

# Platta på mark för Passivhus

- Fuktsäkerhet och Värmeisolerande förmåga



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Byggnadsvetenskaper / Byggnadskonstruktion

Examensarbete:  
Katrín Almquist  
Johan Svensson

© Copyright Katrin Almquist, Johan Svensson

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 2010

## Sammanfattning

Lagstiftningen för tillåten energiförbrukning i bostäder har skärpts de senaste åren. I strävan efter att uppnå energisnåla bostäder har olika former av lågenergihus utvecklats, däribland passivhus. Framsteg har skett vad gäller väggar, fönster och tak för att skapa ett lågt U-värde, medan grundkonstruktionen har hamnat på efterkälken ur energisynpunkt. Därför är syftet med denna rapport att belysa alternativa lösningar på platta på mark med god värmeisolerande förmåga och där köldbryggan minimerats. Grunden är en viktig konstruktionsdel som både ska klara laster, vara värmeisolerande, och fungera som byggnadens fuktspärr mot marken. Idag eftersträvas vanligtvis dessa funktioner genom följande materialskikt, beskrivet från mark och upp till golvnivå.

- 150 mm makadam som *dränerande* och *kapillärbrytande* skikt
- EPS-cellplast, vanligtvis 300 mm, som *värmeisolering* samt även som ett kompletterande *kapillärbrytande* skikt
- Betongplatta med armering som *bärande* material

Plattans kanter utformas ofta med ett L-element, vilket är praktiskt och bra ur hållfasthets- och fuktsynpunkt, men den skapar en kraftig köldbrygga längs med kanterna. Denna köldbrygga ökar grundens totala U-värde markant och måste minimeras för att reducera energiförbrukningen under byggnadens bruksskede. Köldbryggan måste dessutom numera medtas i energiberäkningar enligt nya lagstiftningen från BBR.

I rapporten väljs två grundkonstruktioner ut med god värmeisolerande förmåga och fuktsäkerhet för närmare granskning; U-min grund (passivhus grund) från företaget *Supergrund AB* respektive Koljerntekniken från *MRD Sälj och Bygg AB*. Konstruktionerna beaktas främst ur energi- och fuktsynpunkt, men hänsyn tas även till ekonomi och hållfasthet.

U-min grund är uppbyggd som en traditionell svensk platta på mark med betong och underliggande EPS-cellplast. För att uppnå ett lågt U-värde är cellplastlagret 400 mm tjockt och plattans kanter är utförda med U-element för att bryta köldbryggan. Den tjocka värmeisoleringen skapar en stor temperaturskillnad mellan mark och ovansida betongplatta. Detta ger en låg relativ fuktighet RF i den övre delen av betongplattan, 53% enligt våra egna beräkningar, vilket gör konstruktionen mycket bra ur fuktsynpunkt.

Koljerntekniken är istället uppbyggd med cellglasskivor som hålls samman med plåtprofiler och bildar en 400 mm tjock platta. Cellglaset ska både fungera som bärande och värmeisolerande material. Cellglas är även helt luft-

och fukttätt enligt tillverkningsföretaget *Pittsburgh Corning*, vilket skapar en mycket fuktsäker grund.

Båda grundkonstruktionerna ger goda resultat i energiberäkningar. Enligt egna beräkningar, där *HEAT2* använts, blir köldbryggan minimal med Koljerntechniken där det totala U-värdet inklusive köldbryggor blir  $0,089 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . U-min grund genererar en kraftigare köldbrygga men erhåller i princip samma U-värde på  $0,094 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

Diskussioner tillsammans med *Lars Sentler*, professor i byggnadskonstruktion på *Lunds Tekniska Högskola*, tyder dock på att båda grundkonstruktionerna kan vara riskabla ur hållfasthetssynpunkt. Svagheten finns i kantbalken där lasten från byggnaden leds ner via ytterväggarna.

En mycket ungefärlig uppställning av produktionskostnaden visar att U-min grund ligger på ungefär samma prisnivå som en klassisk platta på mark med L-element och 300 mm cellplast. Koljerntechniken är däremot mer än dubbelt så dyr att tillverka, till stor del på grund av tillverkningskostnaden på cellglas.

En av slutsatserna i denna rapport är att dagens utformning av platta på mark inte lämpar sig för framtida passivhus. Att minimera köldbryggan och samtidigt bibehålla övriga funktioner längs med kanterna visar sig vara problematiskt. Rapporten påvisar att större fokus måste läggas på grundkonstruktionen för att skapa en välfungerande byggnad med låg energiförbrukning och lång livslängd.

Nyckelord: Platta på mark, köldbrygga, Koljerntechniken, U-min grund, fuktsäkerhet, värmeisolerande förmåga

## Abstract

The legislation for energy consumption in homes has been strengthened in recent years. In pursuit of energy-efficient homes various forms of low-energy houses have been developed, including Passive Houses. Progress has been made regarding walls, windows and roofs to create a low U-value, while the foundation of the house has been put aside from energy saving point of view. For that reason the aim with this report is to illustrate alternative solutions to slab on grade with good thermal insulation and a minimized thermal bridge. The foundation is an important part of the building that should have good bearing capacity, thermal insulating ability and serve as the building's moisture barrier against the ground. Today we seek to achieve these functions primarily through the following layers of materials, described from the soil and up to floor level.

150 mm of macadam as draining layer and to prevent capillary action  
EPS foam, normally 300 mm, as thermal insulation and as a complementing preventive layer of capillary action

Concrete slab with reinforcement as bearing material

Slab edges are often constructed with an L-shaped concrete mould of EPS foam (L-elements), which is practical and good from a strength and moisture-resistant point of view, but they create a substantial thermal bridge along the edges. The thermal bridge increases the total U-value significantly and should be minimized in order to reduce energy consumption during the usage stage of the house. According to the new legislation from 2009 by BBR thermal bridges must now be included in energy calculations.

Two foundation constructions, created to provide good thermal insulation and moisture safety, are selected for closer examination; "U-min grund" (passive foundation) from the company *Supergrund AB* and "Koljerntekniken" from *MRD Sälj och Bygg AB*. The study of the constructions will be focused on their thermal insulation ability and moisture safety but also with consideration to economy and strength.

"U-min grund" is constructed as a traditional Swedish slab on grade with concrete slab and EPS foam insulation under the slab. To achieve a low U-value the layer of EPS foam is 400 mm thick and the slab edges are constructed with U-shaped concrete mould of EPS (U-elements) to break the thermal bridge. The thick thermal insulation creates a large temperature difference between the ground and the surface of the concrete slab. This gives a low relative humidity RH in the upper part of the concrete slab, 53% according to our calculations, which makes the foundation very good from moisture point of view.

“Koljerntekniken” is constructed by cellular glass held together with metal profiles to form a 400 mm thick board. Cellular glass should serve both as a bearing and thermal insulating material. Furthermore cellular glass is fully air- and moisture-tight according to the construction company *Pittsburgh Corning*, which makes the foundation water proof.

Both foundation constructions have good results in energy calculations. According to our calculations, with the software *HEAT2*, the thermal bridge is minimal in “Koljerntekniken” which results in a U-value, including thermal bridges, of 0.089 W/(m<sup>2</sup>K). “U-min grund” creates a more significant thermal bridge along the edges but has essentially the same U-value of 0.094 W/(m<sup>2</sup>K).

However, through a discussion with *Lars Sentler*, Professor of Building Construction at Lund University, there are indications that the strength in both “Koljerntekniken” and “U-min grund” is unstable. The weakness is located along the slab edges where the load from the building is led down.

A rough disposition of the production cost shows that “U-min grund” is only slightly more expensive than a classic slab on grade with L-elements and 300 mm EPS foam. “Koljerntekniken” however is more than twice as expensive to manufacture, largely because of the production cost of cellular glass.

One of the conclusions of this report is that the slab on grade technique used today is not suitable for future Passive Houses. The problem of minimizing the thermal bridge, while maintaining other functions along the edges, turns out to be difficult to solve. The report reveals that more focus must be put on the design of the foundation, to create a well functioning building with low energy consumption and long lifetime.

Keywords: Slab on grade, thermal bridge, Koljerntekniken, U-min grund, moisture safety, thermal insulation ability

## Förord

Idag är energifrågan omkring bostäder mycket aktuell där byggbranschen har ett stort ansvar. Vi vill ta del i denna fråga både i våra studier och i framtida yrkesliv, och valde därför att läsa en kurs om energihushållning under den första delen av vårterminen 2010. Med utgångspunkt från våra kunskaper, hämtade från denna kurs och tidigare kurser i byggnadsfysik, ville vi sedan fördjupa oss och skriva ett examensarbete som lyfter fram energibesparande konstruktionslösningar. Valet föll sedan på att belysa grundkonstruktionen eftersom vi tycker att denna del av byggnaden inte uppmärksammas tillräckligt när det gäller förbättring av värmeisoleringsförmågan. Rapporten avgränsades sedan till platta på mark, där två redan befintliga lösningar valdes ut för en närmare granskning. För att få ett riktvärde på vilka krav som bör ställas på en byggnadsdel valde vi att utgå från svensk passivhusstandard.

Vi valde att granska två helt olika varianter av platta på mark med olika material, Koljerntechniken från *MRD Sälj och Bygg AB* respektive U-min grund från *Supergrund AB*. Rapporten har gett intressanta resultat där vi uppmärksammat betydelsen av grundens utformning.

Vi vill tacka *Lars Sentler*, vår handledare, för stort engagemang genom projektets gång. Han har även varit till stor hjälp i diskussioner om framför allt hållfasthet. Vi vill även tacka *Åke Mård* på *MRD Sälj och Bygg AB* som tagit fram Koljerntechniken och *Jesper Danielsson* på *Supergrund AB* vars företag tillverkar och säljer U-min grund. För att granska Koljerntechniken har *Åke Mård* varit till stor hjälp genom att besvara frågor samt även diskutera hållfastheten i grundkonstruktionen. Här vill vi även tacka *Peter Hellqvist* på *Pittsburgh Corning Scandinavia AB*, tillverkningsföretaget av Foamglas som används i Koljerntechniken, som delgett information om både materialets egenskaper och om uppbyggnaden av Koljerntechniken. När det gäller frågor angående U-min grund har *Jesper Danielsson* tillsammans *Georg Jonasson* på *BKAB Byggdata Georg Jonasson AB* varit till stor hjälp som gett feedback på arbetet. Vi vill också tacka *Carl-Eric Hagentoft*, professor i byggnadsfysik på *Chalmers Tekniska Högskola* som vi hållt en intervju med angående bland annat tjälisolering.

## Förkortningslista

<i>BBR</i>	Boverkets byggregler
<i>FEBY</i>	Forum för Energieffektiva byggnader
<i>HGW</i>	Högsta grundvattenytan
<i>RF</i>	Relativ fuktighet
<i>vct</i>	Vattencementtal
<i>U-värde</i>	Värmegenomgångskoefficient
<i>λ-värde</i>	Värmekonduktivitet, värmeledningsförmåga

## Definitioner

$A_{temp}$	Golvarean för temperaturstyrda utrymmen avsedda att hålla en temperatur på över 10°C. För hus med snedtak ska inga avdrag på golvarean (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009).
$A_{temp+garage}$	Omfattar $A_{temp}$ och golvarean för garage innanför klimatskalet. Detta är den totala arean som används vid beräkning av byggnadens effektbehov och energianvändning enligt <i>FEBY:s</i> anvisningar för passivhus. Innetemperaturen ska antas till 20°C vid effektberäkning och 22°C vid energiberäkning. Att garaget inkluderas i effekt- och energiberäkning innebär att man får dividera energibehovet på en större yta, vilket förbättrar resultatet. Men samtidigt måste man räkna med en högre temperatur för garaget (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009).
$A_{om}$	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft (m <sup>2</sup> ). Med omslutande byggnadsdelar avses sådana byggnadsdelar som begränsar uppvärmda delar av bostäder eller lokaler mot det fria, mot mark eller mot delvis uppvärmda utrymmen (Boverket 2008).
Tidskonstant	Tidskonstanten är ett mått på hur värmetrög byggnaden är, det vill säga hur snabbt innetemperaturen svarar på snabba ändringar i utetemperaturen eller avbrott i värmeförseln (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009).
$DUT_{20}$	Dimensionerande utetemperatur, $DUT_{20}$ definieras som hourly mean design temperature för extrema temperaturer som inträffar vart 20:e (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009).
DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur, DVUT definieras som <i>n-day mean design temperature</i> och är enligt denna definition framtagna värden för 1, 2, 3 och 4 dygn (Boverket 2008).



<b>Allmänna termer</b>	
<i>Fukt</i>	Vatten i gasform, vätskefas eller fast fas. <i>Anm. Med fukt avses ofta att vattenånga, vatten eller is finns i eller på ytan på annan materia</i>
<i>Vattenångdifferens, diffusion</i>	Vattenångmolekyler som strävar efter utjämma ånghalten i luft och vattenångans partialtryck vid konstant totaltryck.
<i>Vattenångkonvektion, Fuktkonvektion</i>	Transport av vattenånga i en gasblandning genom att hela gasblandningen rör sig på grund av en differens av totaltryck.
<b>Funktionsrelaterade termer</b>	
<i>Diffusionsspärr</i>	Skikt med uppgift att hindra eller minska fukttransport genom vattenångsdiffusion. <i>Anm. Se under ångspärr.</i>
<i>Luftspärr</i>	Skikt med uppgift att hindra eller minska flöde av luft genom en konstruktion.
<i>Ångspärr</i>	Skikt med uppgift att hindra eller minska fukttransport genom vattenångsdiffusion och fuktkonvektion. <i>Anm. För att kunna hindra fuktkonvektion måste ångspärren även kunna hindra luftflöde. En ångspärr är därför samtidigt en diffusionsspärr och luftspärr. Eftersom det oftast är viktigare att hindra fuktkonvektionen än vattenångsdiffusion bör benämningen diffusionsspärr i detta sammanhang undvikas.</i>
<i>Fuktspärr</i>	Skikt med uppgift att hindra eller minska fukttransport i ångfas och i vätskefas utan vattenövertryck, ofta kapillärsugning.
<i>Tätskikt</i>	Skikt som är tätt mot vatten i vätskefas under visst övertryck.
<i>Kapillärbrytande skikt</i>	Skikt med uppgift att hindra kapillärsugning genom skiktet, vanligen genom att materialet är grovporigt och har viss tjocklek. <i>Anm. Fuktspärr och tätskikt (se ovan) är också kapillärbrytande.</i>
<i>Dränerande skikt</i>	Skikt genom vilket vatten i vätskefas kan rinna genom tyngdkraftens inverkan och som skall avleda vatten i eller intill byggnadskonstruktioner.
<i>Vattenavvisande yta</i>	Yta av sådan beständighet att vatten i vätskefas utan övertryck inte tränger in genom ytan.
<i>Vattenavledande skikt</i>	Skikt som genom sin lutning kan avleda vatten även om skiktet inte är vattentätt.

(Nevander och Elmarsson 2006)

<b>Storheter för fuktig luft</b>	
<i>Daggpunkt</i>	Temperatur vid vilken luftfuktigheten når mättning, dvs. då den relativa fuktigheten når värdet 1.
<i>Relativ fuktighet, RF</i>	Kvot av verklig ånghalt och ånghalt vid mättnad vid samma temperatur.
<i>Ånghalt</i>	Kvot av vattenångans massa och totala volym. <i>Anm. Ånghalt är detsamma som densitet för vattenånga.</i>
<i>Ångkvot</i>	Kvot av vattenångans massa och den torra luftens massa.
<i>Ångtryck</i>	Vattenångans partialtryck i en gasblandning.
<b>Storheter för materialegenskaper</b>	
<i>Densitet</i>	Kvot av materialets massa och dess volym. <i>Anm. För porösa material skiljer man mellan skrymdensitet, som avser hela materialmängden inklusive porer, och kompaktdensitet, som avser materialet utan porer. För partikelmassor med porösa korn, t.ex. lös lättklinker, kan man dessutom tala om korndensitet, som avser kornen inklusive i dem inneslutna porer.</i>
<i>Fukthalt</i>	Kvot av förångningsbart vattens massa och total volym. <i>Anm. Metoden avdunsta vatten från ett fuktigt material måste anges. Vanligen torkas materialet i ett torkskåp vid cirka 105°C. Plaster och gips tål dock inte så höga temperaturer.</i>
<i>Fuktkvot</i>	Kvot av förångningsbart vattens massa och total volym.
<i>Kapillär stighöjd</i>	Höjd till vilken vatten har stigit efter viss tid i ett poröst material genom kapillär uppsugning från en fri vattenyta. <i>Anm. Stighöjden avgörs okulärt av färgskillnad mellan vått och torrt material</i>
<i>Permeabilitet</i>	Materials genomsläpplighet för gaser och vätskor på grund av skillnader i totaltryck.
<i>Ångpermeabilitet, ånggenomsläpplighet</i>	Materials genomsläpplighet för vattenånga på grund av skillnader i ånghalt eller partialtryck.
<i>Ånggenomgångsmotstånd</i>	Skikts motstånd mot genomträngning av vattenånga på grund av skillnader i ånghalt eller partialtryck.

(Nevander och Elmarsson 2006)

<b>Övriga storheter</b>	
Byggfukt	Definieras som den mängd vatten som måste avges för att materialet ska komma i jämvikt med sin omgivning.
Fukttillskott	Beror på fuktproduktionen inomhus som ökar ånghalten inomhus.
Fukttillstånd	Kvot av verklig fukthalt och fukthalt vid vattenmättat tillstånd.
Kondens, invändig	Om man vid beräkning får fram att RF kommer vara $\geq 100\%$ inne i konstruktionen kommer kondens att uppstå och det sker en fuktansamling inuti konstruktionen.
Kritiskt fukthalt	Om fukthalten i ett material överstiger den kritiska fukthalten ( $w > w_k$ ), finns tillräckligt med vatten i materialet för att det skall kunna bildas ett sammanhängande porvattensystem så att fukttransporten i vätskefas kan ske.
Mättnadsånghalt	Vid en given temperatur, daggpunkten, kan luft inte innehålla mer än en viss mängd vattenånga svarande mot mättnadsånghalten.

**(Nevander och Elmarsson 2006)**

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Syfte och målsättning</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2 Problemformulering</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3 Avgränsningar</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5 Disposition</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Platta på mark</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 Problematik och förutsättningar</b> .....	<b>6</b>
2.1.1 Överliggande isolering.....	6
2.1.2 Underliggande isolering.....	8
2.1.3 Sammanställning.....	9
<b>2.2 Platta på mark historik</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Energikrav</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 BBR - Energikrav</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Ändring av kraven .....	12
3.1.2 Byggnadens specifika energianvändning och eleffekt .....	12
3.1.2.1 <i>Klimatskärmens täthet</i> .....	13
3.1.3 Verifiering .....	13
<b>3.2 Passivhus – Energikrav</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Svensk kravspecifikation för passivhus .....	14
3.2.1.1 <i>Effektbehovet</i> .....	15
3.2.1.2 <i>Energibehovet</i> .....	16
3.2.1.3 <i>Luftläckage</i> .....	16
<b>3.3 Jämförelse mellan BBR och FEBY</b> .....	<b>17</b>
3.3.1 Kommentar av jämförelsen.....	18
<b>4 Markförhållanden</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 Jordart</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2 Vatten i mark</b> .....	<b>20</b>
4.2.1 Skydd mot markfukt.....	21
4.2.1.1 <i>Dränering</i> .....	21
4.2.1.2 <i>Kapillärbrytande skikt</i> .....	21
<b>4.3 Tjälfarlighet</b> .....	<b>23</b>
4.3.1 Tjälskydd .....	23
4.3.1.1 <i>Sammanställning</i> .....	26
<b>5 Material – funktion och egenskaper</b> .....	<b>27</b>
<b>5.1 Fukt i material</b> .....	<b>27</b>
5.1.1 Porositet.....	27
5.1.2 Material i kontakt med fuktig luft .....	28
5.1.3 Material i kontakt med fritt vatten.....	30

5.1.4 Material i kontakt med material .....	30
<b>5.2 Värmeisolering.....</b>	<b>30</b>
5.2.1 Mineralull .....	30
5.2.2 Cellplast .....	31
5.2.3 Cellglas .....	31
5.2.4 Kostnadsjämförelse av värmeisoleringsmaterial.....	31
5.2.5 Kommentar .....	32
<b>5.3 Diffusion- och ångspärr .....</b>	<b>32</b>
<b>5.4 Betong.....</b>	<b>33</b>
5.4.1 Betongens beståndsdelar.....	33
5.4.2 Beständighet och fuktpåverkan .....	34
5.4.3 Klassificering av betong .....	35
5.4.4 Kommentar .....	35
<b>5.5 Samlade materialvärden .....</b>	<b>36</b>
<b>6 Kantbalken.....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Köldbrygga .....</b>	<b>38</b>
<b>6.2 Prefabricerade kantelement.....</b>	<b>39</b>
6.2.1 L-element.....	40
6.2.2 U-element .....	41
<b>7 Konstruktionsval.....</b>	<b>42</b>
<b>7.1 U-min grund .....</b>	<b>43</b>
7.1.1 Passivhus grund .....	43
<b>7.2 Koljerntekniken.....</b>	<b>44</b>
7.2.1 Foamglas .....	45
7.2.1.1 Tillverkning .....	45
7.2.1.2 Materialegenskaper .....	45
7.2.2 Produktion av grundkonstruktion med Koljerntekniken .....	46
<b>8 Granskning av U-min grund och Koljerntekniken .....</b>	<b>49</b>
<b>8.1 Värmeisolerande förmåga.....</b>	<b>49</b>
8.1.1 Förenkling av indata.....	49
8.1.1.1 Antaganden .....	50
8.1.2 L-element (300 mm cellplast) .....	52
8.1.2.1 Sammanställning .....	53
8.1.3 U-min grund (400 mm cellplast) .....	54
8.1.3.1 Kommentar .....	56
8.1.3.2 Sammanställning .....	56
8.1.4 Koljerntekniken .....	57
8.1.4.1 Koljerntekniken 400 mm .....	57
8.1.4.2 Kommentar .....	59
8.1.4.3 Sammanställning .....	59
<b>8.2 Fuktsäkerhet .....</b>	<b>59</b>
8.2.1 Fuktberäkningar för U-min grund.....	59

8.2.1.1	<i>Kommentar</i> .....	61
8.2.1.2	<i>Sammanställning</i> .....	61
8.2.2	Fuktdiskussion för Koljerntekniken .....	61
<b>8.3</b>	<b>Diskussion om hållfasthet</b> .....	<b>61</b>
8.3.1	Hållfasthet för U-min grund.....	63
8.3.1.1	<i>Kritik på diskussionen om hållfasthet</i> .....	64
8.3.2	Hållfasthet för Koljerntekniken .....	65
<b>8.4</b>	<b>Kostnad</b> .....	<b>68</b>
8.4.1	Produktionskostnad .....	68
8.4.1.1	<i>L-element</i> .....	69
8.4.1.2	<i>U-min grund</i> .....	69
8.4.1.3	<i>Koljerntekniken</i> .....	70
8.4.1.4	<i>Kommentar</i> .....	70
8.4.2	Energibesparing .....	70
8.4.2.1	<i>Förutsättningar</i> .....	70
8.4.2.2	<i>Energikostnad per år</i> .....	71
8.4.2.3	<i>Jämförelse av energikostnad</i> .....	71
<b>8.5</b>	<b>Sammanställning och jämförelse</b> .....	<b>71</b>
8.5.1	Fuktsäkerhet .....	71
8.5.2	Värmeisolerande förmåga .....	72
8.5.3	Hållfastheten .....	72
8.5.4	Kostnad .....	74
<b>9</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>75</b>
<b>10</b>	<b>Slutsats</b> .....	<b>76</b>
<b>11</b>	<b>Källförteckning</b> .....	<b>78</b>

## Bilagor

Bilaga 1 - Miljöaspekter för Foamglas

Bilaga 2 - Andelsberäkning

Bilaga 3 - Hållfasthetsberäkning för sinusarmering

Bilaga 4 - Beräkning av risk för vindlyft

# 1 Inledning

Bostäder och lokaler står idag för ungefär 30 % av Sveriges totala energiförbrukning, varav uppvärmning och varmvatten står för den största delen av sektorns totala energiförbrukning. Under 2007 användes totalt 31,8 TWh för uppvärmning inklusive varmvatten av de svenska småhusen (Statens Energimyndighet 2009). För att få en uppfattning om en bostads totala energiförbrukning under sin livstid är en enkel tumregel att ungefär 15 % går till produktionen, cirka 85 % till driften och mindre än 1 % till rivningen (Petersson 2009). Med dessa siffror kan man ganska lätt konstatera att en förbättrad värmeisolering och en minskning av energiförbrukningen under just driftstiden skulle ha stor betydelse.

Detta har bland annat resulterat i att lagstiftningen för tillåten energiförbrukning för bostäder har skärpts de senaste åren. Det ställer allt hårdare krav på byggindustrin, både på projektering och utförande där välisolerade hus blir ett måste.

I strävan efter att uppnå energisnåla bostäder har olika former av lågenergihus utvecklats, däribland passivhus. Det är ett byggkoncept som ställer höga krav på en välisolerad och lufttät klimatskärm, där värmeåtervinning utnyttjas i hög grad. I Tyskland är dessa hus väletablerade inom nybyggnation, och i Sverige syns en liknande utveckling som dock ligger en del på efterkälken (Martinsson 2008).

Framsteg och förbättringar som skett inom husbyggnadsteknik har framförallt innefattat väggar, fönster och tak. Vi känner att grundkonstruktionen har hamnat i skymundan och att det kan göras mer på detta område. Det är en viktig konstruktionsdel som både ska klara laster, vara värmeisolerande, och fungera som byggnadens fuktspärr mot marken. Då grundkonstruktionen innefattar så pass många funktioner är det lätt att nya problem uppstår när man försöker förbättra ett av funktionskraven. Det krävs både bred och djup kunskap inom byggnadsfysik och hållfasthetslära för att förstå problematiken och därmed kunna förebygga riskerna med nya konstruktioner. Det är dessutom väldigt svårt och kostsamt att åtgärda problem och skador i en grundkonstruktion i efterhand.

I och med att lagstiftningen från Boverket har ändrats måste numera även köldbryggor beaktas i energiberäkningarna. Det skapar en utmaning i att utveckla en av dagens vanligaste grundläggningsform, platta på mark, där kantelementet ofta utgör en kraftig köldbrygga. Kantbalken kan i extrema fall öka grundens totala U-värde med 100 % och kan vara avgörande för om byggnaden klarar energikraven. Att inte kantbalken hittills har gjorts bättre ur energisynpunkt är för att kantelementet är en kompromiss mellan flera olika

funktionskrav där den köldbryggsbrytande funktionen hittills ofta har lagts åt sidan (Wetterlund, o.a. 2010).

I och med att husen utvecklas och utformningen av väggar, tak och grund förnyas med ökad isolertjocklek, så förändras fuktförhållandet i konstruktionerna. Ny husbyggnadsteknik används innan den blivit ordentligt testad och vi har kunnat läsa i tidningar om fuktskandaler i nybyggda villor. Fuktproblematiken framträder på olika sätt i olika byggnadsdelar. Svårigheten med just grundkonstruktionen består ofta i att den är i kontakt med den ständigt fuktiga marken, och måste därför kunna förhindra att markfukten sugts upp i byggnaden.

## **1.1 Syfte och målsättning**

Syftet med denna rapport är att belysa alternativa lösningar på platta på mark där köldbryggan minimeras. Konstruktionerna kommer att beaktas främst ur energi- och fuktsynpunkt, men hänsyn ska även tas till ekonomi och hållfasthet.

I detta arbete vill vi besvara följande frågor:

- Hur ser dagens uppbyggnad av platta på mark ut och vad finns det för alternativ?
- Vilka material används vanligtvis idag vid grundläggning? Vilka egenskaper efterfrågas?
- Hur påverkar isoleringsförmågan i plattan risken för tjälskador?
- Hur kan kantbalken utformas för att minska köldbryggan? Hur påverkar en sådan utformning kantbalkens andra egenskaper?

Målet är att hitta minst två nytänkande, men redan existerande lösningar, där fokus lagts på energi och fukt. Genom en jämförelse kan sedan för- och nackdelar lyftas fram för de utvalda grundkonstruktionerna.

Vi hoppas få ett resultat som visar en positiv framtidsbild av möjliga alternativ på platta på mark med hög kvalitet och fuktsäkerhet där energiförlusterna är minimala.



## 1.2 Problemformulering

Grundkonstruktionen ska uppfylla värmeisolering, fuktskydd och hållfasthet, samtidigt som hänsyn ska tas till ekonomi och miljö. Det är svårt att uppnå alla önskvärda egenskaper och slutprodukten blir ofta en kompromiss. Olika lösningar har tagits fram av företag för att försöka uppfylla alla dessa egenskaper, men frågan är om det är praktiskt möjligt.

## 1.3 Avgränsningar

Grundkonstruktionen ska enbart anpassas till fristående villor i normalstorlek, cirka 150 m<sup>2</sup> grundyta, det vill säga inga stora ytor i byggsammanhang. Utgångspunkten är platta på mark med redan befintliga kombinationer av detaljlösningar som prövats i uppförda byggnader. Kvaliteten ska anpassas till passivhusstandard, och rapporten begränsas till klimat- och markförhållanden som gäller i Lund, Skåne. En väggkonstruktion med träregelstomme och en bra isolerande förmåga har valts ut från *Isover* för användning i energiberäkningar. Övriga avgränsningar och antaganden redovisas i samband med beräkningar. I första hand behandlas enbart vanligt förekommande material eftersom arbetet är tidsbegränsat, och avsnittet material skulle bli för omfattande. Endast det mest väsentliga tas upp omkring materialen, där vikt läggs på egenskaperna. Då syftet med denna rapport är att utreda olika utformningar av platta på mark ur energi- och fuktsynpunkt kommer hållfastheten endast att diskuteras, inga avancerade analyser eller beräkningar utförs. Av samma anledning kommer kostnadsberäkningar vara väldigt förenklade. Brandegenskaper kommer inte att beaktas vid granskning av grundkonstruktioner.

## 1.4 Metod

Litteraturstudier har varit en viktig informationskälla till den teoretiska grunden för denna rapport, både i form av böcker, artiklar och tidigare examensarbeten. Många uppgifter har även hämtats från tillverkningsföretag, branschorganisationer samt från de konsulter som utvecklat de slutgiltiga grundkonstruktionerna som valts ut i denna rapport. Intervju har hållits angående konstruktionernas egenskaper. För att beräkna köldbryggans storlek i de utvalda grundkonstruktionerna har beräkningsprogrammet *HEAT2* använts. Andra beräkningar har gjorts för hand, och vi har även tagit del av redan utförda beräkningar gjorda av konsultföretag.

Vi har genomgående tagit hänsyn till om konstruktionslösningarna borde fungera bra i praktiken, genom diskussion med vår handledare.

## 1.5 Disposition

Rapporten börjar med en teoretisk bakgrund som krävs för att få en bild av problematiken som måste beaktas inför utformningen av en välfungerande grundkonstruktion. Några kapitel avslutas med en kommentar eller kort sammanfattning för att reda ut den information som framkommit i det aktuella kapitlet. Efter teoridelen presenteras två olika typer av platta på mark som valts ut för att studeras närmare genom beräkningar och byggnadsfysikaliska resonemang. Dessa jämförs med varandra, och därefter följer en diskussion och slutsats för hela rapporten. Nedan beskrivs kort varje kapitels innehåll och dess ändamål.

- |           |   |
|-----------|---|
| Kapitel 2 | Historik och utveckling, samt den typiska uppbyggnaden av platta på mark redovisas för att beskriva utgångspunkten i vårt arbete.   |
| Kapitel 3 | Krav från BBR, samt de krav som måste uppfyllas för att en byggnad ska få kallas för ett passivhus redovisas. Detta för att veta vilka energikrav som bör ställas på grundkonstruktionen.   |
| Kapitel 4 | Olika jordarter beskrivs för att ge en uppfattning om förekomsten av fukt och om risken för tjäle. Därefter beskrivs de olika skikten som ska skydda grunden från fukt och fritt vatten i marken.   |
| Kapitel 5 | Valet av material är avgörande för konstruktionens kvalitet och egenskaper. Kapitlet börjar med en förklaring av hur fukt transporteras i porösa material för att ge en inblick i materials fuktegenskaper. Därefter följer en beskrivning av de vanligaste byggmaterialen för grundkonstruktionen. |
| Kapitel 6 | Köldbryggan som uppstår i grundplattans kanter tas upp. Kantbalkarna, L- och U-element, redovisas.  |
| Kapitel 7 | De två typer av grundkonstruktioner som har valts ut presenteras.   |
| Kapitel 8 | Här redovisas den undersökande delen av rapporten där de utvalda varianterna av platta på mark granskas ur energi-, fukt-, hållfasthets- och kostnadssynpunkt.  |

Kapitel 9                      Resultat och tveksamheter från den undersökande delen diskuteras.

Kapitel 10                     Slutsatsen av rapporten presenteras.

## 2 Platta på mark

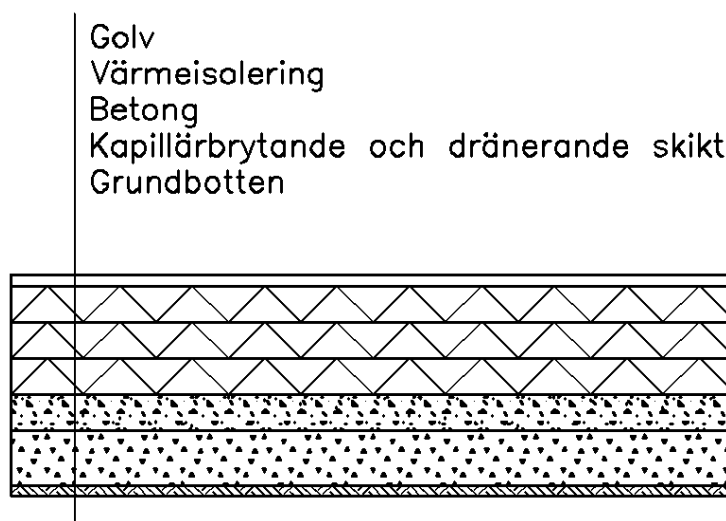
En traditionell platta på mark har hittills utförts främst enligt två olika grundprinciper, antingen med överliggande, eller med underliggande isolering. Konstruktionen har utvecklats genom åren där främst fuktproblematiken har tvingat fram nya lösningar. I den första delen av kapitlet kommer de bägge grundprinciperna att beskrivas tekniskt ur fukt-, energi-, och tjälsynpunkt för att ge klarhet i allmänna begrepp och i den elementära problematiken. När begrepp och problematik har klargjorts kommer den historiska utvecklingen av platta på mark att tas upp.

### 2.1 Problematik och förutsättningar

De båda principerna skapar helt olika fukttekniska förhållanden och är intressanta att gå igenom var för sig. Detta för att ge en bra uppfattning omkring sambandet mellan värmeisolering och förekomsten av fukt. Om inte annat anges, hämtas all information i detta kapitel från boken *Fukthandbok – Praktik och Teori (2006)*, skriven av *Lars Erik Nevander* och *Bengt Elmarsson*.

#### 2.1.1 Överliggande isolering

Uppbyggnaden består normalt av ett underliggande lager av makadam eller singel som ska fungera som ett dränerande och kapillärbrytande skikt. På detta skikt gjuts betongplattan varpå isoleringen placeras. Som golv används antingen ett så kallat *flytande golv* som ligger löst ovanpå isoleringen utan kontakt med betongplattan eller så läggs ett *uppreglat golv* där reglar placeras ut på betongplattan varpå golvet läggs.



*Bild 2.1 Principiell uppbyggnad av platta på mark med överliggande isolering*

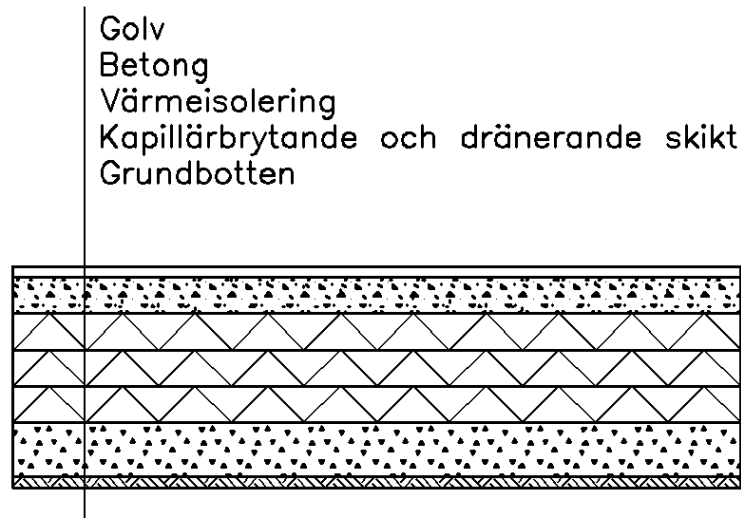
Betong är ett hygroskopiskt material (se kapitel 5.1.2), vilket betyder att det tar upp fukt i ångfas. Eftersom marken alltid förutsätts ha 100 % RF och isoleringen ligger på ovansidan får betongplattan i stort sett samma temperatur och RF som marken. Det har orsakat fuktskador framför allt vid användning av *uppreglat golv*, då träreglar placeras på betongplattan varpå golvet läggs. Det dimensionerande kritiska fukttillståndet för trä sätts vanligtvis till 80 % RF, vilket kräver en ångspärr mellan betongplatta och golvreglar. Innan ångspärren läggs ut är det viktigt att rengöra betongplattan ordentligt för att få bort allt organiskt material som annars kan börja mögla, vilket skulle generera en elak lukt och ge ett osunt inneklimat. Ångspärren ska helst även fungera som fuktspärr för att få ett extra kapillärbrytande skikt. Om denna täcker hela plattan och läggs ut med stor varsamhet, så att den inte skadas, är fukttransporten nerifrån förhindrad. Fukt från inneluften kan dock vara ett problem då den diffunderar nedåt och orsakar en hög relativ fuktighet när den når reglarnas kalla del vid betongplattan. Enligt *Nevander och Elmarsson (2006)* finns dock inga bevis för att fuktskador ska ha uppkommit på grund av detta. Med ett flytande golv, då golvet läggs direkt på en trycktålig isolering, undviks detta problem, åtminstone vad gäller golvreglar. Oavsett om ett flytande eller uppreglat golv används så är infästningen mellan syll och betongplatta en mycket kritisk punkt. Syllen är ofta väldigt utsatt för fukt eftersom den är placerad i en kall del av konstruktionen där RF är högt.

Risken för fuktskador minskar om betongplattans ovansida hålls så varm som möjligt. Därför är det viktigt att det endast läggs ett tunt lager värmeisolering så att tillräcklig värme kan läcka igenom och därmed sänka RF på plattans ovankant. Detta är även positivt med hänsyn till risken för tjälskador eftersom värmeläckan hjälper till att hålla den underliggande marken frostfri. Däremot är detta inte önskvärt ur energisynpunkt.

Det blir svårt att skapa en välisolerad grund och samtidigt göra den fuktsäker. Ur fuktsynpunkt är ångspärrens funktion avgörande. Vid felaktig hantering kan den skadas och detta kan skapa en lokal fukttransport upp från betongen med fuktrelaterade skador som följd.

### 2.1.2 Underliggande isolering

Uppbyggnaden består, precis som i den föregående principen, av ett underliggande lager av makadam eller singel. Därefter läggs isolering, oftast cellplast, slutligen gjuts betongplattan ovanpå isoleringen.



*Bild 2.2 Principiell uppbyggnad av platta på mark med underliggande isolering*

I detta fall utgör den underliggande isoleringen ett extra kapillärbrytande skikt. Den kapillärbrytande förmågan är dock i många fall osäker och kommer att diskuteras närmare i kapitel 4.2.1.3. Isoleringen bidrar även till en ökad temperatur i plattan, vilket skapar ett torrare material med lägre RF. För att undvika att fukt tränger upp emellan cellplastsblocken läggs de med förskjutna skarvar.

Isoleringen fungerar dock inte som ångskydd vilket gör att betongplattan kommer att ha samma ånghalt som marken. Temperaturskillnaden mellan betongplatta och mark är därför mycket viktig i denna konstruktion för att plattan ska få ett lägre RF än marken. Marken antas alltid ha 100 % RF. Ju varmare betongplattan är jämfört med marken desto lägre RF har den och risken för fuktskador minskar.

Det största värmeläcket sker längs med plattans kanter och minskar sedan successivt närmare plattans mitt där värmen får en längre transportstrecka igenom marken ut till den kalla luften. Det medför att temperaturskillnaden mellan betongplatta och mark blir minst i mitten på plattan eftersom marken där är varmest. Där blir därför ett högre RF vilket kan orsaka olägenheter. Med avseende på denna fuktproblematik krävs mer värmeisolering i södra Sverige, på grund av att årsmedeltemperaturen där är högre, än i norra

Sverige. Ur energisynpunkt är det givetvis önskvärt med mer värmeisolering i ett kallare klimat.

En välisolerad grund kan dock skapa risk för tjälskador eftersom marken inte hålls tillräckligt varm med hjälp av värmeläckage från byggnaden. För att inte behöva minska isolertjockleken kan en utkragande markisolering, så kallad tjälisolering, läggas runt hela grundplattan för att motverka nedkylning av marken. Tjälen får en längre väg att vandra in under byggnaden och marktemperaturen hålls över fryspunkten (Petersson 2009).

*Carl-Eric Hagentoft*, professor i byggnadsfysik på *Chalmers Tekniska Högskola*, har tillsammans med *Peter Roots*, PhD på *Statens Energimyndighet*, tagit fram en teoretisk modell för dimensionering av tjälisolering. Enligt denna modell behöver inte värmeisoleringsförmågan i plattan nedprioriteras. Det kompenseras istället med en korrekt dimensionerad tjälisolering (Sundolitt AB 2010). En beskrivning av denna lösning redogörs i kapitel 4.3.1.

### 2.1.3 Sammanställning

Denna jämförelse beskriver hur avgörande isoleringens placering i platta på mark är och hur olika utfallen blir. Fuktförhållandena blir olika, och varje konstruktion kräver sina åtgärder för att förhindra fuktproblem.

Det är i båda fallen värt att eftersträva en så hög temperatur som möjligt i betongplattans övre del för att förhindra fuktskador på känsliga material som är anslutna till betongen.

Idag är platta på mark med underliggande isolering den mest förekommande varianten medan överliggande isolering undviks på grund av riskerna för fuktskador. Den blir dessutom svår att motivera ur energisynpunkt då isoleringen måste vara tunn för att förhindra fuktproblem.

## 2.2 Platta på mark historik

Som utgångspunkt till denna historiska överblick har artikeln *Mark-kant värmeförlust* från *Bygg & teknik 2/10* använts. Artikelförfattarna är *Hans Wetterlund, WSP Byggnadsfysik, Göteborg; Henrik Carlsson, avdelningschef WSP Byggprojektering, Göteborg; Carl-Eric Hagentoft, professor i Byggnadsfysik, Chalmers; Magnus Wallin, ordförande T & M-gruppen EPS-bygg.*

På sent 1940-tal började de första husen med platta på mark att byggas i Sverige. Metoden att bygga med platta på mark kom från USA där den hade tillämpats i drygt 10 år innan den hade sin debut i Sverige. I USA gick platta på mark under benämningen *concrete slab*, och 1955 skrev *W Wredenfors* en artikel om denna konstruktion i tidsskriften *Byggmästaren*. I USA uppfördes konstruktionen utan värmeisolering, men det ställdes höga krav på fuktskyddet. Under betongplattan skulle en så kallad membranisolering användas som fuktspärr. Denna membranisolering bestod av två lager asfaltimpregnerad papp som hölls ihop med mellanliggande varmasfalt. Denna papp skulle täcka hela betongplattans undersida och dras upp runt alla kanter. Under plattan skulle det finnas minst 4 tum (1 tum ~ 2,5 cm) packad makadam eller grus. Slutligen så ställdes kravet på att det färdiga golvet skulle ligga minst 10 tum över den omkringliggande marken.

I *Wredenfors* artikel i *Byggmästaren* skrev lektorn *H Ericsson* en kommentar om att klimatförutsättningarna mellan Sverige och USA var väldigt olika och att de svenska byggnaderna borde klara sig utan membranisolering. Han menade också att denna lösning var väldigt dyr och svår att utföra korrekt. Istället menade *Ericsson* att ett uppreglat golv var att föredra, då en ventilerad konstruktion skulle lösa fuktproblematiken. Nu många år senare kan man konstatera att *Ericsson* hade fel i sina slutsatser. Statistik visar att just uppreglat golv står för den största delen av fukt- och mögelskador i platta på mark.

Nästan alla byggnader med platta på mark uppfördes med uppreglat golv under 1950- och 1960-talet. Dessa plattor uppfördes helt utan värmeisolering. Det var först i slutet av 1960-talet som man började lägga in ett tunt lager isolering över betongplattan mellan träreglarna. Denna isolering förbättrade grundens energiförbrukning något, men fuktproblematiken kvarstod då träreglarna fortfarande var direkt exponerade för fukt underifrån.

Så småningom ökade förståelsen om att uppreglat golv inte var en bra lösning och att en överliggande isolering kanske inte var det bästa alternativet. Därför började man under 1970-talet att bygga de första betongplattorna med underliggande isolering. Detta utfördes med hårda mineralullsskivor med en



isoleringstjocklek på endast 50 mm och man begränsade ofta isoleringen till betongplattans ytterkanter.

Efter ett par år ökades isoleringstjockleken till 100 mm under hela plattan. I ytterkanten ersattes ofta mineralullsskivan med cellplast, antingen expanderad (EPS) eller extruderad (XPS) polystyrencellplast, se kapitel 5.2.2. Detta för att mineralullsskivorna hade dålig bärförmåga som orsakade problem med hållfastheten under kantbalken samt att priset på cellplast sjönk kraftigt under 1970-talet. Man fortsatte dock att använda den, vid denna tid, billigare mineralullsskivan under mitten av betongplattan. Men nya fuktskador fortsatte att uppstå, framförallt i stora plattor. Detta berodde på att temperaturdifferensen i byggnadens mitt, mellan betongplattan och marken, helt enkelt inte blev tillräcklig.

Det, för amerikanarna, väldigt viktiga fuktskyddet under grunden hade svenskarna fortfarande inte börjat tillämpa. Detta för att man ansåg att membranet skulle orsaka problem med uttorkningen av byggfukten, då det skulle förhindra nedåtgående diffusion.

Mer än 40 år efter det att platta på mark introducerades i Sverige, på sent 1980-tal och under 1990-talet, började man inse orsakerna till fuktskadorna med platta på mark. Det blev nu standard att utföra 200 mm tjock värmeisolering. Man använde nästan uteslutande EPS-isolering under hela plattan då den hade tillräcklig bärförmåga och var billigare än både XPS-isolering och hård mineralullisolering. Det började också bli vanligt att grunden kompletterades med en heltäckande polyetenfolie, en såkallad PE-folie, som fungerade som fuktspärr ovan betongen. Dessutom insåg man att byggfukten måste få tid att torka ut innan täta eller fuktkänsliga golv skulle läggas in.

I slutet av 1990-talet började de första husen med 300 mm cellplast att byggas, framförallt när golvvärmslingor började bli populärt. Idag anses 300 mm isoleringstjocklek vara standard under platta på mark för både passivhus, lågenergihus och vanliga hus. Förr ansågs att marken utgjorde ett tillräckligt värmemotstånd, men idag vet man att markens isoleringsförmåga endast motsvarar cirka 50 mm värmeisolering för en normalstor villa. Det har idag blivit vanligare att satsa på ökad isoleringstjocklek i grunden för en långsiktig besparing.

## 3 Energikrav

För att veta vad de nya energikraven innebär för utformningen av grundkonstruktionen, redovisas först en sammanfattning av de ändringar som skett på energisidan i BBR. Därefter kommer en sammanfattning av den svenska kravspecifikationen som gäller för passivhus. Dessa jämförs sedan i en tabell med siffervärden på kraven för att klargöra skillnaderna.

### 3.1 BBR - Energikrav

Den 1 januari 2009 trädde *Boverkets byggregler, BBR, avsnitt 9 Energihushållning* nya regler i kraft. Nedan följer en sammanfattning av dessa nya regler och vad de innebär för nyproduktion av bostäder.

Syftet med dessa nya regler är att begränsa energibehovet för uppvärmning eller nedkylning men också för att effektivisera värme- och kylanvändandet samt erhålla en effektivare elanvändning. Reglerna ska tillämpas för utrymmen som ska användas permanent eller under längre perioder, som är temperaturstyrda och ska värmas till mer än 10°C.

#### 3.1.1 Ändring av kraven

Tidigare ställdes hårdare energihushållningskrav endast på småhus med direktverkande el, men detta har nu utökats till att gälla i princip alla bostäder oavsett vilken uppvärmningskälla som används. Även köldbryggor, se kapitel 6.1, ska beaktas i energiberäkningen, både linjära och punktformiga.

Boverket har också delat upp de tidigare två klimatzonerna, norr och söder, till tre klimatzoner (**I-III**) för att få ett mer rättvist krav på energibehovet på grund av det geografiska läget på byggnaden. Till Klimatzon **I** ingår Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län. Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län tillhör Klimatzon **II**. Övriga län i södra Sverige räknas till klimatzon **III**.

#### 3.1.2 Byggnadens specifika energianvändning och eleffekt

I BBR är kraven för byggnadens specifika energianvändning olika beroende på om det gäller en *bostad* eller *lokal* och vilken *klimatzon* byggnaden tillhör. Man skiljer även på *byggnader med direkt elvärme* och *byggnader med annat uppvärmningssätt än elvärme*.

BBR ställer krav på bostäder och lokalers specifika energianvändning [ $\text{kWh}/(\text{m}^2 A_{Temp})$ ] samt på byggnadens genomsnittliga värmegenomgångskoefficient,  $U_m$  [ $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{K})$ ], där såväl linjära som punktformiga köldbryggor ska ingå. För byggnader med direkt elvärme ställer

BBR även krav på maximal installerad eleffekt. Detta för att begränsa eleffektuttaget på kalla vinterdagar och för att förhindra eleffektdrivande lösningar.

Med begreppet direkt elvärme menas att uppvärmningen sker via elektrisk energi, där den installerade eleffekten för uppvärmningen är större än  $10 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{Temp})$ . Till detta räknas exempelvis berg-, jord-, sjö- eller luftvärmepump, direktverkande elvärme, vattenburen elvärme, elektrisk varmvattenberedare och dylikt. Eleffekt i fastbränsleinstallation som installerats som tillfällig reserv räknas inte som elvärme om fastbränsleinstallationen är konstruerad för permanent drift. Med fastbränsle menas exempelvis pellets, ved, eller briketter. Kraven för direkt elvärme gäller byggnader med en golvarea  $> 50 \text{ m}^2$ , för mindre byggnader gäller kraven för byggnader med annat uppvärmningssätt än elvärme.

### 3.1.2.1 Klimatskärmens täthet

Klimatskärmen utgörs av ytor som gränsar till uteklimatet, det vill säga grund, ytterväggar och tak. En bra täthet i klimatskärmen är viktig för husets värmeisoleringsförmåga (Petersson 2009).

Klimatskärmens täthet testas med en tryckprovning med en tryckskillnad i byggnaden, antingen över- eller undertryck. Kravet i BBR är ett läckage på max  $0,6 \text{ l}/(\text{s m}^2 A_{om})$  vid en tryckskillnad på 50 Pa. Boverket ställer dock inget krav på att en tryckprovning skall genomföras, det är upp till byggherren.

### 3.1.3 Verifiering

Verifiering på byggnadens energianvändning ska ske både under projektering genom beräkningar, och genom mätning av den uppförda byggnaden i form av en energideklaration utförd av en certifierad energiexpert.

Vid beräkning under projekteringen måste man se till att alla BBR:s krav uppfylls. Beräkningen av byggnadens energianvändning är till för att få en uppfattning om byggnadens verkliga energianvändning. För att denna beräkning ska bli rimlig krävs att det tas hänsyn till exempelvis ortens klimat, kvalitet på utförandet, och brukarbeteende. Det finns inget krav i BBR på att hushållselen ska beräknas i byggnadens specifika energianvändning.

Enligt Lars Sentler, professor i byggnadskonstruktion på Lunds Tekniska högskola, finns rekommendationer på att hushållselen kan uppskattas till 25 % av bostadens specifika energianvändning. Energiberäkningarna under projekteringen bör ha en säkerhetsmarginal till BBR:s energikrav för att täcka eventuella brister i utförandet.

## 3.2 Passivhus – Energikrav

Passivhus är ett byggkoncept med syftet att minimera uppvärmningsbehovet. Uppvärmningen ska i huvudsak ske av personvärme, värmeavgivelse från hushållsapparater och övriga installationer i huset. Endast vid kallare perioder under vintern ska extra uppvärmning behöva tillföras.

För att detta ska fungera ställs stora krav på design, konstruktionslösningar och framförallt korrekt utförande.

Det var *Bo Adamsson*, professor på Lunds Universitet, och *Wolfgang Feist*, professor vid Darmstadt Universitet i Tyskland som arbetade fram idéerna om ett lågenergihus. *Feist* vidareutvecklade sedan detta byggkoncept och gav det den tyska benämningen *Passivhaus*. Det första passivhusprojektet byggdes i Darmstadt, Tyskland, 1991. Senare har konceptet införts i flera andra europeiska länder, däribland Sverige. Tyskans *Passivhaus* direktöversattes då till svenskans *Passivhus*.

Kravspecifikationerna för ett Passivhus skiljer sig något från land till land, men det finns en internationell standard som är framtagen av tyska *Passivhaus Institut* som *Feist* ansvarar för. Sverige har en egen kravspecifikation som utgår ifrån den internationella, men som har anpassats till svenska förhållanden (Martinsson 2008).

### 3.2.1 Svensk kravspecifikation för passivhus

Den svenska kravspecifikationen är framtagen av *Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY)* på uppdrag av styrgruppen för *Energimyndighetens program för Passivhus och lågenergihus*. Detta kapitel sammanfattar denna kravspecifikation.

För att en byggnad ska få klassas som ett passivhus krävs att vissa kriterier uppfylls. Dessa krav ställs för att säkerställa att byggkonceptet passivhus inte missbrukas och förlorar sin kvalitet och innebörd. Eftersom det idag inte finns något certifieringssystem ska följande uttryck användas:

- ”Projekterat för Passivhus enligt FEBY” respektive,
- ”Verifierat Passivhus enligt FEBY”

I det sistnämnda ska underlag finnas som bekräftar att kraven för drift hålls. Anvisningar för verifiering av båda begreppen finns beskrivna i rapporten *Mätning och verifiering - underlag till FEBY's kravspecifikation 2009* framtagen av *Eje Sandberg*. Först när dessa krav uppfyllts är det tillåtet att använda begreppen som en beskrivning på en byggnads energiprestanda.

Kravspecifikationen innefattar krav för:

- Effekt- och energibehov
- Luftläckage
- Fönster
- Termisk komfort
- Ljud

Nedan kommer effekt- och energibehov samt luftläckage att behandlas. Fönster, termisk komfort och ljud kommer inte att behandlas då dessa ligger utanför rapportens syfte.

### *3.2.1.1 Effektbehovet*

Effektbehovet motsvarar summan av de värmeförluster som sker via transmission, ventilation och ofrivilligt luftläckage. Det ger ett mått på den värmeisolerande förmågan i byggnadens klimatskal. För att få ett korrekt värde på detta dras den interna spillvärmem, från hushållsapparater och dylikt, ifrån i beräkningen. Effekten betecknas med bokstaven  $P$  [ $W/(m^2 A_{temp})$ ].

För att beräkna effektbehovet tar man hänsyn till:

- transmissionsförluster genom klimatskalet
- köldbryggor
- ofrivilligt luftläckage
- ventilation
- byggnadens vindskydd (andra byggnader, träd, med mera)
- byggnadens tidskonstant (som talar om hur snabbt byggnadens innetemperatur reagerar vid en hastig temperaturförändring utomhus)

Transmissionsförluster, köldbryggor och ofrivilligt luftläckage är de punkter som måste beaktas vid utformningen av en grundkonstruktion.

### 3.2.1.2 Energibehovet

Energibehovet är den förväntade energianvändningen för byggnaden. Energianvändning benämns också som köpt energi och innefattar ”uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi. Om golvvärme, handdukstork eller annan apparat för uppvärmning installeras, inräknas även dess energianvändning.” (Boverket 2008). Observera att hushållsel inte ingår i begreppet köpt energi. Det finns enbart råd från *FEBY* att minimera förbrukningen av hushållsel, inga krav.

Maximal tillförd energi beräknas med viktad energi,  $E_{\text{viktad}}$ , eller oviktad energi,  $E_{\text{köpt}}$ . Viktad energi bestäms av summan av köpt/levererad energi,  $E_{\text{köpt}}$ , och vilken energiformsfaktor,  $e$  [-], det vill säga vilken energikvalitet som används. Energiformsfaktorn gör att den viktade energin förbättras vid användning av förnyelsebara energikällor.

Kraven för effektbehov och energianvändning varierar, precis som i *BBR*, beroende på i vilken klimatzon orten är belägen.

### 3.2.1.3 Luftläckage

Luftläckaget får max vara  $0,3 \text{ l}/(\text{s m}^2 A_{\text{om}})$ . Det mäts genom att utsätta byggnaden för ett över- eller undertryck (50 Pa) för att sedan mäta den mängd luft som måste tillföras för att bibehålla ett konstant tryck. När detta ska genomföras tätar man alla öppningar för frivillig ventilation.

### 3.3 Jämförelse mellan BBR och FEBY

Nedan visas tabeller med kravvärden för svenska passivhus enligt FEBY jämfört kraven från BBR. Till sist visas vissa krav för tyska passivhus.

<b>Effektkrav för mindre fristående bostäder (&lt; 200 m<sup>2</sup>), FEBY</b>	
Zon III	$P_{\max} = 12 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{temp+garage})$
Zon II	$P_{\max} = 13 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{temp+garage})$
Zon I	$P_{\max} = 14 \text{ W}/(\text{m}^2 A_{temp+garage})$

Tabell 3.1 (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009)

<b>Maximal energianvändning för bostäder och lokaler, viktad energi FEBY</b>	
Zon III	$E_{viktad} \leq 60 \text{ kWh}_{viktad}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$
Zon II	$E_{viktad} \leq 64 \text{ kWh}_{viktad}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$
Zon I	$E_{viktad} \leq 68 \text{ kWh}_{viktad}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$

Tabell 3.2 (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009)

<b>Maximal energianvändning för bostäder och lokaler, oviktad energi</b>		
	<b>Passivhus, FEBY</b>	<b>Endast bostäder, BBR 2009</b>
<b>Zon III</b>		
Icke eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 50 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 110 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$
Eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 30 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 55 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$
<b>Zon II</b>		
Icke eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 54 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 130 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$
Eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 32 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 75 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$
<b>Zon I</b>		
Icke eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 58 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 150 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$
Eluppvärmda byggnader	$E_{köpt} \leq 34 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp+garage}, \text{ år})$	$E_{köpt} \leq 95 \text{ kWh}_{köpt}/(\text{m}^2 A_{temp}, \text{ år})$

Tabell 3.3 (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009)  
(Boverket 2008)

Övriga byggnadskrav			
	Krav för passivhus, FEBY 2009	Krav, BBR 2009	
		Ej eluppvärmt	Eluppvärmt
Luftläckage vid 50 Pa	0,3 l/(s m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )	0,6 l/(s·m <sup>2</sup> A <sub>om</sub> )	
U <sub>m</sub> -värde (genomsnittligt)	-	0,50 W/(m <sup>2</sup> K)	0,40 W/(m <sup>2</sup> K)

Tabell 3.3 (Forum För Energieffektiva Byggnader 2009)  
(Boverket 2008)

Internationella krav för Passivhaus	
Enbart Uppvärmning	≤ 15 kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år)
Total energianvändning	≤ 120 kWh/(m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> , år)
Luftläckage vid 50 Pa	0,6 h <sup>-1</sup>

Tabell 3.4 (Feist 2007)

### 3.3.1 Kommentar av jämförelsen

Kraven för passivhus är generellt högre än de krav som BBR ställer. Det finns inget krav från FEBY på det genomsnittliga U-värdet av byggnaden för att få kallas passivhus. Däremot krävs det ett bra U-värde för att klara de övriga kraven från FEBY. Ett riktvärde för att uppnå dessa är att det totala U-värdet på svenska passivhus, med beaktande av köldbryggor, bör vara omkring 0,10 W/(m<sup>2</sup>K) (Jansson 2008).

Tabellen ovan visar att Tyskland har ett krav på enbart uppvärmning och ett för den totala energianvändningen där även hushållselen ingår. Som tidigare nämnts, inkluderas inte hushållselen i de svenska kraven. I detta avseende skiljer sig de tyska kraven från de svenska.

Kraven på maximalt luftläckage är svåra att jämföra mellan svenska och tyska krav eftersom enheterna skiljer sig åt.



## 4 Markförhållanden

För att få en inblick i de förhållanden som råder i mark kommer detta kapitel att kortfattat ta upp vad en jordart är och vad som skiljer de olika jordartsklasserna åt. Jordarternas fukt- och tjälegenskaper kommer att tas upp och beskrivas kortfattat. Grundläggning på fast berggrund eller mineraler kommer inte att behandlas då grundläggning på fast berg är ovanligt i Skåne. Förslag på vilka åtgärder man kan genomföra för att minska risken för tjälskador behandlas. Slutligen kommer en beskrivning av hur fukttransporterna sker i marken, samt hur man med hjälp av olika skikt kan skydda grunden från fukten.

Jord delas in i mineraljord och organisk jord. Detta kapitel kommer dock enbart att avgränsas till mineraljordar då all organisk jord ska schaktas bort vid grundläggning. Jord klassas som organisk då mer än 20 viktprocent utgörs av organiskt material (SGI u.d.).

### 4.1 Jordart

En jordart är *en geologisk avlagring med lös struktur*. Det är ett kornuppbyggt material som består av tre komponenter; *fasta partiklar, luft och vatten* (Svensson 2008).

Man delar upp jordarterna i tre olika grupper; *friktionsjordarter, mellanjordarter och kohesionsjordarter*. Dessa har olika egenskaper för framförallt vattengenomsläpplighet eller permeabilitet, kapillär stighöjd, skjuvhållfasthet, värmelagring och tjälfarlighet.

Klassningssystemet och benämning av jordarter kommer inte att tas upp, endast de grundläggande skillnaderna mellan de olika jordarterna.

Kornstorlekarna på de fasta partiklarna benämns som kornfraktioner. Nedan redovisas uppdelningen mellan kornfraktionerna enligt en europeisk och internationell standard som infördes 2004 (Larsson 2008).

Benämning	Kornstorlek [mm]
Stora block	>630
Block	200 - 630
Sten	63 - 200
Grus	2 - 63
Sand	0,063 - 2
Silt	0,002 – 0,063
Ler	≤ 0,002

Tabell 4.1 Kornstorleksfördelning (Larsson 2008)

Gränsen mellan sand och silt är viktig, då detta är gränsen mellan friktionsjord och kohesionsjord.

Till friktionsjord tillhör de grovkorniga jordarterna (samt block- och stenjordarter). Friktionsjordar kännetecknas av att jordens skjuvhållfasthet främst utgörs av friktionen mellan kornen samt att permeabiliteten,  $k > 10^{-5}$  m/s, är relativt hög och klassas därför som *genomsläppliga* jordarter.

Kohesionsjord kännetecknas av att skjuvhållfastheten mellan kornen sker med både friktion och kohesion. Kohesion är en elektrisk ytaktivitet mellan kornen eller en bindning som uppstår på grund av organiska beståndsdelar. Permeabiliteten för dessa jordarter är i det närmast obefintlig,  $k < 10^{-9}$  m/s, och klassas som *täta* jordarter.

Mellanjord är ur hållfasthetssynpunkt en blandning mellan friktions- och kohesionsjord. Permeabiliteten är relativt låg,  $10^{-5} < k < 10^{-9}$  m/s, och klassas som måttligt genomsläppliga jordarter. Till mellanjordar räknas silt och de blandkorniga jordarterna, som till exempel morän. Morän är en sönderkrossad massa som innehåller de flesta kornstorlekar, det är den vanligaste jordarten i Sverige (Svensson 2008).

## 4.2 Vatten i mark

Eftersom permeabiliteten och kapillära stighöjden skiljer sig avsevärt för de olika jordarterna kommer de att ha olika egenskaper.

*Täta jordarter* kan antas vara konstant vattenmättade eftersom permeabiliteten är så pass låg och för att de har en hög kapillär stighöjd. Dessa jordarter kan därför innehålla mycket vatten eller vara vattenmättade långt över grundvattennivån (Nevander och Elmarsson 2006).

För *måttligt genomsläppliga jordarter* kan nederbörd rinna ner till grundvattennivån, även om det går långsamt på grund av den relativt låga permeabiliteten. Dessa jordar innehåller en stor del finkorniga partiklar som bidrar till att de kommer ha en ganska stor kapillär stighöjd. Den stora kapillära stighöjden och den låga permeabiliteten gör att marken kommer hålla väsentliga mängder vatten ovanför grundvattennivån (Nevander och Elmarsson 2006).

För *mycket genomsläppliga jordarter* över HGW kan nederbörd sjunka i princip direkt ner till grundvattnet. På grund av att de till största delen innehåller grovkorniga partiklar är den kapillära stighöjden väldigt liten och permeabiliteten är relativt hög (Nevander och Elmarsson 2006).

Vid grundläggning över högsta grundvattenytan, HGW, bör ett dränerande och kapillärbrytande skikt läggas runt grundmuren och under grundbotten oavsett jordart. Det är dock extra viktigt i de *täta jordarterna*, medan det endast fungerar som ett extra skydd i *mycket genomsläppliga jordarter* eftersom de på egen hand fungerar dränerande.

#### 4.2.1 Skydd mot markfukt

Alla grundkonstruktioner under marknivå måste skyddas mot vatten i marken i form av ytvatten, grundvatten och porvatten. För att skydda byggnaden läggs ett dränerande och kapillärbrytande skikt under grunden. Marken får även ett fall från byggnaden på minst 1:20 på 3 meters avstånd från byggnaden för att vatten inte ska ledas in mot byggnaden.

##### 4.2.1.1 Dränering

Ett dräneringssystem består av två komponenter. Det ena är ett dräneringslager under och runt grundkonstruktionen. Den andra är en dräneringsledning som ska leda bort vattnet.

Det vanligaste materialet under och runt grundkonstruktionen är tvättad makadam eller singel som fungerar som ett kapillärbrytande och dränerande skikt. Skillnaden mellan makadam och singel är att makadam betecknar krossat material och singel är okrossat material med rundade korn, som till exempel tagits från rullstensåsar. Makadam är helt klart det vanligast förekommande stenmaterialet (Burström 2008). Mer om makadam och dess kapillärbrytande förmåga i nästkommande kapitel 4.2.1.2.

Dräneringsledningen ska placeras utmed grundmuren, och för att inte riskera markens bärighet kring grundkanten så läggs röret utanför plattan med en lutningslinje på max 1:2 från grundmurens kant. Ledningarna ska läggas med en jämn lutning på minst 1:200, men för jordar med låg genomsläpplighet bör lutningen ökas något. Dräneringsledningen kan vara ansluten direkt till det kommunala dagvattensystemet eller endast leda bort vattnet från byggnaden och låta det infiltreras i kringliggande marken. För att det sistnämnda ska fungera krävs att jorden är tillräckligt genomsläpplig och att vattnet leds bort minst 2 m från byggnaden för att undvika större vattensamlingar i marken kring byggnaden vid häftig nederbörd (Nevander och Elmarsson 2006).

##### 4.2.1.2 Kapillärbrytande skikt

Det kapillärbrytande skiktet ska hindra fritt vatten från att sugas upp i konstruktionen. Den kapillära stighöjden beskrivs som den höjd fritt vatten kan vandra upp i ett material från en fri vattenyta. Vanligtvis räknas högsta grundvattenytan (HGW) som den fria vattenytan i mark. Ligger HGW lågt blir

kraven på det kapillärbrytande lägre, men som en säkerhet bör man anta att det kan förekomma fritt vatten i schaktbotten efter kraftig nederbörd eller läckage.

Det finns olika former av kapillärbrytande skikt:

- Grovkorniga partikelmassor, som till exempel tvättad singel och tvättad makadam
- Isolermaterial som mineralull (markskiva) eller cellplast
- Tätskikt av exempelvis plastfolier

(Nevander och Elmarsson 2006).

Den kapillära stighöjden i tvättad makadam är svår att avgöra exakt men ligger normalt på runt 70 mm men kan variera upp till 150 mm (Sydsten u.d.). Vid dimensionering av det kapillärbrytande skiktet är en tumregel att det enskilda skiktet ska vara minst dubbla höjden mot dess kapillära stighöjd, för platta på mark brukar makadamskiktet vara 150 mm (Nevander och Elmarsson 2006).

För att säkerställa den dränerande och kapillärbrytande förmågan hos grovkorniga material läggs en fiberduk under skiktet för att förhindra inblandning av småpartiklar. Framförallt används fiberduk kring dräneringsledningarna för att säkerställa att ledningarna inte slammar igen av finkornig jord som tränger igenom rörets perforerade hål (Nevander och Elmarsson 2006).

Isolermaterial som placeras under hela grunden bör läggas i dubbla skikt med förskjutna och falsade skarvar som en extra säkerhet.

Det är idag vanligt att grundläggning med underliggande isolering på tvättad makadam tillämpas, detta innebär att man erhåller dubbla kapillärbrytande skikt och därmed dubbel säkerhet (Nevander och Elmarsson 2006).

Cellplastens funktion som kapillärbrytande skikt kan dock diskuteras, se kapitel 5.2.2.

Att enbart använda en plastfolie som kapillärbrytande skikt har sina nackdelar, den kan lätt skadas under byggtiden. Eftersom de ofta är ångtäta gör de dessutom att byggfukt inte kan torka ut neråt utan måste avdunsta inomhus vilket kan ge fukttekniska svårigheter (Nevander och Elmarsson 2006).

### 4.3 Tjälfarlighet

Tjäle är den svenska beteckningen på frusen jord. När vatten fryser till is sker en volymutvidgning av jorden, detta fenomen kallas *tjällyftning*. När isen sedan smälter på våren sker istället en volymminskning av jorden, som kallas *tjällossning*. Tjälfarlighet är ett geotekniskt begrepp som beskriver hur kraftigt tjälen kommer visa sig för olika jordarter (Svensson 2008).

I Sverige når frosten bara ner till ett begränsat djup eftersom det endast råder säsongsvist tjäle. Det tjälfria djupet beskriver på vilket djup som marken är frostfri, dit tjälen maximalt kan nå. Tjälen varierar från cirka 1,1 meter i sydligaste Sverige upp till 2,5 meter längst upp i norr. Dessa siffror gäller för tjälfarliga jordarter, se beskrivning nedan, och extrema vintrar (Pettersson 2009).

Vanligtvis ligger grundvattennivån i Sverige på ungefär 1-2 meter under markytan, det är sällan som tjälen når ner så långt i södra Sverige och därför kommer inte grundvattnet att frysa i normala fall. Det är jordarnas kapillära stighöjd som är avgörande för jordarnas tjälfarlighet. När tjälen bildas i jorden uppstår ett flertal islinser i marken. När islinsen växer tar den vattenmolekyler från jordens *kapillärer*, sammanhängande öppna porer där merparten av fukttransporten sker. Det bildas då ett kapillärt undertryck som gör att mer vatten sugts till området. Islinsen fortsätter att växa genom att dra till sig vattenmolekyler och jorden expanderar ytterligare. Tjällyftning har uppstått.

Eftersom friktionsjordarterna har begränsad kapillärstighöjd innehåller dessa jordar lite vatten ovanför grundvattennivån, därför klassas dessa grovkorniga jordar som *icke tjälfarliga jordar*. Kohesionsjordar men också mellanjordar har stor eller relativt stor kapillär stighöjd och kommer innehålla mer vatten ovanför grundvattenytan och klassas därför som *tjälfarliga jordarter* (Svensson 2008).

#### 4.3.1 Tjälskydd

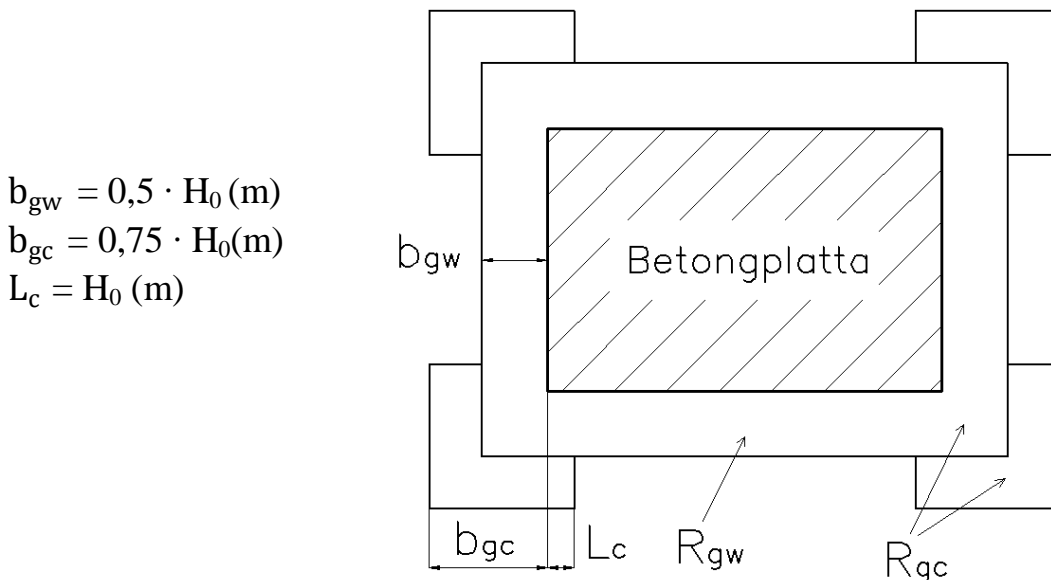
Det finns olika sätt att skydda grundkonstruktionen från tjälskador:

- Grundlägga på tjälfritt djup
- Minska isoleringen så att värmeläcket ökar och värmer marken under byggnaden
- Fylla ut med material som är icke tjälfarligt, till exempel makadam eller singel
- En utkragande isolering kring grundkonstruktionen för att förhindra avkylning ovanifrån

Att grundlägga på tjälritt djup kan vara väldigt kostsamt, framförallt på tjälfarlig jordart och vid kallt klimat. Med dagens ökade krav på värmeisolering är det andra alternativet svårt att motivera ur ekonomisk synpunkt.

Det bästa och effektivaste sättet att skydda sig mot tjälen är att använda sig av tjälofarligt utfyllnadsmaterial samt en utkragande tjälisolering som gör att tjälen får en ”längre väg att vandra” in till marken under byggnaden (Hagentoft, Att räkna på grunder - Tjälisolering av grunder 2010).

Nedan redovisas en modell för dimensionering av tjälisolering som framtagits av *Carl-Eric Hagentoft*, professor i byggnadsfysik *Chalmers Tekniska Högskola* och *Peter Roots*, PhD på *Statens Energimyndighet*. Modellen gäller för tjälfarlig och snöfri mark (Hagentoft, Att räkna på grunder - Tjälisolering av grunder 2010).



*Bild 4.1 Platta på mark med tjälisolering sett ovanifrån*

Värmemotståndet,  $R$ , i tjälisoleringen ska motsvara tjäldjupet,  $H_0$ , där värmemotståndet har enheten  $[(m^2K)/W]$  och tjäldjupet har enheten  $[m]$ , se nedanstående formel.

$$R_{gw} = R_{gc} = H_0$$

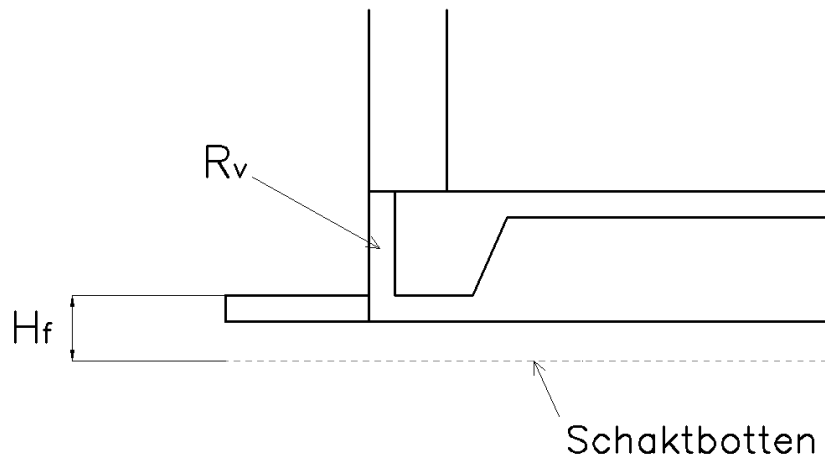


Bild 4.2 Platta på mark med tjälisolering i genomskärning

Kantbalkens värmemotstånd beräknas även den med hjälp av tjäldjupet, där värmemotståndet har enheten  $[(m^2K)/W]$  och tjäldjupet har enheten  $[m]$ .

$$R_v = 1,5 \cdot H_0$$

Enligt modellen ska grundläggningsdjupet,  $H_f \geq 0,4 \text{ m}$ .

*Beräkningsexempel:*

I nedanstående beräkningsexempel antas grundläggningen ske i Lund. Denna ort har valts för att exemplet ska stämma överens med avgränsningarna för denna rapport. Tjäldjupet i Skåne ligger på 1,1 – 1,2 m, och i Lund ligger tjäldjupet på 1,1 m. Isoleringstjockleken antas vara 100 mm, både i tjälisoleringen och i kantbalken. Med det antagandet tas sedan den maximala värmekonduktiviteten,  $\lambda$ , fram som isoleringsmaterialet bör ha. En kontroll utförs även ifall 50 mm tjock isolering är tillräcklig.

$$\lambda = \frac{d}{R} \quad [W/(mK)] \quad d \quad \text{Isoleringstjocklek}$$

$$H_0 = 1,1 \text{ m}$$

*Värmeisolering längs byggnadens sidor:*

Bredd  $b_{gw} = 0,5 \cdot 1,1 = 0,55 \text{ m}$

Värmemotstånd  $R_{gw} = 1,1 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$\rightarrow \lambda_{d=100 \text{ mm}} = 0,10/1,1 = 0,091 \text{ W/(mK)}$$

$$\rightarrow \lambda_{d=50 \text{ mm}} = 0,05/1,1 = 0,045 \text{ W/(mK)}$$

#### *Värmeisolering vid hörnen:*

Bredd  $b_{gc} = 0,75 \cdot 1,1 = 0,83 \text{ m}$

Längd  $L_c = 1,1 \text{ m}$

Värmemotstånd  $R_{gc} = 1,1 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$\rightarrow \lambda_{d=100 \text{ mm}} = 0,10/1,1 = 0,091 \text{ W/(mK)}$$

$$\rightarrow \lambda_{d=50 \text{ mm}} = 0,05/1,1 = 0,045 \text{ W/(mK)}$$

#### *Kantbalkens värmeisolering:*

Värmemotstånd  $R_v = 1,5 \cdot 1,1 = 1,65 \text{ (m}^2\text{K)/W}$

$$\rightarrow \lambda_{d=100 \text{ mm}} = 0,10/1,65 = 0,061 \text{ W/(mK)}$$

$$\rightarrow \lambda_{d=50 \text{ mm}} = 0,05/1,65 = 0,030 \text{ W/(mK)}$$

#### **4.3.1.1 Sammanställning**

Som isolering används vanligtvis EPS-cellplast (se kapitel 5.2.2) både i kantbalken och i den utkragande delen. EPS har  $\lambda = 0,038 \text{ W/(mK)}$ . Därför bör en tjocklek på 50 mm vara tillräcklig i den utkragande delen, medan 100 mm krävs i kantbalken.

När EPS-cellplasten placeras i marken finns dock en risk för att ytskiktet skadas då vassa stenar eller dylikt kan ligga och pressa mot isolerskivan. Det i sin tur kan medföra att EPS-cellplasten får en ökad uppsugningsförmåga (se kapitel 5.2.2), och på så vis försämra värmeisoleringsförmågan, eftersom vatten leder värme bättre än luft. För att vara på den säkra sidan och för enkelhetens skull, då isoleringen till plattan normalt beställs i tjockleken 100 mm, används ändå EPS-skivor 100 mm.



## 5 Material – funktion och egenskaper

En byggnadsdel ska utformas så att önskvärda funktioner tillgodoses så bra som möjligt. Funktioner som bärighet, värmeisolering och fuktskydd uppnås främst genom lämpligt materialval. Det finns en mängd mer eller mindre kända byggnadsmaterial. I detta kapitel kommer endast de vanligaste byggnadsmaterialen som kan vara relevanta för grunden att presenteras. Det kommer ge en bild av de valmöjligheter som finns för att uppnå önskvärda funktioner.

Först behandlas fukt och fukttransport i material i allmänhet. Sedan beskrivs byggmaterialen närmare var för sig, och i slutet av kapitlet redovisas tabeller med olika relevanta värden på materialens egenskaper.

### 5.1 Fukt i material

I princip alla porösa byggnadsmaterial innehåller fukt när de byggs in i en konstruktion. I vissa material är en del av vattnet kemiskt bundet och är avgörande för materialets funktion. Annat vatten är *förångningsbart*, även benämnt som *fysikaliskt bundet vatten*, som definieras som det vatten som avgår när materialet värms till 105 °C. När man pratar om fuktmängden i ett material i allmänhet menar man endast mängden fysikaliskt bundet vatten, det vill säga vatten som materialet kan *absorbera* (Nevander och Elmarsson 2006).

Fukthalten i material strävar alltid efter att vara i jämvikt med sin omgivning. Materialets omgivning kan vara luft, fritt vatten eller ett annat material. När materialet upptar fukt från omgivningen kallas det *uppfuktning* eller *absorption*. Om materialet avger fukt till omgivningen kallas det *uttorkning* eller *desorption*. När materialet befinner sig i jämvikt med omgivningen upptas lika mycket vatten som det avges (Nevander och Elmarsson 2006). Hur denna jämvikt uppnås ska behandlas i kommande kapitel, 5.1.2, 5.1.3 och 5.1.4. Men först redovisas kortfattat porernas storlek och betydelse.

#### 5.1.1 Porositet

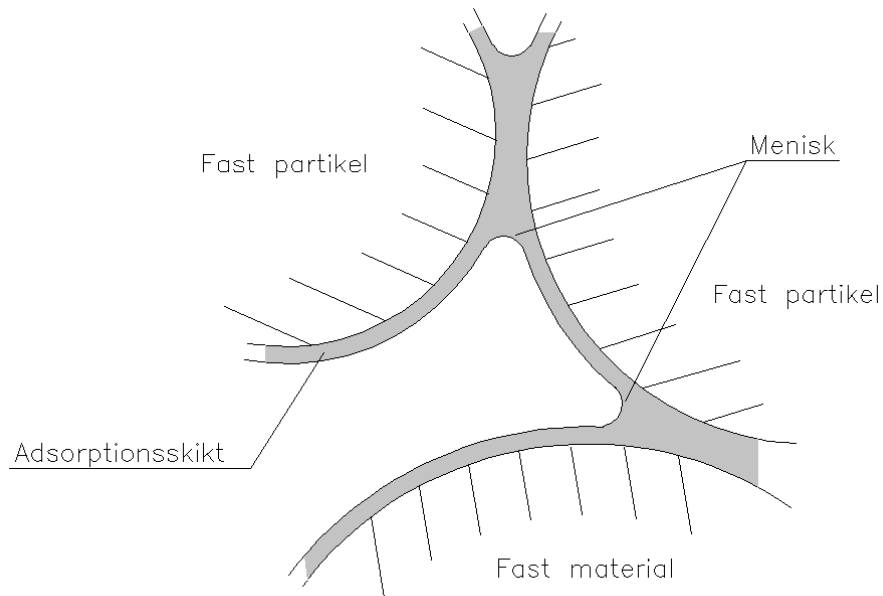
Porositeten och porstorleksfördelningen har stor betydelse för fuktegenskaperna i ett material. Det finns öppna och slutna porer som bägge bidrar till en lägre densitet. Öppna porer bidrar även till luft- och fukttransport vilket de slutna porerna inte gör. Stora öppna porer skapar möjlighet för snabb transport av luft, vattenånga och vatten. Små öppna porer binder vatten bättre men transporten går långsammare på grund av stort flödesmotstånd i de trånga kapillärena.

- *Gelporer* är 1 – 7 nm (nm =  $10^{-9}$  m) vilket är 3 – 20 gånger större än diametern på en vattenmolekyl. Molekylerna blir så hårt bundna att de inte bidrar till fukttransporten. Vid normal luftfuktighet är dessa porer redan vattenfyllda.
- *Kapillärporer* är sammanhängande porer med storleken 0,1 – 100  $\mu\text{m}$  ( $\mu\text{m} = 10^{-6}$  m). Här sker största delen av fukttransporten i materialet, och det sker genom kapillärkondensation och kapillärsugning, se kap 5.1.2 och 5.1.3. När alla gel- och kapillärporer är vattenfyllda är materialet *kapillärmättat*.
- *Luftporer* är enstaka större porer som ofta är sammanbundna med kapillärporsystemet. De är för stora för att ha tillräcklig sugkraft och bidrar därför inte till fukttransporten. De förblir luftfyllda så länge materialet inte är *vattenmättat* även kallat *vakuummättat*. Detta kan endast ske genom experimentell metod där ett prov placeras i vakuum för att sedan sänkas ner i vatten där samtliga porer är vattenfyllda (Burström 2008).

### 5.1.2 Material i kontakt med fuktig luft

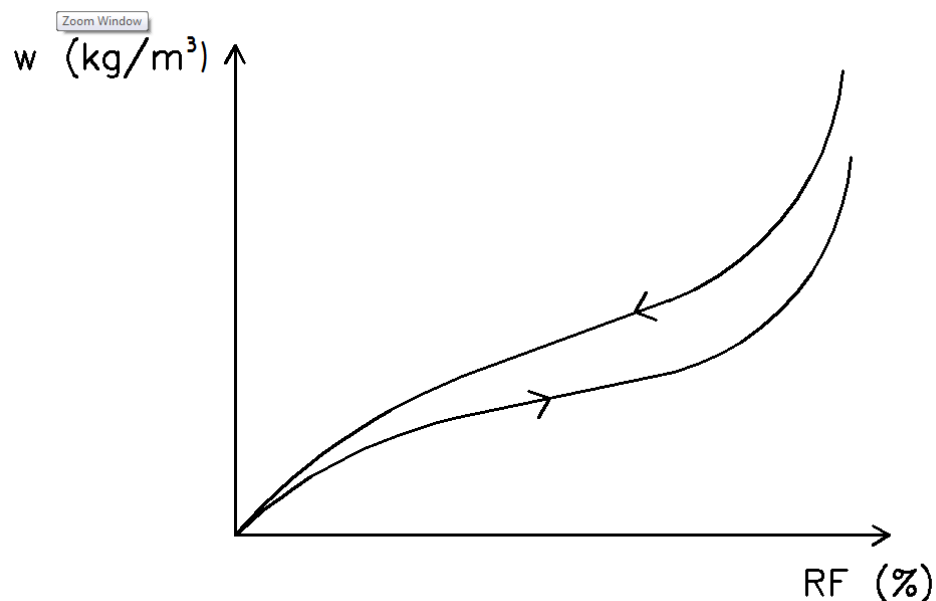
När man pratar om fuktutbyte mellan ett material och fuktig luft använder man begreppet *hygroskopisk* fukt. Ett starkt hygroskopiskt material, som till exempel betong, kan ta upp stora mängder vatten direkt från luften. Det hygroskopiska området ligger mellan 0 – 98 % RF. Därefter utgår man från att luften har 100 % RF och då dominerar en annan form av vattentransport som gör att materialet kan absorbera betydligt större mängd vatten. Vid låga RF absorberas vattnet genom adsorption och vid höga RF genom kapillärkondensation, se nedan (Sandin 1996).

*Adsorption* uppstår på grund av att den fria ytan på porväggarna inne i materialet har ett energiöverskott som drar till sig vattenmolekyler för att minska överskottet. När adsorptionsskiktet endast är ett fåtal vattenmolekyler tjockt uppträder det inte som normalt vatten. Men när molekyllantalet och tjockleken ökar bildas en vattenyta, som i sin tur bildar så kallade menisker inne i kapillärerna. En menisk är en krökt vattenyta som med hjälp av sin form attraherar vattenmolekyler. Denna process kallas *kapillärkondensation* (Burström 2008).



*Bild 5.1 En förstord och förenklad skiss på ett adsorptionsskikt där menisker bildats inne i porerna*

En *jämviktskurva* eller *sorptionskurva* visar sambandet mellan luftens RF och materialets fukthalt då de befinner sig i jämvikt. Jämviktsfukthalten skiljer sig beroende på om man utgått från ett torrt eller ett fuktigt material. Ett torrt material som fuktas upp till jämviktstillstånd, får en *absorptionskurva*. Om materialet istället är fuktigt från början och torkar ut tills jämvikt råder så visas detta i en *desorptionskurva*. Kurvorna är likartade men tester har visat att desorptionskurvan ger något högre materialfukthalt än absorptionskurvan vid samma RF (Burström 2008).



*Bild 5.2 Sorptionskurva respektive desorptionskurva*

### 5.1.3 Material i kontakt med fritt vatten

När ett torrt material sätts i direkt kontakt med fritt vatten sprids vattnet i porsystemet genom kapillära krafter. Materialets kontaktyta blir snabbt vattenmättat, vilket skapar en stor differens mellan fuktmängden vid kontaktytan och en bit in i materialet. Fukten fortsätter då att vandra inåt för att jämna ut differensen. Ju längre in i materialet fukten kommer desto långsammare går fukttransporten på grund av tyngdkraften som verkar på vattnet. Detta gör att de finare kapilläerna med starka sugkrafter tar över fukttransporten. Dessa har ett högt flödesmotstånd som också medverkar till att transporten går långsammare (Nevander och Elmarsson 2006).

### 5.1.4 Material i kontakt med material

När två material med samma temperatur och olika fuktillstånd läggs intill varandra kommer en fukttransport börja för att jämna ut fuktdifferensen. Jämvikt råder då materialen har samma fuktillstånd, det vill säga kvoten av den verkliga fukthalten och fukthalten vid vattenmättat tillstånd. Materialens olika fuktegenskaper kan därför medföra att det material som från början hade högst fuktinnehåll absorberar vatten från det torrare materialet (Sandin 1996).

## 5.2 Värmeisolering

Materialets värmeisolerande förmåga beror av densitet, och ytornas absorptions- och emissionsegenskaper för strålning. Material som till största delen består av luft är användbara till att isolera med. Isolering med låg densitet ger låg värmekonduktivitet, men bara till en viss gräns. Luft fungerar bra som värmeisolering på grund av dess låga värmekonduktivitet (Petersson 2009).

Vid temperaturskillnader i materialet börjar luften röra på sig och för på så vis med sig värme från den varma till den kalla delen av poren, så kallad konvektion. Om densiteten i ett isolermaterial är för låg,  $< 30 - 60 \text{ kg/m}^3$  beroende på porstorleksfördelning, eller om stora porer är frekvent förekommande får luften mer utrymme att röra sig på. Detta gör att värmekonduktiviteten ökar på grund av ökad konvektion och strålning inne i porerna. Materialets värmeisoleringsförmåga påverkas även av fukthalten eftersom vatten har en högre värmekonduktivitet än luft (Burström 2008).

För att ta med den ekonomiska aspekten i valet av värmeisoleringsmaterial till grundkonstruktionen redovisas prisjämförelse i kapitel 5.2.4.

### 5.2.1 Mineralull

Mineralull är ett samlingsnamn för glas- och stenull. Densiteten varierar mycket beroende på var i byggnaden den ska placeras. I väggar ligger den normalt mellan  $20-50 \text{ kg/m}^3$ . I tak och under platta på mark där bärförmågan

har betydelse krävs ett hårdare material och densiteten kan då uppgå till 100-200 kg/m<sup>3</sup>. Materialet har hög luft- och ånggenomsläpplighet, se tabell 5.2 (Petersson 2009).

### 5.2.2 Cellplast

De två vanligast typerna av cellplast är *extruderad polystyren (XPS)* och *expanderad polystyren (EPS)*. Båda varianterna består av expanderad styrencellplast, men deras tillverkningsprocess skiljer sig åt, vilket ger materialen lite olika egenskaper.

*Extruderad polystyren (XPS)* består av mestadels slutna porer, och det får en relativt hög hållfasthet. Den stora mängden slutna porer, som inte medverkar till kapillärsugning, ger XPS goda egenskaper ur energi- och fuktsynpunkt, se tabell 5.3 respektive tabell 5.2. De slutna porerna gör även materialet lufttätt, och ånggenomsläppligheten blir liten (Petersson 2009).

XPS-cellplast anges vanligtvis efter korttidstryckhållfastheten, exempelvis som *Isovers* benämning XPS 500 SL-A-N (500 kPa) där de efterföljande bokstäverna även beskriver falstyp, jäsgas och om flamskyddsmedel använts.

*Expanderad polystyren (EPS)* har en större mängd öppna porer, vilket gör den sämre ur fuktsynpunkt eftersom den får en viss uppsugningsförmåga. Den får också generellt sämre hållfasthet än XPS cellplast, se tabell 5.1. Trots en större mängd öppna porer i EPS gör skivornas täta yta att materialet anses vara lufttätt och ha liten ånggenomsläpplighet, se tabell 5.2. Men om ytan skadas kan materialet lättare ta åt sig fukt och följden blir en försämrad värmeisoleringsförmåga och eventuella fuktskador uppstår (Sentler 2010).

EPS-cellplast anges vanligtvis efter dess karakteristiska tryckhållfasthet, exempelvis EPS 80 (80 kPa).

### 5.2.3 Cellglas

Cellglas är tillverkat av ett glasaktigt material där råvarorna bland annat är kiselsand och kalksten. Kolpulver tillsätts, och glaset expanderar genom uppvärmning vilket skapar en cellstruktur med en stor mängd slutna porer. Detta gör att materialet inte släpper igenom fukt, och fungerar dessutom värmeisolerande. Materialet är ganska sprött men har en god tryckhållfasthet och används främst i konstruktioner som utsätts för belastningar (Petersson 2009).

### 5.2.4 Kostnadsjämförelse av värmeisoleringsmaterial

Prisuppgifter på stenull, EPS och XPS är hämtade från *Saint-Gobain Isover AB* prislista, uppdaterad 8 februari 2010. Kostnad på cellglas har erhållits

genom prisförfrågan hos tillverkningsföretaget *Pittsburgh Corning AB*. Alla priser är exklusive moms.

Värmeisolering Markskivor	Format [mm]	Tillåten Långtidsbel. [kPa]	Kostnad [kr/m <sup>2</sup> ]	λ -värde [W/(mK)]
Stenull – 100 mm	1200 x 1000	-	204,40	0,038
EPS – 100 mm	1200 x 600	24/30	66,50	0,038
XPS – 100 mm	1185 x 585	90	162,80	0,036
XPS – 100 mm	1185 x 585	225	250,20	0,036
Cellglas	1200 x 600	400	362,00	0,041

Tabell 5.1 Prisjämförelse på isoleringsmaterial

### 5.2.5 Kommentarer

För att mineralull ska fungera som ett värmeisolerande material måste den kompletteras med en ångspärr. Detta för att förhindra fukt- och lufttransport genom materialet vilket annars skulle försämra den värmeisolerande förmågan.

Både Cellglas, EPS- och XPS-cellplast anses vara tillräckligt fukt- och lufttäta för att bibehålla sin värmeisolerande förmåga utan en kompletterande fuktspärr. Cellplasten är dock inte diffusionstät, och det finns vissa tveksamheter omkring materialets kapillärbrytande förmåga. Vid tveksamheter om förekomsten om fukt- och lufttransport skulle även dessa sistnämnda material kunna kompletteras med en ångspärr.

XPS-cellplast finns i högre hållfasthetsklasser än EPS-cellplast. Cellglas har högst tryckhållfasthet men en mycket låg draghållfasthet, vilket presenteras närmare i kapitel 8.3.2.

## 5.3 Diffusion- och ångspärr

En diffusionsspärr ska förhindra fukttransport som sker genom vattenångsdiffusion, vattenmolekyler som strävar efter att utjämna ånghalten i luft. Om diffusionsspärren är lufttät kallas det för en ångspärr. Då hindras även fukttransport genom fuktkonvektion, när en gasblandning transporterar fukt genom att förflytta sig på grund av tryckskillnad. En ångspärr behövs bland annat för att skydda organiska material från fukt, men även för att skydda isoleringsmaterial från en försämrade isoleringsförmåga (Nevander och Elmarsson 2006).

*Polyetenfolie* är den vanligaste formen för ångspärr, ofta benämnd som PE-folie. Den normala tjockleken är 0,20 mm. Ånggenomgångsmotståndet, Z, är större än  $2 \cdot 10^6$  s/m, vilket ofta är högre än vad som krävs för att förhindra

fuktskador på grund av diffusion. Det finns snarare en risk för att orsaka fuktskador genom att stänga in byggfukt som inte kan torka ut (Nevander och Elmarsson 2006).

*Luftspaltbildande plastskivor* används ibland som fuktspärr mellan golvbeläggning och betongplatta. Detta skapar ett högt ånggenomgångsmotstånd, större än  $10 \cdot 10^6$  s/m. Luftspalten är kapillärbrytande och kan ventileras vid behov, som tillåter eventuell byggfukt kan torka ut (Nevander och Elmarsson 2006).

## 5.4 Betong

Betong är idag ett av de vanligaste förekommande byggnadsmaterial. Det karakteriseras som ett material med hög tryckhållfasthet och är ofta förekommande i stommen, däribland i husgrunden som ska tåla stora laster. Drag- och böjhållfastheten är däremot avsevärt sämre och betongen måste därför kompletteras med armeringsjärn (Burström 2008).

### 5.4.1 Betongens beståndsdelar

Betong består av cementpasta (cement och vatten), ballast (sten, grus och sand) och eventuella tillsatsmedel. Genom att proportionera betongens olika beståndsdelar får man olika hållfastheter och egenskaper (Burström 2008).

*Cement* är betongens bindemedel som hårdnar genom reaktion med vatten. När denna reaktion sker utvecklas värme, en så kallad exoterm reaktion. Cementpastans egenskaper beror på andelen vatten i förhållande till cement och beskrivs genom vattencementtalet, vct. Ett högt vct-värde betyder att vattenmängden är stor. Det gör betongen lätt att gjuta, men ger en ökad risk för sprickbildning på grund av krympning vid hållfasthetstillväxten när vattnet avgår. Det skapar dessutom en större mängd kapillärporer när det överblivna vattnet torkat ut, vilket ökar betongens permeabilitet och minskar hållfastheten.

Det är i allmänhet cementpastan som avgör betongens hållfasthet eftersom ballasten normalt är den starkare delen av beståndsdelarna. Cementpastans hållfasthet i sin tur bestäms till stor del av vattencementtalet, vct (Burström 2008).

Kvaliteten på *ballasten* är viktig. Om den till exempel är förorenad med organiskt material fördröjs hårdnandet av betongen och dess slutliga hållfasthet blir lägre (Burström 2008).

*Tillsatsmedel* används för att förändra egenskaperna i betongen. Det vanligaste tillsatsmedlet är *flyttillsatsmedel* som förändrar betongens konsistens. Det gör att betongen blir lättare att gjuta och vattenhalten kan därför minskas med 10 – 30 %. Detta ökar betongens hållfasthet och risken för sprickbildning minskar. Med flyttillsatsmedel är det möjligt att göra en betong bearbetbar med mycket lägre vct än normalt. Däremot är flyttiden svår att beräkna och det förekommer att betongen förlorar sin önskvärda konsistens innan gjutningen är avslutad. Det finns inget som tyder på att tillsatsmedlet skulle ha negativa effekter på betongens kvalitet på lång sikt. Ett annat tillsatsmedel som också minskar behovet av en hög vattenhalt i betongen är *vattenreducerande* eller *plasticerande* medel.

Därutöver finns en rad andra tillsatsmedel som används för att anpassa betongen till olika ändamål. För att göra betongen mer frostbeständig tillsätts *luftporbildande* tillsatsmedel. *Acceleratorer* används för att påskynda betongens hållfasthetstillväxt, medan *retarderande* medel istället saktar ner betongens tillstyvningsprocess och försenar starten av hållfasthetstillväxten (Ljungkrantz, Möller och Petersons 1997).

#### 5.4.2 Beständighet och fuktpåverkan

Betong är alltid mer eller mindre vattengenomsläpplig, se tabell 5.2, vilket till stor del beror på cementpastans vct. När mycket höga krav ställs på betongens täthet används vct < 0,45 (Ljungkrantz, Möller och Petersons 1997), om vct > 0,60 ökar istället permeabiliteten kraftigt (Burström 2008). Betongens täthet kan i vissa konstruktioner, som till exempel i en källarvägg, vara viktig för att förhindra en ökad fukthalt i byggnaden. Men tätheten har också stor betydelse för betongens beständighet, se nedan.

Betong bryts normalt ner genom *karbonatisering*, vilket påskyndas av en hög permeabilitet. Det sker genom att koldioxid tränger in och reagerar med den kalciumhydroxid som bildades vid cementreaktionen. Hållfastheten försämras och när koldioxiden når in till armeringen, som hittills varit skyddad av betongens basiska miljö, börjar järnet att rosta och hållfastheten försämras ytterligare. Armeringskorrosionen leder så småningom även till sprickbildning vid armeringen på grund av korrosionsprodukternas volymökning (Burström 2008).

Permeabiliteten ökar även risken för *kemiska angrepp*. Den starkt basiska cementpastan förstörs om den utsetts för syror. Om betongen är tät sker angreppet från ytan, men om permeabiliteten är stor sker angreppet mer djupgående och skadorna blir mer omfattande.

Om vatten tillåts strömma igenom betong löses kalciumhydroxiden upp. Betongen kalkurlakas och hållfastheten kan försämras avsevärt (Burström 2008).



*Frostsprängning* uppstår när vatten inne i betongen fryser till is, då vattnets volym ökar med 9 %. Risken minskas genom att använda cementpasta med lågt vct och genom att blanda i luftporbildande tillsatsmedel (Burström 2008).

#### 5.4.3 Klassificering av betong

Klassificeringen av betong bestäms i huvudsak efter dess tryckhållfasthet som även ger ett bra mått på betongens kvalitet i övrigt. Dess beständighet, täthet och permeabilitet är exempel på viktiga egenskaper som följer ungefär samma kurva som hållfastheten (Burström 2008).

Tidigare betecknades betongens hållfasthet med K följt av en siffra . Då skedde provtryckningar av betong i kuber med 150 mm sidor. Numera sker provtryckningen både på en kub, med samma storlek som tidigare, och på en cylinder med diametern 150 mm och höjden 300 mm. Cylinderns hållfasthet uppgår till ca 85 % av kubens. Därför anges nu klassificeringen av två siffervärden och bokstaven K har bytts ut mot C. De nya klasserna heter C16/20, C20/25, C25/30, C28/35, C30/37, C32/40, C35/45, C40/50, C45/55, C50/60, C54/65, C55/67, C58/70 och C60/75. Siffervärdet står för den lägsta karakteristiska hållfastheten [MPa]. Det första talet är resultatet för provning av cylinderhållfastheten och det andra talet är för provning av kubhållfastheten. Betongen har dessutom klassificeringar för bland annat beständighet, tillverkning och konsistens (Burström 2008).

#### 5.4.4 Kommentarer

För grundkonstruktioner är kvalitetsklassen C20/25 vanlig (Sentler 2010), vilket är den näst lägsta kvalitetsklassen. Permeabiliteten i denna betongkvalitet kan därför antas vara relativt hög. Detta bör finnas i åtanke vid utformning av en grundkonstruktion då förekomsten av fukt ska beaktas.

Ur hållfasthetssynpunkt bör kvalitetsklassen vara tillräcklig, då även de lägre kvalitetsklasserna har förhållandevis hög hållfasthet. Det är svårt att finna ett annat material som kan ersätta betongen ur detta avseende.

## 5.5 Samlade materialvärden

I tabellerna nedan redovisas ånggenomsläppligheten och värmekonduktiviteten för olika material. Även andra material som inte tagits upp i detta kapitel, *Material – funktion och egenskaper*, redovisas för att ge en jämförelse.

Material		Ånggenomsläpplighet, $\delta v$ [ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]			
		Fuktområde RF %			
		35 – 70 %	70 – 80 %	80 – 90 %	90 - 95 %
Betong	C 30/37	0,12 – 0,25	0,20 – 0,50	0,55 – 1,60	1,75 – 4,8
	C 45/55	0,12 – 0,25	0,15 – 0,50	0,45 – 0,90	1,65 – 2,0
Cementbruk		0,2	0,2	0,5	1
Lättbetong	500 kg/m <sup>3</sup>	21, - 2,8	2,1 – 2,8	2,9 – 3,5	4,6 – 4,7
Furu, gran	⊥ fibrer	0,2 – 0,9	0,5 – 2,0	1,0 – 3,5	
Spånskiva	V313	0,13 – 0,33	0,13 – 0,33	0,2 – 0,6	0,9 – 1,1
Cellplast EPS	20 kg/m <sup>3</sup>	0,9 – 1,4	0,9 – 1,4	0,9 – 1,4	0,9 – 1,4
Cellplast XPS	25 kg/m <sup>3</sup>	0,17 – 0,23	0,17 – 0,23	0,17 – 0,23	0,17 – 0,23
		Riktvärden för ånggenomsläpplighet, $\delta v$ [ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ]			
Fasadtegel		2,7 – 5,5			
Mineralull	15 kg/m <sup>3</sup>	15 - 24			
	200 kg/m <sup>3</sup>	8 - 12			
Cellglas		0,004			
Asfalt		0,0001			
Luft*	stillastående	25			

Tabell 5.2 Ånggenomsläpplighet för olika material  
(Nevander och Elmarsson 2006)

\* (Sandin 1996)

Riktvärden för värmekonduktivitet, $\lambda$		
Material		$\lambda$ [W/mK]
Aluminium		170
Koppar		370
Betong		1,2
Lättbetong	500 kg/m <sup>3</sup>	0,15
Tegelmurverk		0,6
Cementbruk		1
Furu, gran	⊥ fibrer	0,13
	∥ fibrer	0,3
Glas		0,7
Mineralull	lätt	0,038
	tung	0,04
Cellplast	EPS	0,038
	XPS	0,036
Hasopor <sup>*</sup>		0,102 – 0,110
Cellglas <sup>**</sup>		0,041 – 0,050
Luft <sup>***</sup>		0,026
Vatten <sup>***</sup>	20 °C	0,6

Tabell 5.3 Värmekonduktivitet för olika material  
(Nevander och Elmarsson 2006)

\* (Byggforsk - Norwegian Building Research Institute 2005)

\*\* (Pittsburgh Corning Scandinavia AB 2010)

\*\*\* (Sandin 1996)

## 6 Kantbalken

Idag finns en mängd olika utföranden och varianter på kantbalkar. Detta kapitel beskriver kantbalkens funktion, med fokus på värmeisoleringsförmågan, och redovisar de vanligast förekommande varianterna. Endast varianter för platta på mark, med betong och underliggande isolering i form av cellplast, kommer att tas upp.

I kapitel 8.1 kommer de energitekniska skillnaderna att redogöras, med teoretiska beräkningar och illustrationer på värmefflöde och temperaturvariation genom konstruktionen.

Vanligtvis leds tyngden från huset ner i grundens ytterkanter, om inte eventuella hjärtväggar används. Därför krävs en kantförstyvning längsmed plattans kanter. Ifall byggnaden har hjärtvägg eller bärande pelare så krävs lokala förstävningar under plattan.

Laster från väggar och tak skapar ett moment i betongplattan. Betongplattan måste därför vara tillräckligt stark för att kunna ta upp och fördela lasterna över hela plattan. På så vis blir påfrestningarna i marken mer jämnt fördelade och sättningar undviks.

Kantbalken ska uppfylla många krav och därför måste en del kompromisser göras. Kantbalken ska minimera köldbryggan som uppstår i kantförstyvningen och i övergången mellan vägg och grund. Den ska ha hög hållfasthet för att klara av lasterna från byggnaden. Den måste även ha en stark förankring med yttervägg och övrig grundkonstruktion för att huset ska fungera som en helhet, bland annat för att förhindra en ojämn sättning, se diskussion i kapitel 8.3.1. För att skydda fasadbeklädnaden från stänk måste sockelhöjden ha en viss höjd. Slutligen bör den vara ekonomiskt försvarbar och lätt att utföra (Wetterlund, o.a. 2010).

Bredden på plattans kantförstyvning bestäms med hänsyn till väggens bredd och markens bärighet. Om väggens laster blir excentriska i förhållande till kantbalken kommer det uppstå ett lokalt moment i kantbalken som i sin tur ökar påfrestningen i plattan. Om marken har väldigt dålig hållfasthet eller om stora laster leds ner till grunden kan man behöva komplettera kantförstyvningen med en bredare grundsula för att minska trycket på marken.

### 6.1 Köldbrygga

En köldbrygga uppstår alltid där det finns en oregelbundenhet i konstruktionen. I grundkonstruktionen utgör kantbalken en köldbrygga som är svår att minimera då den är en kompromiss av många funktioner (Wetterlund, o.a. 2010). Den går inte att eliminera helt då den utgör fasadens kanter och hörn.

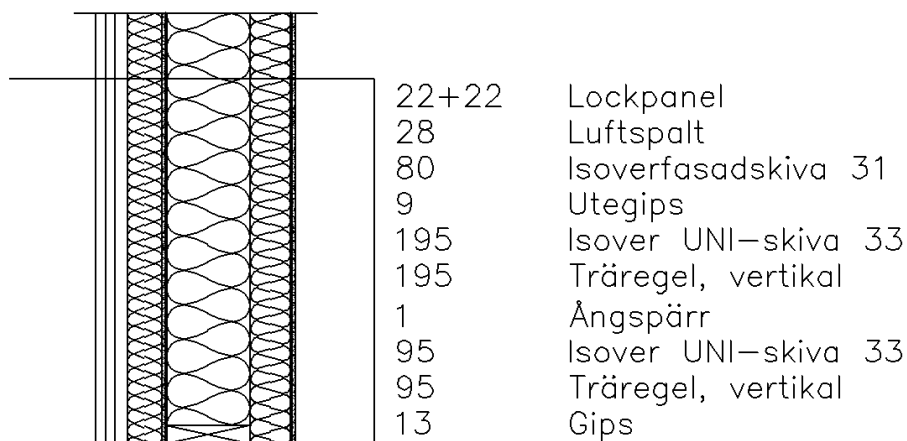
Det finns två sorters köldbryggor, punktformiga och linjeformiga. Punktformiga köldbryggor betecknas med  $\chi$  (chi-värde) och de linjeformiga betecknas med  $\Psi$  (psi-värde) (Boverket 2008). I grundens kantbalk uppstår normalt linjeformiga köldbryggor. Punktformiga köldbryggor uppstår vid genomföringar i konstruktionen, som till exempel en spik eller rördragning. I kapitel 8.1 beaktas inte punktformiga köldbryggor utan endast linjeformiga köldbryggor.

Köldbryggan i kantbalken kommer påverka en stor del av grundplattan. Hur stor del av plattan som påverkas av köldbryggan beror på köldbryggans storlek och grundplattans utformning. Men i stora slängar är det 40-70 % av plattan som påverkas av köldbryggan (Hagentoft, Platta på mark - kantbalk 2010). Kantbalkens köldbrygga kan i extrema fall öka grundens totala U-värde med 100 % (Wetterlund, o.a. 2010).

## 6.2 Prefabricerade kantelement

Kantelementutbudet på marknaden är stort och alla företag som säljer grundkonstruktionslösningar har sina varianter. Detta kapitel avgränsas till de vanliga kantelementstyperna som L-element och U-element (även benämnt som dubbla L-element). Dessa kantelement tillverkas i cellplast, vanligtvis EPS, med olika kvaliteter beroende på vilka laster de dimensioneras för. Det är vanligt förekommande att utsidan på kantelementet putsas i efterhand eller bekläms med exempelvis en fibercementskiva för att minska risken för att kantelementet skadas av yttre påfrestningar.

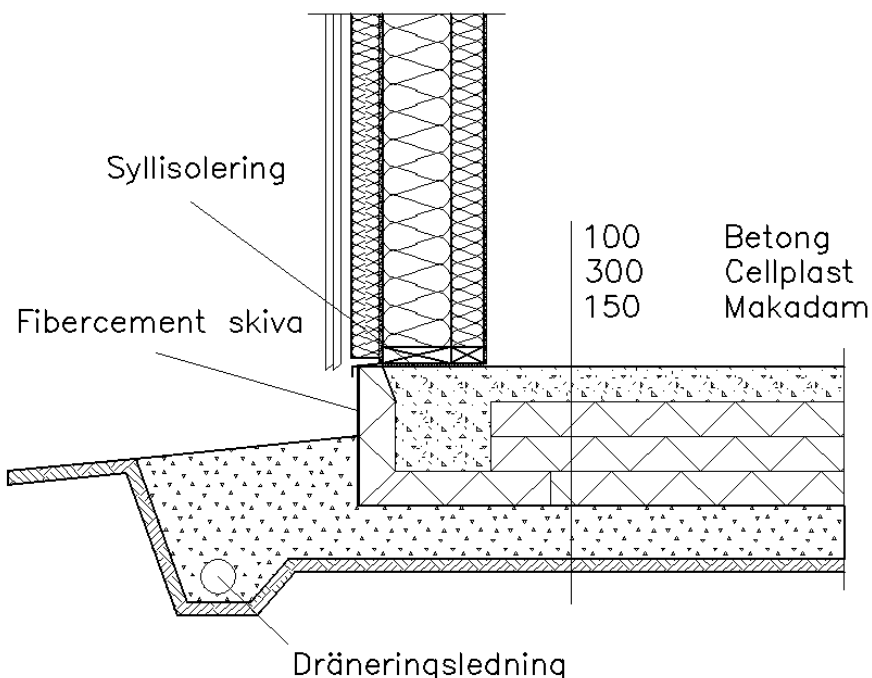
Nedan följer en kort beskrivning med bilder för respektive kantelement. Gemensamt för alla bilder är att samma yttervägg används. Väggen är tagen ifrån *Isover* och har beteckningen *Y:202* (Isover 2007). Valet har fallit på just denna vägg för att den har ett lågt U-värde på 0,10 W/(m<sup>2</sup>K) och skulle därför kunna användas i ett passivhus. Denna vägg används vid illustrationer över de olika kantbalkarnas utformning samt vid energiberäkningarna i kapitel 8.1. Väggens utformning ses i bild 6.1.



*Bild 6.1 Utvald väggkonstruktion för kommande beräkningar och diskussioner*

### 6.2.1 L-element

L-element är det mest förekommande kantelementet men är inte ur energisynpunkt det ultimata då det ger upphov till en kraftig köldbrygga. En stor fördel med användandet av L-element är att det både är en färdigmonterad sockel med cellplast och att det samtidigt fungerar som en gjutform för betongen. Detta gör att utförandet av betongplattan är relativt enkel och snabb. Platta på mark med L-element skapar en enhetlig betongplatta, vilket är bra ur hållfasthetssynpunkt.

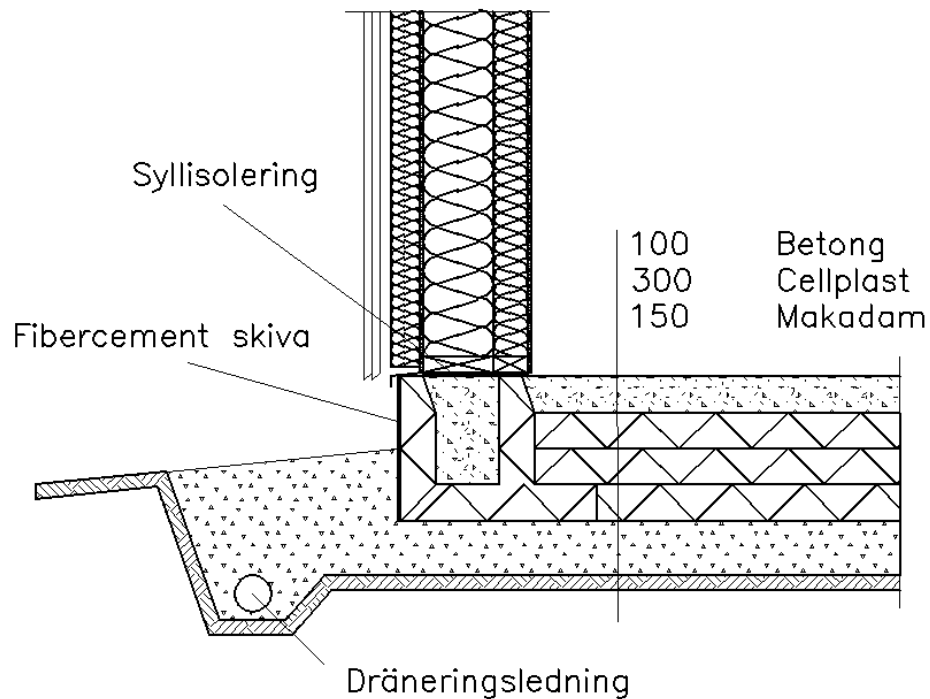


*Bild 6.2 Illustration på uppbyggnad med ett L-element*

### 6.2.2 U-element

U-element är uppbyggda på ett liknande sätt som L-element, men med ett ”bakomliggande” cellplastskikt som skiljer av kantbalken mot resten av plattan, med syftet att bryta köldbryggan tidigare än L-elementet.

Då kantbalken är avskild från den övriga betongplattan kommer vissa svårigheter med hållfastheten att uppstå. Detta gör att kantbalken kommer fungera mer som en avskild balk än som en enhetlig konstruktion tillsammans med betongplattan. Kantbalken måste på något sätt förankras med den övriga plattan. Detta görs vanligtvis med armering som går från plattan igenom den mellanliggande isoleringen till kantbalken.



*Bild 6.3 Illustration på uppbyggnad med ett U-element*

## 7 Konstruktionsval

Syftet med denna rapport är att belysa alternativa lösningar på platta på mark där köldbryggan minimeras. Två grundkonstruktioner av typen platta på mark med god värmeisoleringsförmåga har valts ut. Konstruktionernas för- och nackdelar kommer att beaktas och sedan jämföras med varandra. Som referensobjekt i beräkningar och diskussioner används den vanligt förekommande platta på mark med betong och underliggande EPS-cellplast i kombination med L-element.

När vi började leta bakgrundsfakta till vår rapport fann vi att många passivhus med platta på mark var uppförda med U-element. Detta verkade uppenbarligen vara ett alternativ eftersom ett flertal, sinsemellan oberoende, passivhustillverkare hade valt denna lösning.

Vi fann ett flertal företag som erbjöd färdiga grundpaket med U-element och med 300 mm isolering under plattan. Så småningom fann vi en lösning som var speciellt utvecklad för passivhus av företaget *Supergrund AB*, tagen ur deras serie U-min grund. Grundplattan är av betong med 400 mm underliggande värmeisolering. Vi tyckte det verkade vara en bra lösning ur energisynpunkt och en av de bäst isolerande grunderna med betongplatta som vi fann på den svenska marknaden.

På vår jakt efter den andra grunden till vår jämförelse letade vi först efter en platta på mark med betongplatta med något annat isoleringsmaterial än cellplast. Vi hittade exempel på plattor som hade använt materialet *Hasopor*. *Hasopor* är ett lösffyllnadsmaterial av återvunnet glas som är isolerande och fungerar samtidigt som ett dränerande och kapillärbrytande skikt (Byggforsk - Norwegian Building Research Institute 2005). Dock ansåg vi att den isolerande förmågan hos detta material inte var tillräckligt för passivhus, jämför med värden i tabell 5.3.

Sedan fann vi *Koljerntekniken* som företaget *MRD Sälj och Bygg AB* tillverkar. Denna konstruktion består av cellglasblock som läggs i flera skikt och som sammanfogas med stålprofiler. Cellglas är ett material med många goda egenskaper och slutresultatet blir en energieffektiv, fukt-, brand- och radonsäker grundkonstruktion. Dock är det ett väldigt dyrt material, främst på grund av en mycket energikrävande tillverkning.

*Supergrund AB* och *MRD Sälj och Bygg AB* erbjuder två nytänkande lösningar, där fokus lagts på energi och fukt. Genom granskning, diskussion och jämförelse kan för- och nackdelar lyftas fram för respektive grundkonstruktion, vilket kan ge en bild av dagens alternativ av platta på



mark. Nedan följer en beskrivning av företagen och dess konstruktionslösningar som valts ut för närmare granskning.

## 7.1 U-min grund

*Supergrund AB* är ett svenskt företag med huvudsäte i Norrtälje, företaget bildades 2005. De tillverkar och levererar energieffektiva villagrunder, däribland konstruktioner ur serien U-min grund.

*Supergrund AB* är ett etablerat företag på den svenska byggmarknaden och finns över hela landet. För att minska transportsträckan har ett flertal tillverkande fabriker etablerats och företaget har idag 4 olika tillverkningsfabriker runt om i Sverige. Cellplasten som *Supergrund* bygger sina grunder av är EPS-isolering (*Supergrund AB u.d.*).

U-min grund är en patenterad konstruktion och utgör en serie för de grundkonstruktionsvarianter som *Supergrund AB* säljer och omfattar 5 olika grundlösningar:

- Energieffektiv grund
- Lågenergi grund
- Passivhus grund
- Pålad grund
- Lastkompenserad grund

Eftersom denna rapport syftar till att utreda grundkonstruktioner i passivhus, kommer rapporten avgränsas till enbart *Passivhus grund*. Vid benämning av *U-min grund* i denna text är det varianten *Passivhus grund* som avses. (*Supergrund AB u.d.*).

### 7.1.1 Passivhus grund

Kantelementet är uppbyggt av isolering EPS-300 för att bättre klara de laster som den utsätts för. Grunden skapar en enskild betongbalk i grundens ytterkanter som är avskild från den övriga plattan. Den ”inre” isoleringen i kantelementet gör att köldbryggan bryts på insidan av betongbalken. Detta resulterar i att temperaturen på väggarna och golvet inte sjunker lika mycket som vid platta på mark med L-element. Under betongplattan används ett 400 mm tjockt lager isolering av klassen EPS-80, en lägre hållfasthet, då inte denna utsätts för samma laster som kantelementet (*Supergrund AB u.d.*).

Hur bred betongbalken i kantbalken ska vara anpassas för hur husväggen är utformad. Detta för att undvika excentrisk last (*Supergrund AB u.d.*).

Betongbalken och plattan hålls ihop med ett så kallat U-sinus järn. Bild 7.1

visar U-min grund från *Supergrund AB*, och hur armeringen är placerad. Bredden på kantbalken har anpassats efter den väggkonstruktion som valts ut från *Isover*.

I betongbalken gjuts fyra armeringsstänger in för att ta dragkrafter i betongen, två stänger i botten av balken och två i toppen. U-sinus järnet går sedan igenom den inre cellplasten och fästes i armeringsnätet i betongplattan (Hossein 2010).

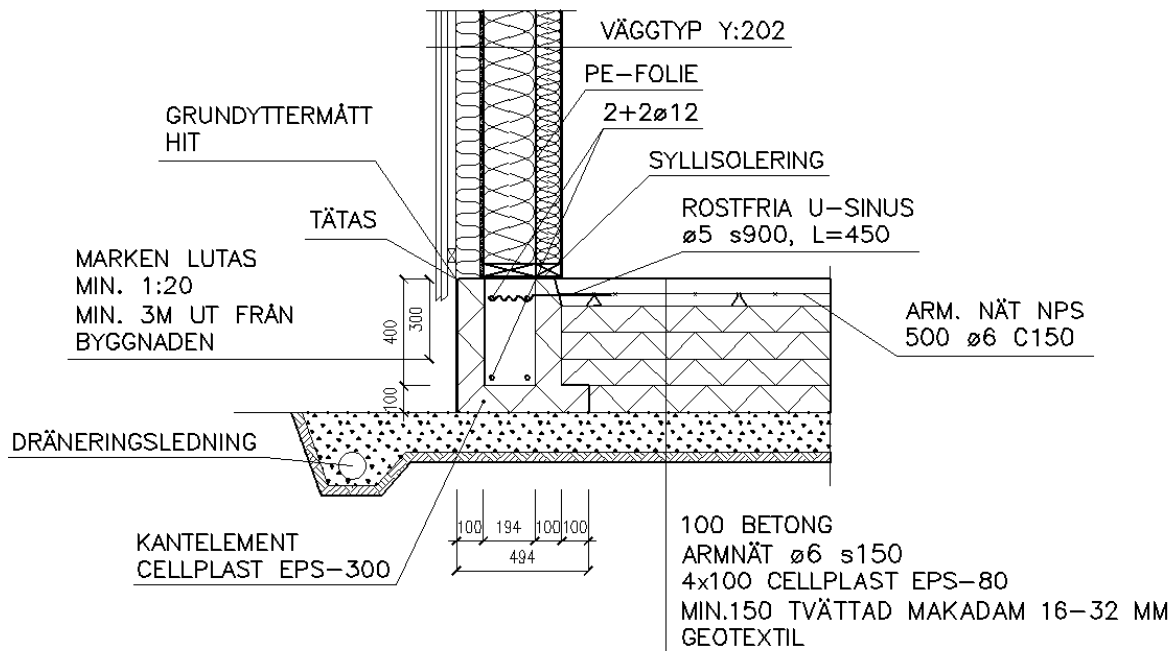


Bild 7.1 U-min grund

## 7.2 Koljerntekniken

Koljerntekniken är ett byggsystem, som utarbetats av *Åke Mård* som har världspatent på tekniken där element av Foamglas sammanfogas med plåtprofiler. Foamglas är ett material vars egenskaper kan uppfylla både den värmeisoleringsförmåga och tryckhållfasthet som krävs för en normal villa. *Åke Mård* och hans två söner Kim och Jim driver entreprenadföretaget *MRD Sälj och Bygg AB* där de använder sig av Koljerntekniken, till både tak, väggar och grund. Företaget som startades 1992 har nu fyra anställda och omsätter ca 7,5 miljoner per år (Mård 2010).

Byggsystemet med dess material är ett intressant alternativ till mer klassiska metoder. I detta kapitel kommer både Koljerntekniken och materialet Foamglas att presenteras.

## 7.2.1 Foamglas

Foamglas är ett företagsnamn på materialet cellglas som presenterades mycket kort under kapitel 5.2.3 *Värmeisolering*. I detta kapitel kommer materialet att beskrivas närmre, och fortsättningsvis kommer benämningen Foamglas att användas. Foamglas utvecklades av franska företaget *Saint Gobain* som sedan sålde det till *Pittsburgh Corning* i USA på 1930-talet. *Pittsburgh Corning* har numera ett flertal tillverkningsfabriker runt om i världen, varav en är belägen i Belgien där *MRD Sälj och Bygg AB* får sina Foamglasblock tillverkade (Mård 2010).

### 7.2.1.1 Tillverkning

Foamglas innehåller cirka 66 % returglas från bilrutor, fönsterrutor, TV- och dataskärmar. Detta blandas och smälts samman med kiselsand, kol och mineraler i en ugn med 1250°C, vilket bildar en homogen glasmassa. När glasmassan kylts ner och stelnat mals den ner till fina partiklar. Det gör även spillmaterial från slutbearbetningen och en viss del av det återvunna glaset. De fina partiklarna blandas sedan med kol och läggs i formar som passerar genom en cellbildningsugn på 850°C. Därefter kyls materialet försiktigt varpå blocken sågas till önskade dimensioner och förpackas. Det slutliga materialet har hög porositet med nästan enbart slutna porer vilket skapar ett lätt, lufttätt men samtidigt ett förhållandevis trycktåligt material (Pittsburgh Corning Scandinavia AB 2009). För miljöaspekter, se bilaga 1.

### 7.2.1.2 Materialegenskaper

Densitet och hållfasthet skiljer sig något åt beroende på vad produkten ska användas till. Vid produktion av platta på mark används nedanstående produkter där *Floor board T4+* normalt är tillräckligt för en vanlig villa (Mård 2010):

Produkt-namn	Användningsområde	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Tryck-hållfasthet [kN/m <sup>2</sup> ]	Värme-konduktivitet [W/(mK)]
<i>Floor board T4+</i>	Golvisolering	115	630 - 660	0,041
<i>Floor board S3</i>	Golvisolering med höga krav på tryckhållfasthet	135	1010 - 1050	0,045
<i>Floor board F</i>	Golvisolering med mycket höga krav på tryckhållfasthet	165	1610 - 1670	0,050

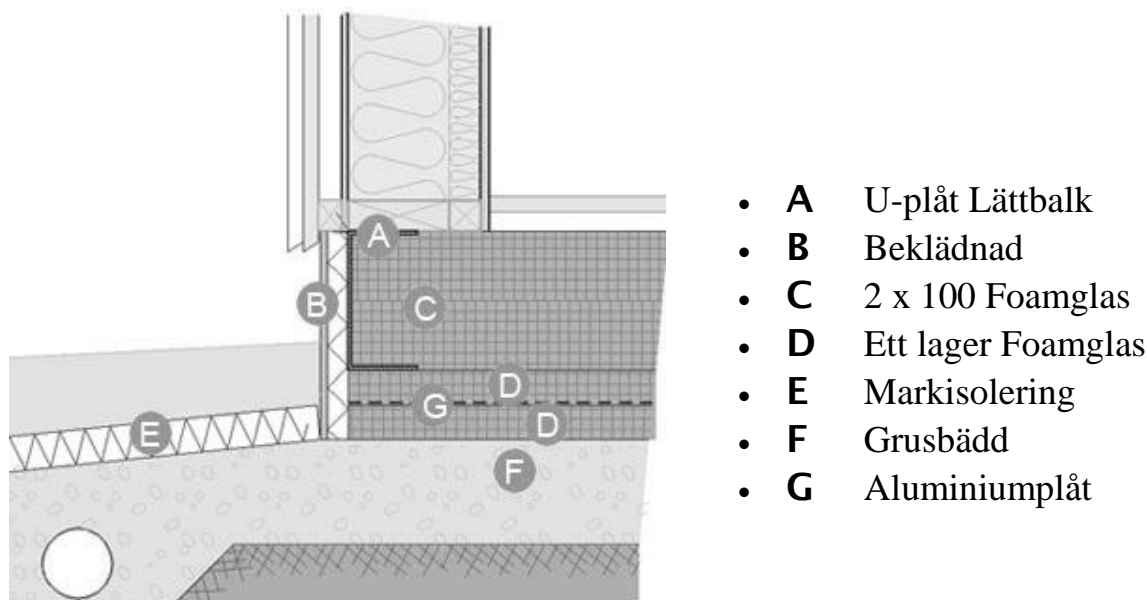
Tabell 7.1 Materialegenskaper

(Pittsburgh Corning Scandinavia AB 2010)

Foamglas som är ett oorganiskt material och gjort på glas är icke brännbart. Det är ett brandskyddande material och kan varken förstärka eller underhålla branden, inga antändliga vätskor eller gaser kan passera igenom. Det icke organiska materialet angrips heller inte av skadedjur, mikroorganismer eller bakterier, vilket ger det en lång livslängd. Glas har små termiska och inga fuktbetingade rörelser, och gör Foamglas relativt dimensionsstabil (Pittsburgh Corning Scandinavia AB u.d.).

Glas är ett mycket sprött material, har en mycket låg draghållfasthet och är därmed känslig för exempelvis böjmoment (Hellqvist 2010).

### 7.2.2 Produktion av grundkonstruktion med Koljerntekniken



*Bild 7.2 Principiell uppbyggnad av platta på mark med Koljerntekniken (MRD Sälj och Bygg AB u.d.)*

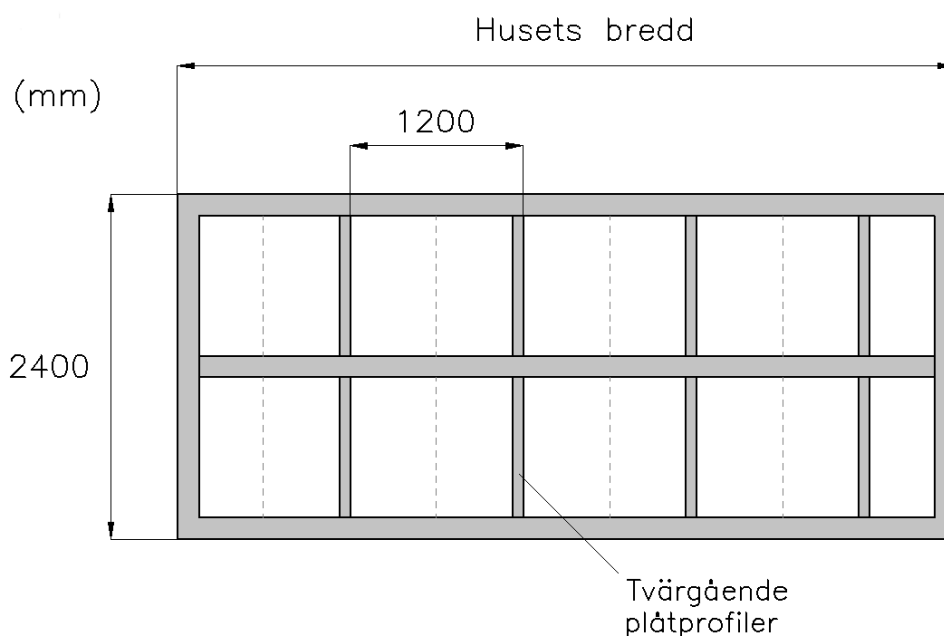
Grundplattan läggs på ett lager av makadam som fungerar som ett dränerande skikt. När makadamskiktet avjämnats läggs först två lager med 50 mm tjocka Foamglasblock ut, utan fogar. På så vis kan skivorna lättare återvinnas. Trots Foamglasets egenskaper kan fukt och radon tränga igenom på grund av skarvarna mellan skivorna. Därför placeras en aluminiumplåt emellan de två första Foamglasskikten som ett extra skydd, vilket gör att resterande material ovanför alltid har inneklimat. Aluminiumplåtarna läggs omlott med ca 100 mm och däremellan läggs en bitumenfog för att få skarvarna täta (Mård 2010).

Därefter placeras större, sammanhängande element av Foamglas, ut. Elementen är 2400 mm breda och 200 mm tjocka och byggs upp av flera lager Foamglasskivor. Längden på elementen är oftast lika med husets bredd. Runt elementets kanter, samt längsgående i mitten, är plåtprofiler monterade som

håller samman Foamglasskivorna i elementet. Dessutom finns tvärgående plåtprofiler placerade mellan varannan Foamglasskiva som är 600 x 1200 mm och går i riktning med elementets bredd, se bild 7.4. Foamglasskivorna i elementet är 100 mm tjocka och ligger därför i två lager för att bilda ett 200 mm tjockt element. Om en grundkonstruktion med tjockare isolering än totalt 300 mm önskas, så används vanligtvis en ökad tjocklek på de två understa lagren med Foamglas (Hellqvist 2010).



*Bild 7.3 Grundläggning med Koljerntekniken (MRD Sälj och Bygg AB u.d.)*



*Bild 7.4 Principskiss på ett element som utformats enligt Koljerntekniken, sett ovanifrån*

I det dränerande skiktet läggs rör för vatten och avlopp som ska vidare upp igenom plattan till vardera enhet inne i det framtida huset. Hålen för rördragning görs tillräckligt stora för att rören lätt ska kunna träs igenom aluminiumplåt- och Foamglasskivor, vilket även skapar möjligheten för finjustering av rörens placering i efterhand. Tätning utförs sedan genom att fylla ut hålen med en lättare form av betong, *Senad betong* eller *Frigolit betong*. *Senad betong* är en form av lättbetongmassa/skumbetong vilket innehåller luftbubblor, och *Frigolit betong* är betong som blandats med cellplast. Runt rören sätts en radonkrage i anslutning till aluminiumplåten där skarven tätas med bitumen (Mård 2010).

## 8 Granskning av U-min grund och Koljerntekniken

I detta kapitel kommer de båda grundkonstruktionerna, U-min grund och Koljerntekniken att granskas. I jämförelsen har båda grundkonstruktionerna isoleringstjockleken 400 mm. Egna beräkningar och resonemang kommer att användas för att belysa grundkonstruktionernas svagheter respektive styrkor. Först kommer grundtypernas värmeisoleringsförmåga att granskas, och därefter beaktas fuktsäkerheten.

Denna rapport syftar till att jämföra konstruktionerna ur fukt- och energisynpunkt. Men då många aspekter spelar in vid valet av en konstruktion så beaktas även hållfastheten genom diskussion, och kostnaden genom en enkel kostnadsberäkning, för respektive grund. För att studera hållfastheten i en grundkonstruktion krävs dock mycket omfattande beräkningar. Sådana beräkningar kommer inte att utföras på grund av rapportens avgränsningar. Slutligen skrivs en sammanställning, där grunderna slutligen jämförs.

### 8.1 Värmeisolerande förmåga

Beräkning av U-värdet för de olika varianterna av platta på mark har gjorts för hand. Som utgångspunkt för beräkning av U-värdet har boken *Värme och Fukt (1996)*, skriven av *Kenneth Sandin* använts. För beräkning av de linjeformiga köldbryggornas  $\Psi$ -värde har beräkningsprogrammet *HEAT2* använts. Förutsättningar och resultat från programmet kommer att redovisas, men inte beräkningsgången. Illustrationer av temperaturdifferensen i kantelementet är även de gjorda i *HEAT2*.

Ett riktvärde på det totala U-värdet på svenska passivhus, med beaktande av köldbryggor, bör vara  $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (Jansson 2008). Det är därför rimligt att ha som målsättning att grundkonstruktionen bör ha ett U-värde  $< 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , inklusive köldbryggor.

#### 8.1.1 Förenkling av indata

Värmeflödesförhållandet för platta på mark är tredimensionellt och icke stationärt. Under byggnadens brukstid, kommer en mängd värme lagras i marken under byggnaden. Detta gör att byggnadens värmeflöde inifrån och ut kommer att vara fördröjt i förhållande till temperaturdifferensen mellan inne- och uteluften. Det är därför inte omöjligt att värmeflödet är som störst några veckor efter att maximal temperaturdifferens uppnåtts.

För att göra en exakt beräkning måste flödet över hela golvet tas med. Då en punkt nära väggen har mycket mindre avstånd till uteluften än en punkt mitt under plattan, kommer värmemotståndet nära ytterväggen bli mycket lägre.

För att underlätta detta har BBR förenklat förhållandena i marken genom att ange ”praktiskt tillämpbara värmemotstånd” för jorden under olika delar av

grunden. Värden på dessa värmemotstånd bestäms av vilken jordart som finns runt byggnaden och hur långt från ytterväggen plattans olika delar är. Plattan delas in i 3 olika zoner, 0 - 1 meter, 1 - 6 meter och > 6 meter från ytterväggen. Det förutsätts alltid att det inte ligger snö på marken, då detta ökar värmemotståndet. Marken antas även vara frostfri då detta minskar värmemotståndet avsevärt (Sandin 1996).

### 8.1.1.1 Antaganden

I grunden uppstår linjeformiga köldbryggor längs med kantbalken. I dessa fall är det tillräckligt att utföra tvådimensionella beräkningar för att få tillförlitliga resultat. För detta ändamål utnyttjas handberäkningar och *HEAT2*. Det antas även att stationärt tillstånd råder. Med stationärt tillstånd menas att ingenting ändras med tiden. Värmeflödet,  $q$ , som är en funktion av temperaturdifferensen och materialets värmemotstånd, är då konstant genom ett material vid en viss temperaturdifferens.

I dessa beräkningar har morän,  $\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$  (Sandin 1996), antagits som jordmån kring byggnaden. Ett lager med 150 mm makadam antas, vilket gör att ett värmemotstånd på  $R = 0,20 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  kan tillgodoräknas (Sandin 1996). Då betongplattan som antas i beräkningsexemplen är rektangulär med måtten 10 x 15 meter, kommer endast zonerna 0 - 1 och 1 - 6 meter att användas. Samtliga kantelement har en utkragande tjälisolering på 0,55 meter som dimensionerats enligt beräkningsexemplet i kapitel 4.3.1.

Det tas ingen hänsyn till ofrivillig ventilation, det vill säga konstruktionerna antas vara helt täta. Försämrade värmeisolering av täthet på grund av brister i utförandet under produktionen förekommer, men vid uppförande av passivhus kontrolleras detta noga då slutproduktens täthet testas. Lite luftläckage kan dock alltid antas uppstå i praktiken och det är därför viktigt att påpeka att teoretiska beräkningsresultat ofta blir bättre än i verkligheten.

Följande mått är samma för alla olika kantelement:

$A_{\text{tot}} = 150 \text{ m}^2$  med delareorna  $A_{0-1} = 46 \text{ m}^2$  och  $A_{1-6} = 104 \text{ m}^2$  samt att omkretsen  $P = 50 \text{ m}$ .

$\lambda$ -värdet för cellglas är hämtat från *Pittsburgh Corning* medan  $\lambda$ -värdet för betong och cellplast är hämtade från *Fukthandbok – Praktik och Teori* (2006), skriven av *Lars Erik Nevander* och *Bengt Elmarsson*. För marken är de praktiskt tillämpningsbara värmemotstånden,  $R_p$ , hämtade från *Värme och Fukt* (1996), skriven av *Kenneth Sandin*.

Värmeövergångsmotstånden på byggnadens insida och utsida är  $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  respektive  $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\text{K)/W}$  (Sandin 1996).



$$R = \frac{d}{\lambda} [(m^2K)/ W] \text{ (Sandin 1996)}$$

$$U = \frac{1}{R_{si}+R_1+R_2+\dots+R_N+R_{se}} [W/(m^2K)] \text{ (Sandin 1996)}$$

Ovanstående formel för U-värdet är enbart tillämpligt för beräkning av en enskild zon i grundplattan. För beräkning av grundens totala U-värde för flera zoner används formeln:

$$U_{muk} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i}{A_{tot}} [W/(m^2K)]$$

För att kunna få fram ett U-värde med hänsyn till köldbryggorna används nedanstående formel från BBR 16 (exklusive punktformiga köldbryggor) (Boverket 2008):

$$U_m = \frac{\sum_{i=1}^n U_i A_i + P\Psi}{A_{tot}} [W/(m^2K)]$$

$U_{muk}$     Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar utan köldbryggor [W/(m<sup>2</sup>K)]

$U_m$         Genomsnittlig värmegenomgångskoefficient för byggnadsdelar med köldbryggor [W/(m<sup>2</sup>K)]

$U_i$         Värmegenomgångskoefficient för byggnadsdel  $i$  [W/(m<sup>2</sup>K)]

$A_i$         Area för byggnadsdel  $i$  [m<sup>2</sup>]

$P$          Längd på linjära köldbryggan [m]

$\Psi$          Linjära köldbryggan [W/(mK)]

### 8.1.2 L-element (300 mm cellplast)

Zon	Materialsikt	Beteckning	Värmemotstånd, R [(m <sup>2</sup> K)/W]
<b>0-1 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	100 mm Betong	R <sub>btg</sub>	0,06
	300 mm Cellplast	R <sub>cpl</sub>	7,89
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	0,70
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		<b>ΣR<sub>0-1</sub></b>	<b>9,02</b>
$U_{0-1} = \frac{1}{\Sigma R_{0-1}} = \frac{1}{9,02} = 0,111 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			
<b>1-6 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	100 mm Betong	R <sub>btg</sub>	0,06
	300 mm Cellplast	R <sub>cpl</sub>	7,89
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	2,20
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		<b>ΣR<sub>0-1</sub></b>	<b>10,52</b>
$U_{1-6} = \frac{1}{\Sigma R_{1-6}} = \frac{1}{10,52} = 0,095 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Tabell 8.1 L-element

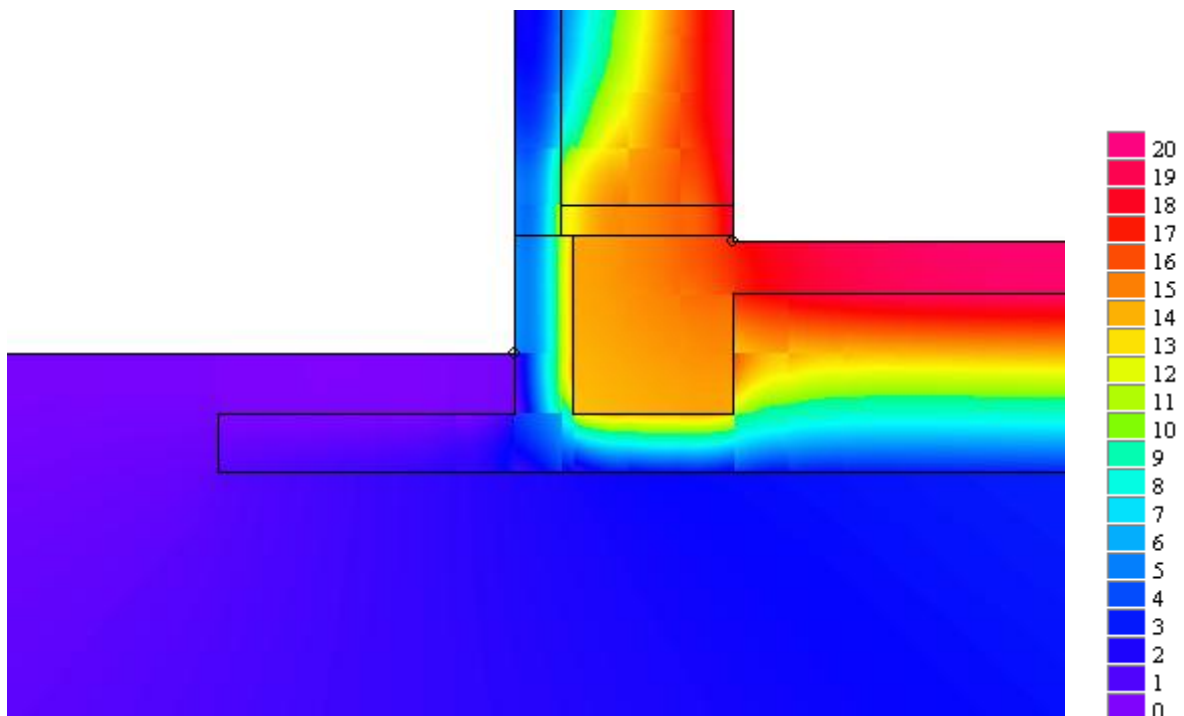
U-värde utan köldbryggor:

$$U_{muk} = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6}}{A_{tot}} = \frac{46 * 0,111 + 104 * 0,095}{150} = \mathbf{0,099 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

*U-värde med köldbryggor:*

Genom beräkningar i *HEAT2* är kantbalkens linjära köldbrygga beräknat till  $\Psi = 0,115 \text{ W}/(\text{mK})$ .

$$U_m = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6} + P * \Psi}{A_{tot}} = \frac{46 * 0,111 + 104 * 0,095 + 50 * 0,115}{150} = 0,138 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$



*Bild 8.1 Värmeutbredning med L-element. Färgerna visar temperaturskalan*

### **8.1.2.1 Sammanställning**

På grund av köldbryggan kommer U-värdet på grunden att öka med ungefär 40 %, vilket är avsevärt. Som bilden visar kommer köldbryggan göra att hela kantbalken värms upp och sänker golvtemperaturen vilket i sin tur ökar energiförbrukningen.

### 8.1.3 U-min grund (400 mm cellplast)

Zon	Materialsikt	Beteckning	Värmemotstånd, R [(m <sup>2</sup> K)/W]
<b>0-1 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	100 mm Betong	R <sub>btg</sub>	0,06
	400 mm Cellplast	R <sub>cpl</sub>	10,53
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	0,70
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		<b>ΣR<sub>0-1</sub></b>	<b>11,66</b>
$U_{0-1} = \frac{1}{\Sigma R_{0-1}} = \frac{1}{11,66} = 0,086 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			
<b>1-6 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	100 mm Betong	R <sub>btg</sub>	0,06
	400 mm Cellplast	R <sub>cpl</sub>	10,53
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	2,20
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		<b>ΣR<sub>0-1</sub></b>	<b>13,16</b>
$U_{1-6} = \frac{1}{\Sigma R_{1-6}} = \frac{1}{13,16} = 0,076 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$			

Tabell 8.2 U-element

*U-värde utan köldbryggor:*

$$U_{muk} = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6}}{A_{tot}} = \frac{46 * 0,086 + 104 * 0,076}{150} = \mathbf{0,079 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

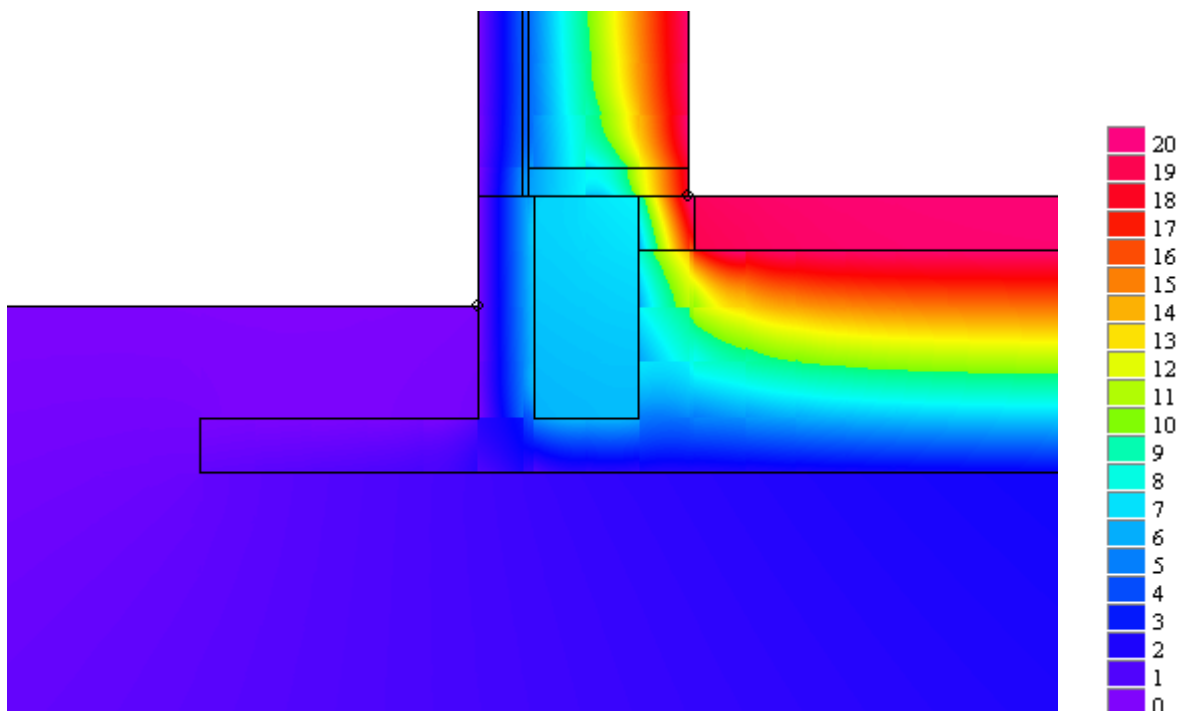
*U-värde med köldbryggor:*

För att beakta den extra värmeledningsförmågan i armeringen genom cellplasten som bryter köldbryggan, har två beräkningar utförts:

1. Armeringen genom den inre cellplasten försumrades. Resultatet blev  $\Psi = 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$ .
2. Armeringen i cellplasten beaktades genom att räkna ut andelen armering och andelen cellplasten. Därefter beräknades ett gemensamt  $\lambda$ -värde för cellplasten *och* armeringen, detta gav  $\lambda = 0,042 \text{ W}/(\text{mK})$ , se bilaga 2. Resultatet på köldbryggan blev även i detta fall  $\Psi = 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$ .

Det vill säga armeringen är energimässigt försumbar,  $\Psi = 0,045 \text{ W}/(\text{mK})$ .

$$U_m = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6} + P * \Psi}{A_{tot}}$$
$$= \frac{46 * 0,086 + 104 * 0,076 + 50 * 0,045}{150} = \mathbf{0,094 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$



*Bild 8.2 Värmeutbredning med U-min grund. Färgerna visar temperaturskalan*

### *8.1.3.1 Kommentar*

Det finns en risk för att cellplasten kan suga åt sig fukt och därmed försämra värmeisoleringsförmågan på sikt.

### *8.1.3.2 Sammanställning*

Med U-elementet i U-min grund har köldbryggan mer än halverats jämfört med L-elementet, och inverkan på grundens U-värde blir bara cirka 19 % vilket är en klar förbättring. Bild 8.2 visar hur köldbryggan bryts tidigare än i hus med L-element vilket ökar golvtemperaturen och minskar energiförbrukningen. Ett mycket gott resultat erhålls.

### 8.1.4 Koljerntekniken

Det finns olika  $\lambda$ -värde beroende vilka krav som ställs på hållfastheten, se tabell 7.1. För mindre byggnader brukar vanligtvis *Floor board T4+* vara tillräcklig. Då denna rapport syftar till platta på mark med småhus där lasterna inte är så stora utgår dessa beräkningar därför från denna, med  $\lambda = 0,041$  W/(mK).

#### 8.1.4.1 Koljerntekniken 400 mm

Zon	Materialsikt	Beteckning	Värmemotstånd, R [(m <sup>2</sup> K)/W]
<b>0-1 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	2 x100 mm Foamglas	R <sub>Foam1</sub>	4,88
	0,3 mm Aluminiumplåt	R <sub>alu</sub>	~ 0
	2x100 mm Foamglas	R <sub>Foam2</sub>	4,88
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	0,70
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		$\Sigma R_{0-1}$	<b>10,83</b>
$U_{0-1} = \frac{1}{\Sigma R_{0-1}} = \frac{1}{10,83} = 0,092 \text{ W/(m}^2\text{K)}$			
<b>1-6 m</b>	Inside	R <sub>si</sub>	0,13
	2 x100 mm Foamglas	R <sub>Foam1</sub>	4,88
	0,3 mm Aluminiumplåt	R <sub>alu</sub>	~ 0
	2x100 mm Foamglas	R <sub>Foam2</sub>	4,88
	150 mm Makadam	R <sub>p</sub>	0,20
	Morän	R <sub>p</sub>	2,20
	Utsida	R <sub>se</sub>	0,04
		$\Sigma R_{0-1}$	<b>12,33</b>
$U_{1-6} = \frac{1}{\Sigma R_{1-6}} = \frac{1}{12,33} = 0,081 \text{ W/(m}^2\text{K)}$			

Tabell 8.4 Koljerntekniken 400 mm

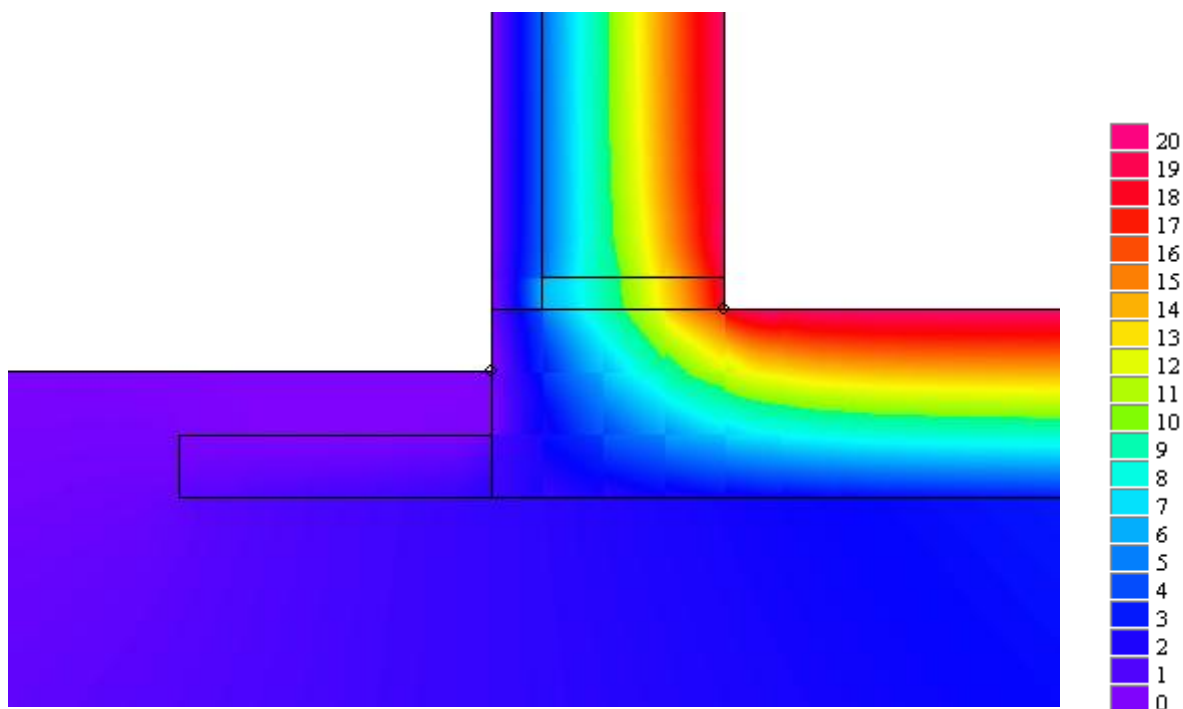
*U-värde utan köldbryggor:*

$$U_{muk} = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6}}{A_{tot}} = \frac{46 * 0,092 + 104 * 0,081}{150} = \mathbf{0,084 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

*U-värde med köldbryggor:*

Genom beräkningar i U-norm är kantbalkens linjära köldbrygga beräknat till  $\Psi = 0,015 \text{ W}/(\text{mK})$ .

$$U_m = \frac{A_{0-1}U_{0-1} + A_{1-6}U_{1-6} + P * \Psi}{A_{tot}} = \frac{46 * 0,119 + 104 * 0,101 + 50 * 0,015}{150} = \mathbf{0,089 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$



*Bild 8.3 Värmeutbredning med Koljerntechniken. Färgerna visar temperaturskalan*



#### 8.1.4.2 Kommentar

Ingen hänsyn har tagits till de plåtprofiler som håller samman Foamglasblocken. De U-formade plåtarna är tunna och finns placerade runt om hela plattan samt igenom mitten som ett kors. Det teoretiska  $\Psi$ -värdet, och därmed även det totala U-värdet, antas därför vara något lägre än i verkligheten.

Eftersom Foamglas inte suger åt sig fukt, kan grundkonstruktionen antas behålla sin värmeisoleringsförmåga med tiden.

#### 8.1.4.3 Sammanställning

I detta fall ökar köldbryggan U-värdet med 5 %, vilket är minimalt. Eftersom grundplattan endast består av ett enda material, bortsett från fogarna i aluminium, uppstår ingen köldbrygga på grund av högre värmeledning vid kanterna. Köldbryggan beror istället på formen av plattan det vill säga dess kanter och hörn. Syllan mellan yttervägg och platta påverkar också hur stor köldbryggan blir, men i detta fall är det minimalt under förutsättning att anslutningen är väl tätad. Ett mycket gott resultat erhålls.

### 8.2 Fuktsäkerhet

Som framgått i denna rapport beror fuktsäkerheten i grunden till stor del på dess förmåga att förhindra markfukt från att sugas upp i byggnaden, vilket säkerställs med hjälp av ett kapillärbrytande skikt. Även om den kapillärbrytande förmågan är uppfylld så kan vatten i ångfas transporteras genom de flesta porösa material. Genom beräkningar kan RF i betongplattans övre del tas fram, vilket sedan används för bedömning av fuktskaderisken i golvet. I detta kapitel redovisas en sådan beräkning med en kort tolkning av resultatet för U-min grund. Eftersom Foamglas i Koljerntekniken är ett lufttätt material så går det inte att utföra en sådan beräkning, fuktsäkerheten mot marken kommer istället endast att diskuteras.

#### 8.2.1 Fuktberäkningar för U-min grund

Som utgångspunkt för dessa beräkningar har *Fukthandbok – Praktik och Teori (2006)*, skriven av *Lars Erik Nevander* och *Bengt Elmarsson* använts. Beräkningsgången följer den som kan ses på sidorna 178-180 i boken. För detta exempel används samma värden som framgår i förutsättningarna i kapitel 8.1.

$L$	byggnadens längd [m]
$B$	byggnadens bredd [m]
$d_i$	tjocklek på underliggande värmeisolering [m]

$d$	ekvivalent jordtjocklek [m] (värmeisoleringens tjocklek uttryckt i meter jord)
$\lambda_i$	värmeledningsförmåga för värmeisolering [W/(mK)]
$\lambda$	jordens värmeisoleringsförmåga [W/(mK)]
$T_1$	årsmedeltemperatur, inomhus [°C]
$T_0$	årsmedeltemperatur, utomhus [°C]
$T_j$	temperatur på isoleringens undersida [°C]
$u_{mitt}$	relativ temperatur mitt under byggnaden
$\Delta T$	temperaturskillnad mellan inneluft och värmeisoleringens undersida [°C]

$$L = 15 \text{ m}$$

$$B = 10 \text{ m}$$

$$\rightarrow L/B = 1,5$$

$$T_1 = 20 \text{ °C}$$

$$T_0 = 7,5 \text{ °C (Nevander och Elmarsson 2006)}$$

$$\lambda = 2,3 \text{ W/(mK)}$$

$$\lambda_i = 0,038 \text{ W/(mK)}$$

$$d_i = 0,4 \text{ meter}$$

$$d = \frac{d_i \lambda}{\lambda_i} = \frac{0,4 * 2,3}{0,038} = 24,21 \text{ m}$$

$$d/B = \frac{24,21}{10} \approx 2,4$$

$u_{mitt}$  avläses i ett diagram som en funktion av  $L/B$  och  $d/B$ .

$$\rightarrow u_{mitt} = 0,18$$

$$u_{mitt} = \frac{T_j - T_0}{T_1 - T_0} \rightarrow T_j = u_{mitt} (T_1 - T_0) + T_0 = 0,18(20 - 7,5) + 7,5 = 9,75 \text{ °C}$$

$$\Delta T = T_1 - T_j = 20 - 9,75 = 10,25 \text{ °C}$$

Mättnadsånghalten är tabellvärden från Tabell 91.6, sidan 476 i *Fukthandbok – Praktik och Teori (2006)*.

$$RF = \frac{v_s(9,75)}{v_s(20)} = \frac{9,26}{17,28} = 53 \%$$

### 8.2.1.1 Kommentar

Samma beräkningar gjordes på en platta med 300 mm cellplast, detta gav ett resultat på RF = 54 % som även det är fullt godkänt.

Om cellplasten suger åt sig fukt försämras värmeisoleringsförmågan på sikt. Detta skulle medföra att temperaturskillnaden mellan mark och ovansida platta minskar, vilket i sin tur skulle höja RF i den övre delen av betongplattan. Det är dock osannolikt att RF skulle höjas till riskabla nivåer på grund av detta.

Det är viktigt att byggfukten från betongen torkar ut innan täta eller känsliga golv läggs ut.

### 8.2.1.2 Sammanställning

Värdet på RF = 53 % är mycket bra, då ett riktvärde enligt *Nevander och Elmarsson* är RF < 85 % vid golvbeläggning av många plastmattor, och RF < 80 % vid golvbeläggning av trä.

## 8.2.2 Fuktdiskussion för Koljerntechniken

Som framgår i kapitel 7.2.1.1 är Foamglas ett helt luft- och fukttätt material. Grundens fuktsäkerhet beror därför endast på om skarvar och håltagningar i konstruktionen tätas ordentligt. I Koljerntechniken fungerar den mellanliggande aluminiumplåten som fuktspärr vid skarvar och håltagningar. Aluminiumplåten täcker hela plattan och därmed alla skarvar. Håltagningar genom plåten tätas med en krage där sedan skarven mellan krage och aluminiumplåt tätas med bitumen. Det är därmed en mycket fuktsäker grundkonstruktion.

I motsättning till många andra porösa material innehåller Foamglas ingen fukt vid byggnation, och därför behöver ingen hänsyn tas till uttorkning av byggfukt.

## 8.3 Diskussion om hållfasthet

Som tidigare nämnts så syftar denna rapport till att jämföra två befintliga varianter av platta på mark ur fukt- och energisynpunkt. Dock måste andra aspekter beaktas, däribland hållfastheten. Därför hålls en diskussion nedan om eventuella tveksamheter gällande grundkonstruktionen med U-min grund och Koljerntechniken. Denna diskussion är framtagen mellan författarna av denna rapport och *Lars Sentler*, professor i byggnadskonstruktion på *Lunds Tekniska Högskola*. Diskussionen kompletteras med enklare beräkningar.

På grund av att kantbalken ligger på ett elastiskt underlag, i form av cellplast, blir beräkningar väldigt komplicerade menar *Lars Sentler*. På grund av dels avgränsningar och tidsbegränsning av denna rapport samt att författarna saknar tillräcklig kunskap för dessa konstruktionsberäkningar, har därför inte beräkningar utförts. En sådan fullständig analys av kantbalkens hållfasthet skulle bli väldigt omfattande och kräva en egen större studie. Dessutom menar *Lars Sentler* att de beräkningshjälpmedel som finns idag inte är helt sanningsenliga, och skulle behöva kompletteras med tester för att få korrekt resultat.

Det har, som tidigare nämnts, kommit nya krav på att minimera köldbryggor i byggnader. Kantbalken i platta på mark måste därför ses över och problemet med köldbryggan måste lösas. Men, historiskt sett, leder nya lösningar ofta till nya problem vilket även kan ha skett i dessa fall. När fokus lagts på att konstruktionen ska kunna bryta köldbryggan menar vi att andra viktiga egenskaper har kommit i skymundan. Det gäller framförallt hållfastheten som är svår att kombinera med en god värmeisoleringsförmåga.

Husets egentyngd samt snölast och nyttig last påverkar kantbalken med tryckkrafter. Tryckhållfastheten är normalt inget problem eftersom betong är ett mycket trycktåligt material. Däremot uppstår ett moment i grundkonstruktionen, vilket måste beaktas. Den mest kritiska punkten för detta moment är övergången mellan platta och kantbalk. En konstruktion med L-element skapar en sammanhängande betongplatta där övergången mellan kantbalk och betongplatta blir klart starkare än i en konstruktion med avskild kantbalk, som till exempel med U-element. *Georg Jonasson* på *BKAB Byggdata Georg jonasson AB*, som är kontaktad via *Supergrund AB*, menar dock att detta är ett missförstånd och en allmän tro bland byggmaterialhandlare och grundläggare, se kapitel 8.3.1.1.

Det är inte enbart trycklast från väggarna som kantbalken ska klara. Vinden skapar ett sug som vill lyfta huset från grunden, vilket gör att kantbalken även utsätts för lyftkrafter. Eftersom det sällan blåser med en konstant vindhastighet, kommer konstruktionen att utsättas för stötvis dragpåkänningar och tryckpåkänningar, en dynamisk lastpåverkan. Om övergången mellan kantbalk och platta är underdimensionerad blir konstruktionen extra känslig. Det kan det leda till förslitningar och sprickor i konstruktionsdelarna, vilket förorsakar försämrad hållfasthet, luft- och fukttäthet. En beräkning utförd av *Georg Jonasson* på *BKAB Byggdata Georg Jonasson AB* visar dock att det krävs extrema vindstyrkor för att detta problem ska uppstå, se bilaga 4. I kapitel 8.3.2 bekräftas det även av *Åke Mård* att denna problematik är sällsynt.

Material som utsätts för yttre laster kommer att bli mer eller mindre deformerade. Kantbalken som tar upp stora krafter från byggnaden kommer därför att deformeras där långtidsdeformationerna är avgörande. Det mesta av denna deformation kommer att ske i den underliggande cellplasten. För att minska deformationen under kantbalken används här en cellplast med högre kvalitet och högre hållfasthet än under den övriga plattan. Uppgifter om långtidsdeformationer i cellplasten fås av fabrikaten. Men det finns tveksamheter om cellplastfabrikaternas uppgifter om långtidsdeformationer är korrekta. *Georg Jonasson* riktar stark kritik mot bristande uppgifter på cellplast. Då cellplast numera används i bärande konstruktioner bör normkrav vad gäller materialets hållfasthet finnas tillgängligt, motsvarande den materialdata som finns för betong-, trä- eller stålkonstruktioner. Konstruktören har i nuläget svårt att beräkna vilken påkänning som kan tillåtas (*Jonasson 2010*).

I en sammanhängande betongplatta mildras deformationen av cellplasten under kantbalken. En del av lasterna kan ledas bort och tas upp av betongplattans inre delar som därmed minskar trycket under kantbalken. Därför torde risken för sättningar och deformation av cellplasten under kantbalken vara mindre med ett L-element jämfört med ett U-element. Även detta motsätter sig *Georg Jonasson*, se kapitel 8.3.1.1.

### 8.3.1 Hållfasthet för U-min grund

I U-min grund förankras kantbalken med betongplattan med hjälp av sinusformade armeringsstänger. Stängerna går igenom den mellanliggande cellplasten och fästs i kantbalkens respektive betongplattans armering. De är placerade med c/c-avståndet 900 mm och har diametern 5 mm, se bild 7.1.

En förenklad beräkning har utförts för att ta reda på hur stora krafter de sinusformade armeringsjärnen klarar. Resultatet visar att armeringen endast håller för mycket små tvär- och momentkrafter ( $M_{Rd} = 5,12 \text{ Nm}$ ,  $V_{Rd} = 4 \text{ kN}$ ), se beräkningar i bilaga 3. Armeringen fungerar i princip enbart som en förankring för att förhindra att kantbalk och platta glider isär. Den kan med stor sannolikhet inte förhindra sättningar, vilket istället ställer allt för höga hållfasthetskrav på cellplasten omkring kantbalken, som utsätts för både tryck- och böjmoment.

Om kantbalken skulle sätta sig i förhållande till plattan kan det vara ödesdigert för byggnaden. Deformationer i byggnaden kan skapa oförutsägbara lastpåverkningar på konstruktionsdelar som inte är dimensionerade för detta. I byggnader utan större spännvidder leds vanligtvis alla laster ner i ytterväggarna och vidare till kantbalken. Om marken under kantbalken sätter sig så sjunker ytterväggarna i förhållande till resten av byggnaden. Vid ett sådant fall kan exempelvis innerväggar, som inte är lastdimensionerade, tvingas ta upp lasten istället. Följden blir att diverse olägenheter i byggnaden kan uppstå.

En större sättning av kantbalken skulle i efterhand vara svårt eller, i de flesta fall, omöjligt att åtgärda utan att riva och bygga om huset.

För att med säkerhet veta hur en konstruktion beter sig i verkligheten måste ett fullskaligt test utföras. U-element är en förhållandevis ny konstruktion och det kan därför antas att alla långtidsrelaterade fel ännu inte uppkommit. På grund av dessa tvivelaktigheter menar författarna till rapporten, i samförståelse med *Lars Sentler*, att U-min grund kan vara en riskkonstruktion ur hållfasthetssynpunkt.

### 8.3.1.1 Kritik på diskussionen om hållfasthet

Enligt *Jesper Danielsson*, på *Supergrund AB*, är diskussionen om hållfastheten angående U-min grund i denna rapport felaktig. Enligt *Danielsson* har man i Norge länge tillämpat byggtekniken med avskild kantbalk. Dessa har enligt *Jesper Danielsson* utförts med ett bättre resultat, både energimässigt och ur hållfasthetssynpunkt, än grundläggning med L-element.

För att uppmärksamma L-elementets brister i hållfasthet hänvisar *Jesper Danielsson* bland annat till artikeln *L-element problematisk grundläggning för murade väggar* i *Bygg & teknik 2/10*, skriven av *Miklós Molnár*, universitetslektor i konstruktionsteknik på *Lunds Tekniska Högskola* och *Tomas Gustavsson*, tekn lic. Här kritiserar L-elementets hållfasthet när det gäller tyngre väggar och excentrisk lastpåverkan. Kritiken bygger på att den underliggande cellplasten i L-elementet tvingas ta upp laster från väggarna, vilket resulterar i långtidsdeformationer. I denna artikel förespråkas istället ett kantelement, uppbyggt av två lecamurar med mellanliggande isolering, som är placerat på en längsgående grundsula av betong. Tyngden från ytterväggarna leds ner i lecamurarna och vidare ner i grundsulan. På det viset undviks belastning på cellplast. U-elementet i U-min grund har precis som L-elementet underliggande cellplast som riskerar att överbelastas vilket skapar stora krypdeformationer. Artikeln bekräftar därmed vår teori om att U-min grund kan vara en riskkonstruktion.

*Georg Jonasson* på *BKAB Byggdata* *Georg Jonasson AB* menar dock att U-min grund är säkrare än ett L-element. På U-min grund placeras lasten centriskt vilket inte är fallet vid användning av L-element. Platta på mark med L-element är ofta underdimensionerade och den excentriska lasten skapar på så vis större lastpåverkan på cellplasten än vad ett U-element med centrisk lastplacering gör (*Jonasson 2010*).

Trots denna kritik behålls diskussionen som gjorts tillsammans med *Lars Sentler*. Rapportens avgränsningar och tidsbrist medför att författarna enbart kan konstatera att det finns många olika teorier och åsikter på vad som är rätt och fel, och att detta varierar beroende på företag och konstruktör. Författarna står fast vid sin åsikt att det bästa är att utföra verkliga tester på grunder som

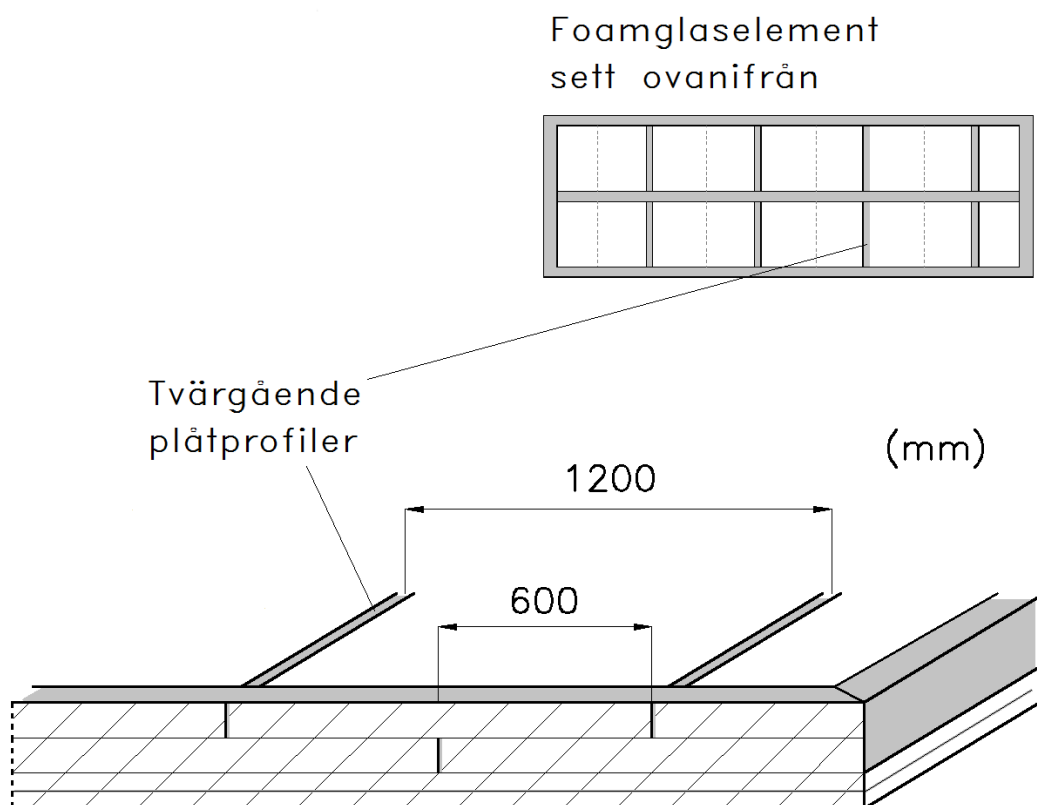
kontrolleras under flera år.

### 8.3.2 Hållfasthet för Koljerntechniken

Några hållfasthetsberäkningar har inte utförts på Koljerntechniken, då detta ligger utanför rapportens avgränsning. Däremot har samtal hållits med *Peter Hellquist* på *Pittsburgh Corning Scandinavia AB*, samt med *Åke Mård* på *MRD Sälj och Bygg AB*, där hållfastheten diskuterats. Det bifogas även en hållfasthetsberäkning som är utförd av *Sweco Bloco* i slutet av detta kapitel. Granskning och frågor omkring hållfastheten har arbetats fram tillsammans med *Lars Sentler*, professor i byggnadskonstruktion på *Lunds Tekniska Högskola*.

Foamglas har en relativt god tryckhållfasthet, mellan 630 – 1 670 kPa beroende på kvalitetsklass, se tabell 7.1. Draghållfastheten är däremot mycket låg, cirka 100 kPa (Hellqvist 2010). I Koljerntechniken ska Foamglaset ersätta betongen som det bärande materialet i konstruktionen, men dess hållfasthet är dock en hel del lägre. För betongklass C25/30, som är vanligast för platta på mark för småhus, är tryckhållfastheten 24 000 kPa och draghållfastheten 1 700 kPa (Isaksson och Mårtensson 2007).

Foamglas kan inte helt ersätta betongen, men bör kunna användas i mindre byggnader med mindre laster. Den mycket låga draghållfastheten i Foamglas gör att materialet är känsligt för bland annat böjmoment, vilket platta på mark utsätts för. Materialet måste därför kompletteras med ett dragtåligt material, i likhet med betongkonstruktioners armeringsjärn. Som beskrevs i kapitel 7.2 så är Koljerntechniken uppbyggd av element, bestående av Foamglas, som hålls samman av plåtprofiler. Byggelementen är vanligtvis 2400 mm breda, 200 mm tjocka, och längden på elementen är oftast lika med husets bredd. Foamglasskivorna är 100 mm tjocka och ligger därför i två lager för att bilda ett 200 mm tjockt elementet. De tvärgående plåtprofilerna som ligger mellan varannan Foamglasskiva är förskjutna i förhållande till plåtprofilerna i det ovanliggande Foamglaslagret. På så vis bildas ett c/c-avstånd på 600 mm mellan reglarna, se bild 8.5. Tillsammans bildar detta ett nät som fungerar som armering i Koljerntechniken (Hellqvist 2010).



*Bild 8.4 Koljerngrund i genomskärning*

Tanken, enligt Åke Mård, är dock att Foamglaset ska ta all last från byggnaden och att stålprofilerna endast ska vara till för att hålla samman Foamglaselementet. Stålet har därför en godstjocklek på endast 1 mm (Mård 2010).

Profil C200 från *Lindab*, med godstjockleken 1 mm, och höjden 200 mm har ett dimensionerande böjmoment på 3,86 kNm och en dimensionerande tvärkraftskapacitet på 4,7 kN (Lindab 2006).

Dessa plåtprofiler kan till viss del fungera som ett slags armeringsnät, men vi ställer oss tveksamma till hållfastheten längs med plattans kanter. Här klarar inte plåtprofilerna den last som leds ner genom ytterväggarna, vilket leder till att lasten leds över på Foamglaset (Sentler 2010). Eftersom tanken är att Foamglaset ska ta all last bör detta inte inverka på hållfastheten i grunden, men om en sättning sker i marken kan problem lätt uppstå. En sättning kan innebära att plattans kanter inte får tillräckligt med stöd från undergrunden, ett moment uppstår och Foamglaset utsätts för dragkrafter. Situationen skulle med största sannolikhet leda till sprickor, oförutsägbar lastfördelning och andra olägenheter i byggnaden. Det är därför mycket viktigt att undergrunden är ordentligt packad så att plattan får tillräckligt stöd underifrån (Mård 2010). Vid grundläggning med platta på mark bör undergrunden alltid utföras på sådant sätt att sättning, och därmed moment i plattan, inte ska inträffa. När detta förarbete brister i projektering och utförande så blir Koljerntechniken, liksom U-min grund, extra känslig vad gäller hållfastheten.



Vi har även ställt oss frågande till om konstruktionen är för lätt för att klara kraftiga vindar. Grundkonstruktionen dimensioneras från fall till fall och problem har, enligt Åke Mård, endast uppstått vid dimensionering av en beställning på ett femvåningshus.

Hittills har inga fullskaliga tester utförts på Koljerntechniken, men i och med att det är ett nytt byggsystem och på grund av att nya EU-regler snart införs så kommer tester att utföras på denna teknik (Mård 2010).

*MRD Sälj och Bygg AB* utför inte själva dimensioneringen för deras konstruktioner. Utomstående konsulter hyrs in men flera har inte velat åta sig uppgiften att utföra konstruktionsberäkningar, då de inte trott på konceptet. *Sweco Bloco* och *WSP* har däremot åtagit sig uppgiften. Nedan redovisas resultatet från en allmän beräkning från *Sweco Bloco* på tillåten linjelast på en grund utförd med Koljerntechniken. Information är tagen direkt ur deras rapport.

Beräkningen av *Sweco Bloco* är utförd på en platta på mark med 4 skikt Foamglas, 100+100+50+50 mm med 0,3 mm aluminiumplåt mellan de två understa skikten på 50 mm. Olika jordarter skapar olika förutsättningar, och beräkningarna är därför utförda för grundläggning på *fast lagrad grusmorän*, *fast lagrad sandmorän* samt på *fast lagrad finsand*.

Resultat för innervägg:

Jordart	Friktionsvinkel	Tillåten linjelast [kN/m]
Fast lagrad grusmorän	45°	175
Fast lagrad sandmorän	42°	110
Fast lagrad finsand	35°	45

Resultat för yttervägg:

Jordart	Friktionsvinkel	Tillåten linjelast [kN/m]
Fast lagrad grusmorän	45°	80
Fast lagrad sandmorän	42°	50
Fast lagrad finsand	35°	20

*Tabell 8.5 Resultat från Sweco Bloco*  
(Sweco Bloco 2004)

## 8.4 Kostnad

Detta kapitel syftar till att göra en översiktlig jämförelse av kostnaderna för respektive utvald grundkonstruktion, samt för en platta på mark med L-element. I första delen redovisas ungefärliga produktionskostnader. Därefter beräknas energibesparingen per år för respektive grund med utgångspunkt från resultaten.

Inga beräkningar på om grundkonstruktionen är lönsam i längden utförs. Det är allt för många faktorer som spelar in, däribland osäkerheten i den översiktliga kostnadsberäkningen i detta kapitel. Hela husets investeringar måste även beaktas, samt eventuella lån och räntor, vilket inte görs i denna rapport. Kostnadsjämförelsen i detta kapitel ger därför endast en väldigt ungefärlig bild av prisskillnaden mellan grundkonstruktionerna.

### 8.4.1 Produktionskostnad

Kostnadsberäkningen inkluderar inte schaktarbete och utkragande tjälisolering då dessa är samma för samtliga grundkonstruktioner. Kostnader för transport av material och eventuellt efterarbete är olika från fall till fall och beaktas inte. De angivna priserna är exklusive moms och är hämtade från angivet företag.

Ett riktvärde på arbetskostnaden för utläggning av cellplast och kantbalk, samt material- och arbetskostnad för makadam, är hämtade från *J&R Entreprenad AB* genom telefonkontakt med *Mats Carlsson*.

Betong- och armeringskostnaden är hämtat från *Betongfabriken i Glumslöv AB*. Kostnaden för betong avser kvalitet C25/30.

#### 8.4.1.1 L-element

Kostnaden för L-element och EPS-cellplast är hämtade från *Sundolitt AB* genom telefonkontakt med *Stefan Lundahl*, regionansvarig Syd.

<b>Byggnadsdel</b>	<b>Mängd</b>	<b>Kostnad/ mängdandel</b>	<b>Summa kostnad</b>
Kantbalk	45,2 m	150 kr/m	6 780 kr
Kantbalk, hörn	4,8 m	250 kr/m	1 200 kr
Isolering 3x100 mm	132,5 m <sup>2</sup>	(3*38,00) kr/m <sup>2</sup>	15 105 kr
Arbetskostnad isolering och kantbalk	150 m <sup>2</sup>	100 kr/m <sup>2</sup>	15 000 kr
Betong	17 m <sup>3</sup>	~ 1650 kr/m <sup>3</sup>	28 050 kr
Armering	150 m <sup>2</sup>	~ 70 kr/m <sup>2</sup>	10 500 kr
Arbetskostnad betong och armering	150 m <sup>2</sup>	80 kr/m <sup>2</sup>	12 000 kr
Makadam 150 mm (inkl arbete)	150 m <sup>2</sup>	50 kr/m <sup>2</sup>	7 500 kr
<b>Summa</b>			<b>96 135 kr</b>

Tabell 8.6 Kostnadsuppställning för L-element

#### 8.4.1.2 U-min grund

Kostnad för isoleringen på U-min grund, kantbalk och övrig isolering, är från *Supergrund AB*, efter telefonkontakt med *Jesper Danielsson*.

<b>Byggnadsdel</b>	<b>Mängd</b>	<b>Kostnad/ mängdandel</b>	<b>Summa kostnad</b>
Isolering (inkl arbete)	150 m <sup>2</sup>	340 kr/m <sup>2</sup>	51 000 kr
Kantelement (inkl arbete)	50 m	70 kr/m	3 500 kr
Betong	16,5 m <sup>3</sup>	~ 1650 kr/m <sup>3</sup>	27 225 kr
Armering	150 m <sup>2</sup>	~ 70 kr/m <sup>2</sup>	10 500 kr
Arbetskostnad betong och armering	150 m <sup>2</sup>	80 kr/m <sup>2</sup>	12 000 kr
Makadam 150 mm (inkl arbete)	150 m <sup>2</sup>	50 kr/m <sup>2</sup>	7 500 kr
<b>Summa</b>			<b>111 725 kr</b>

Tabell 8.7 Kostnadsuppställning för U-min grund

### 8.4.1.3 Koljerntechniken

Kostnaden för Koljerntechniken, utförd med 400 mm isolering, är hämtade från *MRD Bygg och Sälj AB*.

Byggnadsdel	Mängd	Kostnad/ mängdandel	Summa kostnad
Hela plattan (inkl montering)	150 m <sup>2</sup>	2200 kr/m <sup>2</sup>	330 000 kr
<b>Summa</b>			<b>330 000 kr</b>

Tabell 8.8 Kostnadsuppställning för Koljerntechniken

Den höga kostnaden beror främst på den höga energiförbrukningen vid tillverkning av Foamglas (Hellqvist 2010).

### 8.4.1.4 Kommentarer

Kostnaderna är ungefärliga. Som siffrorna ovan visar är priserna på L-element och U-min grund ungefär i samma prisklass, medan kostnaden för Koljerntechniken är cirka tre gånger så hög.

I kostnadsberäkningarna tas ingen hänsyn till uttorkningstiden av byggfukt i betongen. Platta på mark med L-element och U-min grund kommer därför förmodligen få en större kostnad för efterarbete och förlängd byggtid i jämförelse med Koljerntechniken.

## 8.4.2 Energibesparing

I detta avsnitt redovisas energibesparingen per år för respektive grund med utgångspunkt från resultaten i kapitel 8.4.1.

### 8.4.2.1 Förutsättningar

Alla förutsättningar för plattans utförande är samma som i tidigare beräkningar, area = 150 m<sup>2</sup>, och U-värdet på grunderna är från de teoretiska beräkningarna i kapitel 8.1. Det antas att den genomsnittliga innetemperaturen är 22°C, enligt *FEBY* (se under *Definitioner: A<sub>temp+garage</sub>*), och att den genomsnittliga årsutetemperaturen är 7,5°C (Nevander och Elmarsson 2006). Detta ger en genomsnittlig temperaturdifferens på 14,5°C. El-priset är antaget till 1,00 kr/kWh.

#### 8.4.2.2 Energikostnad per år

	<b>U-värde</b> [W/(m <sup>2</sup> K)]	<b>Förbrukad energi</b> [kWh]	<b>El-pris</b> [kr/kWh]	<b>Kostnad</b>
L-element	0,138	2 629	1,00	2 629,00 kr
U-min grund	0,094	1 791	1,00	1 791,00 kr
Koljerntechniken	0,089	1 696	1,00	1 696,00 kr

Tabell 8.9 Årlig energikostnad

#### 8.4.2.3 Jämförelse av energikostnad

Nedanstående tabell visar besparingen i energikostnad om U-min grund respektive Koljerntechniken väljs istället för en platta på mark med L-element.

U-min grund kontra L-element	838,00 kr
Koljerntechniken kontra L-element	933,00 kr

Tabell 8.10 Besparing gentemot platta på mark med L-element

Ett el-pris på 1,00 kr/kWh är väldigt lågt, om elpriset stiger till exempelvis 2,00 kr/kWh kommer den ökade energibesparingen gentemot L-element att fördubblas.

### 8.5 Sammanställning och jämförelse

De två grundkonstruktioner som granskats är U-min grund från *Supergrund AB* och Koljerntechniken från *MRD Sälj och Bygg AB*. I detta kapitel redovisas en sammanställning av de uppgifter, för- och nackdelar med respektive grundkonstruktion, som framkommit i denna rapport.

#### 8.5.1 Fuktsäkerhet

U-min grund är en relativt fuktsäker grundkonstruktion då en tillräcklig temperaturdifferens mellan betongplatta och mark erhålls. Materialen i grundkonstruktionen är dock inte fukttäta. Konstruktionen är därför beroende av en tillräcklig temperaturdifferens för att erhålla ett lågt RF inomhus. Denna differens blir svårare att uppnå i stora och breda plattor, eller i ett varmt klimat.

Det finns även en risk för att temperaturdifferensen minskar med tiden på grund av att cellplasten i grunden kan suga åt sig fukt. Detta skulle höja RF i den övre delen av betongplattan, men det är dock osannolikt att RF skulle höjas till riskabla nivåer på grund av detta. XPS-cellplasten är, på grund av sin struktur med färre öppna porer, mindre benägen att suga åt sig fukt än EPS-cellplasten. XPS skulle därmed göra grundkonstruktionen mer fuktsäker.

Betong kan transportera fukt och vid byggnation innehåller det stora mängder byggfukt. Det är därför viktigt att anliggande fukt känsliga material skyddas ordentligt för att undvika fuktskador. Byggfukten måste tillåtas torka ut innan täta eller känsliga golvmaterial läggs in, vilket förlänger byggtiden.

Fuktsäkerheten i Koljerntechniken uppnås med materialet Foamglas. Det är ett, ur fuktsynpunkt, mycket bra material som inte innehåller någon byggfukt, är lufttätt och suger inte upp vatten. Det ger Koljerntechniken en klar fördel ur fuktsynpunkt.

### 8.5.2 Värmeisolerande förmåga

Som framgår i vår jämförelse och analys i kapitel 8.1.3 respektive 8.1.4 så har de båda grunderna god värmeisolerande förmåga med avsevärt minskad köldbrygga. Ur energisynpunkt är de mycket bättre än platta på mark med L-element och 300 mm underliggande cellplast, där en kraftig köldbrygga uppstår.

Resultaten från kapitel 8.1.2 – kapitel 8.1.4 sammanställs nedan:

	$U_{muk}$ [W/(m <sup>2</sup> K)]	$\Psi$ [W/(mK)]	$U_m$ [W/(m <sup>2</sup> K)]
<b>Referensobjekt</b>			
<i>L-element</i>	0,099	0,115	0,138
<b>Utvalda grunder</b>			
<i>U-min grund</i>	0,079	0,045	0,094
<i>Koljerntechniken</i>	0,084	0,015	0,089

Tabell 8.11 Sammanställning från energiberäkningsresultaten

Beräkningen visar mycket goda resultat för både Koljerntechniken och U-min grund som får i princip samma  $U_m$ -värde. Koljerntechniken erhåller ett något bättre  $U_m$ -värde trots att Foamglas har högre värmekonduktivitet än cellplasten. Det beror på att köldbryggan i Koljerntechniken är minimal, endast en tredjedel av den i U-min grund.

Resultaten är med hög sannolikhet något bättre än i verkligheten. För Koljerntechniken beror detta på att plåtprofilerna i konstruktionen inte har beaktats. Vad gäller resultaten för U-min grund så kan värmekonduktiviteten i EPS-cellplasten försämrats med tiden på grund av att materialet riskerar att suga åt sig fukt. Luftläckage, eller andra brister har inte beaktats.

### 8.5.3 Hållfastheten

Efter diskussion tillsammans med *Lars Sentler*, professor i byggnadskonstruktion på *Lunds Tekniska Högskola*, har det konstaterats att tveksamheter finns om hållfastheten i både Koljerntechniken och U-min grund.

Tveksamheter om Koljerteknikens hållfasthet beror på Foamglasets låga draghållfasthet. Om moment uppstår i plattan, på grund av exempelvis dålig undergrund klarar inte Foamglasets påfrestningar som uppstår. Plåtprofilerna i konstruktionen är även de för svaga om större moment uppstår. De är endast dimensionerade för att hålla samman Foamglaselementen och inte för att ta laster från byggnaden. Foamglasets däremot tillräcklig tryckhållfasthet för att klara trycklasterna från en villa i normalstorlek, och fungerar bra så länge undergrunden är väl utförd och packad.

Även U-min grund kräver en stabil undergrund för att grundkonstruktionen ska klara belastningarna från byggnaden. Tveksamheten består i att grundplattan inte fungerar som en enhetlig byggnadsdel där lasterna kan fördelas över en större yta. För att bryta köldbryggan i kantelementet så har cellplast placerats mellan platta och kantbalk. Kantbalken och den resterande delen av plattan är förankrade endast genom tunn sinusformad armering med c/c 900 mm. Detta kan vara underdimensionerat. När byggnadens laster leds ner i kantbalken kan sättningen där bli större än i övriga plattan eftersom förankringen mellan platta och kantbalk är för svag.

Följderna av att en grundplatta har för låg hållfasthet kan bli omfattande. Sprickor uppstår lätt med luftläckage, fuktskador och försämrade värmeisolering som följd. Byggnadsdelar, som till exempel icke bärande innerväggar, kan tvingas ta upp stora laster orsakat av deformationer i byggnaden. Grundens bristande hållfasthet påverkar hela byggnaden och hur de följande skadorna kommer att visa sig är svåra att förutspå. Det krävs fullskaliga tester för att studera hållfasthet och deformationer i grunden med dess komplexa lastpåverkan.

Inga fullskaliga tester på Koljertekniken har hittills utförts, och vi har heller inte kunnat hitta utförda tester på U-element.

#### 8.5.4 Kostnad

Koljerntechniken är den klart dyraste av de granskade grundkonstruktionerna. Kostnaden beror främst på den höga energiförbrukningen vid tillverkning av Foamglas. U-min grund och platta på mark med L-element ligger på cirka en tredjedel av kostnaden för Koljerntechniken. Nedan visas jämförelsen mellan produktionskostnaden för de olika grundkonstruktionerna med avrundade belopp.

L-element	96 000 kr
U-min grund	112 000 kr
Koljerntechniken 400 mm	330 000 kr

Kostnadsberäkningarna är väldigt ungefärliga och ska endast ge en ungefärlig bild av prisskillnaden. De ska även ge en uppfattning om förbättringarna, i värmeisolerande förmåga och fuktsäkerhet, är värda den extra kostnaden.

Om höga radonhalter förekommer eller om hög fuktsäkerhet krävs så kan Koljerntechniken vara att föredra, trots den höga kostnaden.

Den årliga besparingen i energikostnad för Koljerntechniken och U-min grund, jämfört med en platta på mark (300 mm cellplast) med L-element, är 933 kr respektive 838 kr. Detta resultat erhålls om elpriset är 1,00 kr/kWh.



## 9 Diskussion

Under projektets gång har vi fått en uppfattning av att försök på att hitta en lösning till ett problem ofta genererar andra nya problem. Inom byggnadskonstruktion är det ofta många aspekter som ska beaktas och fenomenet uppstår gärna vid försök att lösa ett specifikt problem. Fokus läggs på det specifika problemet och det är lätt hänt att något annat förbises. Detta tror vi gäller även vid utformningen av Koljerntekniken och U-min grund. I strävan efter en god värmeisolerande förmåga i grunden har vissa tveksamheter uppstått vad gäller hållfastheten.

Ur energisynpunkt är platta på mark med underliggande isolering och L-element en dålig lösning och är inte ett alternativ för framtiden, framför allt inte för passivhus. Den har däremot använts en jämförelsevis längre tid och är därmed mer välbeprövad, där hållfasthet och fuktsäkerhet har visat sig vara tillräcklig. De nya lösningarna U-min grund och Koljerntekniken, som granskats i denna rapport, har löst energiproblematiken men som sagt möjligtvis på bekostnad av hållfastheten. Frågan är om det är värt att ta risken med eventuella framtida skador på grund av bristande hållfasthet för att få en sänkt energikostnad.

Frågetecken omkring fuktegenskaper i cellplast har uppstått under arbetets gång då vi från flera håll har fått höra att materialets kapillärbrytande förmåga är bristfällig. Problemet verkar gälla framförallt EPS medan XPS anses ha bättre fuktegenskaper.

Det är svårt att hitta kritisk fakta omkring cellplastens fuktegenskaper. Det framställs däremot ofta som ett material med goda fukt- och värmeisolerande egenskaper. Vi ställer oss frågande till att problemen omkring fuktegenskaperna i cellplast inte fått större uppmärksamhet. Det skulle vara mycket intressant att se en ordentlig granskning av både EPS- och XPS-cellplastens fuktegenskaper.

Det har visat sig att köldbryggsproblematiken är svår att lösa när det gäller platta på mark utan att hållfastheten försämras. Med detta i åtanke kanske platta på mark, som den ser ut i nuläget, inte är en grundkonstruktion för passivhus och för framtiden. Det är dock ett förhållandevis nytt problem som ska lösas med avseende på den nya lagstiftningen, och det är först under de senaste åren som försök har gjorts på att minska köldbryggan. Därför tror vi att alla idéer ännu inte kommit fram i ljuset. Möjlighet finns fortfarande att en ny typ av platta på mark kommer att framställas, med minimal köldbrygga och god värmeisolerande förmåga i kombination med fortsatt hög hållfasthet och fuktsäkerhet. Detta kräver att mer fokus läggs på grundkonstruktionen där alla dess funktioner beaktas, samt att fullskaliga tester utförs.

## 10 Slutsats

Dagens uppbyggnad av platta på mark sker vanligtvis med 300 mm underliggande isolering och med L-element.

Grunden är en viktig konstruktionsdel som både ska klara laster, vara värmeisolerande, och fungera som byggnadens fuktspärr mot marken. För att den ska fungera korrekt ska den uppfylla alla ovanstående egenskaper. Idag eftersträvas vanligtvis detta genom följande materialskikt.

- För *dränering* av fritt vatten läggs grundplattan på vanligtvis 150 mm makadam
- Som *kapillärbrytande skikt* utnyttjas dräneringslagret av makadam i kombination med värmeisolering som läggs under betongplattan
- *Värmeisoleringen* består vanligtvis av EPS-cellplast
- För att klara *bärförmågan* används armerad betong som utgör grundplattan

Det är viktigt att grunden utförs korrekt då det är väldigt svårt och kostsamt att åtgärda problem och skador i en grundkonstruktion i efterhand.

För att inte byggnaden ska utsättas för tjälskador måste grunden vara utformad på ett sådant sätt att den underliggande marken inte fryser. Allteftersom värmeisoleringsstjockleken ökar så minskar värmeläckaget från byggnaden ner i marken vilket i sin tur ökar risken för tjäle. Grunden måste därför kompletteras med en utkragande tjälisolering för att förhindra att kylan når in under byggnaden.

På senare tid har andra alternativ tagit en större marknadsandel allteftersom kraven på minskad energiförbrukning skärpts. Från detta utbud valdes U-min grund och Koljerntechniken ut för att granskas.

Grundkonstruktionerna valdes ut på grund av deras goda värmeisoleringsförmåga och fuktsäkerhet. Koljerntechniken är bättre än U-min grund vad gäller fuktsäkerhet. Vad gäller värmeisoleringsförmågan är grundkonstruktionerna i princip likvärdiga. Koljerntechnikens Foamglas har högre värmekonduktivitet och isolerar därför sämre än cellplasten i U-min grund. Detta kompenseras dock genom att köldbryggan i Koljerntechniken är minimal, endast en tredjedel av den i U-min grund. Slutligen blir  $U_m$ -värdet för Koljerntechniken och U-min grund 0,089 respektive 0,094 W/(m<sup>2</sup>K). Båda grundkonstruktionerna uppfyller det främsta målet med denna rapport. Men resultatet är dock inte helt tillfredsställande i alla avseenden.

I rapportens granskning visar sig U-min grund och Koljerntechniken kan vara riskabla ur hållfasthetssynpunkt. Det har visat sig vara svårt att kombinera en

hög hållfasthet och en god värmeisolering, där en kompromiss ofta måste göras. Det är möjligt att U-min grund, liksom andra grunder med U-element, prioriterat värmeisoleringsförmågan för högt i förhållande till hållfastheten. Samma sak gäller Koljerntechniken som förmodligen inte velat gå miste om grundens relativt goda värmeisolering genom att förstärka grundplattan.

Det krävs fullskaliga tester för att studera hållfasthet och deformationer i grundens komplexa lastpåverkan.

Produktionskostnaden för Koljerntechniken är mycket hög jämfört med andra grundkonstruktioner. Den kan vara att föredra om det ställs extra höga krav på fukt- och lufttäthet och då höga radonhalter förekommer. Ur ekonomisk synpunkt när man tittar på produktionskostnaden är U-min grund bättre.

Det visar sig också finnas exempel som tydligt visar att fuktegenskaperna i cellplast är bristfällig. Detta försämrar den värmeisolerande förmågan i U-min grund, liksom i alla andra platta på mark med cellplastisolering. I detta avseende är Koljerntechniken ett säkrare alternativ med Foamglas som värmeisoleringsmaterial eftersom det inte kan suga åt sig någon fukt.

Under projektets gång har det visat sig att det inte är något större problem med att erhålla en grund som både är välisolerad och fuktsäker. Svårigheten ligger snarare i att kombinera värmeisolering och hållfasthet i platta på mark. På grund av de osäkerheter som visat sig i U-min grund och Koljerntechniken har våra förhoppningar om att hitta bra framtida lösningar av platta på mark inte uppfyllts. Det bekräftar vår känsla av att det kan göras mer i utvecklingen av grundkonstruktioner, vilket var en stor bidragande faktor till att denna rapport skrivits. Därmed har denna rapport förhoppningsvis bidragit till ökad uppmärksamhet omkring problematiken med platta på mark.

## 11 Källförteckning

Boverket. ”Boverkets byggregler, BBR, avsnitt 9.” *BBR avsnitt 9 - Energhushållning*. Karlskrona, den 19 December 2008.

Burström, Per Gunnar. *Byggnadsmaterial - Uppbyggnad, tillverkning och egenskaper*. 2:a upplagan. Lund: Studentlitteratur, 2008.

Byggforsk - Norwegian Building Research Institute. ”Materialegenskaper.” *Hasopor Lightweight Foamglass Aggregate*. den 12 Oktober 2005. [www.hasopor.com](http://www.hasopor.com) (använd den 4 februari 2010).

Feist, Wolfgang. ”Passivcentrum.” den 18 Juni 2007. <http://www.passivhuscentrum.se> (använd den 9 Februari 2010).

Forum För Energieffektiva Byggnader. ”Passivhuscentrum.” *Passivhus i Passivhuscentrum*. den 1 Juni 2009. <http://www.passivhuscentrum.se> (använd den 10 Februari 2010).

Hagentoft, Carl-Eric. ”Att räkna på grunder - Tjälisolering av grunder.” Göteborg: Chalmers; Plast- & Kemiföretagen; WSP, 2010. 51-64.

Hagentoft, Carl-Eric, intervjuad av Katrin Almquist och Johan Svensson. *Platta på mark - kantbalk* Göteborg, (den 30 Mars 2010).

Hellqvist, Peter, intervjuad av Katrin Almquist och Johan Svensson. *Foamglas - Koljerneteknik* Stenkullen, (den 17 maj 2010).

Hossein, Kawa. ”Ex. passivhus konstruktion trä.” *Konstruktionshandling (Ritningsnr K02)*. Norrtälje: Supergrund AB, den 30 Mars 2010.

Isaksson, Tord, och Annika Mårtensson. *Byggkonstruktion - Regel- och formelsamling*. 1:a upplagan. Lund: Studentlitteratur, 2007.

Isover. *IsoverBoken - Guide för arkitekter, konstruktörer och entreprenörer*. Billesholm: Saint-Gobain Isover AB, 2007.

Jansson, Ulla. *Passive houses in Sweden - Experiences from design and construction phase*. Lund: KFS AB, 2008.

Jonasson, Georg, intervjuad av Katrin Almquist och Johan Svensson. *Hållfasthet U-min grund*, (den 23 september 2010).

Larsson, Rolf. *Jords egenskaper*. Linköping: Statens Geotekniska Institut (SGI), 2008.

Lindab. *Lindab i Sverige - Ventilation, byggprodukter och hallar*. 2006. <http://www.lindab.se> (använd den 20 Maj 2010).

Ljungkrantz, Christer, Göran Möller, och Nils Petersons. *Betonghandbok - Material*. 2:a upplagan. Svensk Byggtjänst, 1997.

Martinsson, Linda. *Passivhusteknik i ett svenskt klimat*. Institutionen för Bygg- och miljöteknik, Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola, 2008.

MRD Sälj och Bygg AB. *Koljern.se - En sund grund*. <http://www.koljern.se/> (använd den 27 April 2010).

Mård, Åke, intervjuad av Katrin Almquist och Johan Svensson. *Koljerneteknik* (den 25 april 2010).

Nevander, Lars Erik, och Bengt Elmarsson. *Fukthandbok - Praktik och teori*. 3:e upplagan. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst, 2006.

Petersson, Bengt- Åke. *Byggnadens klimatskärm : Fuktsäkerhet, Energieffektivitet, Beständighet*. Göteborg: Studentlitteratur, 2009.

Pittsburgh Corning Scandinavia AB. "BYGGVARUDEKLARATION BVD 3 - enligt Kretsloppsrådets riktlinjer maj 2007." *Miljö och Ekonomi :: Pittsburgh Corning Scandinavia AB*. den 19 november 2009. <http://www.foamglas.se> (använd den 16 april 2010).

Pittsburgh Corning Scandinavia AB. "Miljödeklaration." *Pittsburgh Scandinavia AB*. <http://www.foamglas.se> (använd den 23 april 2010).

Pittsburgh Corning Scandinavia AB. "Produktöversikt." *Pittsburgh Corning Scandinavia AB*. den 09 april 2010. <http://www.foamglas.se> (använd den 16 april 2010).

Pittsburgh Corning Scandinavia AB. *Pruduktegenskaper :: Produkter :: Pittsburgh Corning Scandinavia AB*. <http://www.foamglas.se/produkter/produktegenskaper/> (använd den 23 april 2010).

Sandin, Kenneth. *Värme och Fukt*. Lund: KFS AB, 1996.

Sentler, Lars. *Handledning* (Februari - Maj 2010).

SGI. *SGI - Statens geotekniska institut*. <http://www.swedgeo.se> (använd den 20 April 2010).

Statens Energimyndighet. *Energiläget 2009*. Eskilstuna: Statens Energimyndigheten, 2009.

Sundolitt AB. *Sundolitt AB - Grundelement*. den 18 Mars 2010. <http://www.sundolitt.se> (använd den 7 April 2010).

Supergrund AB. *Allmänt om grunder - Supergrund AB*. <http://www.supergrund.se> (använd den 10 April 2010).

Supergrund AB. *Supergrund AB*. Supergrund AB. <http://www.supergrund.se> (använd den 24 Mars 2010).

Supergrund AB. *U-min grund - Passivhusgrund*. Informationsblad. Norrtälje. Sweco Bloco. "Koljern, tillåten linjelast på grund." *Koljern.se - En Sund Grund*. den 15 december 2004. <http://www.koljern.se> (använd den 25 april 2010).

Svensson, Conny. *Kompendium i Teknisk geologi AK*. Lund: KFS AB, 2008.

Sydsten. *Sydsten - Makadam*. <http://www.sydsten.se> (använd den 25 Mars 2010).

Wetterlund, Hans, Henrik Carlson, Carl-Erik Hagentoft, och Magnus Wallin. "Mark-kant värmeförlust." *Bygg & teknik*, den 12 Februari 2010: 44-46.

## **Bilaga 1 - Miljöaspekter för Foamglas**

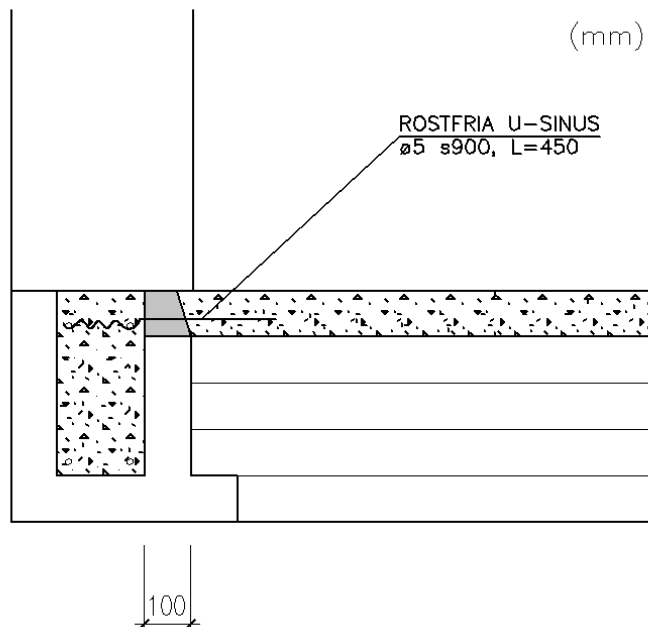
Vid tillverkning av Foamglas uppkommer en del materialspill. Men cirka 90 % av spillet återförs till tillverkningsprocessen och 10 % går till tegeltillverkning. Under produktionen utnyttjar man värmeåtervinning för att minimera energiåtgången, som slutligen blir 4,50 kWh/kg färdig produkt. I tillverkningsprocessen bildas svaveldioxid, SO<sub>2</sub> (0,0016 kg/kg färdig produkt) som är bundna i materialet men kan förorsaka surt regn i fritt tillstånd. Foamglas tillverkas i Belgien och transporteras därifrån med tåg eller lastbil samt med båt mellan Holland och Göteborg.

Materialet kan återanvändas, återvinnas eller utnyttjas som markutfyllnad. Det kan inte användas till energiutvinning eftersom det är obrännbart, men kan däremot läggas i deponi utan miljöstörande effekter på mark, luft eller vatten.

Materialet klassas som ohälsosamt då det är fritt från emissioner, samt från freoner och andra bindemedel. Det avger inte heller några ämnen eller gaser under inverkan av fukt och/eller värme. Foamglas innehåller inga fibrer men eftersom glasdamm kan irritera rekommenderas skyddsglasögon och eventuellt munskydd vid monteringsarbete över ansiktshöjd. Materialet har lång livslängd (Pittsburgh Corning Scandinavia AB u.d.).

## Bilaga 2 - Andelsberäkning

Nedan redovisas beräkningarna för att få fram andelen armering i cellplasten i U-min grund. Syftet är att få fram ett resulterande  $\lambda$ -värde som sedan används i energiberäkningarna, kapitel 8.1.4. Det resulterande  $\lambda$ -värdet ska ersätta den övre delen av den mellanliggande cellplasten, se gråmarkerat fält i bilden nedan.



$$d = 100 \text{ mm}$$

$$\lambda_{\text{armering}} = 20 \text{ W/(mK)} \quad (\text{Sandin 1996})$$

$$\lambda_{\text{cellplast}} = 0,038 \text{ W/(mK)}$$

$\beta$  = andel armering

$\alpha$  = andel cellplast

### Andel armering/cellplast:

Armering:  $\varnothing 5$ , c/c 900 (mm)

$$A_{\text{armering}} = \pi \cdot 2,5^2 = 19,63 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{total}} = 100 \cdot 900 = 90\,000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Andel armering} \quad \beta = \frac{19,63}{90000} = 0,00022$$

$$\text{Andel cellplast} \quad \alpha = 1,0 - 0,00022 = 0,99978$$



**U-värdesmetoden:**

$$U_u = \beta \cdot U_{\text{armering}} + \alpha \cdot U_{\text{cellplast}} \quad (\text{Sandin 1996})$$

$$U_{\text{cellplast}} = \frac{\lambda}{d} = \frac{0,038}{0,1} = 0,38 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$U_{\text{armering}} = \frac{\lambda}{d} = \frac{20}{0,1} = 200 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

$$U_u = 0,00022 \cdot 200 + 9,99978 \cdot 0,38 = \mathbf{0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

 **$\lambda$ -värdesmetoden:**

$$U_\lambda = \frac{\lambda_{\text{res}}}{d}$$

$$\lambda_{\text{res}} = \beta \cdot \lambda_{\text{armering}} + \alpha \cdot \lambda_{\text{cellplast}} \quad (\text{Sandin 1996})$$

$$\lambda_{\text{res}} = 0,00022 \cdot 20 + 9,99978 \cdot 0,038 = 0,042 \text{ W}/(\text{mK})$$

$$U_\lambda = \frac{0,042}{0,1} = \mathbf{0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})}$$

**Resulterande U-värde:**

$$U = \frac{2 \cdot U_\lambda \cdot U_u}{U_\lambda + U_u} \quad (\text{Sandin 1996})$$

$$U = \frac{2 \cdot 0,42 \cdot 0,42}{0,42 + 0,42} = \mathbf{0,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})} \quad \rightarrow \lambda = U \cdot d = 0,42 \cdot 0,1 = \mathbf{0,042 \text{ W}/(\text{mK})}$$

## Bilaga 3 - Hållfasthetsberäkning för sinusarmering

För beräkning av moment- och tvärkraftskapacitet har *Byggkonstruktion – Regel- och formelsamling (2007)*, framtagen av *Tord Isaksson och Annika Mårtensson*.

### Förutsättningar

Säkerhetsklass 3

Armeringskvalitet B500B (Hossein 2010)

### Momentkapacitet

$$M_d = f_{yd} \cdot W$$

$f_{yd}$  dimensionerande värde på draghållfastheten

$W$  elastiskt böjmotstånd

$$W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = 12,27 \text{ mm}^3$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_n \cdot \gamma_m}$$

$f_{yk}$  karakteristiskt värde på sträckgränsen

$\gamma_n$  partialkoefficient för säkerhetsklass

$\gamma_m$  partialkoefficient för osäkerhet i bärförmåga

$$\left. \begin{array}{l} \text{B500B} \\ \text{Säkerhetsklass 3} \end{array} \right\} \rightarrow f_{yd} = \frac{500}{1,2 \cdot 1,0} = 417 \text{ MPa}$$

$$M_d = 417 \cdot 12,27 = \mathbf{5,12 \text{ Nm}}$$

### Tvärkraft

$$V_d = 0,50 \cdot A \cdot f_{yd}$$

$A$  tvärsnittsarean

$f_{yd}$  dimensionerande värde på sträckgränsen

$$V_d = 0,50 \cdot \pi \cdot 2,5^2 \cdot 417 = \mathbf{4 \text{ kN}}$$

## Bilaga 4 – Beräkning av risk för vindlyft

Nedanstående figur och beräkningar är gjorda av *Georg Jonasson* på *BKAB Byggdata Georg Jonasson AB* och visar vindens inverkan på huset.

I detta räkneexempel har *Jonasson* utgått från att husets egenvikt är avsevärt mycket lättare än vad ett verkligt hus skulle vara. Detta för att en lättare vikt är missgynnande i detta fall.

$B$  [m] = husets bredd

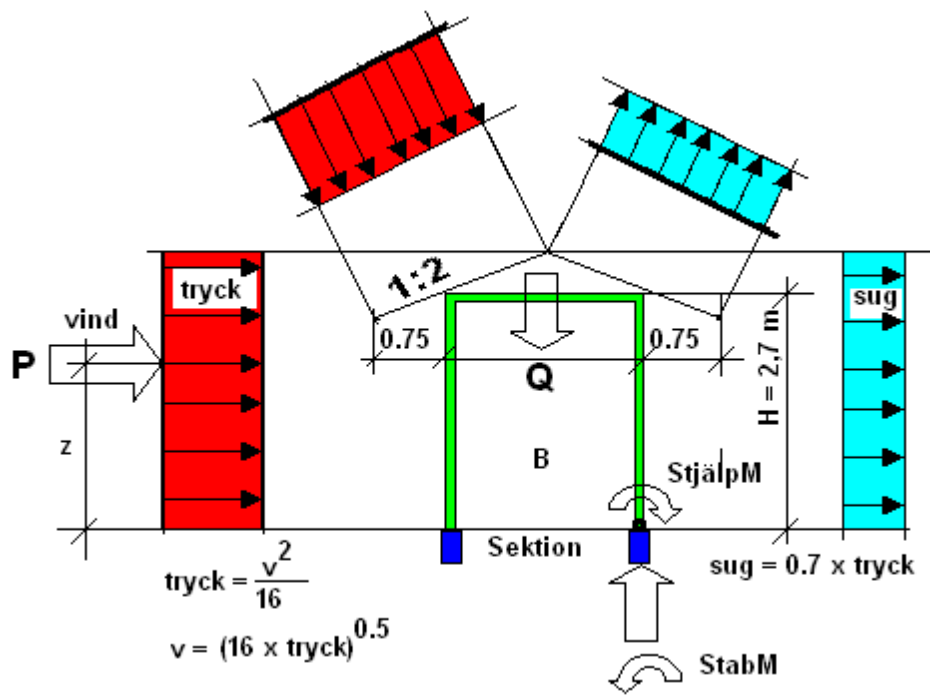
$v_2(B)$  [m/s] = vindhastigheten där träkonstruktionen lättar

$Q_2(B)$  [kg/m<sup>2</sup>] = byggnadens egenvikt av yttervägg yttertak och innertak. (vid bredden ( $B$ ))  
Hela lasten fördelas på två fasadväggar (2L)

$$\text{Tryck}(B) = \frac{v_2(B)^2}{16} \text{ [kg/m}^2\text{]} \quad \text{Sug}(B) = 0,7 \cdot \text{Tryck}(B) \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

$$Q_2(B) = \text{Tryck}(B) + \text{Sug}(B)$$

Huset bredd (B)	$v_2(B)$	Tryck(B)	Sug(B)	$Q_2(B)$
6	57	202	141	344
8	65	261	183	445
10	71	314	220	534
12	76	361	253	613



Vindtryck och vindsug vinkelrätt mot takytan är vid aktuella husbredder 6-12 meter gynnsamt ur stabilitetssynpunkt. Stabiliserande moment ökar, varför detta lastfall ej analyseras.