**Figur 7.** Bilden till vänster visar materialen i en VAB12 vägg med 150 mm isolering och 120 mm betong. Bilden till höger visar temperaturskillnaden i samma vägg. Illustrationerna och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
150/120	0,216	<b>0,216</b>
200/200	0,163	<b>0,163</b>

U-värdet beräknas enligt nedan:

$$R_T = 0,04 + \frac{0,15}{0,034} + \frac{0,12}{2,3} + 0,13 = 4,634 \quad (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$$

$$U = \frac{1}{R_T} = 0,216 \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

VAB12 Hörn:

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,497	0,432	<b>0,065</b>
200/200	0,404	0,326	<b>0,078</b>

VAB12 Fönsteranslutning:

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,331	0,216	<b>0,115</b>
200/200	0,288	0,163	<b>0,125</b>

VAB12 Balkonganslutning:

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	1,066	0,432	<b>0,634</b>
200/200	0,907	0,326	<b>0,581</b>

VAB12 Balkong-Fönster:

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Balkong-fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,867	0,216	<b>0,651</b>
200/200	0,788	0,163	<b>0,625</b>

VAB12 Bjälklag:

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,483	0,432	<b>0,051</b>
200/200	0,364	0,326	<b>0,038</b>

### 6.1.3 Analys

<b>VAB12</b>	<b>150/120 mm</b>	<b>200/200 mm</b>
	<b>Q [W/K]</b>	<b>Q [W/K]</b>
Vägg	40,18	30,32
Hörn	1,30	1,56
Fönsteranslutning	5,75	6,25
Balkonganslutning	1,90	1,74
Balkongfönster	0,65	0,63
Bjälklag	1,84	1,37
$\Sigma Q_{\psi}$	<b>11,43</b>	<b>11,55</b>
<b>Totalt</b>	<b>51,61</b>	<b>41,87</b>

För att beräkna värmeflödet genom väggen tar man U-värdet för väggen och multiplicerar med väggens area som anges i kapitel 5.7. Värmeflödet genom köldbryggorna beräknas genom att multiplicera  $\Psi$ -värdet med längden för köldbryggan som också framgår i kapitel 5.7.

I dimensionen 150/120 så bidrar köldbryggorna med en ökning av värmeflödet på 28,4 % jämfört med värmeflödet genom endast väggen. I den tjockare väggen så är ökningen 38,1 %, alltså ännu större. Detta visar att ju bättre isolerad väggen är, desto större inverkan har köldbryggorna även fast det totala värmeeffektbehovet blir mindre. Den största köldbryggan per meter är balkongfönsteranslutningen men köldbryggan som bidrar mest till en ökad energianvändning är fönsteranslutningen eftersom den totala längden för fönsteranslutningens köldbrygga är så pass stor. Resten av anslutningarna ger ganska låga värden för köldbryggorna och vi anser att det är bra lösningar men vi ger i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.

Vi har avgränsat oss från golv- och tak men ska nu bara visa hur köldbryggornas inverkan blir då man lägger till just golv- och tak. Det blir ett mer jämförbart värde som stämmer mer överrens med schablonvärdet om 20 % som BBR anger. Vi kommer bara multiplicera U-värdet för golv- och tak med dess area för att få flödet i W/K, vi har inte hittat eller blivit tilldelade några bra värden för köldbryggorna i golv- och takanslutningarna därför försummar vi dess inverkan. Utan golv- och tak i referenshuset så är köldbryggornas inverkan 28,4 % för den smala väggen och 38,1 % för den tjocka.

Ett U-värde för golv- och tak har vi hittat på Isovers hemsida där en av deras platta på mark har ett U-värde på 0,10 W/m<sup>2</sup>K, ett låglutande tak med betongstomme och tätskikt har ett U-värde enligt Isover som är 0,11 W/m<sup>2</sup>K.

Arean för golv- och tak är respektive 100 m<sup>2</sup>, genom att multiplicera 0,10 W/m<sup>2</sup>K med 100 m<sup>2</sup> får golvet ett flöde om 10 W/K. 0,11 W/m<sup>2</sup>K \* 100 m<sup>2</sup> ger taket ett flöde om 11 W/K (Isover1;Isover2).

För den smala väggen blir nu köldbryggornas inverkan:

$$\frac{11,43}{40,18 + 10 + 11} = 18,7\%$$

För den tjocka väggen blir köldbryggornas inverkan:

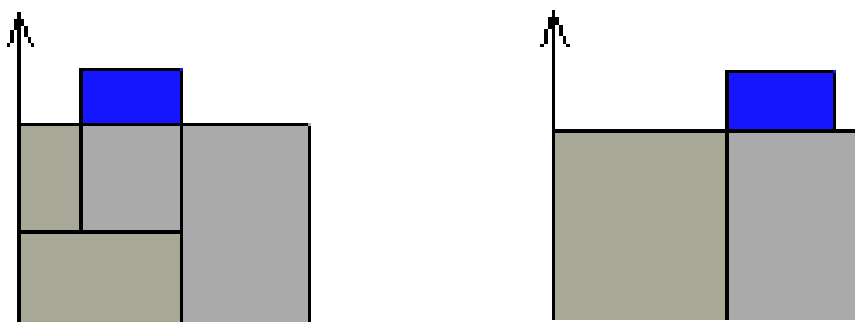
$$\frac{11,55}{30,32 + 10 + 11} = 22,5\%$$

### 6.1.4 Möjliga lösningar

Eftersom fönsteranslutningen är den köldbrygga som bidrar mest till en ökad energianvändning så har vi valt att titta lite extra på hur man skulle kunna göra för att reducera den. På ritningen för VAB12 så är betongklacken som fönstret är infäst vid 120 mm bred och ger en köldbrygga som är 0,115 W/mK i den smala väggen. Om man istället gör den lika bred som fönstret, alltså 93 mm (enligt figur 8) så skulle köldbryggan bli 0,082 W/mK och därmed 4,1 W/K istället för 5,75 W/K i referenshuset. Om man väljer att ta bort betongklacken helt och placera fönstret närmre insidan av väggen så blir köldbryggan 0,058 W/mK, vilket är nästan hälften av det ursprungliga värdet. Detta skulle ge en energiförlust på 2,9 W/K jämfört med 5,75 W/K vilket innebär att man sparar in 349,5 kWh/år genom den justeringen. Detta gäller för den smala väggen. Besparingen 349,5 kWh/år beräknas genom skillnaden på energiförlusterna mellan den gamla och nya lösningen multiplicerat med gradtimmarna som vi beräknade i kapitel 5.6.

Alltså:

$$(5,75 - 2,9) * 122640 = 349,5 \text{ kWh/år}$$



**Figur 8.** Bilden till vänster visar lösningen där man har förminskat betongklacken till längden på fönstret dvs. 93 mm. Bilden till höger visar lösningen utan betongklack som ger en besparing på 349,5 kWh/år.

För den tjockare väggen är betongklacken som fönstret är infäst vid 170 mm bred och ger en köldbrygga som är 0,125 W/mK. Gör man betongklacken lika bred som fönstret d.v.s. 93 mm så ger det en köldbrygga som är 0,070 W/mK och det extra värmeflödet på grund av fönsteranslutningen blir därmed 3,5 W/K istället för 6,25 W/K i referenshuset. Tar man bort betongklacken och placerar fönstret närmare insidan av väggen så blir köldbryggan 0,065 W/mK. Detta ger en energiförlust på 3,25 W/K jämfört med 6,25 W/K vilket gör att man sparar in 367,92 kWh/år genom att ta bort betongklacken. Betongklacken anser vi vara 170 mm bred för att få samma avstånd mellan fasad och fönster som i den smala väggen.

Ett problem med dessa lösningar är att man av estetiska skäl gärna vill placera fönstret så långt ut i väggen som möjligt även om det går emot minimeringen av energianvändningen.

Vi har provat att byta ut en liten del av betongen längst ut i hörnet i ett försök att reducera köldbryggan för hörnet, detta gav ett mycket litet utslag och eftersom vi inte är säkra på denna konstruktions hållfasthet ansåg vi att det inte var värt att utvärdera närmre.

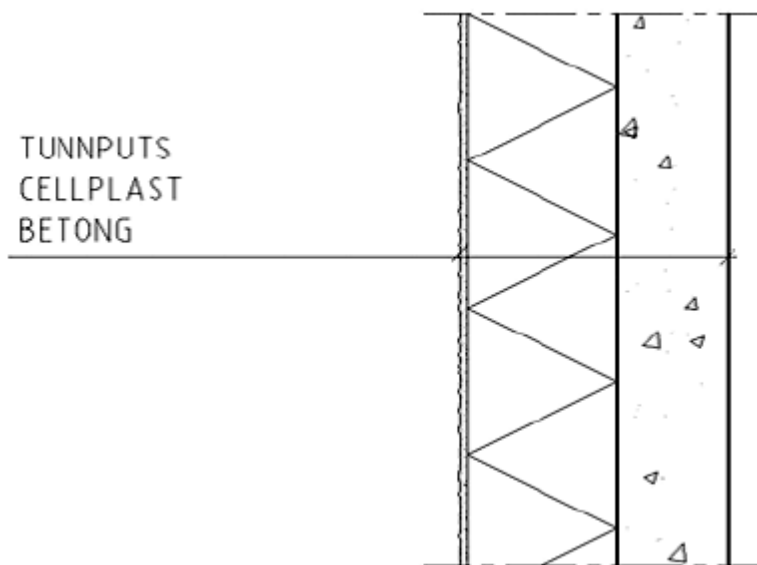


## 6.2 VAB15

### 6.2.1 Beskrivning av del

VAB15 är en betongvägg med tunnputs på cellplast avsedd för alla typer av byggnader och konstruktionslösningar. Stommen består av en inre skiva av betong med utanpåliggande isolering.

Som standardutförande räknas betongskiva 100-200 mm och isolertjocklek 150-200 mm.

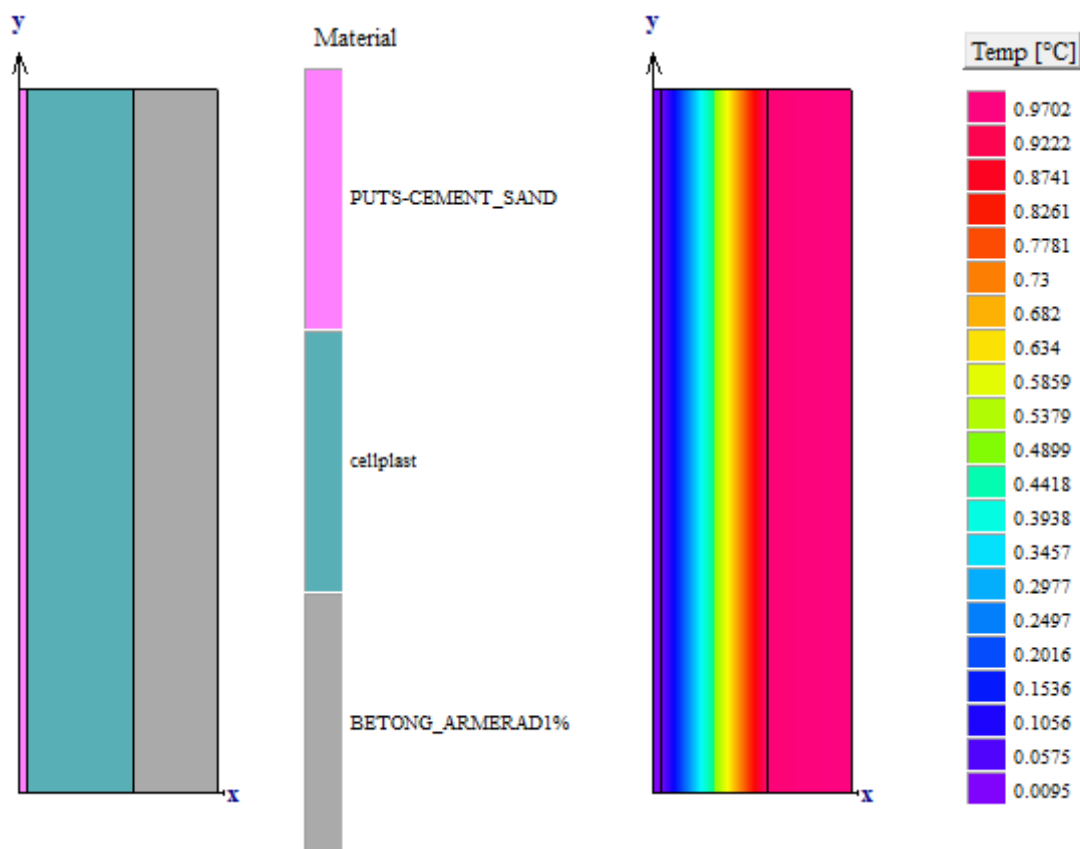


Materialskikt	Specifikation
6-10 tunnputs	Komplett tunnputssystem för putsning på putsbärare av cellplastisolering.
150-200 Cellplast	Expanderad polystyrencellplast (EPS) enligt putssystemleverantörens standard. Isoleringen skall vara typgodkänd och får ej innehålla flamskyddsmedel. Densitet: ca 20 kg/m <sup>3</sup> Värmeledning: $\lambda_d = 0,036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
100-200 betong	Betongkvalitet enligt objekthandlingar, lägst C25/30. Platsgjuten eller prefabricerad.

(Skanskas interna dokument2).

## 6.2.2 Resultat

VAB15 Referensvägg:



**Figur 9.** Bilden till vänster visar temperaturskillnaden i en VAB15 vägg med 10 mm puts, 150 mm cellplast och 120 mm betong. Bilden till höger visar temperaturfördelningen genom samma vägg. Illustrationen och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{Ref}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
150/120	0,227	0,227
200/200	0,172	0,172

*VAB15 Hörn:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,523	0,454	<b>0,069</b>
200/200	0,425	0,344	<b>0,081</b>

*VAB15 Fönsteranslutning:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,568	0,227	<b>0,341</b>
200/200	0,512	0,172	<b>0,340</b>

*VAB15 Balkonganslutning:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,774	0,454	<b>0,320</b>
200/200	0,657	0,344	<b>0,313</b>

*VAB15 Balkong-Fönster:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,548	0,227	<b>0,321</b>
200/200	0,488	0,172	<b>0,316</b>

*VAB15 Bjälklag:*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/120	0,509	0,454	<b>0,055</b>
200/200	0,384	0,344	<b>0,040</b>

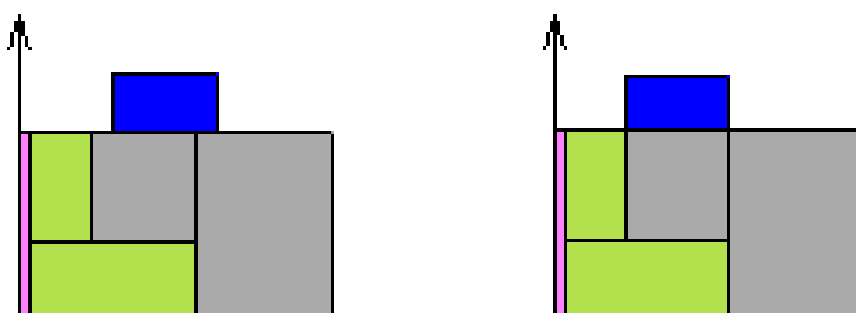
### 6.2.3 Analys

<b>VAB15</b>	<b>150/120 mm</b>	<b>200/200 mm</b>
	<b>Q [W/K]</b>	<b>Q [W/K]</b>
Vägg	42,22	32,00
Hörn	1,38	1,62
Fönsteranslutning	17,05	17,00
Balkonganslutning	0,96	0,94
Balkongfönster	0,32	0,32
Bjälklag	1,98	1,44
$\Sigma Q_w$	<b>21,69</b>	<b>21,32</b>
<b>Totalt</b>	<b>63,91</b>	<b>53,32</b>

I den smala väggen så ger köldbryggorna en ökning med 51,4 % och 66,6 % för den tjocka väggen i jämförelse med endast vägg. Här är köldbryggan för fönsteranslutningen otroligt stor och en rejäl förbättring skulle behövas för den anslutningen. Jämfört med VAB12 som är lik VAB15 på många sett så är köldbryggan för fönsteranslutningen nästan tre gånger så stor i VAB15. I övrigt är värdena ganska lika vilket gör att det otroligt höga värdet för fönsteranslutningarna är väldigt konstigt. Resten av anslutningarna ger ganska låga värden för köldbryggorna och vi anser att det är bra lösningar men vi ger i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.

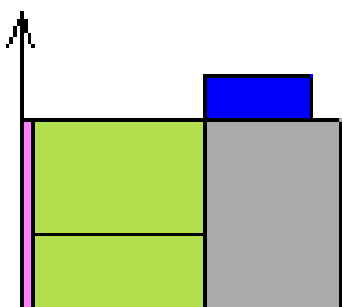
## 6.2.4 Möjliga lösningar

När vi har ritat fönsteranslutningen i HEAT så har vi utgått från måtten på ritningen vilken visar att fönsterkarmen placeras 20 mm in från kanten på betongklacken som bilden till vänster i figur 10 visar. Om man istället placerar fönsterkarmen så långt ut som möjligt på betongklacken som i bilden till höger i figur 10, så undviker man värmeflödet rakt genom betongen från insidan till utsidan och köldbryggan sänks från 0,341 W/mK till 0,086 W/mK vilket i vårt referenshus skulle leda till att köldbryggorna endast ger en ökning av energianvändningen med 21,2 % jämfört med endast vägg istället för 51,4 % och det totala värmeeffektbehovet sänks från 63,91 W/K till 51,16 W/K.



**Figur 10:** Bilden till vänster visar den ursprungliga konstruktionen som ger en köldbrygga på 0,341 W/mK. Till höger visas hur fönstret ligger helt i liv med betongklacken och därmed sjunker köldbryggan till 0,086W/mK. Den blå rutan i bilderna föreställer endast fönstrets placering och den ytan är totalisolerad.

Ett annat bra alternativ är att placera fönstret närmre insidan av väggen som i figur 11, på det viset kan man ta bort den nästan genombrytande betongklacken. Köldbryggan blir då endast 0,062 W/mK och det totala värmeeffektbehovet 49,96 W/K. Detta är en lösning som är positiv i flera perspektiv eftersom det minskar risken för ytkondens och kallras. Däremot är den inte så populär ur arkitektonisk synvinkel. För att förfina det estetiska kan man fasa cellplasten på utsidan så att man får bättre utsikt, detta gör dock att köldbryggan ökar .



**Figur 11:** Visar ett tredje alternativ där fönstret har placerats närmre väggens insida och betongklacken har tagits bort. Detta ger en köldbrygga på 0,062 W/mK.

Köldbryggan för den tjockare väggen då fönstret är 20 mm in från kanten på betongklacken är 0,340 W/mK, om man istället placerar fönstret längst ut på betongklacken som figur 9 får man en köldbrygga som är 0,095 W/mK vilket ger 4,75 W/K totalt för alla fönster jämfört med 17 W/K. Genom att göra så här kan man spara in 1 502,34 kWh/år i referenshuset.

Gör man istället klacken lika bred som fönstret d.v.s. 96 mm får man en köldbrygga som är 0,074 W/mK, tar man bort klacken helt och ställer fönstret så nära insidan av väggen som möjligt får man en köldbrygga som är 0,068 W/mK. Jämfört med 1 502,34 kWh/år kan man med det senaste alternativet nu spara in 1 667,90 kWh/år.

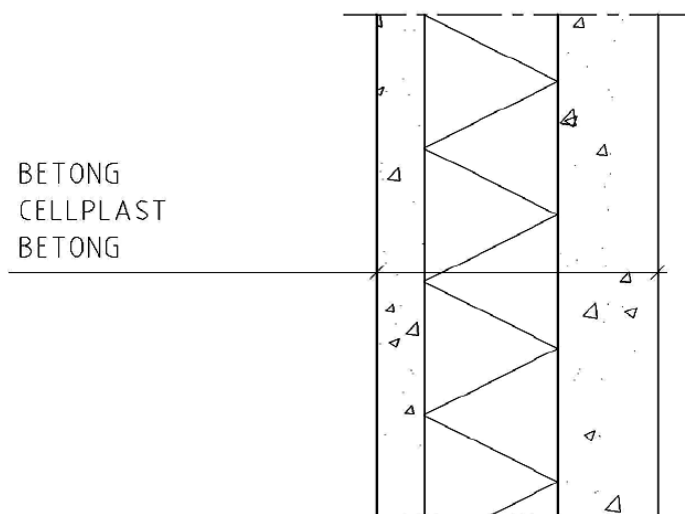
## 6.3 VAB20

### 6.3.1 Beskrivning av del

VAB20 är ett sandwich-element av betong och cellplast avsedd för alla typer av byggnader och konstruktionslösningar.

Som standardutförande räknas yttre betongskiva 70 mm, isolertjocklek 150-200 mm och inre betongskiva 150 mm. Standarddetaljer för fönster är ritade med smygar utformade utefter Moderna Hus-konceptet.

Toleranser i fönsterhål utgår också från Moderna Hus-konceptet vilket är värt att notera om elementen beställs utanför konceptet.

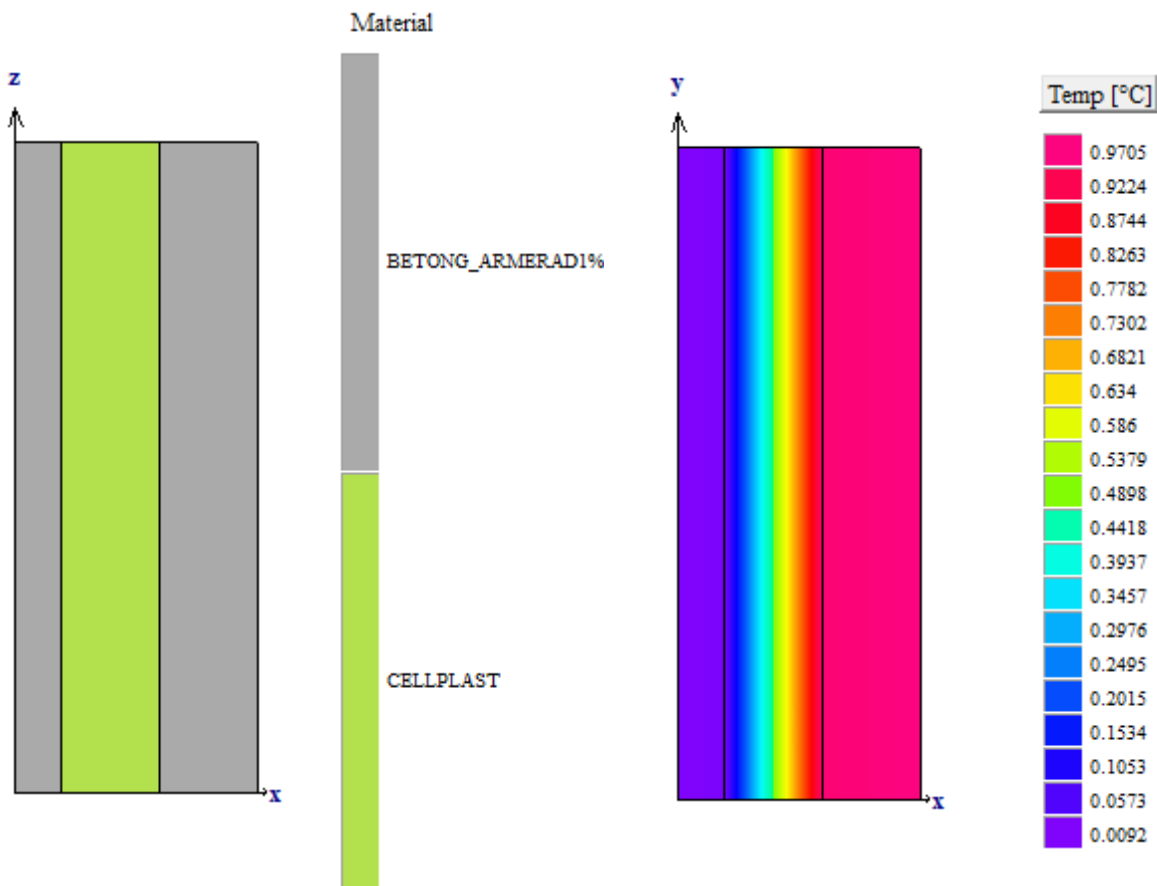


Materialsikt	Specifikation
70 betong	
150-200 Cellplast	Expanderad polystyrencellplast (EPS). Värmeledning: $\lambda_d = 0,036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
150 betong	Betongkvalitet enligt betongelementleverantör, lägst C25/30.

(Skanskas interna dokument3).

### 6.3.2 Resultat

VAB20 Referensvägg:



**Figur 12:** Bilden till vänster visar materialen i en VAB20 vägg med 70 mm betong, 150 mm cellplast och 150 mm betong. Bilden till höger visar temperaturskillnaden genom samma vägg. Illustrationerna och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{Ref}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
150/150	0,226	0,226
200/150	0,178	0,178



*VAB20 Hörn:*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,531	0,452	<b>0,079</b>
200/150	0,410	0,356	<b>0,054</b>

*VAB20 Fönsteranslutning*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,337	0,226	<b>0,111</b>
200/150	0,293	0,178	<b>0,115</b>

*VAB20 Balkonganslutning:*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	1,103	0,452	<b>0,651</b>
200/150	0,829	0,356	<b>0,473</b>

*VAB20 Balkong-Fönster:*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Balkong-fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,845	0,226	<b>0,619</b>
200/150	0,612	0,178	<b>0,434</b>

*VAB20 Bjälklag:*

Dimensioner [mm] (Isolering/Betong)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,502	0,452	<b>0,050</b>
200/150	0,383	0,356	<b>0,027</b>

### 6.3.3 Analys

<b>VAB20</b>	<b>150/150 mm</b>	<b>200/150 mm</b>
	<b>Q [W/K]</b>	<b>Q [W/K]</b>
Vägg	42,04	33,11
Hörn	1,58	1,08
Fönsteranslutning	5,55	5,75
Balkonganslutning	1,95	1,42
Balkongfönster	0,62	0,43
Bjälklag	1,80	0,97
$\Sigma Q_{\psi}$	<b>11,50</b>	<b>9,65</b>
<b>Totalt</b>	<b>53,54</b>	<b>42,76</b>

Köldbryggorna för den smala och tjocka väggen ger en ökning jämfört med referensväggen på 27,4 % respektive 29,1 %. Resultaten är relativt lika de som vi fick på VAB12 och det är inget som sticker ut, fönsteranslutningen ökar energiförlusterna mest. Resten av anslutningarna ger ganska låga värden för köldbryggorna och vi anser att det är bra lösningar men vi ger i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.

### 6.3.4 Möjliga lösningar

På ritningen som vi har utgått från så ser betongklacken vid fönsteranslutningen för VAB20 ut på samma sätt som VAB12, alltså 120 mm bred. Om man endast gör betongklacken lika bred som fönstret 93 mm så blir värdet för köldbryggan 0,077 W/mK vilket ger en energiförlust på 3,85 W/K. Även på denna vägg vore det en bra lösning ur byggnadsfysisk synvinkel att ta bort betongklacken och placera fönstret så nära insidan på fönstret som möjligt, detta skulle leda till att köldbryggan blir 0,061 W/mK och totalt 3,05 W/K i referenshuset. Detta skulle ge en energibesparing på 306,6 kWh/år. Det här gäller för den smala väggen.

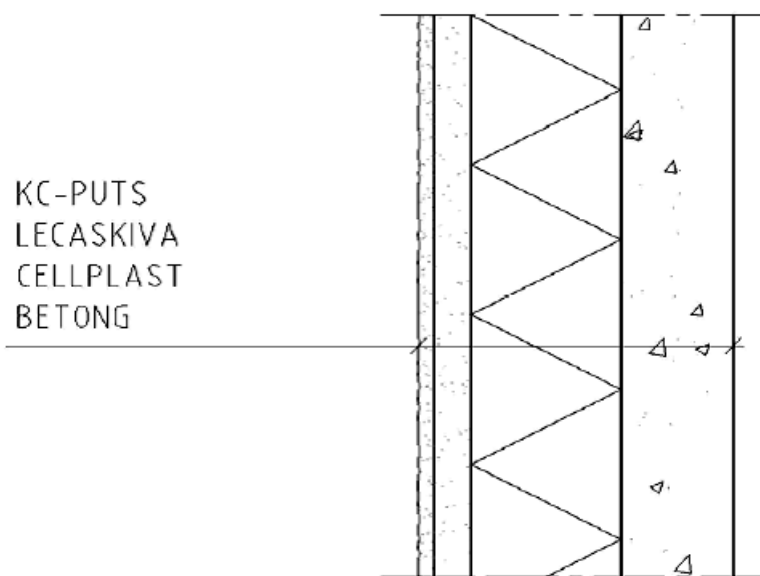
För den tjockare väggen är betongklacken som fönstret är infäst vid 170 mm bred och ger en köldbrygga som är 0,115 W/mK. Gör man betongklacken lika bred som fönstret d.v.s. 93 mm så ger det en köldbrygga som är 0,062 W/mK och det extra värmeflödet på grund av fönsteranslutningen blir därmed 3,1 W/K istället för 5,75 W/K i referenshuset. Tar man bort betongklacken och placerar fönstret närmare insidan av väggen så blir köldbryggan också här 0,062 W/mK. Detta ger en energiförlust på 3,1 W/K jämfört med 5,75 W/K vilket gör att man sparar in 325,00 kWh/år genom att ta bort betongklacken. Betongklacken anser vi också här vara 170 mm bred för att få samma avstånd mellan fasad och fönster som i den smala väggen.

## 6.4 VAB21

### 6.4.1 Beskrivning av del

VAB21 är ett sandwich-element av betong och cellplast avsedd för alla typer av byggnader och konstruktionslösningar.

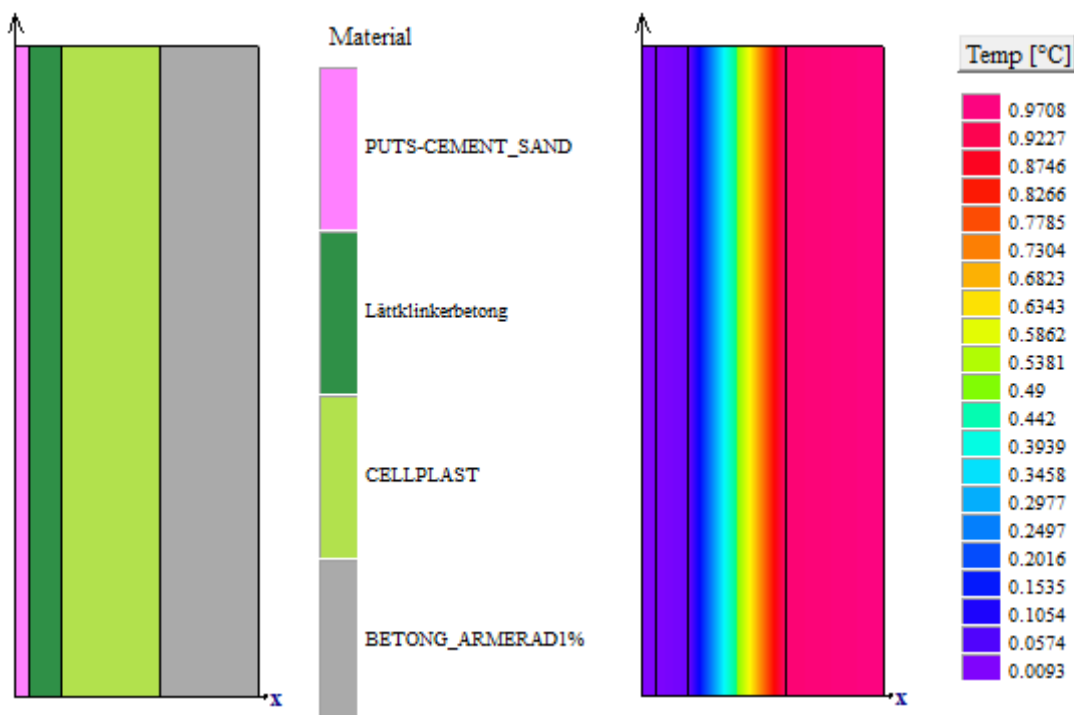
Som standardutförande räknas yttre Leca-skiva 50 mm med KC-puts 20 mm, isolertjocklek 150-200 mm och inre betongskiva 150 mm. Det putsade sandwich-elementet ska kunna erbjuda en skarvfri fasad.



Materialsikt	Specifikation
20 KC-puts	Kalkcementputssystem som utprovats för att appliceras på elementfasader med putsbärare av lättklinkerbetong.
50 lättklinkerbetong	Lättklinkerbetong med kvalitet enligt betongelementleverantör. All armering i lättlinkerskivan skall vara rostfri. Rostfri och syrafast förbindelsearmering mellan ytterskiva och innerskiva.
150-200 cellplast	Expanderad polystyrencellplast (EPS) enligt betongelementleverantörens standard. Isoleringen skall vara typgodkänd och får ej innehålla flamskyddsmedel. Värmeledning: $\lambda_d = 0,036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
150 betong	Betongkvalitet enligt betongelementleverantör, lägst C25/30.

(Skanskas interna dokument4).

## 6.4.2 Resultat



**Figur13.** Bilden till vänster visar materialen i en VAB21-vägg med 50 mm lättklinkerbetong, 150 mm cellplast och 150 mm betong. Bilden till höger visar temperaturskillnaden genom samma vägg. Illustrationerna och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

VAB21 Referensvägg:

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
150/150	0,223	0,223
200/150	0,170	0,170

*VAB21 Hörn:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,525	0,446	<b>0,079</b>
200/150	0,407	0,340	<b>0,067</b>

*VAB21 Fönsteranslutning:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,463	0,223	<b>0,240</b>
200/150	0,416	0,170	<b>0,246</b>

*VAB21 Balkonganslutning:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	1,087	0,446	<b>0,641</b>
200/150	0,817	0,340	<b>0,477</b>

*VAB21 Balkong-Fönster:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Balkong-Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,860	0,223	<b>0,637</b>
200/150	0,622	0,170	<b>0,452</b>

*VAB21 Bjälklag:*

Dimensioner [mm] (Isolering/betong)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/150	0,508	0,446	<b>0,062</b>
200/150	0,387	0,340	<b>0,047</b>

### 6.4.3 Analys

<b>VAB21</b>	<b>150/150 mm</b>	<b>200/150 mm</b>
	<b>Q [W/K]</b>	<b>Q [W/K]</b>
Vägg	41,48	31,62
Hörn	1,58	1,34
Fönsteranslutning	12,00	12,3
Balkonganslutning	1,92	1,43
Balkongfönster	0,64	0,45
Bjälklag	2,23	1,69
<b><math>\Sigma Q_{\psi}</math></b>	<b>18,37</b>	<b>17,21</b>
<b>Totalt</b>	<b>59,85</b>	<b>48,83</b>

Här har vi återigen stora skillnader på grund av köldbryggorna, den smala väggen ger en ökning av energibehovet på 44,3 % och den tjocka väggen på 54,4 %. Återigen är det fönsteranslutningen som sticker ut och ger ett högt påslag, på den tjocka väggen bidrar bara fönsteranslutningen med en ökning på 38,9 % jämfört med väggen vilket är väldigt högt, en reduktion av den köldbryggan skulle ge stort resultat på hela energianvändningen. Resten av anslutningarna ger ganska låga värden för köldbryggorna och vi anser att det är bra lösningar men vi ger i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.

#### 6.4.4 Möjliga lösningar

Precis som VAB15 beter sig VAB21 likadant då fönstret är satt en bit in från betongklackens kant på ritningarna, genom att sätta den i utkanten av betongklacken kan man få ner köldbryggans värde till 0,112 W/mK jämfört med 0,240 W/mK. Med denna ändring skulle energiförlusterna minska med 784,9 kWh/år. Om man väljer att göra betongklacken lika bred som fönstret så blir köldbryggan 0,079 W/mK energiförlusten sänks med 987,3 kWh/år jämfört med den ursprungliga lösningen. Tar betongklacken bort och fönstret placeras nära insidan på fönstret så blir värdet 0,063 W/mK för köldbryggan.

Köldbryggan för den tjockare väggen då fönstret är 20 mm in från kanten på betongklacken är 0,246 W/mK, om man istället placerar fönstret längst ut på betongklacken som figur 9 får man en köldbrygga som är 0,122 W/mK vilket ger 6,1 W/K totalt för alla fönster jämfört med 12,3 W/K. Genom att göra så här kan man spara in 760,37 kWh/år.

Gör man istället klacken lika bred som fönstret d.v.s. 93 mm får man en köldbrygga som är 0,070 W/mK, tar man bort klacken helt och ställer fönstret så nära insidan av väggen som möjligt får man en köldbrygga som också är 0,070 W/mK.

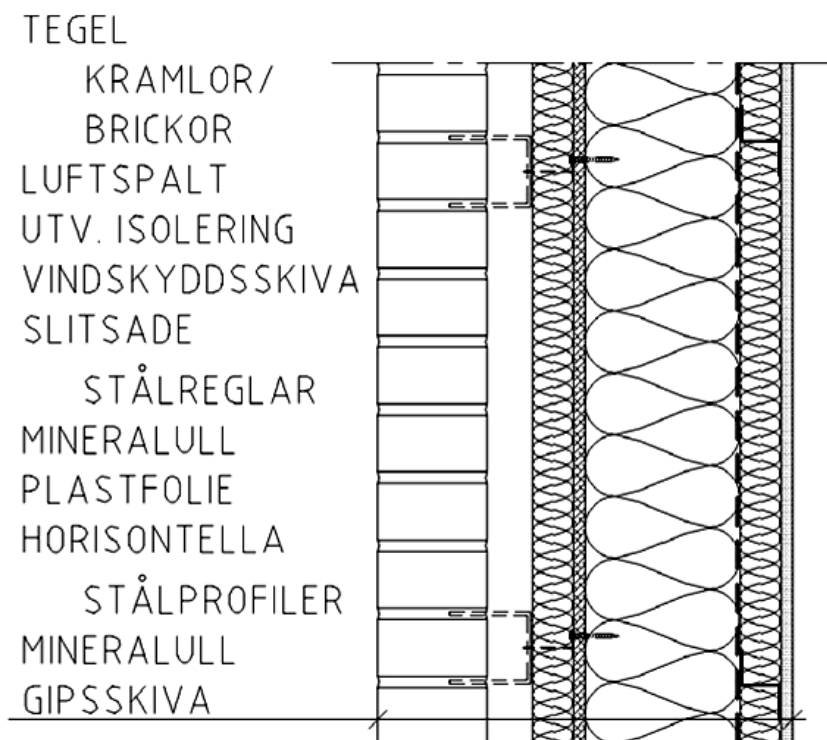
## 6.5 VAU – vägg

### 6.5.1 Beskrivning av del

VAU12 är en utfackningsvägg med stålreglar i stommen och fasad av tegel lämplig för alla typer av byggnader. Väggstommen kan platsbyggas och prefabriceras. Den bärande byggnadsstommen kan bestå av såväl betong som stål.

Den utanpåliggande isolerskivan skyddar den bärande stommen från höga fuktnivåer och bryter köldbryggor. Bidrar till en robustare konstruktion, men är valbar. Isolerskivan hålls på plats av murkramlor och brickor.

Vindskyddsskivan kan i vissa fall vara utbyttbar mot ett vindskydd på rulle. Detta under förutsättning att väggens stabilitet garanteras såväl under som efter uppförandet främst vid prefabricering. Som standardutförande räknas regler 145- 220 mm. Installationsskiktet på insidan ger ökade förutsättningar att skapa ett tätt hus. Förstärkningar av reglingen i installationsskiktet vid upphängning av t ex radiatorer kan vara aktuell. Kan tätheten garanteras med annan konstruktionslösning är installationsskiktet valbart.





<b>Materialskikt</b>	<b>Specifikation</b>
120 (108) tegel	Fabriksblandat murbruk anpassat till murstenen. Armering av syrafast och rostfritt stål lägst kvalitet SS 2347, med benämning A4. Murkramlor av typ Joma U-kramla av syrafast och rostfritt stål av kvalitet SS 2347, med benämning A4.
30-50 luftspalt	Fri från brukstuggor och bruksspill.
45 stenull	Paroc WAS 35 Klimatskiva 600 eller likvärdigt. Densitet: ca 65 kg/m <sup>3</sup> Värmeledning: $\lambda_d = 0,034$ W/m°C Fästs med pendelkramlor, brickor och murkramlor.
13 vindsyddsskiva alt. vindsydd på rulle	Gyproc GHUE/GHU Hydro vindsyddsskiva alt. Vindsydd på rulle; Ånggenomgångsmotstånd $Z < 25000$ s/m
145-220 stenull	Paroc UNS 37z Stålskiva c 450 alt. c 600 Densitet: ca 28 kg/m <sup>3</sup> Värmeledning: $\lambda_d = 0,037$ W/m°C
145-220 stålreglar s450 alt. s600	EuroProfils helslitsade ytterväggsreglar, minst RY170. Som karmreglar används halvslitsade reglar. Tunnare godstjocklek än 1,0 mm rekommenderas EJ, kring fönster ska tjockleken vara minst 1,5 mm och kring fönsterdörrar ska tjockleken vara minst 2,0 mm. Stålprofilerna skall vara varmförzinkade med minst 275 g/m <sup>2</sup> (Z 275) till Korrosivitetsklass C2.
0,2 plastfolie	Icopal Akvaden Byggfolie eller likvärdigt. Produkten skall vara typgodkänd enligt produktstandard <i>SSEN 13 984:2005 Ångspärr av plast och gummi</i> .
45 stenull	Paroc UNS 37z Stålskiva c 600 Densitet: ca 28 kg/m <sup>3</sup> Värmeledning: $\lambda_d = 0,037$ W/m°C
45 horisontella stålprofiler s600	Påslagningsprofiler från EuroProfil PU 45 och/eller PZ 45. Stålprofilerna skall vara varmförzinkade med minst 275 g/m <sup>2</sup> (Z 275) till Korrosivitetsklass C2.
13 gips	Gipsskiva typ Lafarge GKB Scan eller likvärdigt.

(Skanskas interna dokument5).

### 6.5.1.1 Förenkling av slitsad stålregelvägg

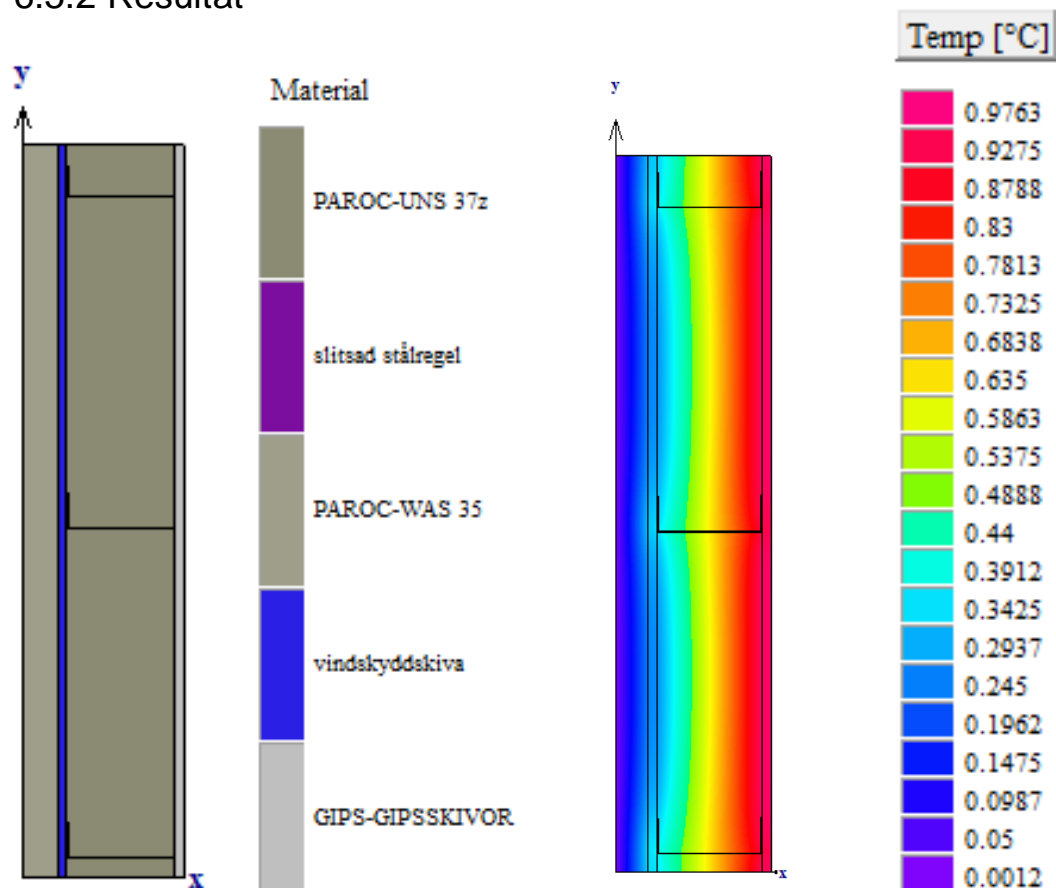
VAU är en vägg med stålregelstomme, stålreglarna är slitsade med små lufthål för att sänka värmeledningsförmågan för regeln.

Eftersom det blir väldigt komplicerat att rita in konstruktioner med flera slitsade stålreglar i olika riktningar i HEAT, så valde vi att beräkna ett fiktivt material med en värmeledningsförmåga som motsvarar en slitsad stålregel. Detta gjorde vi genom att rita en slitsad stålregel som är 1 mm tjock, 1000 mm hög, 145 mm bred och två stycken kanter som är 50 mm djupa. Stålregeln är gjord av rostfritt stål med  $\lambda=17,0$  W/mK och mineralull med  $\lambda=0,034$  W/mK eftersom vi anser att monteringen görs på ett bra sätt och mineralull fyller ut slitsarna i regeln. Sedan lät vi HEAT räkna ut totala värmeflödet genom regeln och fick 0,023 W. Värmeledningsförmågan för den slitsade stålregeln blir då 3,335 W/mK genom beräkningen nedan.

I HEAT har vi sedan skapat ett material med det beräknade  $\lambda$ -värdet som vi kallar för ”Slitsad Stålregel”, detta material används sedan när vi modellerat VAU-väggen istället för att rita alla stålreglar med alla dess hål. Specifik värmekapacitet antog vi till 1,0 MJ/m<sup>3</sup>K eftersom vi saknade värde för detta.

$$\lambda = \frac{0,023 * 0,145}{0,001 * 1,0 * 1,0} = 3,335 \text{ W/mK}$$

## 6.5.2 Resultat



**Figur 14.** Bilden till vänster visar materialen i en VAU-vägg med 145 mm isolering/stålreglar utan installationsskikt. Bilden till höger visar temperaturskillnaden genom samma vägg. Där stålreglarna sitter är också värmeflödet högst. OBS! Dessa två bilder är skapade ovanifrån och man ser de vertikala stålreglarna uppifrån och inte från sidan. Illustrationerna och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

VAU Referensvägg:

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{Ref}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
150/0	0,207	0,207
220/45	0,134	0,134

*VAU Hörn:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsteknik)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/0	0,442	0,414	<b>0,028</b>
220/45	0,292	0,268	<b>0,024</b>

*VAU Fönsteranslutning:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsteknik)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
150/0	0,226	0,207	<b>0,019</b>
220/45	0,164	0,134	<b>0,030</b>

*VAU Balkonganslutning:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsteknik)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	1,028	0,414	<b>0,614</b>
220/45	0,828	0,268	<b>0,560</b>

*VAU Balkong-Fönster:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsteknik)	$Q_{\text{Balkong-Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,861	0,207	<b>0,654</b>
220/45	0,777	0,134	<b>0,643</b>

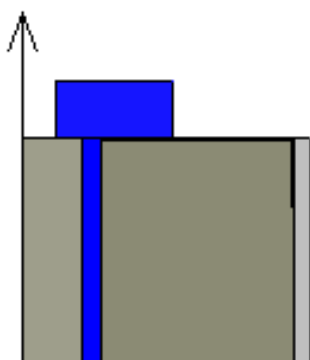
*VAU Bjälklag:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsteknik)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,522	0,414	<b>0,108</b>
220/45	0,368	0,268	<b>0,100</b>

### 6.5.3 Analys

VAU	145/0 mm	220/45 mm
	Q [W/K]	Q [W/K]
Vägg	38,50	24,92
Hörn	0,56	0,48
Fönsteranslutning	0,95	1,50
Balkonganslutning	1,84	1,68
Balkongfönster	0,65	0,64
Bjälklag	3,89	3,60
$\Sigma Q_{\psi}$	<b>7,89</b>	<b>7,90</b>
<b>Totalt</b>	<b>46,39</b>	<b>32,82</b>

På stålregelväggen VAU så har inte köldbryggorna lika stor inverkan, en ökning av energiförlusterna med 20,5 % för den tunna väggen och 31,7 % för den tjockare. Här har fönsteranslutningen inte lika betydande inverkan på energianvändningen som i de tidigare redovisade väggtyperna utan här är det väldigt lågt och istället är det bjälklagsanslutningen som har de högsta värdena. Generellt sett är det här en bra väggtyp om man jämför köldbryggor. Eftersom vi är osäkra på hur konstruktionen måste se ut med tanke på stålreglarnas hållfasthet så har vi inte hittat några möjliga lösningar till den här väggtypen, därför anser vi att det här är bra lösningar, vill man ändå reducera köldbryggorna i den här väggtypen så ger vi i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.



*Figur 15. Bilden visar fönsteranslutningen för VAU-väggen.*

## 6.6 VMB – vägg

### 6.6.1 Beskrivning av del

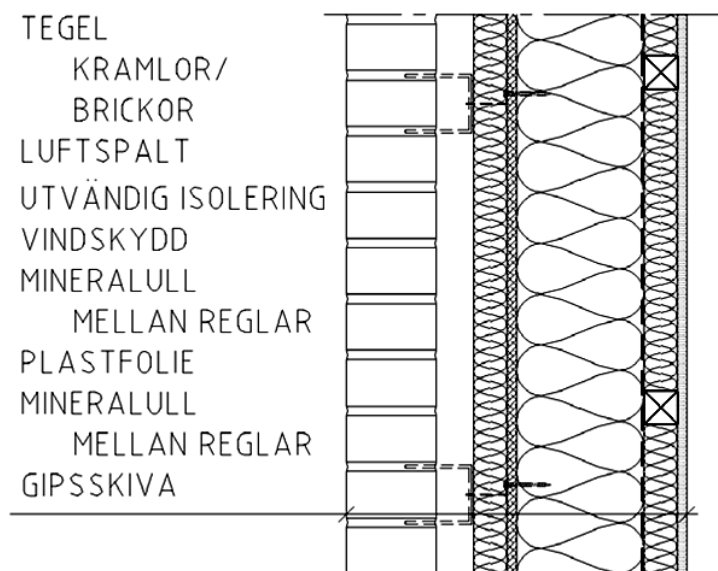
VMB12 är en träregelvägg med tegelfasad avsedd för byggnader med upp till två våningar. Stommen har tre skikt för att kunna svara upp mot tekniska krav såsom kritiskt fukttillstånd för de bärande reglarna och täthet.

Den utanpåliggande isolerskivan skyddar den bärande stommen från kritiskt fukttillstånd, se BBR 2006 eller senare version.

Isolerskivan hålls på plats av murkramlor och brickor.

Vindskyddsskivan kan i vissa fall vara utbyttbar mot ett vindskydd på rulle.

Detta under förutsättning att byggnadens stabilitet garanteras såväl under som efter uppförandet. Som standardutförande räknas bärande regler 45x145-220 mm. Installationsskiktet på insidan ger ökade förutsättningar att skapa ett tätt hus. Kan tätheten garanteras med annan konstruktionslösning är installationsskiktet valbart.



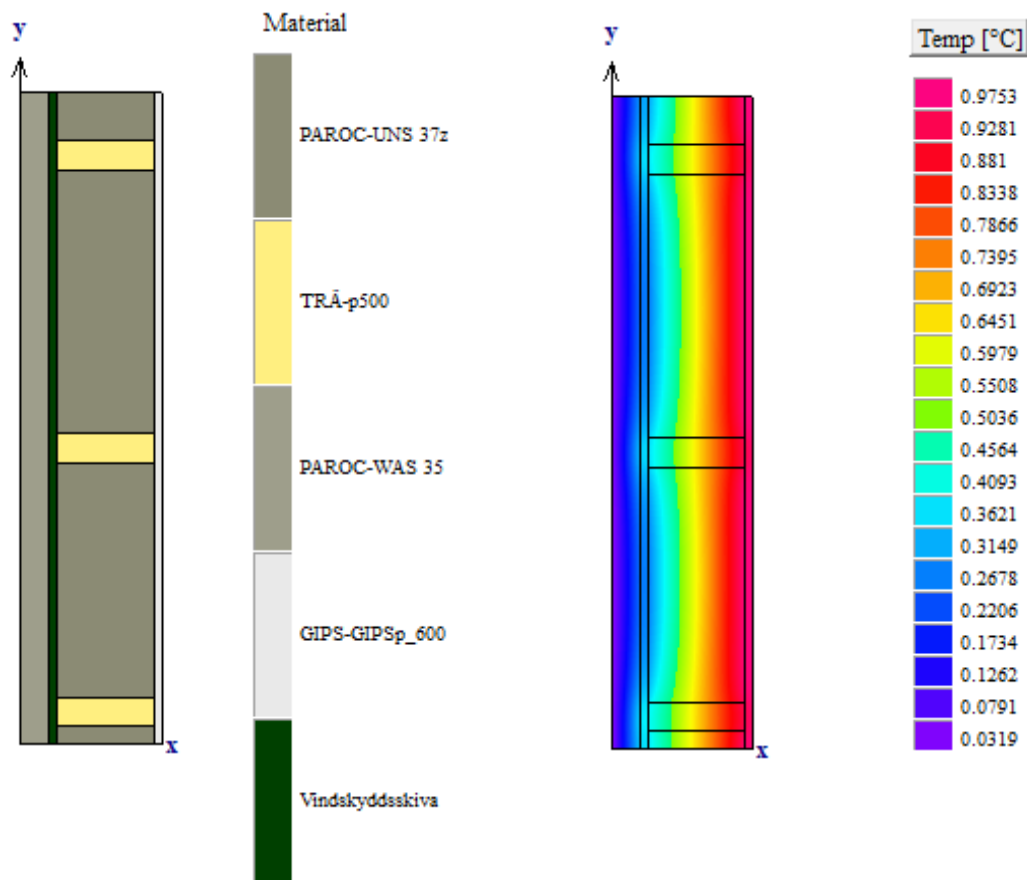
Materialsikt	Specifikation
120 (108) tegel	Fabriksblandat murbruk anpassat till murstenen. Armering av syrafast och rostfritt stål lägst kvalitet SS 2347, med benämning A4. Murkramlor av typ Joma U-kramla av syrafast och rostfritt stål av kvalitet SS 2347, med benämning A4.
30-50 luftspalt	Fri från brukstuggor och bruksspill.
45 stenull	Paroc WAS 35 Klimatskiva 600 eller likvärdigt. Densitet: ca 65 kg/m <sup>3</sup> Värmeledningsförmåga: $\lambda_d = 0,034 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ Fästs med pendelkramlor, brickor och murkramlor.
13 vindskyddsskiva alt. vindskydd på rulle	Gyproc GHUE/GHU Hydro vindskyddsskiva alt. Vindskydd på rulle; Ånggenomgångsmotstånd $Z < 25000 \text{ s/m}$
145-220 stenull	Paroc UNS 37z eller likvärdigt. Densitet: ca 28 kg/m <sup>3</sup>

	Värmekonduktivitet: $\lambda_d = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
45x145-220 träreglar s450	Virkeskvalitet enligt objekthandlingar, lägst K12 (C14). Maximal fuktkvot som uppmäts då virket byggs in får vara 18 % (motsvarar ca 80 % relativfuktighet). En lägsta gräns är 13 %. Tryckimpregnerat virke skall ej användas. Virke skall vara fritt från blånad och andra svampangrepp.
0,2 plastfolie	Icopal Akvaden Byggfolie eller likvärdigt. Produkten skall vara typgodkänd enligt produktstandard <i>SSEN 13 984:2005 Ångspärr av plast och gummi.</i>
45 stenull	Paroc UNS 37z Väggskiva s450 Densitet: ca $28 \text{ kg/m}^3$ Värmekonduktivitet: $\lambda_d = 0,037 \text{ W/m}^\circ\text{C}$
45 träregel s450	Virkeskvalitet enligt objekthandlingar, lägst K12 (C14). Maximal fuktkvot som uppmäts då virket byggs in får vara 18 % (motsvarar ca 80 % relativ fuktighet). En lägsta gräns är 13 %. Tryckimpregnerat virke skall ej användas. Virke skall vara fritt från blånad och andra svampangrepp.
13 gips	Gipsskiva typ Lafarge GKB Scan eller likvärdigt.

(Skanskas interna dokument6).

## 6.6.2 Resultat

VMB Referensvägg:



**Figur 16.** Bilden till vänster visar materialen i en VMB12 vägg med 145 mm isolering/träreglar utan installationskikt. Bilden till höger visar temperaturskillnaden genom samma vägg. Där träreglarna sitter är också värmeflödet högst. OBS! Dessa två bilder är skapade ovanifrån och man ser de vertikala träreglarna uppifrån och inte från sidan. Illustrationerna och beräkningsvärdena är skapade i HEAT3.

Dimensioner [mm] (stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	U-värde [W/m <sup>2</sup> K]
145/0	0,214	0,214
220/70	0,128	0,128



*VMB Hörn:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Hörn}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,446	0,428	<b>0,018</b>
220/70	0,277	0,256	<b>0,021</b>

*VMB Fönsteranslutning:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,234	0,214	<b>0,020</b>
220/70	0,160	0,128	<b>0,032</b>

*VMB Balkonganslutning:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Balkong}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	1,044	0,428	<b>0,616</b>
220/70	0,797	0,256	<b>0,541</b>

*VMB Balkong-Fönster:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Balkong-fönster}}$ [W/mK]	$Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,870	0,214	<b>0,656</b>
220/70	0,767	0,128	<b>0,639</b>

*VMB Bjälklag:*

Dimensioner [mm] (Stomme/Installationsskikt)	$Q_{\text{Bjälklag}}$ [W/mK]	$2Q_{\text{Ref}}$ [W/mK]	$\Psi$ -värde [W/mK]
145/0	0,540	0,428	<b>0,112</b>
220/70	0,392	0,256	<b>0,136</b>

### 6.6.3 Analys

<b>VMB</b>	<b>145/0 mm</b>	<b>220/70 mm</b>
	<b>Q [W/K]</b>	<b>Q [W/K]</b>
Vägg	39,80	23,81
Hörn	0,36	0,42
Fönsteranslutning	1,00	1,60
Balkonganslutning	1,85	1,62
Balkongfönster	0,66	0,64
Bjälklag	4,03	4,90
$\Sigma Q_{\psi}$	<b>7,90</b>	<b>9,18</b>
<b>Totalt</b>	<b>47,7</b>	<b>32,99</b>

Precis som i VAU-väggen så har vi här relativt låga påslag på grund av köldbryggor, 19,8 % för den tunnare väggen samt 38,6 % för den tjockare. Inte heller i denna väggtyp är det någon köldbrygga som sticker ut, fönsteranslutningens inverkan är låg och balkonganslutningen den som har störst inverkan även om den inte heller sticker ut. Alltså är både VMB och VAU väl genomtänkta och bra konstruktioner ur köldbryggesynpunkt och de behöver inte några stora förbättringar. Men vi ger i diskussionen förslag till några generella lösningar som gäller för de flesta väggtyperna.

## 7 Regelverk gällande byggbranschen

### 7.1 Energihushållning enligt Boverkets Byggregler

Boverkets byggregler (BBR) trädde i kraft den 1 januari 1994, då Boverkets nybyggnadsregler (NR) upphörde att gälla. BBR har därefter reviderats fortlöpande.

Under 2004 inleddes en mer omfattande revidering av BBR som bl.a. omfattade avsnitt 9 Energihushållning. Huvudsyftet var att utveckla tydligare och bättre verifierbara funktionskrav.

Ett funktionskrav anger vilka egenskaper den färdiga byggnaden ska ha, men inte hur man ska bygga för att åstadkomma detta.

Funktionskrav medför att olika bygg- och installationstekniska åtgärder får väljas av byggherren för att uppnå ställda krav. Avsikten är att en teknisk utveckling ska främjas. Att funktionskraven ska vara verifierbara innebär att byggherren ska kunna visa att kraven blir uppfyllda. De kravnivåer som anges i BBR utgör samhällets minimikrav. Det är både tillåtet och fullt möjligt att bygga bättre.

#### **Krav på värmeisolering**

Vid projektering av byggnader måste man genom beräkningar kontrollera att kravet på värmeisolering av byggnadens klimatskärm i BBR avsnitt 9 Energihushållning, uppfylls.

Krav ställs på högst godtagbar genomsnittlig värmegenomgångskoefficient som benämns  $U_m$  och har enheten  $W/m^2K$ . Värdet på  $U_m$  beräknas och kontrolleras med hjälp av standarden SS-EN ISO 13789:2007 och SS 02 42 30 (2).

## **Reglernas omfattning**

Energiushållningskravet gäller för all nyproduktion med nedan angivna undantag.

Byggnader skall vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning och effektiv elanvändning.

Allmänt råd

Regler om ventilation finns i avsnitt 6:25, om termisk komfort i 6:42 och om fuktsäkerhet i avsnitt 6:53.

Reglerna gäller för alla byggnader med undantag för

- växthus eller motsvarande byggnader som inte skulle kunna användas om dessa krav behövde uppfyllas,
- byggnader eller delar av byggnader som endast används under kortare perioder och
- byggnader där inget uppvärmnings- eller kylbehov finns under större delen av året.

Kraven enligt avsnitt 9:2, 9:3 och 9:4 behöver inte uppfyllas för byggnader där värmetillskottet från industriella processer inom byggnaden täcker större delen av uppvärmningsbehovet. Detta skall visas genom särskild utredning.

## **Termisk komfort**

Byggnader och deras installationer skall utformas, så att termisk komfort som är anpassad till utrymmenas avsedda användning kan erhållas vid normala driftsförhållanden.

Allmänt råd

Byggnader bör vid DVUT utformas så att

- den lägsta riktade operativa temperaturen i vistelsezonen beräknas bli 18 °C i bostads- och arbetsrum och 20 °C i hygienrum och vårdlokaler samt i rum för barn i förskolor och för äldre i servicehus och dylikt,
- den riktade operativa temperaturens differenser vid olika punkter i rummets vistelsezon beräknas bli högst 5 °C och
- yttemperaturen på golvet under vistelsezonen beräknas bli lägst 16 °C (i hygienrum lägst 18 °C och i lokaler avsedda för barn lägst 20 °C) och högst 26 °C.

Dessutom bör lufthastigheten i ett rums vistelsezon inte beräknas överstiga 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen och lufthastigheten i vistelsezonen från ventilationssystemet inte överstiga 0,25 m/s under övrig tid på året (Boverket<sup>2</sup>).

## Grundkrav bostäder

### Normtexten

Bostäder skall vara så utformade att byggnadens specifika energianvändning högst uppgår till 130 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *I* där Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län ingår. 110 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *II* där Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län ingår. 90 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *III* där Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län ingår.

För en- och tvåbostadshus med direktverkande elvärme som huvudsaklig uppvärmningskälla får byggnadens specifika energianvändning högst uppgå till 95 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *I*, 75 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *II* och 55 kWh per m<sup>2</sup> golvarea ( $A_{temp}$ ) och år i klimatzon *III* (Boverket3).

#### *Allmänt råd*

*I byggnadens specifika energianvändning ingår inte hushållsel.*

Garage skall inte medräknas i golvarean  $A_{temp}$ . Byggnadens specifika energianvändning får reduceras med energi från i byggnaden installerade solfångare och solceller.

Den högsta genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten ( $U_m$ ) får för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden ( $A_{om}$ ) inte överskrida 0,40 W/m<sup>2</sup>K i bostäder.

#### *Allmänt råd*

*Kraven bör verifieras dels genom beräkning av byggnadens förväntade specifika energianvändning och genomsnittliga värmegenomgångskoefficient vid projekteringen dels genom mätning av specifika energianvändningen i den färdiga byggnaden. Utifrån dessa förutsättningar bör kontrollplanen utformas så att slutbevis kan meddelas före mätning och byggnaden därmed kan tas i bruk.*

*Vid beräkning av byggnadens förväntade specifika energianvändning bör lämpliga säkerhetsmarginaler tillämpas så att kravet på byggnadens specifika energianvändning uppfylls när byggnaden tagits i bruk. Beräkningar bör utföras med utgångspunkt i aktuell inne- och utetemperatur, normalt brukande av tappvarmvatten och vädring.*

*Byggnadens energianvändning bör mätas under en sammanhängande 12-månadersperiod, avslutad senast 24 månader efter det att byggnaden tagits i bruk.*

*Normalårskorrigerigering och eventuell korrigerigering för onormal tappvarmvattenanvändning och vädring bör redovisas i en särskild utredning.*

## Mätsystem

Byggnadens energianvändning skall kontinuerligt kunna följas upp genom ett mätsystem. Mätsystemet skall kunna avläsas så att byggnadens energianvändning för önskad tidsperiod kan beräknas.

### *Allmänt råd*

*Mätning av byggnadens energianvändning kan ske genom avläsning och summering av till byggnaden levererade energimängder (kWh) som används för uppvärmning, kyla, varmvatten samt drift av byggnadens installationer (pumpar, fläktar etc.) och övrig fastighetsel (exkl. hushållsel och verksamhetsel).*

*För energislag som inte erhålls direkt i kWh, t.ex. olja och biobränsle, kan uppmätta volymer av bränslet omräknas till kWh med hjälp av bränsletypernas värmevärde.*

## Alternativt krav på byggnadens energianvändning

### Normtexten

Som alternativ till de generella kraven för bostäder och lokaler där

- golvarean  $A_{temp}$  uppgår till högst  $100 \text{ m}^2$
- fönster- och dörrarean  $A_f$  uppgår till högst  $0,20 A_{temp}$  och
- inget kylbehov finns

kan i stället följande krav på byggnadens värmeisolering, klimatskärmens täthet och värmeåtervinning uppfyllas.

Den högsta värmegenomgångskoefficienten ( $U_i$ ) får, för omslutande byggnadsdelar ( $A_{om}$ ), inte överskrida följande värden:

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

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

	$U_i$ , W/m <sup>2</sup> K
$U_{\text{tak}}$	0,08
$U_{\text{vägg}}$	0,10
$U_{\text{golv}}$	0,10
$U_{\text{fönster}}$	1,1
$U_{\text{dörr}}$	1,1

Byggnadens klimatskärm skall vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid +/- 50 Pa tryckskillnad inte överskrider 0,6 l/s, m<sup>2</sup>. Därvid skall arean  $A_{om}$  användas. Om byggnadens golvarea  $A_{temp}$  överstiger 60 m<sup>2</sup> skall byggnaden förses med värmeåtervinning av ventilationsluften (Boverket<sup>3</sup>).

### Beräkning av värmegenomgångskoefficient, $U_m$

#### Normtexten

Den högsta genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten ( $U_m$ ) får för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden ( $A_{om}$ ) inte överskrida 0,50 W/m<sup>2</sup> K i bostäder och 0,70 W/m<sup>2</sup> K i lokaler.

För byggnader som innehåller både bostäder och lokaler viktas kraven i proportion till golvarean ( $A_{uppv}$ ).

#### Definitioner

Den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för byggnadsdelar,  $U_m$  och köldbryggor,  $\Psi$  och  $\chi$  bestäms enligt prEN ISO 13789 och SS 02 42 30 samt beräknas enligt nedanstående formel,

$$U_m = \frac{\left( \sum_{i=1}^n U_i A_i + \sum_{k=1}^m l_k \Psi_k + \sum_{j=1}^p \chi_j \right)}{A_{om}}$$

där

$U_i$  Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelen  $i$  (W/m<sup>2</sup>K).

$A_i$  Arean för byggnadsdelens yta mot uppvärmd inneluft (m<sup>2</sup>).  
För fönster, dörrar, portar och dylikt beräknas  $A_i$  med karmyttermått.

$\Psi_k$  Värmegenomgångskoefficienten för den linjära köldbryggan  $k$  (W/mK).

$l_k$  Längden mot uppvärmd inneluft av den linjära köldbryggan  $k$  (m).

$\chi_j$	Värmegenomgångskoefficienten för den punktformiga köldbryggan $j$ (W/K).
$A_{om}$	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft ( $m^2$ ). Med omslutande byggnadsdelar avses sådana byggnadsdelar som begränsar uppvärmda delar av bostäder och lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen (Anderlind.G & Stadler CG. 2006).



## 8 Felkällor

De ritningar vi har fått från Skanska Teknik har vi använt i ett program som heter Bluebeam, detta är en pdf-läsare samt ett mättningsprogram. I Bluebeam har vi mätt våra byggdelar så att vi har kunnat rita in dem i rätt dimension och skala i HEAT3. Vi anser att mätning i pdf-dokument inte ger optimal noggrannhet, därför anser vi detta också vara en felkälla.

Vi har förenklat våra simuleringar i HEAT3 genom att inte ha med några infästningar då de är komplicerade att rita in samt att de ger så pass små ökningarna för köldbryggan. Vi har också förenklat simuleringarna för de byggdelar som har en ventilerad fasad genom att ta bort de helt.

Vi har också förenklat balkongerna på så vis att vi antar att det sitter en betongklack per meter anslutning och vi antar också mängden och längden för den spänningsarmering som finns infäst i balkongen. En förändring i betongklacken eller armeringens mängd skulle också förändra köldbryggan.

I och med att vi inte har några ritningar för bjälklaget har vi istället använt oss av ritningarna för balkonganslutning där man ser bjälklaget i samband med balkonganslutningen. Det är också dennes placering och mått vi har använt oss av för att få fram beräkningsvärdena för bjälklaget för de olika byggdelarna. Det kan hända att bjälklaget är tunnare i verkligheten än det som vi räknat med.

Vårt referenshus har inte med något golv eller tak på grund av att de inte ska utvärderas. Våra resultat för energiberäkningarna är därför inte helt korrekta om man vill jämföra med andra byggnader och värden.

Vi har valt att räkna med en referensvägg som är en meter lång för att göra det så enkelt som möjligt för oss, en viss värmetransport längs med väggen kan då förekomma och kan ge upphov till ett något missvisande resultat.

Köldbryggan i ett hörn i den tunna dimensionen av VAB12 blir ju som tidigare visat 0,065 W/mK, när vi gör samma beräkning fast med 1,5 meter långa väggar istället för en meter som det är i det första fallet så blir köldbryggan 0,0649 W/mK. Skillnaden i detta fall är alltså minimal.

## 9 Diskussion

Vi har utvärderat Skanska tekniks standardbyggdelar med hänsyn till köldbryggor. Vårt mål har varit att identifiera köldbryggor i dessa byggdelar, utvärdera dem, ta fram värdefulla siffror och sist försöka ta fram bättre lösningar och minska köldbryggorna.

Problemet med köldbryggor har varit känt sedan länge och anses idag vara förhållandevis utrett, det man inte tänker på är att ju mer isolerad en byggnadsdel är desto större blir den relativa inverkan av köldbryggan. När man idag bygger hus där man ofta strävar efter så låg energianvändning som möjligt så blir kunskapen om köldbryggor viktigare än någonsin, både med tanke på energi och lokala problem som fukt, nedsmutsning och sämre termiskt klimat.

Det här presenterade arbetet med att hitta köldbryggorna har gått bra, de flesta vi har hittat har varit köldbryggor som vi redan misstänkte men som har varit svåra att göra någonting åt av olika anledningar t.ex. hållfasthet, arkitektens önskemål och brist på idéer till bättre lösningar. Värdefulla siffror har vi för varje byggdel tagit fram med hjälp av värmetransport programmet HEAT3 och även presenterat dessa i tabeller.

De lösningar vi har tagit fram har vi diskuterat, analyserat och sedan simulerat i HEAT3 för att se om köldbryggan verkligen blir mindre.

Enligt våra beräkningar så får vi ett påslag på energiförlusterna på mellan 19,8 och 66,6 % av köldbryggorna i referenshuset jämfört med energiförlusterna genom referensväggen, de flesta väggtypernas påslag ligger alltså ganska långt över BBR:s alternativ om att göra ett påslag på 20 % på det beräknade  $U_m$ -värdet för att ta hänsyn till köldbryggorna. Om köldbryggorna i tak och grundanslutningar är betydligt mindre än köldbryggorna som finns i ytterväggarna så kan man komma närmre påslaget på 20 % för hela huset.

Hörnen på de olika väggtyperna ger inte särskilt stora köldbryggor och vi har försökt prova alternativa lösningar utan några markanta förbättringar, därför anser vi att det är bra lösningar som kan fortsätta användas.

Fönsteranslutningarna är de byggdelar som vi tittat mest på med tanke på att det generellt sett är de som ger de största energiförlusterna i vårt referenshus. Det som är mest avgörande för köldbryggans värde är var i väggen man placerar fönstret, storleken på betongklacken och ytan där fönstret fästs i väggen, ju närmre insidan av väggen man placerar det, desto bättre ur byggnadsfysisk synvinkel. Detta är dock ett problem som alltid återkommer då man ur estetiskt perspektiv ofta vill placera fönstret så långt ut i väggen som

möjligt. Om man ska ha en betongklack att fästa fönstret i så är det viktigt att fönstret inte placeras en bit in från betongklackens kant utan helt i liv med betongklacken.

Fönsterblecken kan ge upphov till en luftspalt som i sig ger ett högre värmeövergångsmotstånd, i och med att vi inte har tagit hänsyn till detta så har vi underskattat fönsterbleckets isolerande inverkan eftersom vi inte har med de i våra beräkningar, därav blir köldbryggan en aning överdimensionerad. Vi har också valt att bortse från de punktformiga köldbryggorna i fönstrens hörn vilket hade lett till ännu större köldbrygga. Det är intressant att våra redan stora köldbryggor för fönster troligtvis är ännu större i verkligheten.

Anslutningar för balkong och balkongfönster ger relativt stora köldbryggor per meter men eftersom längden för dessa köldbryggor är relativt korta i ett hus så har de inte särskilt stor inverkan på energiförlusterna, däremot kan det skapa lokala problem just vid anslutningen som till exempel ökad nedsmutsning, lägre invändig ytemperatur eller fuktproblem. Det har varit svårt att finna möjliga förbättringar i balkongkonstruktionerna då vi inte har satt oss in i vilka dimensioner och lösningar som krävs för att bära upp en balkong. Det man kan göra för att reducera köldbryggorna för balkonganslutningen är att inte göra balkongen fast inspänd utan istället låta pelare bära upp den. Då behövs inte den genomgående betongklacken eller den långa genomgående armeringen, vilka är två bidragande orsaker till köldbryggans storlek. Denna lösning får ju helt klart ett annat utseende och kanske inte passar in i alla byggnader men det är i alla fall en möjlig lösning.

Energiförlusterna på grund av köldbryggor i bjälklagsanslutningarna blir inte så höga som man hade kunnat tänka sig med tanke på längden för just denna köldbrygga. Det man kan göra för att förminska köldbryggorna utan att ändra på konstruktionen är att ha mer isolering på utsidan av väggen. Om det är möjligt kan man göra bjälklaget tunnare, vilket skulle leda till en mindre köldbrygga. I VAU och VMB- väggarna skulle man möjligtvis kunna placera bjälklagets kant längre in på pelarna för att få plats med en tjockare köldbryggebrytande isolering på utsidan, man måste då veta att pelarna klarar av lasten utan att ge vika.

För att få mer relevanta värden att jämföra med andra byggnader så hade man behövt värden för köldbryggor i tak och grundanslutningar, på grund av att vi inte fått dessa detaljer tilldelade så har vi valt att bortse från dess inverkan på energianvändningen. I analyserna har vi endast jämfört hur stor inverkan köldbryggorna i ytterväggen har på energiförlusterna genom ytterväggen. Om man hade haft med värden för köldbryggor i tak och grundanslutningar samt U-värden för dessa så hade man fått ett mer intressant värde för hur stor inverkan köldbryggor har procentuellt på hela husets energianvändning. Detta värde hade man också kunnat jämföra med BBR:s schablonvärde på 20 %.

I kapitel 6.1.3 har vi gett ett exempel på köldbryggornas inverkan på hela energiförlusten med golv- och tak, dock utan dess egna köldbryggor. Köldbryggornas inverkan blir då 18,7 % för den smala väggen och 22,5% för den tjocka. I den bäst isolerade väggen blir alltså köldbryggornas inverkan över BBRs schablonvärde om 20 % även fast vi har bortsett från köldbryggorna i golv- och takanslutning. Detta visar att i vårt referenshus så är 20 % för lågt som ett påslag för köldbryggornas inverkan och ju bättre isolerat huset är desto sämre stämmer schablonvärdet.

## 10 Slutsats

För att svara på den stora frågan som vi ställde i syftet ” om det egentligen finns några större köldbryggor i ett så etablerat företags standardbyggdelar som Skanska?” så är svaret att det absolut finns köldbryggor och i vårt referenshus är de en stor faktor i energianvändningen. Fönsteranslutningarna har en för oss oväntat stor inverkan på energianvändningen.

För de flesta konstruktioner finns lösningar som skulle kunna reducera köldbryggorna. Problemet ligger oftast i att beställaren vill ha det på sitt sätt utseendemässigt vilket inte alltid stämmer överrens med den energimässigt optimala lösningen.

En av de viktigaste iakttagelserna vi har gjort är hur viktigt det är med rätt placering, mått och skala på en ritning för att det ska bli rätt i produktionen. Till exempel för VAB15 där vi kunde reducera köldbryggans värde från 0,341 W/mK till 0,086 W/mK bara genom att flytta fönstret 20 millimeter till betongklackens kant jämfört med ritningen.

Vi anser att det finns utrymme för andra att utvärdera köldbryggor där man kan försöka utveckla bara en enskild konstruktionsdel istället för flera. Genom att eventuellt bara analysera en byggdel får man tid till att exempelvis testa olika material, konstruktionslösningar och det ges plats för fler idéer.

## 11 Källförteckning

Anderlind.G & Stadler CG. 2006. *Isolerguiden bygg 06. Swedisol.*

Blomberg.T (1996). *Heat conduction in two and three dimensions – Computer modeling of building physics applications.* Avhandling. Lunds Tekniska Högskola. Lund: LTH, Avd.F. Byggnadsfysik. Institutionen för byggnadsteknik.

Boverket1. *Energihushållning enligt boverkets byggregler.* (elektronisk).

Tillgänglig:

<[http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2009/Energihushållning\\_enligt\\_Boverkets\\_byggregler.pdf](http://www.boverket.se/Global/Webbokhandel/Dokument/2009/Energihushållning_enligt_Boverkets_byggregler.pdf)> (2012-05-30).

Boverket2. *Hygien, hälsa och miljö.* (elektronisk).

Tillgänglig:

<[http://www.boverket.se/Global/Bygga\\_o\\_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR\\_19/Avsnitt/6-Hygien-halsa-och-miljo.pdf](http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_19/Avsnitt/6-Hygien-halsa-och-miljo.pdf)> (2012-06-15)

Boverket3. *Energihushållning enligt boverkets byggregler.* (elektronisk).

Tillgänglig:

<[http://www.boverket.se/Global/Bygga\\_o\\_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR\\_19/Avsnitt/9-Energihushallning.pdf](http://www.boverket.se/Global/Bygga_o_forvalta/Dokument/Bygg-och-konstruktionsregler/BBR_19/Avsnitt/9-Energihushallning.pdf)> (2012-06-15)

Energilotsen. *Handledning för byggnadskonstruktörens energi- och inneklimatanalyser.* (elektronisk). Tillgänglig:

<[http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap\\_6\\_byggnadskonstruktor.pdf](http://www.energilotsen.nu/energilotsen/kap_6_byggnadskonstruktor.pdf)> (2012-05-30).

Isover1. Isover.se. (elektronisk). Tillgänglig:

<<http://isover.se/konstruktioner/låglutande+tak/1-c3-203+betongstomme,+med+tätskikt>> (2012-06-16)

Isover2. Isover.se. (elektronisk). Tillgänglig:

<[http://isover.se/konstruktioner/grund+och+källare/g-c3-202+platta+på+mark+\(styrolit\)](http://isover.se/konstruktioner/grund+och+källare/g-c3-202+platta+på+mark+(styrolit))> (2012-06-16)

Martinsson, L. (2008). *Passivhusteknik i ett svenskt klimat – en byggnadsfysikalisk riskinventering och erfarenhetssammanställning av befintliga passivhusprojekt.* Examensarbete. Chalmers Tekniska Högskola.Göteborg: CTH, Avd. F. Byggnadsteknologi Byggnadsfysik. Institutionen för Bygg- och Miljöteknologi.

Skanska interna dokument1. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader bärande med tegelfasad VAB12*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument2. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader med puts på isolering VAB15*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument3. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader med yttre betongskiva VAB20*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument3. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader med yttre betongskiva VAB20*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument4. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader med yttre LECA-skiva och puts VAB21*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument5. (2009). *Tänk efter före – vägg alla byggnader utfackning med tegelfasad VAU12*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Skanska interna dokument6. (2009). *Tänk efter före – vägg mindre byggnader bärande med tegelfasad VMB12*. Skanska Sverige AB, Teknik.

Svensson.J & Westberg.A (2006). *Köldbryggors inverkan på energiförbrukningen*. Examensarbete. Lunds Tekniska Högskola. Lund: LTH, Avd.F. Energi och Byggnadsdesign. Institutionen för arkitektur för byggd miljö.

## 11.1 Materiallista med värden

Material	Värmekonduktivitet, $\lambda$ (W/mK)	Specifik Värmekapacitet, C (MJ/m <sup>3</sup> K)
Paroc Uns 37z	0,037	0,030
Paroc Was50	0,034	0,070
Paroc Was35	0,034	0,070
Vindskyddsskiva	0,210	0,900
Puts	1,000	1,800
Trä-p500	0,130	0,800
Rostfritt stål	17,000	3,600
Betong armerad, 1%	2,300	2,300
Cellplast	0,036	0,030
Gips	0,250	0,900
Lättklinkerbetong	0,800	1,000
Slitsad stålregel	3,335	1,000