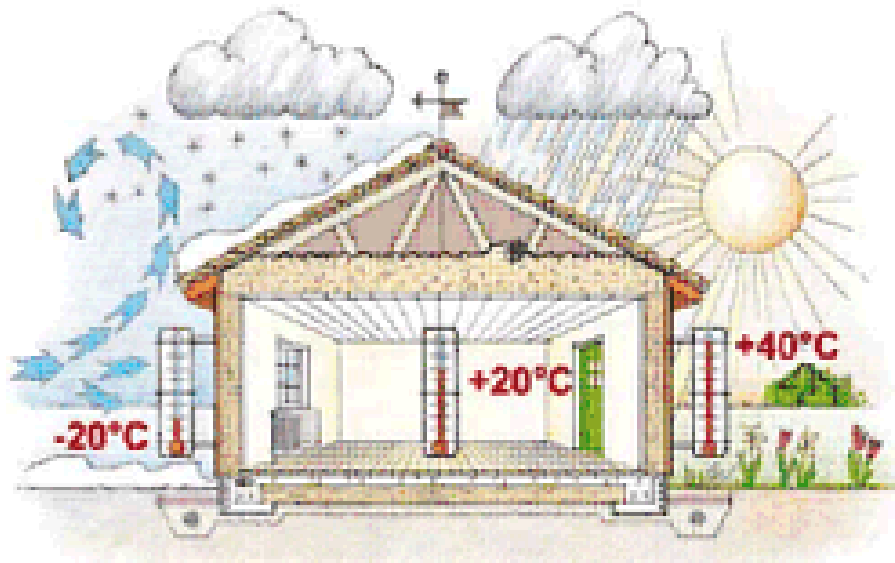


# CHALMERS



## Värmeisoleringens betydelse för U-värdet – på en vägg med given dimension

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

MADELEINE ERLANDSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Byggnadsfysik  
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA  
Göteborg 2010  
Examensarbete 2010:56



EXAMENSARBETE 2010:56

# Värmeisoleringens betydelse för U-värdet –

på en vägg med given dimension

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

MADELEINE ERLANDSSON

Institutionen för bygg- och miljöteknik  
*Avdelningen för Byggnadsteknologi*  
*Byggnadsfysik*

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2010

Värmeisoleringens betydelse för U-värdet –  
på en vägg med given dimension  
*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet*  
*Byggingenjör*

MADELEINE ERLANDSSON

© MADELEINE ERLANDSSON, 2010

Examensarbete/Institutionen för bygg- och miljöteknik,  
Chalmers tekniska högskola 2010:56

Institutionen för bygg och miljöteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Byggnadsfysik  
Chalmers tekniska högskola  
412 96 Göteborg  
Telefon: 031-772 10 00

Omslag:  
Bilden visar de olika påfrestningar som klimatskärmen utsätts för (Swedisol).

Chalmers reproservice/Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Göteborg 2010

Värmeisoleringens betydelse för U-värdet –  
på en vägg med given dimension

*Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet  
Byggingenjör*

MADELEINE ERLANDSSON  
Institutionen för bygg- och miljöteknik  
Avdelningen för Byggnadsteknologi  
Byggnadsfysik  
Chalmers tekniska högskola

## SAMMANFATTNING

Idag blir det allt mer viktigt att ta hänsyn till byggnadens energibehov redan under projekteringsfasen. En byggnad med lågt energibehov påverkar utformningen av klimatskalet. En första åtgärd för att minska energibehovet är att reducera uppvärmningsbehovet. Det medför en ökad tjocklek på väggarna då dimensionen på isoleringen ökar. Syftet med examensarbetet har varit att redovisa och beskriva olika värmeisoleringsmaterial samt undersöka hur de påverkar väggens U-värde och transmissionsförluster i en enkel energiberäkning. Mineralull har varit speciellt intressant då olika typer av mineralull är det vanligaste materialet som värmeisolering i byggnader idag. Rapporten redovisar även krav som ställs på byggnaden utifrån energi- och miljösynpunkt. Information har hämtats genom litteraturstudier med fokus på bl.a. olika värmeisoleringsmaterial, värmeisolerande egenskaper och byggnadens klimatskärm. Underlaget och energiberäkningen har sedan analyserats utifrån valda parametrar rörande värmeisolerande funktion, miljöpåverkan och energibehov. Mineralull har använts som utgångspunkt i analysen. De olika isoleringsmaterialen betygsätts utifrån hur bra eller mindre bra de är i jämförelse med mineralull.

I rapporten är isoleringsmaterialen uppdelade i olika kategorier beroende på vilka råvaror materialen är tillverkade av. Beroende på råvaror har materialen olika egenskaper och funktion. En avgörande faktor för värmeisolerande förmåga är strukturen. Ett material med fiberstruktur som mineralull kan innesluta luft och hålla den stilla vilket ger en god isolerförmåga. Av materialen som jämförs i rapporten är mineralull dock inte det material som har bäst värmeisoleringsförmåga även om dess värmeisolerande förmåga är god. Vakuumisoleringspaneler är ett relativt nytt material som isolerar ca 6-8 gånger bättre än traditionella isoleringsmaterial. Detta material kan med fördel användas som isolering på ställen med små utrymmen. Däremot har panelerna inte lika lång livstid som mineralull. Ett material som polyuretancellplast isolerar även det bättre än mineralull. Däremot innehåller materialet tillsatser som påverkar miljön negativt. Isoleringsmaterial som är baserade på råvaror från växtriket är förnyelsebara. Exempel på sådana är t.ex. cellulosafiber och linfiber. Dock är värmeisoleringsförmågan för dessa material något sämre jämfört med mineralull.

Nyckelord: Energibehov, värmeisoleringsmaterial, värmeisoleringsförmåga, klimatskal, energiberäkning, mineralull, miljö, hälsa

The significance of thermal insulation for the U-value of a wall

Diploma Thesis in the Engineering Programme  
Building and Civil Engineering

MADELEINE ERLANDSSON

Department of Civil and Environmental Engineering

Division of Building Technology

Building Physics

Chalmers University of Technology

## ABSTRACT

Today it's becoming more and more important to take into account the building's energy needs during the design process. Buildings with low energy requirements affect the design of the building envelope. A first measure to reduce energy demand is to reduce the heating demand by increasing the thickness of the wall insulation. The purpose of this thesis is to recognize and describe different insulating materials and investigate how they affect the wall's U-value and transmission losses by a simple energy calculation. Mineral wool has been especially interesting when different types of mineral wool are the most common insulating material in buildings today. Requirements for buildings based on energy and the environment are also presented in the report. The information was gathered through literature studies with focus on for example different thermal insulating materials, thermal insulating ability and building envelope. This information and the energy calculation have then been analyzed on the basis of selected parameters relating to thermal insulating function, environmental impact and energy requirements. Mineral wool has been used as a starting point in the analysis. A different insulation material has been rated based on how sufficient they are compared to mineral wool.

The insulating materials in the report are divided in different categories depending on which raw material they are made from. Depending on that the insulating materials have different qualities and functions. The structure is a crucial factor for the heat insulating ability. Good insulating ability depends on the materials capacity to contain air and keep it still which is based on the structure of the material. Of the materials compared in the report, the mineral wool is not the material with the best thermal insulation capacity, however, even if it's insulating ability is very good. Vacuum Insulating Panels are a relatively new material which insulates approximately 6-8 times better than traditional materials. This material can be used as insulation in places with small spaces. The durability, however, for the panels are much shorter than for mineral wool. Another material which insulates better than mineral wool is polyurethane foam. However, the material contains additives that affect the environment negatively. Insulating materials based on raw materials from plants are renewable. Examples are cellulose fibre and flax. However, the thermal insulating ability for those materials is not that good as for mineral wool.

Key words: energy, thermal insulation, thermal insulation ability, building envelope, energy calculation, mineral wool, environment, health

# Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	II
INNEHÅLL	III
FÖRORD	V
BETECKNINGAR	VI
1 INLEDNING	1
1.1 Syfte och problemformulering	1
1.2 Avgränsning	1
1.3 Metod och genomförande	2
2 SAMHÄLLET'S ENERGI- OCH MILJÖRELATERADE KRAV PÅ BYGGNADEN	3
2.1 Ett bättre klimat	3
2.2 Klimatskärmen	5
2.3 Byggnadens energihushållning	6
2.4 Kraven på energihushållning i BBR	7
2.5 Passivhus och lågenergihus	9
3 VÄRMEISOLERING	11
3.1 Värmeisoleringens egenskaper	11
3.2 Ekonomisk dimensionering av isolering	13
4 MINERALULL	15
4.1 Historia	15
4.2 Tillverkning av mineralull	16
4.2.1 Glasull	16
4.2.2 Stenull	17
4.3 Egenskaper	17
4.4 Användningsområde	19
4.4.1 Arbetsmetod och hantering	19
4.4.2 God arbetsmiljö	20
4.5 Mineralull och miljö	20
5 ÖVRIGA ISOLERMATERIAL	22
5.1 Material baserade på naturmaterial	22
5.1.1 Cellulosafiber	22
<b>CHALMERS, Bygg- och miljöteknik, Examensarbete 2010:56</b>	<b>III</b>

5.1.2	Kork	22
5.1.3	Linfiber	23
5.1.4	Träfiber	23
5.2	Mineralbaserade material	24
5.2.1	Perlite	24
5.2.2	Cellglas	24
5.2.3	Lättklinker	24
5.2.4	Vakuumisolering	25
5.3	Plastbaserade material	26
5.3.1	EPS, Expanderad polystyrencellplast och XPS, Extruderad polystyrencellplast	26
5.3.2	Polyuretancellplast	27
6	RESULTAT	28
6.1	Sammanställning av materialegenskaper	28
6.2	Redogörelse för beräkningsfall	30
6.3	Beräkningsresultat	32
7	EN SUBJEKTIV ANALYS	35
7.1	Materialegenskaper	35
7.2	Materialkostnad	38
7.3	Energiberäkning	39
8	SLUTSATS	41
9	DISKUSSION	43
10	REFERENSER	44
	BILAGOR	47



## Förord

Denna rapport är ett examensarbete om 15 högskolepoäng utfört inom högskoleingenjörsprogrammet Byggingenjör, avdelningen för Byggnadsteknologi, vid Chalmers tekniska högskola i samarbete med NCC Construction Region syd. Arbetet har skrivits på NCCs kontor i Halmstad under perioden januari till maj 2010.

Examensarbetet redogör för några olika typer av värmeisoleringsmaterial som används inom byggbranschen. Arbetet ger även en generell beskrivning av krav som ställs på byggnaden utifrån energi- och miljösynpunkt. Studien har bedrivits genom litteraturstudier och samtal med berörda personer. Förhoppningen är att rapporten ska leda till ytterligare studier av material för praktisk tillämpning i nya projekt.

Stort tack till alla som bidragit med tips och råd samt information på olika sätt. Ett särskilt tack till mina handledare Carl-Eric Hagentoft, Chalmers tekniska högskola, Göteborg och Malin Persson, NCC Construction Region syd, Halmstad.

Halmstad, maj 2010

Madeleine Erlandsson

# Beteckningar

$A_f$	Sammanlagd area för fönster, dörrar, portar o dyl. ( $m^2$ ), beräknad med karmyttermått.
$A_{om}$	Sammanlagd area för omslutande byggnadsdelars ytor mot uppvärmd inneluft ( $m^2$ ).
$A_{temp}$	Area ( $m^2$ ) av samtliga våningsplan för temperaturreglerade utrymmen, avsedda att värmas till mer än $10^\circ C$ , som begränsas av klimatskärmens insida.
$R$	Värmemotstånd ( $m^2K/W$ )
$U$	Värmeigenomgångskoefficient ( $W/m^2K$ )
$U_i$	Värmeigenomgångskoefficient per byggnadsdel ( $W/m^2K$ )
$U_m$	Genomsnittlig värmeigenomgångskoefficient för byggnadsdelar och köldbryggor ( $W/m^2K$ ) bestämd enligt SS-EN ISO 13789:2007 och SS 02 42 30 (2)
$U_m^{max}$	Maximal genomsnittlig värmeigenomgångskoefficient ( $W/m^2K$ )
$Q_{energi}^{specifik}$	Specifik energianvändning ( $kWh/m^2\text{år}$ )
$Q_{energi}$	Energibalans ( $kWh/\text{år}$ )
$Q_t$	Maximal transmissionsförlust ( $kWh/\text{år}$ )

## Grekiska

$\lambda$  Värmeledningsförmåga/Värmeledningstal ( $W/mK$ )

## Prefix

$\mu$  mikro ( $10^{-6}$ )

n nano ( $10^{-9}$ )

# 1 Inledning

För att täcka energiförluster som bl.a. beror på byggnadens tekniska utförande behöver byggnader tillföras energi utifrån. Kraven på effektiv energianvändning skärps och det innebär en påverkan på byggnadens utformning. För att energibesparande åtgärder ska vara effektiva är klimatskalet avgörande. En första åtgärd är att minska behovet av tillförd värme. Detta kan göras genom en ökad isolering i byggnaderna. Det finns idag byggnadssystem som endast har ett mycket litet behov av tillförd energi för uppvärmning. Exempel på detta är passivhus och lågenergihus.

Värmeisoleringens huvudsakliga funktion är att minska värmetransporten från det uppvärmda utrymmet. För att klara detta är materialen ofta porösa och innehåller mycket luft. Ett exempel på det är mineralull som är ett av de mest använda isoleringsmaterialen idag. Dess luftfyllda fiberstruktur innebär att materialet har en god isoleringsförmåga.

Det finns även andra grupper av isoleringsmaterial. Det som skiljer dem åt är främst råvarorna som används vid tillverkningen. Exempelvis är cellulosa- och linfiberisolering tillverkade av råvaror från växtriket. Isoleringsmaterial som är tillverkade av plastmaterial är inte förnybara då de är baserade på fossil olja.

## 1.1 Syfte och problemformulering

Det övergripande syftet med examensarbetet har varit att beskriva och redovisa olika värmeisoleringsmaterial som används inom byggindustrin samt hur de påverkar en väggs U-värde och transmissionsförluster. Speciellt intressant har det varit att undersöka hur det mest använda isoleringsmaterialet, mineralull, förhåller sig till andra isoleringsmaterial.

Några specifika frågeställningar är:

- Vad är och hur används mineralull?
- Vad finns det för andra material som används som värmeisoleringsmaterial?
- Vilka egenskaper påverkar värmeisoleringsförmågan?
- Hur påverkar materialen miljön?
- Vad innebär energihushållning och passivhusteknik?
- Finns det något material som har bättre värmeisolerande egenskaper än mineralull?

## 1.2 Avgränsning

Rapportens tyngdpunkt ligger i att redovisa olika värmeisoleringsmaterial som används vid byggproduktion idag, i huvudsak mineralull. Rapporten fokuserar på materialens värmeisolerande funktion. Den ger enbart en kort beskrivning av övriga egenskaper som har betydelse för materialens funktion och användning.

Rapporten redogör för byggnadens konstruktionsutformning vars klimatskal har stor betydelse för byggnadens energianvändning. Fokus ligger på konstruktionsprinciper varför enskilda material utöver isoleringsmaterial ej är redovisade.

Ökat energibehov innebär en ökad miljöbelastning och detta påverkar utformningen av byggnader. I detta avseende redogörs materialens miljöpåverkan.

Byggnaden som används som beräkningsunderlag i rapporten är fiktiv och endast till för att ge en schematisk grund för jämförelse av isoleringsmaterialens egenskaper. Variationerna består endast i väggkonstruktionens värmeisoleringsmaterial. I beräkningarna för U-värdet tas ej hänsyn till korrigeringar för köldbryggor, fukt eller övriga faktorer som kan påverka resultatet. Ett procentuellt påslag för köldbryggor görs i beräkningarna för  $U_m$ -värde och transmissionsförluster. Således kan dessa resultat inte användas för verkliga projekt, utan ger bara en uppskattning av hur materialen ställer sig mot varandra under lika förutsättningar.

### **1.3 Metod och genomförande**

Examensarbetet utgår från idag gällande principer och föreskrifter vid utformning av byggnader och användning av material. Inledningsvis ges en redogörelse för energi- och miljörelaterade krav som samhället ställer på byggnaden. Dessa uppstår till följd av att förståelsen för begränsade energiresurser och skadlig miljöbelastning ökar.

Att minska värmebehovet är en förutsättning för att minska byggnadens energibehov. Detta görs genom värmeisolering. Mineralull är det isoleringsmaterial som används mest idag. I arbetet undersöks mineralull och jämförs med andra isoleringsmaterial. Jämförande parametrar är bl.a. värmeisolerande egenskaper, miljö och hälsa.

Kunskap om materialen och dess egenskaper samt miljö- och energiaspekter har tillgodogjorts genom litteraturstudier med fokus på olika värmeisoleringsmaterial, värmeisolerande egenskaper, byggnadens energihushållning och klimatskärm samt miljörelaterade aspekter på byggnaden. Vidare har detta undersökts och diskuterats med berörda parter för att på så vis skapa en fortsatt grund för arbetet.

Genom en enkel energiberäkning undersöks hur energibesparingen för en villa varierar med olika isoleringsalternativ i väggen. På detta sätt redogörs hur energibesparingen vad gäller värmebehov varierar. Beräkningsunderlag har använts i samråd med NCC och analyserats utifrån framkomna resultat och litteraturstudier.

## 2 Samhällets energi- och miljörelaterade krav på byggnaden

En byggnad behöver normalt tillföras energi för att balansera dess energiförluster. Energiförluster beror på byggnadens och installationernas tekniska utföranden samt de boendes levnadsvanor. En byggnads energianvändning definieras som den energi som köps in under ett normalår. Den ska täcka behoven för uppvärmning, kyla, tappvarmvatten och drift av installationer samt övrig fastighetsel. Beräkningen för byggnadens energianvändning i kWh/år görs med hänsyn till normalårstemperatur utomhus, planerad inomhustemperatur och normal användning av tappvarmvatten samt vädring.

Kraven på effektivisering av energianvändningen skärps i takt med att förståelsen för begränsade energiresurser och skadlig miljöbelastning ökar. Detta innebär en påverkan på utformningen av byggnader. Idag finns byggnads- och installationssystem som bara har litet eller inget behov av tillförd energi utifrån för uppvärmning. Exempel på en sådan byggnad är passivhus eller lågenergihus. Ett sätt att uppnå denna standard är att utforma konstruktionsdelar och byggnader som en helhet. Det görs med material och tekniska lösningar som uppfyller de nya byggtkniska funktionskraven. Idag är byggnaders värmeisoleringssegenskaper ca fem gånger bättre än för hus byggda för 100 år sedan. Sett till samma tidsperiod finns idag fönster som isolerar upp till åtta gånger bättre (Elmberg m.fl. 1996; Peterson 2009).

### 2.1 Ett bättre klimat

Idag är klimatförändringarna en stor miljöfråga eftersom utsläpp av olika växthusgaser medför en temperaturhöjning på jorden. Detta innebär att en mängd olika miljöproblem uppstår. Högre energipriser och hårdare miljökrav skapar förändringar för att spara på jordens resurser. All energiproduktion är en belastning för miljön. Därför har åtgärder tagits både nationellt och internationellt. Tillsammans med många av världens länder har EU genom Kyotoprotokollet, som tecknades 1997, åtagit sig att minska dessa utsläpp. I Sverige har riksdagen antagit 16 miljö kvalitetsmål, två av dessa är *Begränsad klimatpåverkan* och *God bebyggd miljö*. De innebär att utsläpp ska minska och främja en hälsosam livsmiljö. Inom dessa huvudmål har delmål vad gäller energianvändning i byggnader satts upp. De uttrycker att fram till år 2050 ska energi som går åt till uppvärmning minska med 50 % jämfört med år 1995.

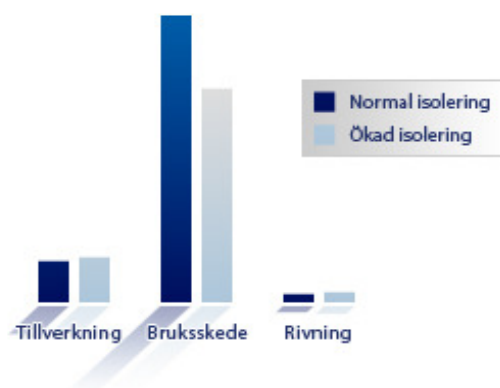
I Europa står byggnader idag för ca 40 % av den totala energianvändningen. Enligt undersökningar som gjorts har byggsektorn en stor besparingspotential. Klimatskärmen är avgörande för att energibesparande åtgärder i byggnaden ska ge full effekt. Kyotopyramiden är Byggbranschens tolkning av Kyotoprotokollet. Pyramiden visar i vilken ordning energibesparande åtgärder bör tas för att effektivt minska energianvändningen i byggnader. Första steget i pyramiden är att minimera behovet av värme. Exempelvis går det att minska behovet av värme med upp till 40 % genom att tilläggsisolering. Nästa steg är att minska behovet av el genom att använda effektivare utrustning. Energikälla väljs sist för att undvika överdimensionerande värmesystem som drar onödigt mycket el. Figur 1 nedan visar Kyotopyramiden.



Figur 1: Bilden visar byggbranschens Kyotopyramid (Swedisol [1]).

Nya EU-direktiv har införts i samband med ett förnyat intresse kring miljö. Energideklarationen är ett resultat av detta. En lag om energideklaration av byggnader trädde i kraft 1 oktober 2006. Deklarationen infördes 1 januari 2009 och därefter ska de flesta byggnader energideklareras. Energideklarationen redovisar byggnadens energibehov och ger förslag på hur byggnaden kan energieffektiviseras. Det årliga energibehovet fastställs genom en beräkning där fönster, dörrar, isolering och installationer undersöks. Denna delas sedan upp i en förbrukning per kvadratmeter golvyta. Deklarationen utförs av en certifierad energiexpert tillsammans med husägaren. Syftet är att minska utsläpp av växthusgaser.

Byggnadens miljöbelastning är som störst under brukstiden. Energi till värme och varmvatten för drift och underhåll står för ca 85 % av den totala miljöbelastningen. 15 % kommer från byggprocessen och mindre än 1 % från rivningen. Ur miljösynpunkt är det därför viktigt att energianvändningen i byggnader minskar. Att isolera eller tilläggsisolera byggnader sänker kostnaden för uppvärmning. Det är den mest kostnadseffektiva lösningen för att minska utsläppen av växthusgaser. Hållbart byggande och energisnåla hus har genom detta blivit ett begrepp. I Figur 2 nedan visas att en extra investering i isolering återbetalar sig i längden sett till hela byggnadens livscykel. Detta trots att tillverkning, råvaruuttag, transporter och montage ger negativ påverkan. Detta kompenseras dock redan under de första åren av byggnadens livstid (Anderlind m.fl. 2006; Boverket, 2009; Elmberg m.fl. 1996; Elmroth 2009; Saint-Gobain Isover AB, 2008; Swedisol [1]).



Figur 2: Byggnadens miljöbalans under hela livstiden (Anderlind m.fl. 2006).

## 2.2 Klimatskärmen

Klimatskärmen är husets avgränsning mot omgivningen utanför dvs. golv, väggar, tak, fönster och dörrar. Dess främsta uppgift är att skapa en god inomhusmiljö utifrån funktionsmålen lågt energibehov, god beständighet och rimlig miljöbelastning. Det innebär att material i klimatskärmen inte får påverka hälsan negativt. Exempelvis får inte fukt uppstå i konstruktionen och påverka materialen så att de ger upphov till dålig lukt eller skadliga ämnen. I ett hus som uppfyller kraven på god energihushållning samverkar de ingående delarna maximalt. Några delar är särskilt viktiga så att de är korrekt och noggrant utförda. Felaktigheter kan påverka både isolereffekten och beständigheten. Klimatskärmen måste även skyddas från klimat- och miljöpåverkan från både utom- och inomhusklimat. Konstruktionens reaktion på klimatpåverkan beror på intensitet och typ samt byggnadens ingående material och egenskaper. Nedan ges kort beskrivning av byggnadens olika funktioner.

### *Luft- och ångtäthet*

På insidan av konstruktionen finns ett lufttätt skikt eller ångspärr för att ventilationen ska fungera så bra som möjligt. Ångspärren skyddar mot luftrörelser och fukttransport genom konstruktionen. Den ska hålla konstruktionen lufttät under hela byggnadens livstid. En otät konstruktion medför risk för fuktskador, drag och dåligt fungerande värmeisolering vilket ger ökat energibehov. Den vanligaste åtgärden är att placera en plastfolie i konstruktionen på dess varma sida.

Vid övertryck i byggnader är det extra viktigt med lufttätheten. Övertryck uppstår överst i byggnader under det kalla halvåret. Är inte vindsbjälklaget lufttätt kan varm och fuktig luft tränga in i konstruktionen och kondensera. Fuktkonvektion på detta sätt är mycket farlig för byggnaden.

På vintern kan vattenånga kondensera vilket kan orsaka skador i konstruktionens inre delar. Luftspärren hindrar även denna ångdiffusion.

### *Värmeskydd*

Värmeskydd syftar till att minimera värmetransporterna ledning, strålning och konvektion. Skyddet skapas med hjälp av ett värmeisolerande material. För bästa isolereffekt måste luft förhindras att cirkulera. Det är därför viktigt att värmeisoleringen fyller ut hela det avsedda utrymmet och att isoleringen har kontakt med konstruktionens varma yta. Tillsammans med övriga material ska isoleringsmaterialet ge önskad värmeisolerings effektivitet med hänsyn till energihushållning samt komfortabel och hälsosam inomhusmiljö.

### *Vindskydd*

Ett vindskydd är ett materialskikt som förhindrar att luft inte tränger in i isoleringen vid fasad och yttertak, vilket försämrar värmeisoleringsförmågan. Vindskyddet anpassas efter isolerings- och fasadmaterial samt konstruktionens uppbyggnad. Det skyddar från luftrörelser som rör sig parallellt med isoleringen. Beroende på hur stora luftrörelserna är bakom fasadskiktet varierar kraven på vindskydd. Luftrörelser bakom en väl murad tegelfasad är t.ex. betydligt lägre än bakom en träpanel.

Vindskyddet får dock inte vara för tätt mot ångdiffusion, så att fukt som kommit in i konstruktionen hindras från att torka ut utåt.

### *Ventilerade luftspalter*

Bakom fasadskikt och under många tak finns ofta en luftspalt med ventilerande uteluft. En luftspalt ventilerar och dränerar bort eventuellt inträngande regnvatten och hindrar det från att nå fukt känsliga delar av konstruktionen. Luftspalten ska även hjälpa till att ventilerar bort eventuell fukt som kommer inifrån byggnaden.

### *Nederbörds skydd*

Materialsikt på yttertak och ytterväggar som hindrar regn och snö från att tränga in i konstruktionen. Regn och snö skadar konstruktionen om inget skydd finns.

### *Tjälskydd*

Ett tjälskydd ska förhindra att skador inträffar till följd av tjällyftning i marken. Tjäle kan orsaka sättningar i marken, tjäldjupet varierar i olika delar av landet (Anderlind m.fl. 2006; Elmberg m.fl. 1996; Peterson 2009; Saint-Gobain Isover AB, 2007; Swedisol [1]).

## **2.3 Byggnadens energihushållning**

Klimatskärmen har stor betydelse för byggnadens energianvändning. Därför är det viktigt att bostäder är välisolerade och lufttäta med låga transmissionsförluster. Genom att öka isolertjockleken, undvika köldbryggor och använda ordentliga vind- och ångspärrar skapas ett lägre uppvärmningsbehov. Byggnaden måste även utformas på ett sådant sätt att den tillsammans med övriga installationer, apparater och värme som finns i byggnaden begränsar energianvändningen. BBR<sup>1</sup> ställer krav på att minska byggnaders energianvändning. Att spara energi är viktigt för samhället både ur ekonomisk och miljömässig synvinkel. Genom att eftersträva låga värmeförluster, lågt kylbehov samt effektiv värme-, kyl- och elanvändning vid projekteringen minskar energibehovet. En energieffektiv byggnad kräver dock en väl genomarbetad projektering med utgångspunkt i den verksamhet som ska bedrivas där för att kunna fungera i ett långsiktigt perspektiv. Konstruktionslösningar och material dimensioneras efter energiberäkningar för byggnadens termiska egenskaper. Alla som kan påverka byggnadernas utformning och därmed energianvändningen, måste ha kännedom om byggnaden som en helhet, som ett energisystem. Det innebär kunskaper inom bl.a:

- U-värden på konstruktionsdelar
- Byggnadens utformning vad gäller fönster, rumshöjd, form mm.
- Elektrisk effekt (apparater som drar el och alstrar värme)
- Köldbryggor
- Lufttäthet
- Värme-, kyl-, och luftbehandling
- Mätssystem för energi
- Varmvattenberedning

För att säkerställa att kraven på energieffektivitet uppfylls måste mätningar göras i den färdiga byggnaden under gällande driftsförhållanden. Mätningen bör ske under en hel års cykel. Resultaten korrigeras sedan med hänsyn till utetemperatur och andra eventuella avvikelser för att gälla under ett normalår. Eftersom energianvändningen avser den färdiga byggnaden gäller förutsättningarna även om byggnaden ändras

---

<sup>1</sup> Boverkets Byggregler



under brukstiden, oberoende av vilket energislag som används. Åtgärder som senare görs på klimatskärmen måste säkerställa att inomhusmiljön enbart blir bättre. Därför bör alltid värme- och ventilationssystemen justeras in vid eventuella åtgärder. Som riktmärke vid eventuella åtgärder finns BBR:s krav på hur mycket energi en nyproducerad byggnad får använda under ett år. Även om befintliga byggnader har olika förutsättningar bör målsättningen vara att nå detta krav (Anderlind m.fl. 2006; Elmberg m.fl. 1996; Elmroth 2009; Peterson 2009; Saint-Gobain Isover AB, 2007; Swedisol [1]).

## 2.4 Kraven på energihushållning i BBR

I BBR 16, avsnitt 9, formuleras krav på energihushållning i nybyggda hus enligt följande (Hämtat från Elmroth (2009) *Energihushållning och värmeisolering*):

### 9 Energihushållning

Detta avsnitt innehåller föreskrifter och allmänna råd till 8 § och 10 § första stycket BVF<sup>2</sup>. (BFS<sup>3</sup> 2008:20)

#### 9.1 Allmänt

Byggnader ska vara utformade så att energianvändningen begränsas genom låga värmeförluster, lågt kylbehov, effektiv värme- och kylanvändning samt effektiv elanvändning. (BFS 2006:12)

#### 9.11 Tillämpningsområde

Dessa regler gäller för alla byggnader med undantag för

- Växthus eller motsvarande byggnader som inte skulle kunna användas för sitt ändamål om dessa krav behövde uppfyllas.
- Byggnader eller delar av byggnader som endast används kortare perioder.
- Byggnader där inget behov av uppvärmning eller komfortkyla finns under större delen av året.
- Byggnader där inget utrymme värms till mer än 10°C och behovet av energi för komfortkyla, tappvarmvatten och byggnadens fastighetsenergi är lågt.

#### 9.2 Bostäder

Bostäder ska vara utformade så

- byggnadens specifika energianvändning,
- installerad eleffekt för uppvärmning och
- genomsnittlig värmegenomgångskoefficient ( $U_m$ ) för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden ( $A_{om}$ )

högst uppgår till de värden som anges i tabell 9:2a och 9:2b. (BFS 2008:20)

---

<sup>2</sup> Byggnadsverksförordningen

<sup>3</sup> Boverkets författningssamling

**Tabell 9:2a** Bostäder som har annat uppvärmningssätt än elvärme

Klimatzon	I	II	III
Byggnadens specifika energi-användning [kWh per m <sup>2</sup> A <sub>temp</sub> och år]	150	130	110
Högsta genomsnittliga värme genomgångskoefficient [W/m <sup>2</sup> K]	0,50	0,50	0,50

(BFS 2008:20)

#### 9.4 Alternativt krav på byggnadens energianvändning

Som alternativ till kraven i avsnitt 9:2 för byggnader där

- golvarean A<sub>temp</sub> uppgår till högst 100 m<sup>2</sup>
- fönster- och dörrarean A<sub>f</sub> uppgår till högst 0,20A<sub>temp</sub> och
- inget kylbehov finns

kan istället följande krav på byggnadens värmeisolering, klimatskärmens täthet och värmeåtervinning väljas.

Den högsta värme genomgångskoefficienten (U<sub>i</sub>) får, för omslutande byggnadsdelar (A<sub>om</sub>), inte överskrida de värden som anges i tabell 9:4. (BFS 2008:20)

**Tabell 9:4** U<sub>i</sub> [W/m<sup>2</sup>K]

U <sub>i</sub>	Byggnad med annat uppvärmningssätt än elvärme
U <sub>tak</sub>	0,13
U <sub>vägg</sub>	0,18
U <sub>golv</sub>	0,15
U <sub>fönster</sub>	1,3
U <sub>ytterdörr</sub>	1,3

(BFS 2008:20)

Byggnadens klimatskärm ska vara så tät att det genomsnittliga luftläckaget vid +50 Pa tryckskillnad inte överstiger 0,6 l/s m<sup>2</sup>. Därvid ska arean A<sub>om</sub> användas.

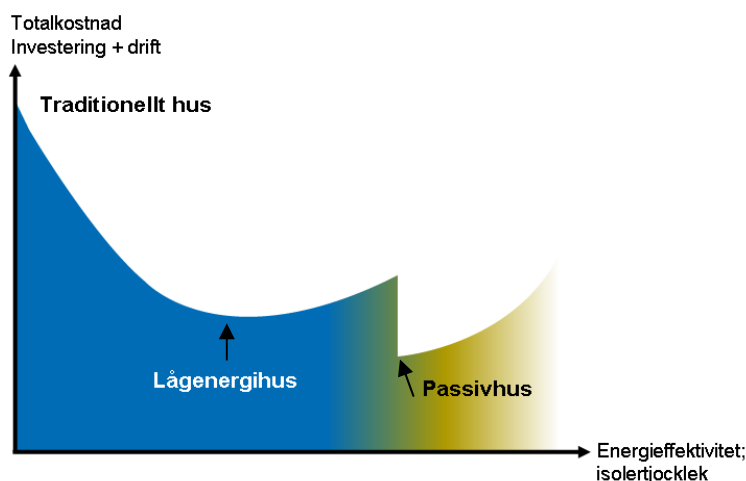
Om byggnadens golvarean A<sub>temp</sub> överstiger 60 m<sup>2</sup> ska byggnaden förses med anordning för värmeåtervinning ur ventilationsluften eller med värmepump. (BFS 2008:20)

## 2.5 Passivhus och lågenergihus

Konceptet för passivhus är av tyskt ursprung. Det är hus som är byggda så att värmeförlusterna minskat så mycket att ingen traditionell uppvärmning såsom radiatorer eller golvvärme behövs. Konceptet grundar sig på att husen byggs så täta att ventilation endast sker via ventilationssystemet och inte genom otätheter i klimatskalet. På grund av detta kan värmen i ventilationsluften återvinnas effektivt. Tillsammans med mer välisolerade väggar, golv och fönster skapas förutsättningar för att halvera energibehovet jämfört med traditionella bostadshus. Detta medför att koldioxidutsläppen reduceras. Utsläppen kommer främst från användandet av det färdiga huset men också under produktionen. Lågenergihus är hus med låg energianvändning men som inte uppfyller kraven för passivhusstandard fullt ut.

Eftersom husen är så välisolerade värms de upp av solinstrålning, kroppsvärme, elektriska apparater och belysning. Det blir inte kallt inomhus under de kallaste vinterdagarna eftersom kompletterande värme tillförs genom lätt förvärmning av friskluften till huset. Detta görs genom ett litet element som drivs av varmvatten eller el. Dessutom tillvaratas solinstrålningen när det är möjligt för att värma varmvatten.

Passivhustekniken är i längden ekonomiskt lönsam för brukaren genom minskade energikostnader på grund av den välisolerade konstruktionen, se Figur 3. Den större kostnaden för extra isolering, dubbelt så hög lufttäthet och extra energieffektiva fönster tjänas in på några år. Värdet på passivhuset ökar i takt med den minskade energianvändningen. Passivhustekniken ger även en bra försäkring mot framtida prisökningar på energi.



Figur 3: Diagrammet visar hur energieffektiviserande åtgärder beror av totala kostnader (Johansson, 2010).

Passivhus har mycket hög inomhuskomfort genom att bl.a. mekanisk ventilation med värmeväxlare används. Dam och partiklar filtreras på detta sätt bort från den inkommande luften och säkerställer att dålig luft ventileras bort. Vilket ger hög kvalitet på inomhusluften. Ökad täthet, förvärmad luft och inget drag från vare sig tilluftsventiler eller fönster bidrar också till den höga komforten inomhus. De tjocka väggarna och extraisolerade fönstren bidrar till att reducera buller utifrån.

Ett tätt hus ger ett effektivt skydd mot fuktskador eftersom fuktig inomhusluft förhindras att tränga ut i konstruktionen. Fuktigheten i byggmaterialet kontrolleras noggrant för att undvika mögelskador under byggprocessen.

#### *Utvecklingen i Sverige och Europa*

Under de senaste åren har intresset för energieffektivisering ökat betydligt oavsett användningsområde. Det betyder att samma funktion ska erhållas men med betydligt mindre tillförd energi än tidigare. Energikostnader ökar och bebyggelsens betydelse för klimatförändringar påverkar både politiker och allmänhet. En byggnad har en livslängd på ca 50-100 år och under denna tid kommer klimatet förändras avsevärt. Passivhus som energibesparande åtgärd kommer därmed att tillämpas över hela världen allt eftersom, bl.a. på grund av de ekonomiska fördelarna med konceptet.

Tillämpningen av passivhustekniken är något som nyss kommit igång i Sverige, men intresset för energibesparande åtgärder inom byggsektorn ökar. I t.ex. Tyskland, Schweiz och Österrike har det redan byggts en hel del bostäder, kontor och äldreboenden som passivhus. I Sverige kan denna något återhållsamma utveckling bero på byggregler och att energipriser fortfarande är relativt låga. Trots detta utvecklade den svenske arkitekten Hans Eek sitt första passivhus redan 1978.

I mars 2009 fanns ca 400 lägenheter med passivhusstandard i Sverige och vid utgången av 2009 uppskattades den siffran till ca 900 lägenheter. För det fortsatta byggandet är det viktigt att de som redan genomfört passivhusprojekt delar med sig av sina erfarenheter och är nöjda med resultaten. Många fastighetsbolag har redan tagit beslut om att endast bygga lågenergihus eller passivhus i framtiden. En drivande faktor i besluten att bygga passivhus är den låga driftkostnaden, mest aktuellt för de fastighetsbolag som också förvaltar sina byggnader.

2016 ska EU:s nya byggnorm genomföras som anger passivhus som lägsta godtagbara standard för all byggnation. Denna byggnorm har redan genomförts i Tyskland, i Storbritannien genomförs den 2013.

#### *Grundläggande krav*

Passivhus anses vara ett av de koncept som har störst energibesparande potential för byggnader men det har saknats en tydlig kravspecifikation för svenska förhållanden. Energimyndigheten gav Forum för Energieffektiva Byggnader (FEBY) i uppdrag att utveckla en kravspecifikation. Den första versionen presenterades 2007. Kravspecifikationen har sin grund i tyska passivhuskrav men har anpassats till svenska förhållanden med olika klimatzoner. 2008 utvecklades även en specifikation för skolor. I den senaste rapporten som presenterades 2009 har nya krav formulerats som tydliggör att hänsyn måste tas till att energin som används i byggnader är av olika kvalitet och måste bedömas olika ur ett ekologiskt hållbart perspektiv. Detta görs med avseende på miljöpåverkan och resurshushållning (Forum för Energieffektiva byggnader, 2009 [1, 2,]; Forum för Energieffektiva byggnader [3]; NCC; Passivhuscentrum [1]; Passivhuscentrum, 2010 [2, 3]).

### 3 Värmeisolering

Värmeisoleringens främsta uppgift och funktion är att minska transporten av värme från det varma utrymmet. Att isolera för att behålla värme är inte någon ny idé, utan har varit en livsnödvändighet så länge det funnits levande varelser på jorden. Exempel på detta är djurens päls- eller fjäderdräkt. Människor har från första början byggt hyddor av t.ex. gräs och blad för att skydda mot heta solstrålar på dagen och kyla på natten. En byggnad ska skapa ett behagligt klimat att vistas i. Människans kläder är ett annat exempel.

I isoleringsmaterialet överförs värme genom ledning, konvektion och strålning även om materialet är uppbyggt på sådant sätt att detta ska minskas och förhindras.

Materialets värmeisoleringsförmåga anges som ett tal och kallas värmekonduktivitet eller värmeledningsförmåga. Detta tal betecknas med den grekiska bokstaven  $\lambda$  (lamda) och enheten är W/m°C eller W/mK. Temperaturen mäts antingen i grader Celsius eller Kelvin. Vid beräkningar ger enheterna samma siffervärde eftersom det handlar om temperaturskillnader. Lägre  $\lambda$ -värde ger bättre isoleringsförmåga hos materialet. Värdet varierar dock med temperatur, fukt och densitet.

Idag finns isoleringsmaterial inom många olika områden som ska klara ett mycket stort temperaturintervall. Exempelvis måste det finnas isolermaterial som klarar de höga temperaturer som råder vid ugnar eller ånganläggningar samt de låga temperaturer som finns inom frystekniken.

I byggnader bidrar god värmeisolering till lägre värmeförluster och bränslekostnader. En högre temperatur på innerväggar undviker drag och kondens samt nedsmutsning. Underhållskostnaden minskar eftersom skador orsakade av t.ex. fukt reduceras och förhindras (Ahlqvist m.fl., 1970; Burström 2007; Hagentoft, 2002).

#### 3.1 Värmeisoleringens egenskaper

Beroende på var isolermaterialet ska monteras ställs olika krav på egenskaperna. Isolermaterial som används vid ånganläggning passar kanske inte som isolering vid en frysanläggning. Även de mekaniska egenskaperna kan ha stor betydelse för användningen. I allmänhet ställs följande egenskaper som krav vid val av isoleringsmaterial:

- God isolerförmåga
- Goda mekaniska egenskaper
- God formbeständighet
- Goda fuktegenskaper
- Temperaturbeständighet
- Luft rörelser genom konvektion ska ej påverka isolerförmågan
- Bearbetning och anpassning till olika konstruktioner ska vara lätt
- Beständigt mot röta, insekter och lösningsmedel
- Ej avge lukter
- Ej orsaka korrosion
- Hänsyn måste tas till brandtekniska egenskaper

Liksom för många andra material gäller principen ”rätt material på rätt plats” för att uppnå optimal prestanda. Dock måste också det valda isolermaterialet placeras och byggas in på rätt sätt. Det innebär bl.a. att isoleringen måste monteras utan springor för att uppnå maximal funktion.

De flesta värmeisoleringsmaterial utgår från luft eftersom luften har låg värmekonduktivitet. Endast en luftspalt är dock inte lämpligt som värmeisolerande skikt beroende på konvektion. För att förhindra konvektion är isoleringsmaterial uppbyggda så att luft hålls innesluten i ett nätverk av fast material. Detta nätverk hindrar luften från att röra sig och ger materialet dess goda isolerförmåga. Nätverket består av exempelvis mineral- eller cellulosafiber.

Goda elasticitets- och hållfasthetsegenskaper är viktigt eftersom material utsätts för omfattande mekanisk påverkan genom exempelvis slag och tryck. Det kan då uppstå sättningar i isoleringen vilket innebär att det bildas oisolerade utrymmen. Vid tillverkning tillsätts det i vissa isoleringsmaterial olika typer av kemikalier varvid viss försiktighet behöver iakttas.

En lägre densitet, inom vissa gränser, innebär bättre värmeisolering. Högre densitet innebär att porositeten minskar vilket ökar värmekonduktiviteten. Användning av material med lägre densitet ökar dock risken för luftcirkulation (konvektion) i eller genom materialet. Detta kan uppstå vid felaktig montering eller konstruktion av byggnad och innebär försämring av isoleringsförmågan.

Ett isoleringsmaterial utsätts under brukstiden för stor påverkan av t.ex. höga temperaturer och fukt. Vid höga temperaturer kan torrdestillation<sup>4</sup> inträffa. Värmeisoleringsmaterialet eller övriga delar i konstruktionen kan antingen ta upp fukt genom att fritt vatten sugas upp kapillärt eller genom diffusion och konvektion av vattenånga. Fukt kan tillföras genom nederbörd, luftfukt både inom- och utomhus, vatten i och på mark, byggfukt eller läckage. De flesta material är dock mer eller mindre hygroskopiska vilket innebär en minimal försämring av värmeledningstalet. Hygroskopisk innebär att material alltid innehåller mer eller mindre fukt. Större vattensamlingar påverkar däremot värmeledningförmågan betydligt. Fukt ger upphov till ökade värmeförluster, sönderfrysning och frostsador i konstruktionen, mögel- och rötbesvär, missfärgning samt lukt och dålig luft. Skydd mot vatten ges genom nederbördsskydd och ångspärr.

Stigande temperatur påverkar värmeledningstalet vilket beror på att värmestrålningen ökar. Värmeledningstalet anges därför ofta vid en medeltemperatur av +10°C.

Konvektion kan orsaka både fuktskador och värmeförluster. Över- och undertryck på in- resp. utsidan i en isolerad konstruktion har också betydelse. Detta kan förorsaka att

- Värmeledningstalet ökar och isoleringsförmågan försämras
- Kondensbildning och fukt i isoleringsmaterialet
- Missfärgning och även mögelpåväxt
- Obehagligt kalldrag

---

<sup>4</sup> Se Terminologi, Bilaga 1

Dessa problem förhindras genom att värmeisoleringen är monterad utan springor mellan olika skivor, mellan skivor och övriga material samt fyller ut hela sitt utrymme. Material med minimal krympning samt god fog- och vindtätning hjälper också till att förhindra dessa problem.

Korrosion kan uppstå om isolermaterial som är i kontakt med metall också är i kontakt med vatten eller fukt. Störst problem uppstår om isolermaterialet kan binda vatten mot metallyta (Ahlqvist m.fl., 1970; Burström 2007; Hagentoft, 2002; Peterson 2009; Saint-Gobain Isover AB, 2007).

### 3.2 Ekonomisk dimensionering av isolering

Det värde som anger den specifika energianvändningen  $Q_{\text{energi}}^{\text{specifik}}$  (kWh/m<sup>2</sup>år) för en färdig byggnad utgörs av den maximalt tillåtna energianvändningen per uppvärmd golvyta under ett normalår. Detta värde anpassas efter klimatfördelningen i landet. När energihushållningen formuleras som en specifik energianvändning på detta sätt blir energibehovet oberoende av energitillförselsystemet.

Genom en energibalans  $Q_{\text{energi}}$  (kWh/år) för byggnaden med den specifika energianvändningen som gränsvärde kan den maximala transmissionsförlusten  $Q_t$  (kWh/år) bestämmas. Denna utgör underlag för beräkning av konstruktionens maximala genomsnittliga värmegenomgångskoefficient  $U_m^{\text{max}}$  (W/m<sup>2</sup>K).

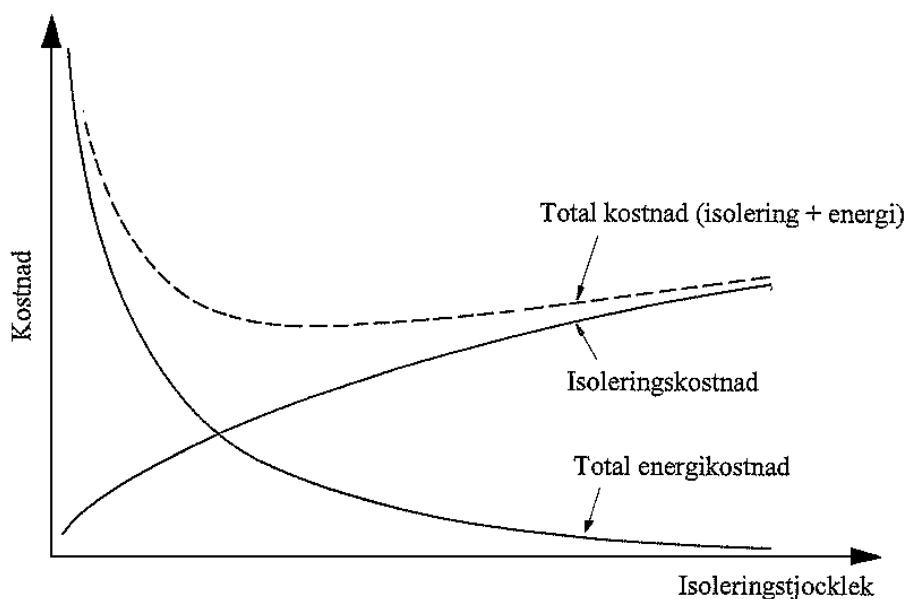
Värmemotståndet är ett mått på konstruktionens värmeisoleringsgrad och används vid dimensionering av värmeisoleringen i olika byggnadsdelar. Värmemotståndet  $R$  (m<sup>2</sup>K/W) anger hur bra en konstruktion isolerar, ju högre desto bättre. Vanligen används termen värmegenomgångskoefficient, inversen av värmemotståndet, för att beskriva hur välisolerad t.ex. en vägg är. Värmegenomgångskoefficienten eller  $U$ -värdet (W/m<sup>2</sup>K), beskriver den värmeförlust som konstruktionen ger upphov till. För bästa möjliga isolering ska detta värde vara så lågt som möjligt.

Beräknade värden för värmeförluster genom hela klimatskalet anger gränsvärden för högsta tillåtna förluster. Detta innebär att delar med sämre värmeisolerande egenskaper måste kompenseras med bättre isolering. Exempelvis kräver större fönsterareor ökad värmeisolering i andra konstruktionsdelar.

En investering i bättre isolering ger mycket god lönsamhet under obegränsad tid, utan att isoleringen i sig ger utökad driftskostnad eller ökat behov av underhåll. Klimatskärmen ska därför alltid vara välisolerad och tät för att effektivt hushålla med energi. Värmeisolering bidrar inte enbart med låg energianvändning utan är också en god förutsättning för att skapa bostäder och lokaler med hälsosam inomhusmiljö, god komfort och beständighet. Effektiv isolering minskar uppvärmningsperioden, vilket skapar förutsättningar för enklare uppvärmningssystem.

Att tilläggsisolera vind, vägg och bjälklag i befintliga hus är också viktigt för energieffektivisering. Vindsutrymmet blir kallare genom tilläggsisolering vilket ökar risken för fuktskador. Därför är det viktigt att vinden ventileras på ett korrekt sätt. Vindsbjälklaget bör även vara helt lufttätt för att hindra varm och fuktig luft från att stiga och bilda kondens.

För att dimensionera den mest lönsamma isoleringen för en byggnad måste även livslängden bedömas. En livstid på ca 50 år för klimatskalet är rimlig, men de flesta byggnader har en mycket längre. I en kalkyl för uppvärmningskostnaderna måste hänsyn tas till att byggkostnaderna stiger när isoleringsgraden ökar och aktuell kostnad för uppvärmningsenergi. Det årliga energibehovet minskar med ökad isolering utan några extra utgifter för årligt underhåll. Den totala värmekostnaden fås genom addition av isolerings- och energikostnaderna för husets kalkylerade livslängd. Jämförs klimatskärmens värmeisoleringsegenskaper med energianvändningen fås ett samband för hur totalkostnaden varierar med ökande värmeisoleringsgrad. Dock är kostnader för framtida energibehov och miljöbelastning svåra att förutse vilket påverkar investeringsviljan, se Figur 4 nedan.



Figur 4: Diagram över samband för varierande totalkostnad med ökande värmeisoleringsgrad (Burström 2007).

Det går att räkna ut besparingen för ökad isolertjocklek. Det innebär att kostnaden för att spara energi jämförs med dagens energipris. På detta sätt kan besparingen kontrolleras genom att räkna med olika isoleringstjocklekar. Dock avtar den ekonomiska nyttan av varje extra centimeter värmeisoleringsgrad med tjockleken. Det innebär att det bara är lönsamt att öka tjockleken på isoleringsmaterialet till dess besparingen övergår i kostnad. Räknetoden ger den isolerstandard som leder till lägsta årskostnad vid valda förutsättningar för byggnaden (Burström 2007; Elmroth 2009; Paroc AB 2008; Peterson 2007; Peterson 2009; Swedisol [1])



## 4 Mineralull

Mineralull eller mineralfibrer är den svenska beteckningen för syntetiska oorganiska fibermaterial av oxidisk och amorf (glasig) karaktär. Beteckningen omfattar isoleringsmaterialen glas-, sten- och slaggull. Mineralull är ett av de mest använda värmeisoleringsmaterialen i byggnader idag. Att materialet är oorganiskt innebär att det inte ruttnar eller angrips av mögel (Hogstedt 1998; Nationalencyklopedin, 1992; Swedisol [1]).

### 4.1 Historia

I början av 1700-talet började byggmaterial användas mer ändamålsenligt. Däremot var det först i slutet av 1800-talet som husen medvetet började isoleras. De första isoleringsmaterialen som användes var sågspån och halm. När mineralullsindustrin tog sin början är fortfarande oklart men enligt vissa uppgifter fanns en slaggullsfabrik i Virginia redan på 1880-talet. Slaggull tillverkades genom att ta fram slaggfibrer från masugnsverksamheten vid framställning av metaller. Denna tillverkning lades ner på 1960-talet.

Den första tekniken var mycket enkel och utvecklingen gick långsamt framåt. Andra världskriget medförde en tid av knappa resurser. För människorna som levde då blev uppvärmningen av husen en stor kostnad. Det blev början till utvecklingen av den moderna isoleringen.

Mattor, skivor och lösull av glas- och stenudd började på 1930-talet användas i Sverige som isolermaterial i byggnader. Först användes det som rörisolering, men sedan även som värmeisoleringsmaterial i hus. 1933 startades företaget Billesholms Glasull AB i Skåne när gruvverksamheten lades ned i bygden. På den tiden var glasull ett nytt begrepp men kom att bli ett stort varumärke inom byggbranschen. Idag är företaget en del av ett större globalt företag och numera känt under namnet Saint-Gobain Isover AB. I Skövde startades 1937 en ny industri vid namn Rockwool som tillverkade stenudd. Till en början tillhandahölls bara licenstillverkning av en dansk produkt. Idag är fabriken uppköpt av Paroc AB.

Mineralullen fick sitt stora genombrott i Sverige på 1950- och 60-talen när bostadsbyggandet kraftigt ökade. På 50-talet tillverkades 21 000 ton mineralull i Sverige, redan 1970 var mängden uppe i 140 000 ton. Efterfrågan under 70-talet berodde på ökat byggande av småhus. Mineralullsindustrin påverkades inte lika hårt som andra byggmaterial när småhusbyggandet minskade under senare delen av 70-talet och början av 80-talet. Mycket beroende på att det i samband med oljekrisen satsades mycket på energisparande åtgärder i branschen. I slutet på 80-talet tog efterfrågan på isoleringsskivor och lösull fart igen när bostadsbyggandet åter ökade. Efterfrågan sjönk igen när byggbranschen drabbades av en kris i början på 90-talet för att sedan öka när konjunkturen vände uppåt. Idag har byggbranschen drabbats av ytterligare en kris vilket har gjort att efterfrågan sjunkit igen (Hogstedt 1998; Nationalencyklopedin, 1992; Partheen, 2010; Riksantikvarieämbetet, 2002; Saint-Gobain Isover AB [2]; Swedisol [1]).

## 4.2 Tillverkning av mineralull

Tillverkningen av mineralull sker av mineraliska råvaror som sand och sten. Dessa smälts och spinnas till fibrer som bildar en porös struktur. Sverige försörjs helt av den inhemska produktionen av mineralull. Mineralull tillverkas bl.a. som mattor, skivor och lösull (Burström, 2007; Nationalencyklopedin, 1992; Swedisol [1]).

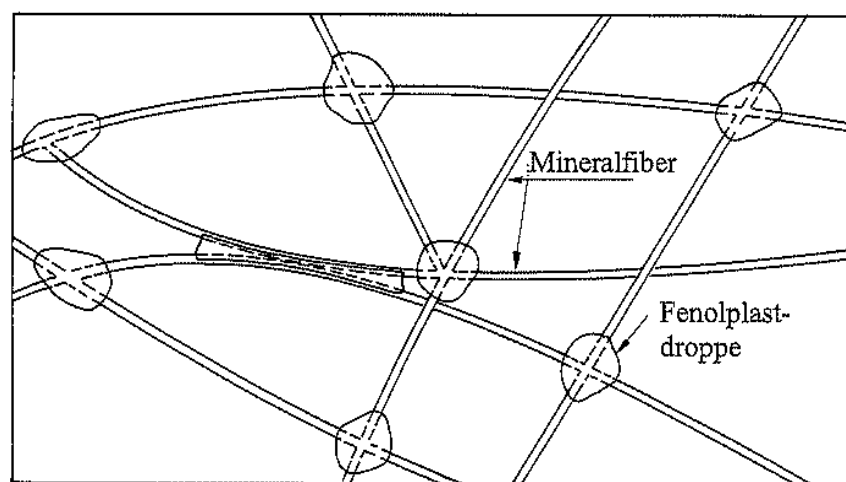
### 4.2.1 Glasull

Glasull tillverkas av råmaterialet sand eller returglas. Den färdiga glasullen består av ca 70 % återvunnet hushållsglas, spill vid tillverkningen återvinns också. Tillverkningsprocessen är miljövänlig då det krävs mindre energi för att smälta än att tillverka nytt glas.

Mängden av sand, kalk och soda som tillsätts vid tillverkningen skiftar beroende på hur mycket återvunnet glas som ingår. Varje råvara vägs noggrant och blandas till något som kallas "mäng". Mängden och glaskrosset blandas samman och överförs därefter till en glasugn. Glasugnen kallas "vanna" och är centralt placerad i fabriken. I vanna värms glaskrosset till 1300°C.

Den smälta massan i vanna rinner vidare i en tunn stråle till fibreringsmaskinerna. Massan spinnas där till ull, processen kallas fibrering.

Fibreringsmaskinen innehåller en spinnare som roterar flera tusen varv i minuten. Glasmassan åker med hög fart ned i fibreringsmaskinerna, där centrifugalkraften pressar ut massan genom de små hålen i spinnaren. Glastrådarna som kommer ut ur spinnaren är långa och tunna med en diameter på ca 0,001-0,1 mm. Utanför spinnaren träffas glastrådarna av en gasflamma. Denna slår med hög hastighet sönder trådarna till fibrer med en diameter av ca 5-6 µm. Samtidigt som fibrerna kyls sprutas ett bindemedel på. Fibrerna kyls med hjälp av vatten i ett slutet system. Systemet är slutet på grund av den stora mängd vatten som behövs. Processen i fibreringsmaskinerna är noga övervakad, fibrerna måste ha rätt tjocklek. I Figur 5 nedan, visas en schematisk bild av fiberuppbyggnaden för både glas- och stenull.



Figur 5: Generell bild av uppbyggnaden av mineralull (Burström 2007).

Bindemedlet som sprutas på glasfibrerna är bakelit, en hårdplast bestående av ureamodifierat fenolharts (0,8-2 viktprocent). Bindemedlets uppgift är att hålla samman glasfibrerna. Lösull tillsätts dock inget bindemedel. Om glasullen behöver vattenavvisande funktioner tillsätts ibland mineralolja (0,5 viktprocent). Oljan kan även fungera som dammbindare.

I en härdugn pressas sedan den nu luftiga ullen samman för att nå önskad höjd. Glasfibrerna värms upp till 250°C i härdugnen för att även bindemedlet ska härdas. I den här proceduren bildas den gula karakteristiska färgen och formen som är vanlig.

Glasullen kyls därpå ned med luft och är nu klar att skäras till olika produkter. Beroende på vilken produkt som tillverkas beskärs glasullen på olika sätt, antingen genom vattenskarvning eller genom roterande sågar. Vattenskarvning är den vanligaste metoden och roterande sågar används främst vid tillverkning av specialprodukter.

När glasullen blivit beskuren beläggs en del av produkterna med olika material t.ex. papper eller plastfolie på ena eller båda sidorna för att uppnå vind- eller fuktskyddande funktioner. Det slutliga steget i produktionsprocessen är att paketera och leverera produkterna. Robotar används vid paketeringen (Burström, 2007; Nationalencyklopedin, 1992; Saint-Gobain Isover AB [6]).

## 4.2.2 Stenull

Stenull tillverkas av bergarterna diabas och dolomit tillsammans med kol och kalksten. Som bindemedel förekommer små mängder av urea och fenol/formaldehydarts (0,8-2 viktprocent). En halv viktprocent silikon eller mineralolja tillsätts för att minska dammbildning och göra materialet vattenavvisande. Detta smälts sedan samman i en kupolugn vid 1350-1600°C. Den smälta massan rinner sedan ner på en roterande skiva. Skivan slungar därefter ut trådknippen som sedan träffas av kraftiga luft- eller ångstrålar som finfördelar fibertrådarna ytterligare. Medeldiametern på fibrerna är ca 0,005 mm. Den fortsatta processen med fibertrådarna följer sedan samma steg som glasullsproduktionen (Bokalders m.fl. 2009; Burström, 2007; Nationalencyklopedin, 1994).

## 4.3 Egenskaper

### *Värmeledning*

Mineralullens förmåga att hålla luften i isoleringen stilla, minska värmestrålningen och att den är porös är avgörande för dess goda värmeisolerande egenskaper. Som lätt byggisolering, låg densitet, innehåller ullen generellt 99 % luft och 1 % mineralullsfibrer. Tunga isoleringsmaterial, skivmaterial, innehåller generellt 94 % luft och 6 % mineralullsfibrer. Fibrerna i mineralullen är bara i punktvis beröring med varandra.

Värmeledning varierar mellan 0,033-0,045 W/mK beroende på densitet.

### *Fuktegenskaper*

Vattenånga kan transporteras genom mineralullsprodukter eftersom de är diffusionsöppna. Fiber materialet kan dock inte ta upp vattnet utan det ligger fritt mellan fibrerna. Endast under extrema förhållanden som vid kraftigt regn eller dränkning kan stora mängder vatten lagras i materialet.

Många produkter av mineralull behandlas ändå vid tillverkningen så att de blir vattenavvisande.

Mineralullsprodukter som byggs in i konstruktioner bör vara torra och permanent skyddade från fukt utifrån. Fuktig mineralull kan lukta illa på grund av ureainnehållet och emissioner av formaldehyd kan förekomma.

#### *Mekaniska egenskaper*

Beroende på användningsområde tillverkas produkter med varierande densitet och struktur. För väggar ligger den normalt mellan 20-50 kg/m<sup>3</sup> och för tak eller isolering under platta på mark kan densiteten variera upp till 100-150 kg/m<sup>3</sup>. För täta skivor som t.ex. takschivor kan densiteten vara så hög som upp till 200 kg/m<sup>3</sup>. Stenull har något grövre fibrer än glasull vilket innebär att skrymdensiteten för stenull är något högre vid samma värmeledningstal.

Olika densitet och struktur ger olika hårda material och ju tätare material desto högre blir bärförmågan. Deformationsegenskaperna och tryckhållfastheten varierar också med hårdheten på materialet. Glasullsprodukter är i allmänhet mer deformbara än motsvarande stenullsprodukter. Sammantryckningen beror på lastens storlek, materialets densitet och bindemedelshalt.

Mineralullsprodukter kan pressas ihop till ca en femtedel av sin ursprungliga volym. Genom detta blir materialets förpackningar lättare att hantera och kräver mindre lagerutrymme.

#### *Hänsyn till brand*

Glas- och stenullsprodukter är klassificerade som obrännbara material vilket gör att de även fungerar som brandisolering. Förutsättningarna förändras dock om mineralullen är klädd med papper eller plastfolie. Vid brand avges farliga gaser, främst fenol. Allmänt har stenull något större motståndskraft mot brand än glasullsisolering. Det beror på att stenullen är tillverkad av sten.

#### *Ljudabsorption och ljudisolering*

Mineralull har en öppen porstruktur vilket gör att materialet har höga ljudabsorberande egenskaper. Det finns två olika typer av ljudisolering, luftljudisolering och stegljudisolering. När ljud avges till luften t.ex. genom tal och sång kallas det luftljud. För att på bästa sätt isolera mot detta mellan innerväggar placeras en mineralullsprodukt med låg densitet mellan reglarna. Därefter sätts skikt av tunga ytmaterial upp som gipsskivor eller spånskivor. Stegljud uppstår när någon t.ex. går på ett bjälklag. Isoleringen mot dessa ljud bestäms genom mätning av ljudtrycksnivån när bjälklaget mekaniskt bearbetas av en standardiserad hammarapparat (Bokalders m.fl. 2009; Burström, 2007; Paroc AB 2008; Peterson 2007; Peterson 2009; Partheen, 2010; Saint-Gobain Isover AB, 2007; Saint-Gobain Isover AB [6, 7]; Swedisol [2, 3]).

## 4.4 Användningsområde

Mineralullen är idag ett av de mest använda byggisoleringsmaterialen<sup>5</sup>, framför allt är glasull dominerande. Det beror på dess goda isoler- och utfyllnadsförmåga. Avgörande är också prisnivån. Vid isolering av en träregelvägg med isoleringstjocklek 190 mm är kostnaden för mineralull ca 100-120 kr/m<sup>2</sup> beroende på produkt. Mineralull förekommer som skivor, mattor, remsor, lösull mm beroende på vilken del av konstruktionen som ska isoleras. Det finns även formpressade specialprodukter för isolering av rör och kulvertar samt kylskåp och spisar. Mineralull slits inte, kräver inget underhåll och behöver inte bytas ut. Därför finns det i dagsläget ingen begränsning för hur länge mineralullen fungerar. Förutsättning är dock att byggnaden är rätt konstruerad och mineralullen inte påverkas av yttre faktorer.

Andra användningsområden är som brand- och ljudisolering i byggnader samt teknisk isolering<sup>6</sup>. Ytterligare ett användningsområde är som kärnmaterial i sandwichkonstruktioner av plåt eller betong.

### *Glasull*

På grund av glasullens låga vikt, att den är spänstig och har god hållfasthet passar den bra som lätt isolering, exempelvis mellan trä- och stålreglar i väggar och bjälklag. Dessa egenskaper gör att glasullen även används som takisolering eftersom materialet klarar de höga krav som ställs där.

### *Stenull*

Produkter av stenull används främst där det finns krav på hög användningstemperatur och hög tryckhållfasthet. Stenull används även på ställen med höga krav på brandsäkerhet. Stenullen passar bra som teknisk isolering för att undvika värmeförluster och sänka energikostnader. Rör och ledningar isoleras med stenull som är klädd med armerad aluminiumfolie. Dess dränerande egenskaper gör den även lämplig som markisolering, både vid platta på mark och för isolering av källargrunder (Hogstedt 1998; Nationalencyklopedin, 1992; Swedisol [1]; Saint-Gobain Isover AB [7]; Saint-Gobain Isover AB, 2008).

### 4.4.1 Arbetsmetod och hantering

Det är viktigt att värmeisoleringen fyller hela sitt utrymme. Uppstår luftspalter, hålrum eller andra bristfälligheter kan luften börja cirkulera (värmekonvektion). Isoleringen förlorar då en del av sin avsedda effekt.

På grund av att varm luft är lättare än kall stiger luften längs isoleringens varma sida och sjunker längs den kalla. Isoleringsmaterialet måste därför vara i fullständig kontakt med omgivande konstruktion, övrigt isoleringsmaterial och konstruktionens varma sida. Tillåts kall utomhusluft att nå isoleringens varma sida försämras isoleringens funktion.

Det är bäst att använda måttanpassade isolerskivor för att minska avfall och spridning av damm. Avfall från mineralullsprodukter deponeras på vanliga avfallsstationer. Blöt

---

<sup>5</sup> Isolering i grunder, väggar, golv och tak.

<sup>6</sup> Samlingsbegrepp för isolering inom VVS, industri och marina ändamål.

isolering ska inte monteras in i en konstruktion. Om materialet blivit blött måste det torka. Fukt får aldrig byggas in, därför måste konstruktionen torka innan fortsatt arbete.

Förvaring av mineralull på arbetsplatsen bör noga planeras eftersom dess funktion lätt förstörs. Lagring bör ske på skyddad plats nära monteringsplatsen för att minska förflyttningar. Mineralull levereras i plastförpackning som skyddar mot direkta skador och tillfällig förvaring utomhus. Vid längre förvaring utomhus bör mineralullen täckas med t.ex. presenning (Paroc AB 2008; Saint-Gobain Isover AB, 2007).

#### **4.4.2 God arbetsmiljö**

Arbetet med att montera mineralull bör ske tidigt i byggprocessen när det finns bra ventilationsmöjligheter och åtkomligheten är god. Att använda måttanpassad mineralull och undvika tillskärning i möjligaste mån på arbetsplatsen är viktigt för att undvika damm. Det är även viktigt att bära skyddskläder av dammfrånstötande material för att täcka känsliga hudpartier. Skyddsglasögon och andningsskydd är bra vid arbete över axelhöjd.

Enligt studier som gjorts påverkar inte mineralullsfibrer hälsan. Irritation på hud, i ögon och luftvägar kan däremot uppstå eftersom fibrerna är spetsiga. Det försvinner vid dusch och byte av kläder när arbetsplatsen lämnas. På grund av detta har Kemikalieinspektionen klassificerat mineralullsfibrer som irriterande för huden men inte cancerframkallande.

Mineralullen är kemiskt inert, dvs. den har ingen benägenhet att reagera med omgivningen. Därför uppstår sällan allergiska reaktioner, eventuella allergiska reaktioner orsakas av tillsatsämnen. Bygghälsan har gjort mätningar som visar att halten fiberdamm på de flesta arbetsplatser är långt under det tillåtna gränsvärdet. Dock är risken stor att komma över gränsvärdet vid installation av lösull (Hogstedt 1998; Swedisol, 2009; Swedisol [4]).

### **4.5 Mineralull och miljö**

Miljö- och kvalitetsmärkning av produkter är viktigt idag. I Sverige och andra länder har det varit frivilligt att kvalitetsmärka sina mineralullsprodukter, detta är ändå något som de flesta gjort. Tvingande kvalitetsmärkning är ett handelshinder enligt EU. Gemensamma standarder finns ändå för att underlätta handeln i Europa. Standarderna täcker relevanta produkttegenskaper med hänvisning till provningsmetoder där beteckningar och egenskapsnivåer fastställs.

Företagen som tillverkar mineralull vidtar en rad åtgärder för att minska miljöpåverkan och även säkerställa kvaliteten på produkterna. Till hjälp för detta finns lagar och föreskrifter samt olika organisationer som företagen kan ansluta sig till. Dessa arbetar för en bättre miljö. En sådan organisation är Kretsloppsrådet. Ett annat exempel är Basta-registret som medverkar till utfasning av farliga ämnen i byggsektorn och ägs av IVL Svenska Miljöinstitutet och Sveriges Byggingustrier.

Genom certifiering av företagets verksamhetssystem redovisas att standarder avseende miljö och kvalitet följs. Säkerhetsdatablad och byggvarudeklarationer är framtagna för att säkerställa att tillverkningsprocessen sker enligt kraven.

Inom företag finns även egna dokumenterade kvalitets- och miljömål. Miljömålen innebär bl.a. arbete mot en minskad belastning på miljön när det gäller råvaror, energianvändning och emissioner samt förbättrad arbetsmiljö vid montering av mineralull. Tillverkningen av produkter ska ske med så liten energiåtgång som möjligt och med återvinning av eventuellt spill. Till stor del består mineralullen idag av återvunnet material. Kvalitetsmålen är främst inriktade på att uppfylla kundernas krav och förväntningar på mineralullsprodukter.

En viktig del i miljöarbetet är att minska transporter av mineralullen. Mineralull har en förmåga att kunna minska ca 70-80 % i volym vid emballering. Detta gör att transporter av materialet minskar radikalt och därmed även påverkan på miljön (Ahlqvist m.fl. 1970; Anderlind m.fl. 2006; Paroc AB, 2003; Partheen, 2010; Saint-Gobain Isover AB [1, 3, 4, 5]).

## 5 Övriga isolermaterial

Här ges en kort beskrivning av andra värmeisoleringsmaterial.

### 5.1 Material baserade på naturmaterial

Isoleringsmaterial av naturmaterial är helt baserade på råvaror från växtriket. Det innebär att de är förnybara dvs. material som växer och bildas med hjälp av solenergi och fotosyntes (Bokalders m.fl. 2009).

#### 5.1.1 Cellulosafiber

Cellulosafiber delas in i två huvudgrupper, bestående antingen av returpapper eller pappersmassa. Returpappret mals ned och blandas med borsalt, vattenglas (silikat) eller ammoniumpolyfosfat. Tillsatssämnena gör att materialet blir mindre brandfarligt och begärligt för mögelsvamp. Ämnena varierar mellan 14-25 viktprocent. Ammoniumpolyfosfat anses vara mer miljövänligt än borsalt. Ibland används även gips för att öka brandmotståndet i produkterna. Pappersmassa är en kemiskt och mekaniskt defibrerad massa. Massan tillsätts ämnen som gör materialet mindre brandfarligt och förhindrar biologisk aktivitet.

Cellulosafiber är hygroskopiskt vilket innebär att det kan absorbera luftfukt. Ljudisolering med cellulosa blir god beroende på att fibern är relativt tung. Rätt monterad har fibern hög lufttäthet vilket motverkar luftrörelser i isoleringen. Cellulosafiber har en värmekonduktivitet på 0,040-0,045 W/mK. Densiteten varierar mellan 24-64 kg/m<sup>3</sup> beroende på produkt.

Materialet används som lösfallnadsmaterial i bjälklag eller som skivor i väggar. Material i lös form sprutas in med tryck så att hålrum effektivt fylls ut. Fibrerna har dock en benägenhet för viss sättning efter montering. Därför sprutas materialet in under tryck för att undvika att materialet sjunker ihop. Andningsskydd bör användas vid hantering av fibern eftersom den dammar (Bokalders m.fl. 2009; Burström, 2007; Peterson 2009; Östlund, 2010).

#### 5.1.2 Kork

Korkisolering tillverkas av barken på korkek. Odling av korkek kräver ett klimat som innebär varma somrar med heta hårda vindar och att den lilla årsnederbörd som faller koncentreras till vinterhalvåret. Eken trivs på karga, torra och sandhaltiga jordar. Skörden sker genom skalning av barken och detta kan göras första gången när eken är 25 år. Därefter sker skörd ca vart 9:e år tills trädet är ca 150 år gammalt, skörden sker växelvis på stam och grenar. Barken bildas beroende på det säregna klimatet och består av mycket små döda tunnväggiga celler som ligger intill varandra utan mellanrum. Kork användes redan under Antiken som taktäckning, sandaler och flöten.

För att öka isolerförmågan expanderas korken genom upphettning med vattenånga till 380°C i tryckkärl. Därefter pressas den ihop till skivor, korkens egna limämnen håller ihop materialet. Isoleringen används både som skivor och i lös form. Däremot krävs långa transporter då kork importeras från Spanien, Portugal eller Nordafrika.



Kork är motståndskraftigt mot fukt och röta samt angrips inte av skadedjur. Korkens fuktavvisning förstärks genom tillsats av bitumenpreparat. Skivor används främst i tak men även som mellanisolering i betongelement. Skivorna är relativt starka och har god elasticitet vilket gör att de kan användas till isoleringar som utsätts för tryck som t.ex. terrasstak. Finfördelad kork kan även användas som isolering i bjälklag. Materialet har en värmekonduktivitet på 0,040-0,045 W/mK. Densiteten varierar mellan 125-210 kg/m<sup>3</sup> beroende på produkt. Beroende på korkens fysikaliska uppbyggnad och biologiska resistens är beständigheten god. Vid användning enligt rekommendationer uppstår ej åldringsskador. Förbrukad kork kan malas ner eller förbrännas med energiutvinning (Ahlqvist m.fl. 1970; Bokalders m.fl. 2009; Burström, 2007).

### 5.1.3 Linfiber

Linfibrerna som används till isolermaterial är för korta för textiltillverkning. De limmas istället ihop av potatisstärkelse till mattor. För att göra mattorna styvare tillsätts 2-18 viktprocent polyesterfibrer.

Materialet är naturligt resistent mot skadeinsekter och tål fukt samt har goda egenskaper vad gäller ljudisolering. Linfiber brinner inte särskilt bra men ibland tillsätts ändå lite borsalt för att förbättra brandegenskaperna. Linfiber har en värmekonduktivitet på 0,040 W/mK. Densiteten är ca 50 kg/m<sup>3</sup>. För en vägg med 190 mm isolering blir kostnaden för linfiber ca 210 kr/m<sup>2</sup>.

Linfiber orsakar inte någon potentiell hälsorisk och miljöbelastningen är låg. Det finns inget krav på ventilation vid montering av linfiber och andningsskydd eller skydd för ögon och hud behöver inte användas (Bokalders m.fl. 2009; Gustafsson 2010).

### 5.1.4 Träfiber

Träfiberisolering tillverkas av trä som flisas och mals, blandas med vatten och pressas sedan ihop under tryck och värme. Ligninet i träet fungerar som lim. Som skydd mot brand tillsätts ammoniumpolyfosfat eller ammoniumsulfat. Vissa skivor som innehåller polyuretan undviks ur miljösynpunkt. Aluminiumsulfat tillsätts som skydd mot mögel. Det finns även skivor som har ett ytskikt av vax. Skivor som är oljehärdade är mer fukttåliga och för detta är tallolja vanligt.

Skivor av träfiber används som värmeisolering, stegljudisolering och ljudabsorbenter. Materialets värmekonduktivitet varierar mellan 0,037-0,17 W/mK och densiteten mellan 30-50 kg/m<sup>3</sup> beroende på produkt. För en vägg med 190 mm isolering blir kostnaden för träfiber ca 121 kr/m<sup>2</sup> (Bokalders m.fl. 2009; Östlund, 2010).

## 5.2 Mineralbaserade material

Dessa isoleringsmaterial tillverkas av mineraliska råvaror, till denna grupp hör även mineralull. Mineraliska material är icke förnybara (Bokalders m.fl. 2009).

### 5.2.1 Perlite

Perlite är ett naturmaterial som består av vulkaniskt glas, dvs. underkyld lava. Materialet bryts i dagbrott på Island, den grekiska ön Milos, i Ungern och Turkiet. Isolering materialet tillverkas genom upphettning av nermalad vulkanisk bergart till 1000-1100°C. Det bundna vattnet i stenen förångas och materialet utvidgar sig till 15-20 gånger större volym. Materialet är poröst och färgen vit. Viss perlite kan vara behandlad med bitumen som kan avge emissioner och bör därför inte användas inomhus.

Perlite används som lös fyllnad eller som gjutna block, främst i tak och grund. Perlite är diffusionsöppet och har så hög tryckhållfasthet att det kan användas som underlag för flytande golv. I granulerad form kan perlite användas som isolering i golv eller hålmurar. Materialet har en värmekonduktivitet på 0,044-0,060 W/mK. Densiteten är ca 80 kg/m<sup>3</sup>. Volympriset för perlite är 1000 kr/m<sup>3</sup>.

På grund av ursprunget är perlite obrännbart. Materialet kan inte ruttna, påverkas ej av svampangrepp och avger inte någon lukt (Andersson 2010; Bokalders m.fl. 2009).

### 5.2.2 Cellglas

Cellglas tillverkas av sand och returglas som smälts och blandas med kolpulver. Materialet expanderar och en struktur med slutna celler och luftbubblor bildas. Block eller skivor tillverkas för isolering av tak och grund. Cellglas fungerar också väl för att isolera källarväggar.

Cellglas har hög tryckhållfasthet. Om en platta på mark isoleras med cellglas kan betongplattan göras mycket tunnare eller helt tas bort. Betongplattan kan även ersättas av andra konstruktionselement. På en övertäkt gård isolerad med cellglas kan bilar köras utan att isoleringen förstörs.

Cellglas möglar eller brinner inte samt håller mycket länge. Materialet är vattentätt och diffusionstätt. Cellglas har en värmekonduktivitet på 0,042-0,055 W/mk. Densiteten är ca 115 kg/m<sup>3</sup>. Volympriset för cellglas är ca 3000 kr/m<sup>3</sup> (Bokalders m.fl. 2009; Hellqvist, 2010; Peterson 2009).

### 5.2.3 Lättklinker

Lättklinker tillverkas genom förbränning av fet, kalkfattig lera i en roterande brännugn. Brännugnens rotation bildar små runda och porösa kulor med diametern 2-20 mm. Dessa bränns vid 1100°C och gas bildas. Leran expanderar och ytskiktet glaseras till ett hårt skal. Lättklinkerkulor binds ihop och formas till block med hjälp av cement, sand och vatten.

Lättklinker används som värmeisolerande material i exempelvis platsgjuten betong eller lättklinkerblock. Materialet används även som block eller som lösfillning. Murblock av lättklinker tillverkas med eller utan cellplastkärna i olika storlekar. Cellplastkärnan ökar murblockens isolerförmåga. Blocken kan användas som bärande element i grunder och källarväggar. De kan även prefabriceras industriellt till större byggnadsdelar som väggar eller bjälklag. Lättklinker i lös form används som fyllning i grunder eftersom det är trycktåligt, men det har en tendens att rinna ut vid punktbelastning. Beroende på produkt varierar densiteten mellan 310-1600 kg/m<sup>3</sup>.

Det är de små luftcellerna i materialet som bidrar till isoleringsförmågan. Lättklinker kan även lagra värme. Materialet har en värmekonduktivitet på >0,100 W/mK. Lättklinker är frostbeständigt och svårpåverkat av fukt och mögel samt är obrännbart. Även bra ljudisolering fås av exempelvis en vägg murad med lättklinkerblock och putsad yta. Lättklinker är enkelt att arbeta med då den stora mängden luft gör att materialet är lätt att lyfta och handskas med. Materialet kan återvinnas vid rivning eller ombyggnad (Ahlqvist m.fl. 1970; Bokalders m.fl. 2009; Burström, 2007; Finja AB 2009).

## 5.2.4 Vakuumisolering

Vakuumisoleringspaneler är en relativt ny typ av isoleringsmaterial som isolerar 6-8 gånger bättre än traditionell isolering. Det är vakuums positiva inverkan på värmeisolering som utnyttjas. Panelerna består av ett poröst kärnmaterial, omslutet av en barriär som skyddar kärnan från omgivningen genom att upprätthålla vakuum på insidan. Barriärmaterialet består av flera skikt av plastfilm med eller utan metallfolie som sammanfogats till en enhet. Kärnmaterial som används är aerogel eller fumed silica. Paketet pressas samman till en skiva genom att luften pressas bort och barriärmaterialet försluts.

Kännetecknande för kärnmaterialen är dess uppbyggnad av väldigt små porer, 10-20 nm. Tillsammans med ett lägre tryck förhindras värmeöverföring hos den kvarvarande gasen i kärnan. Barriärmaterialets främsta uppgift är att förhindra att omgivande gas tränger in i panelen. Materialet måste också stå emot mekaniskt slitage och kunna förslutas så att det blir fullständigt tätt. Det är svårt att få ett material att fungera med dessa egenskaper. Därför sammanfogas skikt med olika egenskaper till en film för att uppnå önskad funktionalitet. På tidigare använda paneler var skikt av aluminiumfolie vanligt men idag används främst metalliserade polymerer. Anledningen är att det bildas en alldeles för stor köldbrygga när aluminium viks runt kanten på kärnan.

Vakuumisoleringspaneler är ett tekniskt avancerat isoleringsmaterial och kvadratmeterpriset för panelerna är högre än för vanliga isoleringsmaterial. Panelerna används främst där utrymmet är begränsat eftersom det behövs så små dimensioner för att uppnå tillräcklig isolerkapacitet. Exempelvis som tilläggsisolering i hus. Panelernas densitet varierar mellan 150-300 kg/m<sup>3</sup>.

Vakuumisoleringspaneler brinner inte, kan återanvändas samt innebär inga hälso- eller miljörisiker.

Vakuumisoleringspanelens värmekonduktivitet är <0,005 W/mK vilket innebär en extremt bra isoleringsförmåga. Om däremot trycket i kärnan ökas till omgivningens tryck ökar värmekonduktiviteten till 0,020 W/mK. Det innebär att tätheten hos

barriären är avgörande för panelens termiska egenskaper. Panelens livslängd beror också på tätheten. Idag finns vakuumisoleringspaneler avsedda för byggnader med en livslängd på ca 15 år. Forskningen går framåt för användning av paneler i byggbranschen, tillverkare tror sig kunna tillverka paneler med en livslängd upp mot 50 år (Bokalders m.fl. 2009; Thorsell 2003; Thorsell 2006).

## 5.3 Plastbaserade material

De plastbaserade isolermaterialen tillverkas av icke förnybara resurser. Dessa är industriellt framställda och består av fossil olja (Bokalders m.fl. 2009).

### 5.3.1 EPS, Expanderad polystyrencellplast och XPS, Extruderad polystyrencellplast

EPS tillverkas genom att små polystyrenkulor expanderar med hjälp av vattenånga till färdig produkt bestående av luftfyllda celler. Materialet består av 91-94 viktprocent polystyren, 4-7 viktprocent pentan och 1 % brandskyddsmedel. Tillverkning av EPS sker genom gjutning till block i formar under ångtryck, som sedan skärs till skivor. Tillverkningen kan även ske genom stränggjutning där skivorna pressas fram genom munstycke till slutgiltig form. Vid stränggjutningen bildas ett ytskikt på skivorna. EPS är vanligen vit.

XPS tillverkas i en kontinuerlig process (extrudering), smält polystyren expanderar i slutna formar med tillsatser av koldioxid som jäsmiddel. Sedan pressas det genom ett munstycke, formas och stelnar till skivformade produkter. Genom detta skapas ett förhållandevis fuktätt ytskikt på skivorna. Skivorna är antingen blå, rosa eller gröna.

Vid tillverkningen och vid eventuell brand påverkas arbetsmiljön eftersom styren avges. Ämnet tillverkas av petroleum vilket tillverkas av bensol som är cancerogent och påverkar immunförsvaret. Vissa produkter av cellplast innehåller halogena bindemedel som kan vara cancerogena eller allergiframkallande. Cellplastmaterial kan även innehålla bromerande flamskyddsmedel.

Cellplasten har hög tryckhållfasthet och används därför främst under platta på mark eller i andra konstruktioner där kraven på tryckhållfasthet är höga. Cellplasten består av homogena, slutna celler som innehåller luft. Cellstrukturen bidrar till att hålla luften stilla och minskar värmestrålningen som ger materialet dess låga värmekonduktivitet. Beroende på produkt är värmekonduktiviteten 0,036-0,040 W/mK. Innehåller cellplasten grafit kan  $\lambda$ -värdet sänkas till 0,032 W/m°C. Densiteten ligger mellan 20-40 kg/m<sup>3</sup>. Materialet kan anses vara lufttätt med liten ånggenomsläpplighet. Cellplast är en lätt produkt vilket underlättar bearbetning av materialet. Tillskärning görs enkelt med kniv eller såg.

Cellplasten är ett brännbart material och brinner snabbt om den fattar eld. Materialet förstörs om det utsätts för lösningsmedel och bryts ned av ultraviolett ljus (Ahlqvist m.fl. 1970; Bokalders m.fl. 2009; Peterson 2009).

### 5.3.2 Polyuretancellplast

Polyuretancellplast tillverkas genom blandning av två flytande komponenter, polyalkohol och polyisocyanat. Blandningen utvecklar kemisk värme med hjälp av en katalysator och koldioxid som drivgas. Blandningen börjar därmed koka. Cellplast med miljontals små, slutna celler innehållande gas bildas på kort tid när blandningen jäser. Polyuretancellplasten får genom det bättre värmeisolerande egenskaper än övriga cellplaster som har luft i cellerna. Beroende på mängden drivgas kan blandningen jäsa upp till 30 gånger sin volym. Endast av myndigheter tillåtna kemikalier får användas vid tillverkningen. Sedan 1991 är exempelvis freoner förbjudna som jäsmedel.

Eftersom den styva polyuretancellplastens slutna celler innehåller förgasat halogenkolväte som motsvarar ca 1/3 av luftens värmeledningstal isolerar materialet nästan dubbelt så bra som andra isoleringsmaterial. Värmeledningskoefficienten är 0,026 W/mK vilket innebär att 50 mm polyuretan motsvarar ca 100 mm mineralull. Den värmeisolerande gasen minskar dock med tiden och ersätts genom diffusion med luft. Förändringen kan till viss del elimineras genom diffusionstäta ytskikt på cellplasten. Polyuretan bryts sakta ned om materialet utsätts för uv-strålning, i övrigt är livslängden god.

Polyuretancellplast luktar inte, krymper inte och är mindre känsligt för vindpåverkan än många andra isoleringsmaterial. Ett ytskydd krävs dock på cellplasten om den utsätts för väder och vind. På grund av cellstrukturen ges materialet maximal styvhet och bärighet i kombination med låg vikt, vilket ger lätta och tunna konstruktioner. Polyuretanisolering är bra vid isolering av äldre hus då materialet inte kräver så stora dimensioner för att uppnå tillfredsställande isoleringskapacitet. Applicering genom sprut- eller spraysystem gör att materialet lätt fyller ut alla hålrum. Polyuretan kan användas vid temperaturer mellan -200°C och +140°C. Materialet har en densitet på ca 20-30 kg/m<sup>3</sup>, vilken dock varierar beroende på monteringsätt och ändamål. Cellplasten är lufttätt med liten ånggenomsläpplighet.

Polyuretan är brännbart och vid eventuell brand avges gaser som är farliga och ska undvikas. Personer i närheten måste då bära en friskluftsmask. Förbränningshastighet och rökgasbildning beror på cellvolym, omgivningstemperatur, lufttillgång och tillsatser av flamskyddsmedel. Eventuell brand släcks med pulver eller koldioxid.

Den personliga hygien är viktig både vid tillverkning och efterbearbetning av polyuretancellplasten. Andningsskydd med kol- och partikelfilter eller friskluftsmask bör användas eftersom damm och värme uppstår vid hantering. En anordning som suger bort dammet bör finnas. Händer skyddas med handskar och skyddskräm.

Polyuretan kan förbrännas och energiinnehållet återvinnas. Cellplasten är däremot inte komposterbar då nedbrytning genom solljus och mikroorganismer sker väldigt långsamt. På grund av karaktären av hårdplast är inte polyuretan återvinningsbart, materialet kan inte smältas på nytt. Utvecklingen går dock framåt och det forskas kring kemiska metoder att bryta ner polyuretanplasten till utgångsmaterial för att kunna användas vid nyttillverkning. Sågspill från produkten kan malas ner genom en mekanisk process och användas som t.ex. stoppning i dynor och kuddar (Isopol 2007; Peterson 2009; Plast- och Kemiföretagen 2002).

## 6 Resultat

Sammanställning av resultat.

### 6.1 Sammanställning av materialegenskaper

Tabell 1: Sammanställning av materialegenskaper

Material	Värmekonduktivitet [W/mK]	Densitet [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Naturmaterial</b>		
Cellulosafiber	0,040-0,045	24-65
Kork	0,045	125-210
Linfiber	0,040	Ca 50
Träfiber	0,037-0,170	30-55
<b>Mineralbaserade material</b>		
Mineralull	0,033-0,045	20-200
Perlite	0,044-0,060	Ca 80
Cellglas	0,042-0,055	Ca 115
Lättklinker	>0,100	310-1600
Vakuumisolering	<0,005	150-300
<b>Plastbaserade material</b>		
EPS/XPS	0,036-0,040	20-40
Polyuretancellplast	0,026	20-30

Tabell 2: Sammanställning av materialegenskaper

Material	Användningsområde	Form	Hälsa	
<b>Naturmaterial</b>				
Cellulosafiber	Värmeisolering	Väggar Bjälklag	Lös form Skiva	Damm - andningsskydd
Kork	Värmeisolering	Tak Bjälklag	Lös form Skiva	
Linfiber	Värme-, ljudisolering	Väggar mm	Matta Drev	
Träfiber	Värme-, stegisolering ljudabsorbent	Väggar mm	Skiva	
<b>Mineralbaserade material</b>				
Mineralull	Värme-, ljud- och brandisolering Teknisk isolering mm	Väggar Bjälklag Tak Grund	Lös form Skiva Matta Drev mm	Damm – andningsskydd Skyddskläder
Perlite	Värmeisolering	Tak Grund	Lös form Skiva Block	Ej inomhus Andningsskydd
Cellglas	Värmeisolering	Tak Grund Källarvägg	Block Skiva	
Lättklinker	Värmeisolering	Grund Källarvägg Vägg Bjälklag	Lös form Block - (bärande)	
Vakuumisolering	Värmeisolering	Hus	Skivor	
<b>Plastbaserade material</b>				
EPS/XPS	Värmeisolering	Grund	Skivor	Styren påverkar immunförsvaret
Polyuretancellplast	Värmeisolering	Väggar mm	Lös form	Damm – andningsskydd Handskar

## 6.2 Redogörelse för beräkningsfall

### *U-värdesberäkning*

Värmeisoleringsgraden för en byggnad motsvaras av en genomsnittlig värmeledningkoefficient. Det är ett samlat mått på de olika byggnadsdelarnas och köldbryggornas transmissionsförluster. Denna värmeledningkoefficient byggs upp av så kallade konventionella U-värden. U-värden är inversen av det totala värmemotståndet  $R_T$  för respektive byggnadsdel. Metoderna som använts för att ta fram U-värde för väggen med olika isoleringsmaterial är av allra enklaste slag och generella men normerade enligt EU-norm och Svensk Standard.

Väggen är konstruerad med materialskikt vinkelrätt värmeledningsriktningen och sammansatt med material som har olika värmeledande egenskaper. Vid beräkningen tas hänsyn till detta genom att räkna med två gränsvärdesmetoder. Genom dessa skapas ett medelvärde som normalt representerar ett tillräckligt noggrant värmeisoleringsvärde. Metoderna benämns  $\lambda$ -värdesmetoden och U-värdesmetoden. Metoderna representerar olika värden på grund av olika approximationer som är gjorda i förhållande till det verkliga fallet.  $\lambda$ -värdesmetoden ger ett lägre och U-värdesmetoden ett högre värmemotstånd. Det totala värmemotståndet  $R_T$  eller totala värmeledningkoefficienten  $U_T$  fås genom medelvärdet av de båda metodernas värmemotstånd. Dessa olika U-värden sammanvägs sedan till en genomsnittlig värmeledningkoefficient  $U_m$  för hela byggnaden (Petersson 2007).

Följande väggtyp är hämtad från B-Å Petersson (2007) *Tillämpad byggnadsfysik*. Den används som underlag och exempel för att redovisa skillnader i isoleringsförmåga hos olika värmeisoleringsmaterial. Alternativ 2 belyser den energibesparing som görs med extra isolering. Väggen utgörs av följande materialskikt:

28 mm	Träpanel	R =	0,2	m <sup>2</sup> K/W
20 mm	Vindskiva	$\lambda$ =	0,055	W/mK
190 mm	Värmeisoleringsmaterial	$\lambda$ =	Variabel	W/mK
190 mm	Träreglar	$\lambda$ =	0,14	W/mK
70 mm	Värmeisoleringsmaterial	$\lambda$ =	Variabel	W/mK
22 mm	Innerskiva	R =	0,06	m <sup>2</sup> K/W

Utöver värmemotstånd för materialskikt tillkommer även värmemotstånd vid ytor som gränisar mot luft, vid beräkningar antas:

- $R_{si} = 0,13$  m<sup>2</sup>K/W för konstruktionens ytteryta
- $R_{se} = 0,04$  m<sup>2</sup>K/W för konstruktionens inneryta

**Alternativ 1:** 190 mm värmeisoleringsmaterial och träreglar i samma skikt. Genomgående träreglar 190x45 mm<sup>2</sup>, cc-avstånd 600 mm.

**Alternativ 2:** Samma som alternativ 1, plus 70 mm extra värmeisoleringsmaterial utan genomgående träreglar.

För beräkningsexempel se bilaga 2.



### *Kontroll av transmissionsförluster*

Energibalansens ingående förlust- och tillskottstermer varierar beroende på byggnadens och installationernas tekniska utföranden samt de boendes levnadsvanor. I balansen medtages bl.a. ventilations- och läckageförluster samt tillskottsvärme från personer och tappvarmvatten. Termen  $Q_t$  beskriver transmissionsförlusterna genom klimatskärmens olika byggnadsdelar och köldbryggor. Den bestäms av övriga termer i balansen (Petersson, 2007). Som beskrivits tidigare i avsnitt 3.2 utgör  $Q_t$  och  $U_m$ , genomsnittlig värmegenomgångskoefficient, underlag för dimensionering av värmeisoleringen. Beräkningsexempel för  $U_m$  se bilaga 3 och för  $Q_t$  se bilaga 4.

Transmissionsförlusterna  $Q_t$ , är värmetransporten som sker i kallt klimat genom byggnaden när det är varmare inomhus än utomhus. Storleken på denna transport bestäms av klimatet inomhus och utomhus samt hur väl byggnaden är isolerad. Detta innebär att god värmeisolering i byggnadens olika delar begränsar transmissionsförlusterna. Dock uppkommer extra värmeförluster vid anslutningar mellan olika byggnadsdelar. Det beror på att isolertjockleken ofta är mindre på dessa ställen och kyla leds lättare mot den varma sidan. Detta kallas ”köldbryggor” och kan utgöra en stor andel av den totala transmissionsförlusten trots att byggnaden är välisolerad (Elmroth, 2009).

Underlag utgörs av följande byggnad, Tabell 3, som är mottagen under intervju med Christian Johansson på NCC Teknik, Göteborg. Även beräkningsmetodik är mottagen under besöket.

*Tabell 3: Den fiktiva byggnadens uppbyggnad, de olika delarnas U-värde och area.*

	<b>Uppbyggnad</b>	<b>U-värde [W/m<sup>2</sup>K]</b>	<b>Area [m<sup>2</sup>]</b>	<b>U×A [W/K]</b>
Vindsbjälklag	Träbjälklag med 500 mm isolering	0,082	72	6
Golvbjälklag mot jord	Pålad grund på lera	0,105	72	8
Yttervägg	Träregelvägg med X mm isolering		108	
Fönster	Treglasfönster U-värde inkl karm	1,100	28	31
Fönsterdörrar	Medräknat i fönster	0,000	0	0
Dörrar	Inkl karm	1,000	2	2

## 6.3 Beräkningsresultat

Tabell 4: Väggs U-värde för två olika alternativ av värmeisoleringsmaterial.

Isoleringsmaterial	U-värde [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	
	190 mm	190 + 70 mm
<b>BBRs minimikrav</b>	0,180	
<b>Naturmaterial</b>		
Cellulosafiber	0,206	0,150
Kork	0,222	0,164
Linfiber	0,206	0,150
Träfiber	0,195	0,143
<b>Mineralbaserade material</b>		
Mineralull	0,180	0,128
Perlite	0,219	0,161
Cellglas	0,212	0,158
Lättklinker	0,379	0,300
Vakuumisolering	0,067	0,029
<b>Plastbaserade material</b>		
EPS/XPS	0,191	0,138
Polyuretancellplast	0,155	0,107

Tabell 5: Byggnadens  $U_m$ -värde för olika isoleringsmaterial i väggen

Isoleringsmaterial	$U_m$ -värde [ $W/m^2K$ ]	
	190 mm	190 + 70 mm
<b>BBRs minimikrav</b>	0,50	
<b>Naturmaterial</b>		
Cellulosafiber	0,28	0,26
Kork	0,29	0,27
Linfiber	0,28	0,26
Träfiber	0,28	0,25
<b>Mineralbaserade material</b>		
Mineralull	0,27	0,25
Perlite	0,29	0,26
Cellglas	0,29	0,26
Lättklinker	0,36	0,32
Vakuumisolering	0,22	0,21
<b>Plastbaserade material</b>		
EPS/XPS	0,28	0,25
Polyuretancellplast	0,26	0,24

Tabell 6: Byggnadens variationer i  $Q_t$  under ett normalår beroende på olika typer av väggisolering.

Isoleringsmaterial	$Q_t$ [kWh/år]		$Q_t$ [kWh/år]	
	190 mm	%	190 + 70 mm	%
<b>Naturmaterial</b>				
Cellulosafiber	10381	+4,0	9461	+2,9
Kork	10775	+7,9	9855	+7,1
Linfiber	10381	+4,0	9461	+2,9
Träfiber	10249	+2,6	9329	+1,4
<b>Mineralbaserade material</b>				
Mineralull	9986	0	9198	0
Perlite	10755	+7,9	9724	+5,7
Cellglas	10643	+6,6	9724	+5,7
Lättklinker	13271	+32,9	11957	+30,0
Vakuumisolering	8147	-18,4	7621	-17,1
<b>Plastbaserade material</b>				
EPS/XPS	10249	+2,6	9329	+1,4
Polyuretancellplast	9592	-3,9	8935	-2,9

## 7 En subjektiv analys

Analysen är baserad på litteraturdelen i rapporten. Analysen sker i en multikriterieanalys och utgångspunkt är mineralull. Multikriterieanalys är ett verktyg som innebär att olika parametrar väljs ut och bedöms för de olika isoleringsalternativen. Isoleringmaterialen bedöms med plus, minus eller noll. Plus innebär att materialet är bättre och minus innebär att materialet är sämre än mineralull. Eftersom mineralull används som utgångspunkt bedöms materialet med noll, material som är likvärdiga med mineralull bedöms också med noll.

### 7.1 Materialegenskaper

	Egenskaper och uppbyggnad	Som isolering i träregelvägg	Miljö	Hälsa
<b>Naturmaterial</b>				
Cellulosafiber	-	0	+	0
Kork	-	-	0	0
Linfiber	-	0	+	0
Träfiber	0	0	0	0
<b>Mineralbaserade material</b>				
Mineralull	0	0	0	0
Perlite	-	-	0	0
Cellglas	-	-	0	0
Lättklinker	-	-	0	0
Vakuumisolering	+	+	+	0
<b>Plastbaserade material</b>				
EPS/XPS	0	-	-	0
Polyuretancellplast	+	+	-	0

#### *Egenskaper och Uppbyggnad*

Med egenskaper i detta sammanhang avses värmeisolerande förmåga. Den värmeisolerande förmågan påverkas av många olika faktorer såsom konstruktion, hur materialet påverkas av fukt samt materialets värmeledningsförmåga eller U-värde. Även vilken form isoleringsmaterialet har påverkar.

Beroende på hur materialet är uppbyggt har det olika värmeledningsförmåga. Mineralullens förträffliga förmåga till isolering beror främst på att ullen kan hålla luften i materialet stilla och att ullen är porös. Därför är mineralull ett av de mest använda isoleringmaterialen i byggbranschen. Det finns i många olika former vilket gör att det passar till flera olika områden.

Mineralull drabbas inte nämnvärt av sättningar som t.ex. isolering av cellulosafiber. För att undvika att cellulosafibern sätter sig vid isolering i lös form sprutas fibern in med ett visst övertryck. Det innebär att extra material sprutas in som fyller ut när fibern efter hand sjunker ihop. Cellulosafibern har något sämre värmeisoleringsförmåga varvid betyget blir minus.

Fukt kan påverka mineralull till skillnad mot korkisolering. Korkens celluppbyggnad motverkar fukttransport. Mineralullen kan inte ta upp fukt, men fukt kan finnas fritt mellan fibrerna. Däremot har mineralullen högre värmeisolerande förmåga än kork vilket ger korkisoleringen betyget minus.

Precis som kork är även isolering av linfiber naturligt resistent mot röta och skadedjur. Detta innebär att några kemikalier inte behöver tillsättas för att förbättra denna typ av egenskaper. Linfiber har dock en något sämre värmeisolerande förmåga än mineralull vilket innebär att materialet betygsätts med minus.

Den bästa träfiberisoleringen har ett  $\lambda$ -värde på 0,037 W/mK som kan jämföras med mineralullens 0,033 W/mK. Däremot är det sämsta  $\lambda$ -värdet för träfiber 0,17 W/mK, vilket ger ett stort intervall. Värdena beror på träfibers olika format. Träfiber betygsätts med noll eftersom träfiber med lågt  $\lambda$ -värde har nästintill samma värmekonduktivitet som mineralull.

Perlite är ett material som har så hög tryckhållfasthet att det kan användas som underlag för golv. Jämfört med mineralull har perlite högre tryckhållfasthet även om t.ex. skivor av mineralull också har hög tryckhållfasthet. Däremot är perlites värmeisoleringsförmåga sämre än mineralullens vilket ger perlite betyget minus.

Liksom mineralull tillverkas även cellglas av sand och returglas som smälts och blandas. Eftersom cellglas tillhör de oorganiska materialen möglar det inte, samma som för mineralull. Cellglas har dock ett högre värmeledningstal än mineralull vilket ger cellglas betyget minus.

Det material som är minst fördelaktigt att använda som värmeisoleringsmaterial i jämförelsen är lättklinker. För att uppnå god isolerförmåga tillverkas lättklinkerblock som innehåller någon typ av cellplast. Materialet får minus i betyg för sämre värmeledningförmåga jämfört med mineralull.

EPS och XPS tillhör, tillsammans med mineralull, de vanligast använda isoleringsmaterialen. På grund av dess struktur används materialet främst där det finns höga krav på tryckhållfasthet t.ex. i grunder. Mineralull och dessa cellplaster har i stort sett samma värmeledningstal vilket innebär noll i betyg.

Polyuretancellplast innehåller gas i sina celler istället för luft vilket förbättrar dess värmeisolerande egenskaper avsevärt. Jämfört med mineralull isolerar 50 mm polyuretancellplast lika bra som 100 mm mineralull. Så småningom ersätts dock gasen till viss del med luft. Vilket innebär att cellplastens värmeisoleringsförmåga försämras något, ändå får polyuretan plus i betyg.

Det material vars isolerförmåga är mest fördelaktig i rapporten är vakuumisoleringspanelerna som isolerar ca sex gånger bättre än mineralull. Detta beror på att ett kärnmaterial hålls i vakuum mellan ett barriärmaterial. Stillastående luft isolerar som beskrivits tidigare allra bäst. Dock är vakuumisoleringspaneler beroende av att vakuomet i kärnan upprätthålls annars försämras isoleringsförmågan betydligt. Vakuumisolering har en kort livstid jämfört med mineralull vilket är negativt då många byggmaterial glöms bort i den färdiga konstruktionen. Det beror på att de inte syns och är svåra att kontrollera. Vakuumisoleringen får ändå ett plus för

dess fantastiska värmeisoleringsförmåga trots att den behöver utvecklas mer för att den ska fungera optimalt i byggbranschen.

#### *Som isolering i träregelvägg*

För en någorlunda objektiv bedömning mellan materialen är utgångspunkten en träregelvägg isolerad med skivor. Detta är gjort för att materialen ska jämföras under lika förutsättningar.

För bästa möjliga värmeisolering i en träregelvägg bör materialet vara elastiskt för att undvika att springor mellan isoleringen och reglar uppstår. Det innebär att de material som har en tätare struktur och inte är lika porösa som mineralull bedöms med minus. De material som är mer lika mineralull i uppbyggnaden bedöms med noll.

Mineralull, cellulosa-, lin- och träfiber är de elastiska och porösa material som bäst isolerar i en träregelvägg och bedöms med noll. För att isoleringsmaterialet ska uppnå bästa prestanda måste det fylla utrymmet ordentligt så att inga springor uppstår.

Lättklinker, EPS/XPS, kork och cellglas har en fast form vilket innebär att materialen inte fungerar med tillräckligt prestanda i en träregelvägg. Perlite i lös form kan användas som isolering i väggar, men förekommer främst som isolering i tak och grund. Betyget för dessa material blir därför minus.

Lättklinker har en uppbyggnad som även gör att den kan tillverkas i block och användas som bärande element i t.ex. källarväggar. Dock måste den kompletteras med en kärna av exempelvis cellplast för tillräcklig värmeisolerande förmåga.

Polyuretancellplast har en annan uppbyggnad än mineralull men applicering genom sprut- eller spraysystem gör att materialet lätt fyller ut svåråtkomliga ställen. Materialet är även lätt och behöver inga stora dimensioner för att uppnå en fullgod isolering. Polyuretancellplast kan därför vara lämpligt att använda som tilläggsisolering i äldre konstruktioner med små utrymmen. Polyuretancellplast får på grund av detta plus i betyg trots att det inte har samma uppbyggnad som mineralull.

Vakuumisolering är ytterligare ett exempel på material som fungerar i trånga utrymmen. Vakuumisoleringspaneler behöver extremt små dimensioner för att uppnå tillräcklig isolerstandard. Exempel på sådana ställen kan vara äldre hus med små utrymmen. På grund av detta får även vakuumisolering plus i betyg trots skillnad i uppbyggnad gentemot mineralull.

#### *Miljö och Hälsa*

Miljö bedöms utifrån vilka råvaror isoleringsmaterial tillverkas av och hur det påverkar miljön. Vilka kemiska tillsatser som gjorts och materialets struktur kan påverka hälsan, därför blir de avgörande för bedömningen av materialets hälsopåverkan.

Som tidigare nämnts används mineralull flitigt inom byggindustrin. Dock upplevs ullen som hälsovådlig på grund av allt damm. Detta kan undvikas genom t.ex. skyddskläder och ventilation. Trots att fibrerna som bygger upp mineralull känns obehagliga att andas in är det enligt studier som gjorts inte skadliga för hälsan. Samtliga material bedöms med noll ur miljösynpunkt eftersom hantering av de flesta material innebär någon form av komfortproblem. Exempelvis behövs skyddskläder

vid montering av cellulosafiber och polyuretancellplast. Perlite bör inte monteras inomhus eftersom det innehåller bitumen.

Skadliga gaser frigörs vid brand i mineralull och man bör inte vistas i närheten utan mask. Stenull används dock ofta där det finns större risk för brand t.ex. vid tekniska installationer. Det beror på att stenull tillverkas bl.a. av bergarten diabas. Sten eller berg tål högre temperaturer bättre. Även om flera material anses vara obrännbara så är de inte alltid bäst att använda vid krav på brandmotstånd. Trots att t.ex. mineralull anses vara obrännbart finns det konstruktionstyper där materialet bör undvikas. Det finns även andra material som avger skadliga emissioner vid brand.

Beroende på förutsättningar och konstruktionstyp finns olika material att välja mellan. Många material tillsätts kemiska ämnen för att förbättra motståndskraften mot t.ex. fukt, mögel, brand mm. Dessa tillsatser kan vara skadliga både vid tillverkning och senare vid användning. Beroende på detta görs olika miljö- och hälsobedömningar. Därför finns olika databaser där företag kan registrera material. Dessa används för att lättare ta reda på vilka material som inte bör användas vid tillverkning av produkter.

Ur miljösynpunkt är det fördelaktigt att använda naturmaterial som cellulosa, kork, lin- och träfiber. De är tillverkade av växtbaserade material. Trots det betygsätts enbart cellulosa och linfiber med plus. Kork transporteras långa sträckor och viss träfiber kan ha tillsatser av polyuretan därför betygsätts de med minus.

Olika former av cellplast innehåller en hel del olika kemikalier som inte ska användas i inomhusmiljö. Polyuretan innehåller många skadliga kemikalier. EPS och XPS innehåller styren som vid tillverkning skadar miljön och farliga ämnen bildas vid förbränning. Däremot innehåller EPS och XPS inget som påverkar inomhusmiljön. Plastbaserade material är ej bra att använda ur miljösynpunkt på grund av tillverkningsmaterial och tillsatsämnen. Därför betygsätts de med minus ur miljösynpunkt.

Perlite är ett naturmaterial och förbrukat material kan användas som jordförbättringsmaterial. Detta innebär att vid kassering av perlite behövs ingen hänsyn tas till eventuella återvinningsrestriktioner. Betyget ur miljösynpunkt blir samma som för mineralull eftersom det är återvinningsbart, liksom lättklinker.

Cellglas tillverkas liksom mineralull av returglas varvid betyget för cellglas blir samma som för mineralull.

Vakuumisolering är extremt plastbesparande jämfört med cellplast eftersom det behövs så små dimensioner för att uppnå samma isoleringsstandard. Materialet är klassat som icke brännbart och innebär inga nämnvärda miljö- eller hälsorisker jämfört med mineralull varvid betyget blir plus.

## 7.2 Materialkostnad

För att ekonomiskt kunna bedöma den mest lönsamma isoleringen i en konstruktion måste hänsyn tas till

- Ökad isolering innebär en högre kostnad
- Delar som måste kompletteras med bättre värmeisolering
- Byggnadens livslängd



- Ökad isolering innebär minskat energibehov

Den totala värmekostnaden för en byggnad innebär addering av isolerings- och energikostnaderna. Då kostnaden för isoleringsmaterial varierar mycket kan kostnaden för enbart isoleringen bli hög. Ökad isolering innebär dock en sänkning av energikostnaden då behovet av tillförd värme minskar som framgår av Figur 4. Besparingen på ökad isolering övergår dock i kostnad när isoleringen blir för tjock. För ett så kostnadseffektivt isoleringsmaterial som möjligt bör  $\lambda$ -värdet och kvadratmeterpriset vara så fördelaktigt som möjligt. Mineralullens prisnivå är tillsammans med EPS/XPS låg vilket gör att andra material har svårt att konkurrera med dem. Det finns material med lägre  $\lambda$ -värde än dessa men i valet av material är priset i många fall avgörande.

### 7.3 Energiberäkning

	U-värde/ $U_m$ -värde	$Q_t$
<b>Naturmaterial</b>		
Cellulosafiber	0	0
Kork	-	-
Linfiber	0	0
Träfiber	0	0
<b>Mineralbaserade material</b>		
Mineralull	0	0
Perlite	-	-
Cellglas	-	-
Lättklinker	-	-
Vakuumisolering	+	+
<b>Plastbaserade material</b>		
EPS/XPS	0	0
Polyuretancellplast	+	+

#### *U-värde/ $U_m$ -värde*

Nu är miljö- och klimatfrågor viktiga och olika aktiviteter pågår för att minska behovet av energi. Byggsektorn har en stor del i det då byggnader står för ca 40 % av det totala energibehovet. Det är klimatskärmens uppgift att skapa ett komfortabelt inomhusklimat utan för stor energiåtgång, eller att byggnaden i övrigt påverkar hälsan negativt. All energiproduktion är en belastning för miljön. Detta medför att isoleringsmaterial som väljs har stor betydelse för energibehovet för uppvärmning av byggnaden. Däremot löses inte enbart problemen genom att öka mängden isolering för att på så sätt minska uppvärmningsbehovet och energiåtgången. En hjälp för detta är Kyotopyramiden där de olika stegen visar åtgärder på hur uppvärmningsbehovet ska minskas. Byggnaden måste även ses som en helhet och alla delar i byggnaden måste vara korrekt konstruktionstekniskt utförda. Det skapar ur ekonomisk och miljömässig synvinkel en bättre förutsättning för byggnader med ett lägre uppvärmningsbehov och en bättre energihushållning. Exempel på detta är passivhus där principen är byggnader helt utan uppvärmningssystem. Det åstadkoms genom att husen byggs så täta att ventilation endast medges genom ventilationssystemen. Då återvinns den redan uppvärmda luften. Passivhusstandarden kommer så småningom att vara den lägsta godtagbara standarden för all nybyggnation. Numera ska även alla

byggnader energideklarerar. Denna redovisar byggnadens energibehov och ger förslag på hur byggnaden kan energieffektiviseras.

BBR ställer krav på att byggnaden uppfyller de krav som ställs både som helhet och på enskilda delar i byggnaden. I alternativ 1 i beräkningsexemplet uppfyller mineralull, vakuumisolering och polyuretancellplast BBRs krav på U-värde för en vägg. Övriga material kräver en större dimension på isoleringen. I alternativ 2 med 70 mm extra isolering uppfylls kravet för övriga material utom för lättklinker. För att lättklinker ska klara kravet och kunna användas som isoleringsmaterial måste materialet kompletteras med ett material som isolerar bättre. Därför blir betyget minus.

Isoleringsmaterialet i väggen måste ökas för att bättre motsvara kraven för en del material. På motsvarande sätt kan isolertjockleken minskas där kraven mer än väl uppfylls. På så sätt kan golvytan ökas inomhus vilket får en större effekt och ekonomisk vinning för brukaren.

$U_m$ -värdet är ett genomsnittligt värde för hela byggnaden. Både alternativ 1 och 2 uppfyller detta. Det beror på att kravet inte är lika hårt ställt som för väggen. Ingen hänsyn tas i beräkning för hur byggnaden är isolerad i övrigt. Beräkningsresultatet hade givit ett annat utfall om beräkningen utförts med samma isolering i hela byggnaden.

Mineralull uppfyller BBRs krav på byggnaden i båda beräkningsfallen. Polyuretancellplast och vakuumisolering ges plus eftersom de har bättre värden i båda alternativen än mineralull. Dock finns det andra synpunkter på materialen som gör att dessa material inte alltid är bäst att använda ur värmeisolerings synpunkt. Kork, perlite och cellglas betygsätts med minus även om isolerförmågan bara är något sämre än mineralullens. Cellulosa-, lin- och träfiber samt EPS/XPS betygsätts med noll, eftersom isolerförmågan är nästan lika bra som för mineralullen.

### $Q_t$

Kontroll av transmissionsförlusterna  $Q_t$  kan ses som en eventuell indikation på hur stor energibesparingen skulle bli för uppvärmning beroende på vilket material som väljs. En bostadsyta är av största vikt för brukaren, väggarna bör inte ta upp för stor del av bostadsytan. Transmissionsförlusterna kan därför ses som ett mått på värmeisoleringen i huset. Det innebär att ju lägre  $Q_t$  är desto bättre värmeisolerad är byggnaden.

Transmissionsförluster kan inte jämföras med begreppet *specifik energianvändning* i BBR. Begreppet innehåller alla delar i energibalansen, både tillskott och förluster, som används för att bedöma hela byggnaden. Dock kan man se en procentuell skillnad i energibesparing eller eventuell förlust på uppvärmning som olika material ger. Jämfört med mineralull i alternativ 1 skulle t.ex. cellulosaisolering ge en förlust på ca 4,0 % och vakuumisoleringspaneler en besparing på ca 18,4 %. Övriga material följer tabellen. Betygsättningen av  $Q_t$  blir likvärdig den för U-värdet/ $U_m$ -värdet, vilket beror på att beräkningarna har samma utgångsvärden.

## 8 Slutsats

De främst förekommande värmeisoleringsmaterialen idag är mineralull i exempelvis träregelväggar och cellplast i grunden. Det blir mer och mer aktuellt att bygga både energismart och miljövänligt. Boverket ställer idag krav på att nyproduktion av byggnader har ett lägre värmebehov. En byggnad med lägre behov av tillförd värme kräver vanligtvis mer värmeisolering vilket innebär tjockare väggar. Då tomtytan inte medger större byggyta innebär det att boytan minskas. Det är då intressant med isoleringsmaterial med lägre  $\lambda$ -värde som skulle ge tunnare väggar. Detta innebär att de traditionella alternativen inte alltid ger det bästa resultatet.

Beräkningar i rapporten visar att det finns material som isolerar bättre än de traditionella. Att använda andra material och undersöka andra möjligheter ökar när utformningen av byggnaden påverkas. Dock är kostnadsfrågan en stor utmaning, i slutändan är det i många fall priset som styr. Mineralull och EPS har lägst prisnivå vilket gör att andra material har svårt att påverka valet av material.

Passivhus och lågenergihus är byggsystem som innebär att hus är byggda så välisolerade och täta att inget eller väldigt litet uppvärmningssystem behövs. Det innebär ett nästintill obefintligt värmebehov, vilket medför ett lågt energibehov. Detta kommer så småningom att bli den nya standarden för nyproduktion av byggnader.

Däremot medför det en större risk för konstruktionen med ökad isolering som blivit alltmer känd. En skadad konstruktion innebär att energibehovet ökar. Ökar värmeförlusterna åtgår mer energi för att kompensera förlusterna. Även andra problem uppstår till följd av fukt t.ex. mögel, hälsoproblem mm. Därför är en konstruktionstekniskt rätt utförd byggnad en förutsättning för lågt energibehov.

Miljön blir alltmer viktig och miljö kvalitetsmål sätts upp som innebär att förståelsen för att ämnen kan skada miljön ökar. Även människans hälsa kan påverkas negativt. Vissa material bör uppmärksammas. Vissa fibermaterial dammar och cellplastmaterial tillverkas av ändliga råvaror samt tillsätts olika kemikalier som är direkt skadliga för miljön.

Beräkningar är utförda för att ge en uppskattning av isoleringstjockleken i en vägg. Materialen i jämförelsen har olika användningsområden och många av materialen används inte med samma prestanda överallt. För bästa möjliga värmeisoleringsförmåga måste materialet fylla hela det tänkta utrymmet. Springor måste undvikas eftersom luft kan cirkulera och försämra värmeisoleringsförmågan. Kork, EPS/XPS, lättklinker, perlite eller cellglas används inte i träregelväggar. Det medför ett missvisande beräkningsresultat. Beräkningarna gäller även ett typfall utan hänsyn till övriga påverkande faktorer vilket innebär ytterligare en försämring av resultatet. Däremot ger skillnader mellan materialen en fingervisning i vilka material besparingspotential finns.

Utförda beräkningar visar jämförelsevis små skillnader i energibesparing med olika material. Däremot blir skillnaden större i ett längre tidsperspektiv. Flera material med extremt lång livstid som t.ex. cellglas skulle bli mer fördelaktigt framställda om större hänsyn togs till livslängden. Vakuumpanelernas livslängd är kort jämfört med andra

material. För att detta material ska fungera bra i byggkonstruktioner bör det undersökas och utvecklas mer grundligt.

Mineralull har inte den bästa värmeisoleringsförmågan i undersökningen men har ändå förhållandevis bra värmeisoleringsförmåga. En kombination av dess olika egenskaper och att materialet är det mest kostnadseffektiva som finns på marknaden idag gör dock att mineralullen antagligen även i fortsättningen kommer att vara det mest använda. Däremot finns synpunkter på dammspridningen vid montering som gör att vissa undviker att använda mineralullen.

Ett material som skulle passa i alla olika konstruktionsdelar är dock svårt att uppfinna eftersom alla delar har olika egenskaper och förutsättningar för god isolering. De material som finns idag finns också i många olika utföranden just för att passa olika syften och behov.

Ett isoleringsmaterial bör ha lång livslängd då det byggs in i en konstruktion och sedan ofta glöms bort. Därför måste det helst vara underhållsfritt. Materialet ska ha bra värmeisoleringsförmåga och vara vattenavvisande. Samtidigt måste det bidra till ett bra inomhusklimat. Stor vikt läggs även vid priset på olika material. Materialet bör även vara tillverkat av förnyelsebara råvaror utan kemiska tillsatser för att värna om miljön. Hanteringen av isoleringen ska ske utan risk för hälsan. Många av isoleringsmaterialen som används idag dammar och kräver god ventilation samt andningsmask vid montering. Ett material som kombinerar vakuumpanelernas värmeisoleringsförmåga och mineralullens prisnivå samt kan hanteras och monteras utan damm hade varit perfekt!

*Sammanfattning av de viktigaste värmeisolerande egenskaperna:*

- Lågt  $\lambda$ -värde
- Motverka luftcirkulation i materialet
- Beständighet mot temperatur, tryck och slag, mögel, röta och insekter
- Tillverkat av förnybara råvaror, utan tillsatser av kemiska ämnen
- Lång livslängd
- Hanterbart utan hälsopåverkan
- Ej avge lukt

## 9 Diskussion

Isoleringsmaterial och teknik för att bygga energieffektiva byggnader med lågt värmebehov finns men än så länge är produktionen förhållandevis låg. Dock är det ändå relativt vanligt att ha i åtanke under projekteringen att energibehovet ska vara så lågt som möjligt även om alla byggnader inte uppfyller kraven för passivhusstandard ännu. Så småningom kommer passivhusstandarden att vara den lägsta godtagbara standarden för nyproduktion.

Isoleringsmaterialen i rapporten är valda efter författarens intresse. Med handledare på NCC diskuterades även kort vilka material som är intressanta och som används i dagsläget. I denna diskussion kan något material som används mer eller mindre förbisetts.

Då viss del av informationen om materialen i rapporten är hämtad från tillverkare kan den eventuellt anses inte vara tillräckligt objektiv. Tillgången på bra och oberoende litteratur är begränsad och har varit svår att hitta. Dock får förutsättas att teknisk information från företag är korrekt.

I branschen förekommer också väldigt mycket åsikter om vad som är bra och dåligt samt vilka material som ska användas var och när. Därför kan det vara svårt att tillgodogöra sig en uppfattning om vad som är tekniskt rätt i olika avseenden.

Andra isoleringsmaterial har svårt att konkurrera med mineralull och EPS/XPS som används av tradition. Mycket beror på kostnadsfrågan då dessa material kostar mindre per kvadratmeter än många andra material. Ett material med bättre isoleringsförmåga men som är mycket dyrare är svårt att motivera. Material som är bättre ur miljö- och hälsosynpunkt är också svårt att motivera om det innebär större kostnader.

Eftersom beräkningarna är utförda genom en enkel handberäkningsmetod tas inte hänsyn till olika påverkande faktorer som köldbryggor, fukt, ventilation mm. Ett procentuellt påslag görs dock för köldbryggor i beräkningarna för  $U_m$ -värde och transmissionsförluster. Att använda ett generellt påslag ger bättre värdesuppskattning men inte ett helt korrekt värde. Bättre uppskattning hade kanske fåtts genom att använda ett energiberäkningsprogram.

## 10 Referenser

Ahlqvist, D., Sandin, L. och Sundin R. (1970) *Termisk isolering* [bok]. Malmö: Gullfiber AB

Anderlind, G. och Stadler C-G. (2006) *Isolerguiden Bygg 06* [bok]. Upplaga 06:1. Våring: Föreningen Swedisol

Bokalders, V. och Block, M. (2009) *Byggekologi, kunskaper för ett hållbart byggande* [bok]. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst

Boverket (2009) *Energideklaration* [www]. Hämtat från <http://www.boverket.se/Bygga--forvalta/Energideklaration/>. Sidan uppdaterad 2009-01-22. Hämtat 2010-02-12.

Burström, P-G (2007) *Byggnadsmaterial* [bok]. Upplaga 2. Lund: Studentlitteratur AB

Elmberg, A., Elmroth, A. och Wannheden C. (1996) *Hus i Sverige – perspektiv på energianvändningen* [bok]. Stockholm: Byggeforskningsrådet

Elmroth, A. (2009) *Energihushållning och värmeisolering, Byggvägledning 8 En handbok i anslutning till Boverkets Byggregler* [bok]. Upplaga 2. Stockholm: AB Svensk Byggtjänst

Finja AB (2009) *En miljövänlig lättklinkerprodukt med tre olika system för flexibelt byggande* [Broschyr]. Finja: Finja AB

Forum för Energieffektiva Byggnader (2009) *FEBY Kravspecifikation för Passivhus* [Rapport]. Göteborg: Forum för Energieffektiva Byggnader. (LTH rapport EBD-R--09/25, IVL rapport nr A1592, ATON rapport 0902). [1]

Forum för Energieffektiva Byggnader (2009) *Marknadsöversikt för passivhus och lågenergihus i Sverige 2008* [Rapport]. Göteborg: Forum för Energieffektiva Byggnader. [2]

Forum för Energieffektiva byggnader *Konceptet Passivhus* [www]. Hämtat från <http://www.energieffektivbyggnader.se/vanstermeny/konceptetpassivhus.4.4a4d22a41128e56161b80001313.html>. Hämtat 2010-02-24. [3]

Hagentoft, C-E. (2002) *Vandrande fukt, strålande värme: så fungerar hus* [bok] Upplaga 1. Lund: Studentlitteratur AB

Hogstedt, C. (1986) *Mineralull och arbetsmiljö* [bok]. Stockholm: Folksam (Vetenskap, forskning 1, Folksams skriftserie B 181)

Isopol (2007) *Material och metod* [www]. Hämtat från [http://www.isopol.nu/material\\_metod.html](http://www.isopol.nu/material_metod.html). Hämtat 2010-03-08.

Nationalencyklopedin (1992) *Nationalencyklopedin, band 7* [bok]. Höganäs. Bokförlaget Bra Böcker AB

Nationalencyklopedin (1994) *Nationalencyklopedin, band 13* [bok]. Höganäs: Bokförlaget Bra Böcker AB

NCC *Passivhus en aktiv insats för en bättre miljö* [Broschyr]. Stockholm: NCC Construction Sverige AB

Paroc AB (2008) *Isolerteori* [Broschyr]. Skövde: Paroc AB

Paroc AB (2003). *Med tanke på kvalitet och miljö* [Broschyr]. Skövde: Paroc AB

Passivhuscentrum *Vad är ett passivhus?* [Broschyr] Alingsås: Passivhuscentrum. [1]

Passivhuscentrum. (2010). [www]. Följande dokument finns på: <http://passivhuscentrum.se>. Sidan uppdaterad 2010-02-01. (Tillgängliga angivna datum)

- *Marknaden för Passivhus* 2010-02-24 [2]
- *Mer om Passivhus* 2010-02-24 [3]

Plast- och Kemiföretagen (2002). *Materialinformation Polyuretaner och Polyuretanelastomerer* [Broschyr]. Stockholm: Plast- och Kemiföretagen

Peterson, B-Å. (2009), *Byggnadens klimatskärm* [bok]. Upplaga 1:1. Lund: Studentlitteratur AB

Peterson, B-Å. (2007), *Tillämpad Byggnadsfysik* [bok]. Upplaga 3:1. Lund: Studentlitteratur AB

Riksantikvarieämbetet (2002), *Materialguiden - Slaggmaterial och mineralfibermaterial* [www]. Hämtat från [http://materialguiden.raa.se/materialguiden/index.asp?page=mat\\_show&matid=26](http://materialguiden.raa.se/materialguiden/index.asp?page=mat_show&matid=26). Hämtat 2010-01-28.

Saint-Gobain Isover AB (2007). *IsoverBoken* [Broschyr]. Billesholm: Saint-Gobain Isover AB

Saint-Gobain Isover AB (2008). *Isolering och klimatfrågan* [Broschyr]. Billesholm: Saint-Gobain Isover AB

Saint-Gobain Isover AB [www]. Följande dokument finns att hämta på: <http://www.isover.se> (Tillgängliga angivna datum)

- *Byggvarudeklarationer* 2010-02-10 [1]
- *Från Gullfiber till Isover* 2010-01-28 [2]
- *Isovers miljö- och hälsoarbete* 2010-02-10 [3]
- *Miljö och hälsa ligger oss varmt om hjärtat* 2010-02-10 [4]
- *Miljöpolicy* 2010-02-10 [5]
- *Så här producerar vi vår glasull* 2010-01-28 [6]
- *Vad är mineralull?* 2010-02-01 [7]

Swedisol (2009). *God arbetsmiljö vid montering av mineralull* [Broschyr]. Väring: Swedisol

Swedisol *Varför isolera?* [Broschyr]. Väring: Swedisol. [1]

Swedisol [www]. Följande dokument finns att hämta på: <http://www.swedisol.se>  
(Tillgängliga angivna datum)

- *Dimensionsstabilitet* 2010-02-01 [2]
- *Fukt* 2010-02-01 [3]
- *Hälsa* 2010-02-01 [4]

Thorsell, T. (2006), *Vacuum insulation in buildings-Means to prolong service life* [avhandling]. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan. (Licentiatavhandling inom avdelningen för byggnadsteknik)

Thorsell, T. (2003) Vakuumisoleringspaneler - supereffektiv isolering [artikel]. *Bygg & teknik*. 95e årgången, nr 5 2003, ss. 52-54

### ***Muntliga källor***

Andreas Östlund; Teknisk chef, Creamab. Mailkonversation kring materialen träfiber- och cellulosaisolering. (26 april 2010)

Christian Johansson; Uppdragsledare, NCC Construction Sverige AB, NCC Teknik. Diskussion kring värmeisoleringsmaterial, energiberäkningar och lågenergi/passivhusteknik. (15 mars 2010)

Hans Gustafsson; G & S Handel och Ekonomi AB. Mailkonversation kring materialet linfiberisolering. (16 april 2010)

Klas Partheen; civilingenjör, miljösamordnare, Saint-Gobain Isover AB. Frågor och diskussion kring materialet mineralull, energi och miljö. (18 februari 2010)

Martin Andersson; VD Tegelmäster AB. Frågor kring materialet perlite. (16 april 2010)

Peter Hellqvist; Försäljningschef/Teknisk rådgivning, Pittsburgh Corning Scandinavia AB. Frågor kring materialet cellglas. (19 april 2010)



# Bilagor

Bilaga 1: Terminologi

Bilaga 2: U-värdes beräkningar

Bilaga 3:  $U_m$ -värdes beräkningar

Bilaga 4: Beräkningar av  $Q_t$

## Bilaga 1: Terminologi

Aerogel	Material med låg densitet och hög porositet. Används som kärnmaterial i vakuumisoleringspaneler.
Basta-registret	Ett egendeklarationssystem där leverantörer själva registrerar produkter.
BBR	Boverkets Byggregler, innehåller krav och allmänna råd gällande utformning, bärförmåga, energihushållning, brand, hygien mm för svenska byggnader.
Brukstid	Antagande om ekonomisk livslängd av konstruktioner vid beräkning av ekonomiska kalkyler för byggnader. Den verkliga brukstiden är normalt längre än det antagande som görs vid beräkning.
Bygghälsan	Byggindustrins stiftelse för arbetarskydd och företagshälsovård.
Byggnadens energianvändning	Den energi som vid normalt brukande under ett normalår behöver levereras till en byggnad för uppvärmning, komfortkyla, tappvarmvatten och drift av byggnadens installationer samt övrig fastighetsel.
Byggvarudeklaration	Byggvarudeklarationer innehåller miljöfakta och miljöuppgifter för produktens hela livscykel. Uppgifterna är baserade på Kretsloppsrådets föreskrifter.
Densitet	Ett materials tyngd i förhållande till volym, $\text{kg/m}^3$ , och avser hela materialmängden inklusive porer.
Diffusion	Spontan spridningsprocess när gas eller vätska med egenskap skilt från omgivningen, blandas och jämnas ut.
DVUT	Dimensionerande vinterutetemperatur. Den temperatur, för representativ ort, som framgår av 1-dagsvärdet i ” <i>n</i> -daymean air temperature” enligt SS-EN ISO 15927-5 (Elmroth, 2009).
Fumed silica	Material som används i kärnan till vakuumisoleringspaneler. Består av kiseldioxid och kiselkarbid.

Installerad eleffekt för uppvärmning	Den samlade eleffekt som maximalt kan upptas av de elektriska apparater för uppvärmning som behövs för att kunna upprätthålla avsett inomhusklimat, tappvarmvattenproduktion och ventilation när byggnadens maximala effektbehov föreligger (Elmroth, 2009).
IVL Svenska Miljöinstitutet	Fristående forskningsinstitut inom miljöområdet.
Kemikalieinspektionen	Central tillsynsmyndighet under Miljödepartementet med ansvar för kemikaliekontroll.
Klimatzon I	Norrbottnens, Västerbottnens och Jämtlands län.
Klimatzon II	Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län.
Klimatzon III	Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län.
Kondens	Ändring av substans fysikaliska tillstånd till tjockare fas, t.ex. gas eller ånga övergår till vätska.
Konvektion	Rörelse i vätska eller gas, som vatten eller luft. Värme transporteras bort på detta sätt.
Kretsloppsrådet	Ett ideellt nätverk inom bygg- och fastighetssektorn.
Kyotoprotokollet	Internationell överenskommelse med mål att minska de årliga utsläppen av växthusgaser.
Mekanisk ventilation	Ventilation med hjälp av fläktar som är centralt placerade som tillför och drar ut luft kontinuerligt i lagom mängd.
Miljökvalitetsmål	Riksdagen har antagit mål för miljökvaliteten inom 16 områden.
Normalår	Medelvärde av utomhusklimatet t.ex. temperatur under en längre tid t.ex. 30 år.
Specifik energianvändning	Gränsvärde för byggnadens energianvändning. Anger den maximalt tillåtna

	energianvändningen per uppvärmd golvyta i den färdiga byggnaden under ett normalår.
Stränggjutning	Form av gjutprocess där material pressas genom munstycke till färdig produkt.
Sveriges Byggindustrier	Byggföretagens bransch- och arbetsgivarorganisation.
Swedisol	Branschorganisation för mineralulls-isoleringsföretag.
Säkerhetsdatablad	Säkerhetsdatabladerna behandlar yrkesarbetarnas och isolermontörernas arbetsmiljö.
Temperatur	Anges i °C, grader Celsius eller K, Kelvin.
Torrdestillation	Torrdestillation (Pyrolys) är en process där ett ämne upphettas i en syrefri miljö, sönderfaller utan att förbränning sker. Flyktiga ämnen avgår i gasform, medan en rest i fast eller flytande form blir kvar.
Transmission	Värmefflöde ut genom klimatskärmens olika delar, drivkraften är temperaturskillnad inom- och utomhus.
U-värde	Värmegenomgångskoefficient. Beskriver den värmeförlust som konstruktionen ger upphov till. För bästa möjliga isolering ska detta värde vara så lågt som möjligt. Enheten är $W/m^2K$ .
Ventilation	Luft transporteras genom ventiler och otätheter. Innebär förflyttning och utbyte av luft för att skapa ett behagligt inomhusklimat.
Värmeledningsförmåga	Beskriver materialets förmåga att släppa igenom värme, avser den totala värmetransporten genom materialet. Vanligaste benämningen är värmekonduktivitet.
Värmekonduktivitet	Den värmeisolerande egenskapen hos ett material. Ju lägre värde desto bättre värmeisolerande förmåga. Betecknas vanligen med $\lambda$ , enheten är $W/mK$ .
Värmemotstånd	Anger hur bra ett material isolerar, ju högre desto bättre. Enheten är $m^2K/W$ .
Värmeväxlare	Används för att överföra värmeenergi från ett medium till ett annat utan att de blandas,

vanligen luft och vatten. Syftet är att bibehålla värme vid ventilation.

Växthusgaser

Gaser som bidrar till växthuseffekten. Exempelvis freoner, koldioxid, ozon mm.

Ånggenomsläpplighet

Beskriver ett materials genomsläpplighet för vattenånga och hur snabbt vattenången transporteras genom materialet.

## Bilaga 2: U-värdes beräkningar

Använda formler: (Hämtat från boken ”Tillämpad byggnadsfysik”)

$\lambda$ -värdesmetoden:

$$\lambda = p_A \times \lambda_A + p_B \times \lambda_B \quad (1)$$

$p_A$  = andelen av material A

$\lambda_A$  = värmeledningsförmågan för material A (W/mK)

$p_B$  = andelen av material B

$\lambda_B$  = värmeledningsförmågan för material B (W/mK)

$$R = \frac{d}{\lambda_i} \quad (2)$$

$d$  = materialets tjocklek (m)

$\lambda_i$  = materialets värmeledningsförmåga (W/mK)

$$R_T = R_{se} + R_i + R_{si} \quad (3)$$

$$U_\lambda = \frac{1}{R_T} \quad (4)$$

$U$ -värdesmetoden:

$$R = \frac{d}{\lambda_i} \quad (5)$$

$d$  = materialets tjocklek (m)

$\lambda_i$  = materialets värmeledningsförmåga (W/mK)

$$R_{T_{trä}} = R_{se} + R_{vind} + R_{trä} + R_{inner} + R_{si} \quad (6)$$

$$R_{T_{isol}} = R_{se} + R_{vind} + R_{isol} + R_{inner} + R_{si} \quad (7)$$

$$U_U = p_{trä} \times \frac{1}{R_{T_{trä}}} + p_{isol} \times \frac{1}{R_{T_{isol}}} \quad (8)$$

$p_{trä}$  = ytan av trä i förhållande till hela ytan

$p_{isol}$  = ytan av isoleringsmaterialet i förhållande till hela ytan

Totalt:

$$U_T = \frac{U_\lambda + U_U}{2} \quad (9)$$

### Beräkningsexempel med cellulosafiber:

#### Alternativ 1:

190 mm Cellulosafiber  $\lambda=0,04$  W/mK

$\lambda$ -värdesmetoden:

$$\lambda = \frac{45}{600} \times 0,14 + \frac{555}{600} \times 0,04 = 0,048 \text{ W/mK}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,048} + 0,06 + 0,13 = 4,752 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_\lambda = \frac{1}{4,752} = 0,210 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$U$ -värdesmetoden:

$$R_{T_{trä}} = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,14} + 0,06 + 0,13 = 2,151 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{T_{isol}} = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,04} + 0,06 + 0,13 = 5,544 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_U = \frac{45}{600} \times \frac{1}{2,151} + \frac{555}{600} \times \frac{1}{5,544} = 0,202 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Totalt:

$$U_T = \frac{0,210 + 0,202}{2} = 0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### Alternativ 2:

190 + 70 mm Cellulosafiber  $\lambda=0,04$  W/mK

*λ-värdesmetoden:*

$$\lambda = \frac{45}{600} \times 0,14 + \frac{555}{600} \times 0,04 = 0,048 \text{ W/mK}$$

$$R_T = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,048} + \frac{0,07}{0,04} + 0,06 + 0,13 = 6,502 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_\lambda = \frac{1}{6,502} = 0,154 \text{ W/m}^2\text{K}$$

*U-värdesmetoden:*

$$R_{T_{\text{rä}}} = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,14} + \frac{0,07}{0,04} + 0,06 + 0,13 = 3,901 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{T_{\text{isol}}} = 0,04 + 0,2 + \frac{0,02}{0,055} + \frac{0,19}{0,04} + \frac{0,07}{0,04} + 0,06 + 0,13 = 7,294 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U_U = \frac{45}{600} \times \frac{1}{3,901} + \frac{555}{600} \times \frac{1}{7,294} = 0,146 \text{ W/m}^2\text{K}$$

*Totalt:*

$$U_T = \frac{0,154 + 0,146}{2} = 0,150 \text{ W/m}^2\text{K}$$



## Bilaga 3: $U_m$ -värdes beräkningar

Förutsättningar och ingångsvärde samt beräkningsmetodik är mottagen vid intervju med Christian Johansson, NCC Teknik, Göteborg. Variationer utgörs av tidigare beräkningar av väggens U-värde.

$$A_{total} = 72 + 72 + 108 + 28 + 2 = 282 \text{ m}^2 \quad (10)$$

$$UA_{vägg} = U_T \times A \quad (11)$$

$$UA_{total} = 6 + 8 + X + 31 + 2 \quad (12)$$

Köldbryggor är antagna att utgöra ett påslag med 15 % av  $UA_{total}$

$$Köldbryggor = 0,15 \times UA_{total} \quad (13)$$

$$U_m = \frac{UA_{total} + Köldbryggor}{A_{total}} \quad (14)$$

### Beräkningsexempel med cellulosafiber:

#### Alternativ 1:

190 mm Cellulosafiber  $U_T = 0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$UA_{vägg} = 0,206 \times 108 = 22 \text{ W/K}$$

$$UA_{total} = 6 + 8 + 22 + 31 + 2 = 69 \text{ W/K}$$

$$Köldbryggor = 0,15 \times 69 = 10 \text{ W/K}$$

$$U_m = \frac{69 + 10}{282} = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### Alternativ 2:

190 + 70 mm Cellulosafiber  $U_T = 0,150 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$UA_{vägg} = 0,150 \times 108 = 16 \text{ W/K}$$

$$UA_{total} = 6 + 8 + 16 + 31 + 2 = 63 \text{ W/K}$$

$$Köldbryggor = 0,15 \times 63 = 9 \text{ W/K}$$

$$U_m = \frac{63 + 9}{282} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## Bilaga 4: Beräkningar av $Q_t$

Beräkningsmetodik är mottagen vid intervju med Christian Johansson, NCC Teknik.

Inomhustemperatur: BBR anger som allmänt råd 22°C (Elmroth, 2009)

Årsmedeltemperatur: Halmstad ca 7°C (Uppgift från SMHI)

$$UA_{total+köldb.} = UA_{total} + köldbryggor \quad (15)$$

$$Q_t = UA_{total+köldb.} \times \frac{\Delta T_{\text{år}}}{1000} \quad (16)$$

$\Delta T_{\text{år}}$  = Värmeförbrukningstal för aktuell ort; skillnad mellan inomhustemp. och ortens årsmedeltemp. multipliceras med antalet timmar på ett år.

### Beräkningsexempel med cellulosafiber:

#### Alternativ 1:

$$UA_{total+köldb.} = 69 + 10 = 79 \text{ W/K}$$

$$Q_t = 79 \times (22 - 7) \times \frac{8760}{1000} = 10381 \text{ kWh/år}$$

#### Alternativ 2:

$$UA_{total+köldb.} = 63 + 9 = 72 \text{ W/K}$$

$$Q_t = 72 \times (22 - 7) \times \frac{8760}{1000} = 9461 \text{ kWh/år}$$