



Innehåll

Isolerteori	3
Energisparande	4
Isolerekonomi	6
Byggnadskonstruktion	8
Värme	12
Fukt	17
Frost	24
Markisolering	25
Brand	30
Additionsmetoden	37
Ljud	39
CE-märkning	51



Isolerteori

I detta avsnitt av Byggboken informerar vi om begrepp och grundläggande funktioner som kan kopplas till ett värmeisolerande material. Inledningsvis behandlas energisparande, ekonomi och byggnadskonstruktion i generella termer. Därefter följer en beskrivning av isoleringens funktioner:

Värme

Här presenteras värmetransportmekanismerna för ett isoleringsmaterial samt hur värmeisoleringsförmågan kan påverkas av temperatur och fukt.

Fukt

Förutom grundläggande definitioner och begrepp innehåller avsnittet några beräkningsexempel samt en rad praktiska tips för att minimera risken för fuktproblem i byggnaden. Om man följer dem försäkras man sig även om att värmeisoleringens funktion inte onödigtvis försämras av fukt.

Frost

I avsnittet redovisas hur tjäle uppkommer och på vilket sätt en markisolering kan mildra eller förhindra tjällyftningar.

Markisolering

Här beskrivs utformningen av platta på mark och källaryttervägg mera i detalj. Stenull kan användas i båda applikationerna, avsnittet beskriver varför.

Brand

Här redovisas grundläggande begrepp samt det klassningssystem som tillämpas för material och konstruktioner. Avslutningsvis presenteras några kurvor som kan underlätta vid dimensionering av en brandisolering i olika konstruktioner.

Ljud

Ljudavsnittet har givits förhållandevis stort utrymme och innehåller bl a ett antal beräkningsexempel. Orsaken är dels att vi bedömer att ljudfrågor får allt större betydelse vid utformningen av våra byggnader men även att ljudfrågorna endast behandlas översiktligt i övriga avsnitt av Byggboken. Avsnittet är utformat så att det skall kunna nyttjas i samband med undervisning på olika nivåer eller vid självstudier.

Energisparande

Energisparande och värmeisolering utgör "baskraven" i EU:s byggnadsdirektiv. EU-kommissionen har därför valt att fastslå betydelsen av att byggnader uppförs med hänsyn till tillfredsställande energisparande och följaktligen med

en god nivå på värmeisoleringen. Detta har gjorts sedan man har sett följderna av de stigande energipriserna de senaste åren och med ökat medvetande om våra globala miljöproblem.

Energisparande

Nationella byggregler anger minimikrav för att begränsa byggnadernas behov av energi till uppvärmning. Syftet är att uppnå god energiekonomi. Men vad är god energiekonomi? Vem är den bra för? För husägaren? För hyresgästen? För samhället?

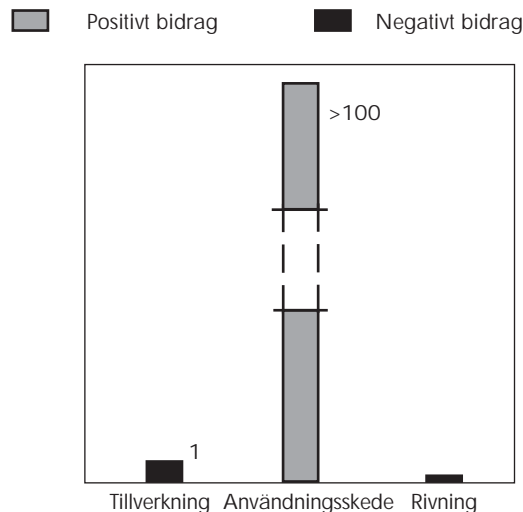
Här finns inga motsättningar. Om man väljer den tjocklek som är mest gynnsam för privatpersonen (den tjocklek som i dagligt tal kallas optimal tjocklek) visar det sig att den vanligen är tjockare än vad som anges i byggreglerna. Dessutom leder den till ett behagligare inomhusklimat och är framför allt mer energieffektiv, sett i samhälleligt perspektiv när nu miljöfaktorer i allt högre grad tas med i beräkningen.

Den mest gynnsamma isoleringen måste beräknas på basis av byggnadens livstid. Isolering nöts inte ut, kräver inget underhåll och behöver inte bytas. Normalt räknar man med en livslängd om 50 år för isolering som skall fungera lika länge som byggnaden. Den faktiska livslängden är dock betydligt längre. Om byggnaden är rätt konstruerad, är det ingenting som påverkar isoleringen när den är på plats. Den kommer att ha avsedd isoleringsverkan så länge den är på plats, och vi känner ännu inte livslängden för en isolering. I praktiken är den obegränsad. Därför visar livscykelanalysen för en stenullisolerad byggnad att en avsevärt mycket större mängd isolering bör användas än vad som sägs i byggreglerna.

Därför är det viktigt att korrekt isolering används med tanke på framtiden när den nya byggnaden skall uppföras eller renoveringen genomförs. Sett över byggnadens livstid finns det knappast några åtgärder som ökar energieffektiviteten på ett för husägaren lika gynnsamt sätt som en effektiv isolering.

Även om en högre isoleringsstandard än den som krävs av byggreglerna skulle öka kostnaderna, är den fortfarande en mycket billig åtgärd i förhållande till dess effektivitet. De extra kostnaderna kan ses som en mycket billig försäkring mot vad som kommer att inträffa i framtiden. Det är förnuftigt från ekonomisk synpunkt att tänka på stigande energipriser, så att ytterligare investeringar i extra isolering i framtiden kan undvikas. Man kan säga att valet av hög standard för isolering är en gynnsam försäkringspolitik mot framtida höjningar av energipriserna

Total miljöbalans för stenullisolerings



Figur 1

Miljöfaktorer

Hur påverkar isoleringen miljön?

Leder tillverkning och transport av isolering till betydande skador på miljön?

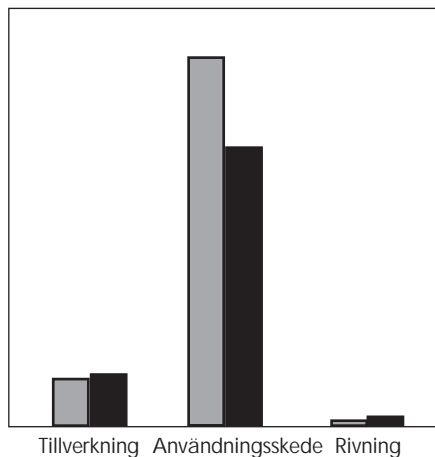
Hur sluthanteras isoleringen efter rivning?

Användningen av värmeisolering har mycket positiv inverkan på miljön. Tillverkningen, inklusive utvinningen av råmaterial, transport och sammansättning, har en negativ påverkan på miljön som dock kompenseras under det första året som isoleringen används. Man brukar säga att nyttan från miljösynpunkt är flera hundra gånger större än den negativa miljöpåverkan.

Om man betänker byggnadens totala livstid, utgör drift och underhåll ca 85 procent av den totala miljöpåverkan. Den mängd energi som krävs för uppvärmning och varmvatten är helt dominerande. Ca 15 procent kommer från tillverkningsprocessen och mindre än 1 procent från rivningen. Det är lätt att visa att investering i extra isolering betalar sig många gånger om när man tar med i beräkningen den negativa miljöpåverkan under hela livscykeln. Och denna extra isolering motiveras av rent privata ekonomiska skäl.

Den totala negativa miljöpåverkan hos en byggnad

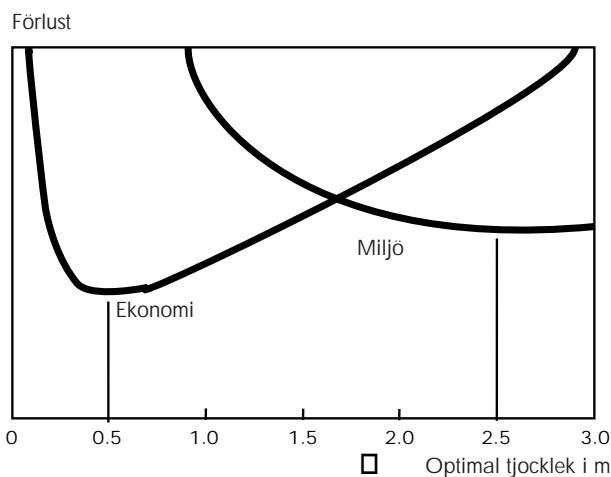
Normal isolering Ökad isolering



Figur 2

Optimal isolering

Traditionellt har vi beräknat den ekonomiska optimala tjockleken för olika konstruktioner i en byggnad. I detta fall beaktar man det faktum att byggnadskostnaderna kommer att stiga när isoleringen ökas. Men samtidigt kommer den årliga energiförbrukningen att minska utan några kostnader för underhåll. Ett schematiskt exempel visas här för ett traditionellt vindsbjälklag, där den ekonomiska tjockleken normalt ligger kring 0,50 m. Detta finner man där kurvan har sin minimipunkt, enkelt uttryckt den lägsta årskostnaden för byggnaden och energikostnaderna.



Figur 3

Diagrammet antyder också placeringen av en miljömässigt optimal isoleringstjocklek. Kurvan representerar summan av miljöpåverkan i byggnadsskedet och vid årlig drift. Den miljömässigt optimala isoleringstjockleken för vindsbjälklag är realistiska 2,5 m.

Det beror främst på det faktum att den ytterligare inverkan på miljön när tjockleken ökar nästan uteslutande härrör från själva isoleringen. Beräkningen visar att en investering i isoleringstjocklek utöver normala tjocklekar också leder till en investering i vår miljö.

Huset som energisystem

Om vi skulle bygga ett hus som uppfyllde kraven på optimal energiekonomi, skulle vi titta på den större bilden och inte bara på de enskilda delarna. Ofta visar det sig att extra isolering gör att man kan välja ett något enklare uppvärmningssystem. Man måste exempelvis betänka att olika komponenter i en byggnad har olika livstider. Vi rekommenderar att den inverkan som olika isoleringsstandarder har på valet av uppvärmningssystem i huset undersöks i ett tidigt stadium.

Isolerekonomi

Av landets totala energikonsumtion svarar uppvärmning och drift av våra byggnader för ca 40 %. Här finns alltså en stor potential till minskning av energiförbrukningen. Speciellt viktigt är det att vid nyproduktion noga överväga lämplig isolerstandard. Men även vid renovering bör man fundera över vilka konstruktioner det lönar sig att tilläggsisolera.

I det följande redovisas en kalkylmetod för att beräkna ekonomisk isolerstandard. Det är denna metod, den så kallade BK-metoden som vi använt när vi lagt fast ekonomiskt optimal

isolertjocklek i de tabeller som redovisas i anslutning till konstruktionslösningarna i tabellen.

BK-metoden ger den isolerstandard som leder till lägsta årskostnad vid de valda beräkningsförutsättningarna. Minimipunkten är flack vilket innebär att årskostnaden endast ökar marginellt om man väljer en något högre isolerstandard. Man kan säga att det är en låg premie för att försäkra sig mot en framtida extrem energiprishöjning.

Den viktiga förutsättningen

Minskad konsumtion av energi i en enskild byggnad kan ske endast under förutsättning av en väl isolerad klimatskärm. Först då blir det möjligt att få full nytta av effektiva installationer för produktion av energi.

En hög isolerstandard i golv, väggar, tak och fönster innebär inte enbart en lägre energiförbrukning. Den minskar också effektbehovet och gör uppvärmningsperioden kortare. Den gör det möjligt att bättra tillvara gratisenergi, och skapar förutsättningar för ett enklare uppvärmningssystem.

En hög isolerstandard är en investering med mycket god lönsamhet för obegränsad tid. Utan egen driftskostnad eller behov av underhåll.

BK-metoden

BK står för besparingskostnad. BK-metoden innebär att man jämför kostnaden för att spara energi – besparingskostnaden – med dagens energipris. Genom att stegvis öka tjockleken på isoleringen, kan man beräkna den marginella besparingskostnaden. Så länge denna är lägre än dagens energipris, är åtgärden lönsam.

Besparingskostnaden – BK – beräknas enligt formeln:

$$BK = \frac{\Delta I}{B \cdot \alpha} \quad \text{kr/kWh}$$

- ΔI = ökad investeringskostnad (kr/m²)
- B = energibesparingen per år (kWh/m²).

Energibesparingen beräknas ur

$$B = \Delta U \cdot Q$$

där ΔU är förbättringen av U-värdet och Q är värmeförbrukningstalet för aktuell ort i 1000-tal gradtimmar/år. (Se tabell 5.)

- α = korrigeringsfaktor som tar hänsyn till livslängd (n), real energiprisökning (q) önskad real förräntning (r) av investeringen och beräknas ur formeln:

$$\alpha = \frac{1 - t^n}{1 - t} ; t = \frac{1 + q}{1 + r}$$

- n = livslängd (år)

(Observera att om formeln skall tillämpas för en åtgärd som kräver underhåll, t ex värmeåtervinning, så skall ΔI även innehålla nuvärdet av de årliga utgifterna för att hålla anläggningen i trim.)

Genomsnittlig och marginell besparingskostnad

Den ekonomiska nyttan av varje extra cm isolering avtar med tjockleken. Det är lönsamt att öka isolertjockleken intill dess att den sista centimetern uppfyller förräntningskravet. D v s intill dess att besparingen övergår i kostnad.

Den marginella besparingskostnaden – BK_{marg} – kan man få fram genom att räkna på konsekvensen av stegvisa ökning av isolertjockleken. **För max ekonomiskt utbyte, bör BK_{marg} vara lika med dagens energipris.** Detta bestämmer isoleringens ekonomiskt optimala tjocklek. Sedan optimal tjocklek bestämts, kan man kontrollera åtgärdens totala lönsamhet genom att beräkna den genomsnittliga besparingskostnaden – BK_{snitt} .

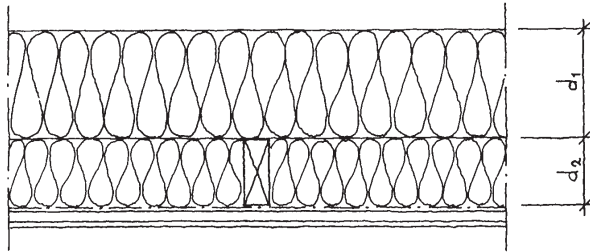
OBS! För lönsamma isoleråtgärder är BK_{snitt} alltid lägre än BK_{marg} .

Generellt gäller alltså:

- BK_{marg} dimensionerar isolertjockleken.
- BK_{snitt} beskriver lönsamheten.

Lönsamhet

Exempel. Nedan visar vi hur man beräknar ekonomisk värmeisolering för en byggnad. Som exempel har vi valt en villa i mellansverige med ett vindsbjälklag av trä som isoleras med PAROC Lösull. Normalt utförs optimeringsberäkningarna med hjälp av dator.



Figur 4. Träbjälklag.

Beräkningsförutsättningar:

– dagens energipris	60 öre/kWh
– real ränta, r	4 %
– årlig real energiprisökning	2 %
– livslängd, n	50 år
– värmeförbrukningstal, Q	$110 \cdot 10^3 \text{ °C h/år}$
– investeringen för att öka isolertjockleken med 1 cm	3 kr
– α , beräknad med ovanstående ränta, energiprisökning och livslängd	32,4
– λ_{kl} för isolering	0,042 W/m °C

Följande värmemotstånd har använts i beräkningarna:

Konstruktion	R m ² °C/W
Övergångsmotstånd + yttertak + innerbeklädnad	0,47
d ₂ = 170 mm Lösull, 5 % regelandel	3,85
d ₁ * i m Lösull utan träreglar	$\frac{d_1}{0,042}$

* Ökas successivt till ekonomisk tjocklek uppnås.

Vi har valt att starta beräkningen från en isolertjocklek av 170 + 50 mm. Detta ger ett U_p-värde på 0,205 W/m² °C. Vid en höjning av isolerstandarderna med 20 mm ökar investeringen med 6,00 kr/m². Samtidigt sjunker U-värdet med 0,018 W/m² °C.

Energibesparingen blir då:

$$B = \Delta U \cdot Q = 0,018 \cdot 110 = 1,98 \text{ kWh/m}^2$$

Med hjälp av energibesparingen, investeringsdifferensen och övriga förutsättningar ovan blir

$$BK_{\text{marg}} = \frac{\Delta I \cdot 100}{B \cdot \alpha} = \frac{6,0 \cdot 100}{1,98 \cdot 32,4} = 9,35 \text{ öre/kWh}$$

Åtgärden är lönsam eftersom $BK_{\text{marg}} < 60 \text{ öre/kWh}$.

Motsvarande beräkning görs sedan för varje ökning av isolertjockleken till dess BK_{marg} överstiger gällande energipris. Tjockleksökningen väljs efter standardtjocklekar så att stegen blir 20 – 30 mm stora.

Enligt denna beräkning finner man att den optimala isolertjockleken idag är uppe i ca 650 mm för den beskrivna konstruktionen.

Den **genomsnittliga besparingskostnaden** bestämmer man genom att räkna på det totala steget från 220 till 650 mm isolertjocklek.

$$B = \Delta U \cdot 110 = (0,205 - 0,093) \cdot 110 = 12,3 \text{ kWh/m}^2$$

$$BK_{\text{snitt}} = \frac{\Delta I \cdot 100}{B \cdot \alpha} = \frac{38 \cdot 3 \cdot 100}{12,3 \cdot 32,4} = 29 \text{ öre/kWh}$$

Åtgärden är mycket lönsam eftersom

$$BK_{\text{snitt}} < 60 \text{ öre/kWh.}$$

Ort	Inomhustemperatur		
	18 °C	20 °C	22 °C
Kiruna	156	175	194
Arjeplog	150	166	182
Piteå	140	155	170
Lycksele	131	146	161
Östersund	122	136	150
Härnösand	111	123	135
Falun	109	121	133
Gävle	103	114	125
Örebro	98	109	120
Nyköping	95	106	117
Visby	89	99	109
Kalmar	88	98	108
Göteborg	82	91	100
Malmö	79	88	97

Tabell 5. Värmeförbrukningstalet Q vid olika inomhustemperatur.

Byggnadskonstruktion

Vid planeringen är det viktigt att huset beaktas i sin helhet och inte bara efter de enskilda komponenternas egenskaper.

Även om beräkningen av värmeförluster har gjorts korrekt i teorin, är detta ingen garanti för att resultatet kommer att stämma med verkligheten. Byggnaden måste uppföras professionellt. Det betyder att arbetet måste utföras både korrekt och noggrant.

- **Luft- och ångspärrar**

Byggnaden måste ha ett lufttätt skikt, en så kallad luft- och ångspärr, på insidan av konstruktionen. Detta skikt skall inte bara hindra fukt från att överföras från insidan till utsidan, den skall framför allt göra konstruktionen lufttät. En konstruktion som inte är lufttät leder till högre energiförbrukning, och det blir risk för skada på grund av fukt och mögel inuti konstruktionen. Dessutom kan obehag uppstå på grund av drag.

- **Installation av isoleringen**

Värmeisoleringen måste fylla ut hela sitt utrymme. Det får inte finnas några luftspalter. Det är särskilt viktigt att undvika luftspalter på isoleringens "varma" sida. Om isoleringen inte fyller ut hela sitt utrymme, kan luft börja cirkulera – en konvektion som allvarligt kan minska den avsedda isoleringseffekten.

- **Vindskydd**

När luften rör sig bakom fasaden är det viktigt att den inte kan tränga igenom den primära isoleringen eller spalterna runt isoleringen. Därför måste det finnas vindskydd som förhindrar detta. Vindskyddet måste vara anpassat till isoleringsmaterialet, fasadmaterialet och hela konstruktionen.

- **Ventilerad luftspalt**

Det bör normalt finnas en luftspalt som ventileras med utomhusluft bakom ett fasadskikt eller olika typer av taktäckningar. Luftutrymmet låter den fukt som kommer in utifrån ventileras bort. Den fungerar också som extra säkerhetsanordning om någon del av konstruktionens insida inte har gjorts lufttät. Vissa konstruktioner med helt lufttäta exteriörer – t ex varma tak och sandwichkonstruktioner – kräver ingen luftspalt.

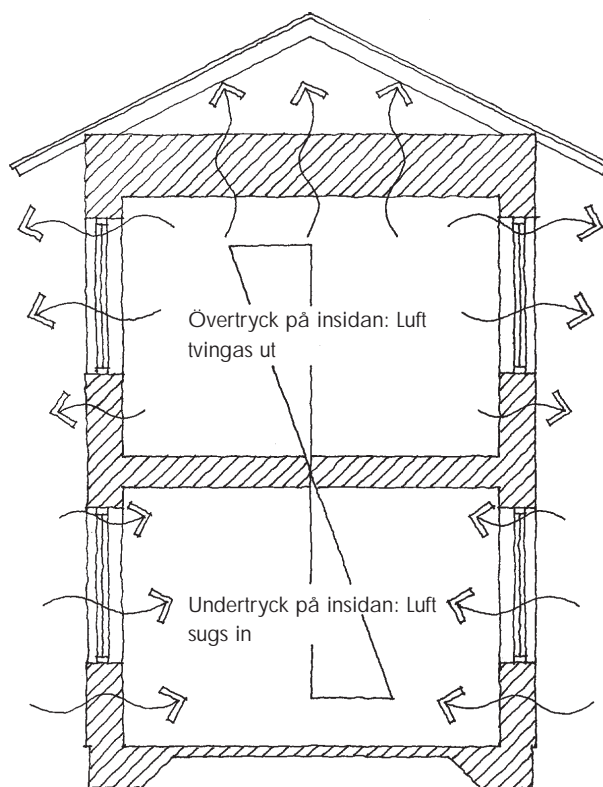
Om både material och uppförande är perfekta, har man en viss säkerhetsmarginal i förhållande till det beräknade värdet. Men varje fel i arbetets genomförande eller fel i den slutliga byggnaden kan påverka både isoleringens effektivitet och varaktighet.

Följande punkter är särskilt viktiga att beakta för att arbetet skall utföras korrekt och noggrant:

Det är viktigt att dessa fyra principer följs när byggnaden uppförs, annars finns risk för onödigt hög energiförbrukning och i värsta fall fuktskador. Här följer nu några råd och tips för var och en av de fyra punkterna. Om du följer rekommendationerna, kommer byggnaden att fungera tillfredsställande!

Luft- och ångspärrar

Ett modernt hus måste vara lufttätt för att ventilationen skall fungera som avsett. Därför krävs en luft- och ångspärr som fungerar under husets hela livstid. Normalt byggs en plastfolie in i konstruktionen, placerat på isoleringens "varma sida". Andra material, t ex betong, ger önskad lufttätethet.



Figur 6

En korrekt fungerande luft- och ångspärr är särskilt viktig när det råder högt lufttryck inomhus. Vintertid inträffar detta nästan alltid högst upp i byggnaden. Om vindsbjälklaget inte är lufttätt, kan värme och fuktig luft tränga in i konstruktionen och kondenseras. Följden kan bli allvarlig mögelskada. Om isoleringen inte hålls torr, kommer dessutom dess isolerande egenskaper att minska.

Fuktkonvektion, fukt som följer med luften när den tränger in i en byggnadskomponent, är mycket farligare än fuktdiffusion, alltså fukt som överförs på grund av skillnader i halten vattenånga.

Lufttätheten är därför mycket viktig. Men spärren bör också förhindra att vattenånga diffunderar in i konstruktionen. Annars kan ångan kondensera och vålla skada. Den drivande kraften för diffusion är högst under vintern, eftersom fukten kommer in i byggnaden via människor och aktiviteter. Spärren måste placeras på insidan för att den skall vara effektiv. Om den placeras på utsidan, får den nästan motsatt verkan mot den avsedda. Då kommer fukten att kondensera på spärren.

Man säger ibland att en ångspärr på insidan kan orsaka skada under varma, regniga sommar dagar när diffusionen driver fukten från konstruktionens utsida till dess insida. Men många studier har visat att dessa farhågor är överdrivna. Det är drivkraften på vintern som man måste skydda sig mot.

Luft- och ångspärren består vanligen av en 0,2 mm PE-folie som uppfyller nationella standardkrav för åldersresistans. Fogarna måste hållas till ett minimum och vara så bra tätade som möjligt.

Många skador har rapporterats från byggnader där konstruktionen med avsikt har gjorts genomtränglig för att den skall kunna "andas". Paroc vill eftertryckligt varna för sådana lösningar. Var noggrann vid uppförandet av luft- och ångspärren. De mest kritiska punkterna är

- anslutningar mellan olika byggnadsdelar
- genomföringar för rör, eldosor och ventilationsdon
- skarvar i luft- och ångspärren

TÄNK SÄRSKILT PÅ DETTA:

- Placera ett lufttätt skikt, t ex en 0,2 mm PE-folie, på isoleringens insida för att förhindra luftläckage och ångdiffusion.
- Om möjligt skall installationerna placeras på plastfoliens insida.
- Tänk på att göra alla skarvar och genomföringar lufttäta. Använd hållbar tejp, självhäftande material, tätningsmassa eller andra specialanordningar.
- Fyll igen och täta stora springor.
- På tak av betong eller lättbetong skall spärren skydda mot byggnadsfukt och placeras under isoleringen.
- Lågt sluttande, oventilerade tak på bärande plåt bör alltid byggas upp med luft- och ångspärr på plåten. Detta är särskilt viktigt om aktiviteten i lokalen märkbart ökar luftens fuktinnehåll.
- Plastfolie får inte användas i byggnadsdelar som har direktkontakt med marken, t ex ytterväggar på källare, källargolv eller plattor på marken.
 - Marken har vanligen högre fukthalt än ineluften. Därför bör större delen av isoleringen läggas på utsidan respektive undersidan. Om isolering används på insidan, bör en effektiv ångspärr placeras under isoleringen till plattor på mark eller källargolv. Ångspärr får inte användas i en invändigt isolerad källarvägg. Trä får inte komma i kontakt med den bärande källarväggen.

Isolerutförande

Uppbyggnaden av ett isoleringsmaterial med celler eller fibrer förhindrar luften att röra sig, och värmetransmissionen sänks därigenom betydligt. Därför är det viktigt att isoleringen fyller ut sitt utrymme helt och hållet. Annars kan luften börja röra sig genom mellanrummen.

Eftersom varm luft är lättare än kall, flödar luften längs en yttervägg efter att ha stigit längs isoleringens varma sida och sjunkit längs den svala utsidan. Dessa drivkrafter ökar när temperaturskillnaden längs isoleringen ökar. I ett tak rör sig luften genom konstruktionen.

Det är därför viktigt att undvika spalter, hålrum, springor eller andra bristfälligheter i isoleringen, och i synnerhet på den varma sidan. Om kall utomhusluft tillåts nå isoleringens insida, har isoleringen kortslutits.

TÄNK SÄRSKILT PÅ DETTA:

- Var noga med att skära till isoleringen så att den passar. Var även noga vid monteringen så att isoleringen fyller ut det avsedda utrymmet helt och hållet.
- Stenull måste skäras till något större till längd och bredd. Inga luftspalter mellan isolering och de omgivande ytorna.
- Isolering i flera skikt skall om möjligt monteras med överlappande skarvar.
- Luft- och ångspärren och isoleringen måste ligga tätt intill varandra. Om det t ex finns en tunn panel i taket, skall spärren placeras ovanpå denna.

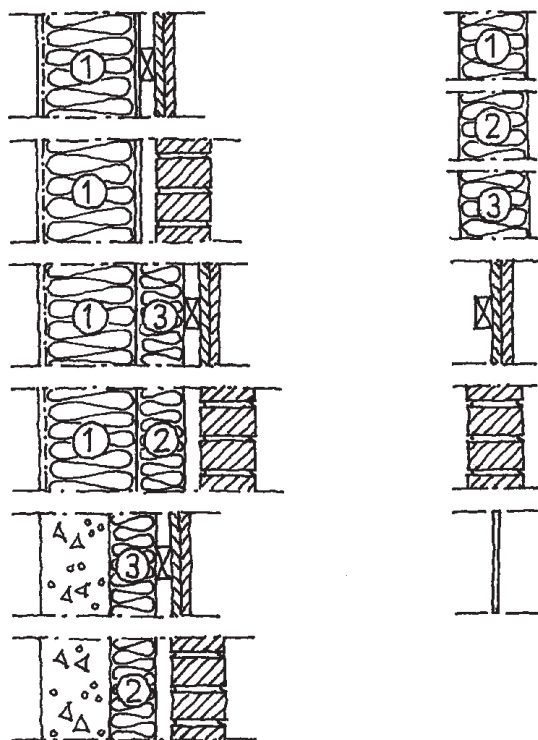
Vindskydd

Vindskyddet skall hindra luft som rör sig bakom en fasad eller en yttervägg från att försämma isoleringens värmeisoleringsförmåga. Det är luften som rör sig parallellt med isoleringen som vindskyddet skall skydda mot, luft rörelser genom konstruktionen skall luft- och ångspärren ta hand om.

Kravet på vindskydd beror av vilken omfattning man väntar sig att luft rörelserna skall ha bakom fasadskiktet. Exempelvis ger en väl gjord tegelfasad betydligt lägre luft rörelser än en träpanel. Höga byggnader ger större luft rörelser än låga byggnader, och byggnader som är utsatta för vind ger större luft rörelser än byggnader som är skyddade mot vind. Särskilt utsatta är byggnadens hörn, där skillnaden i vindtryck mellan båda sidor kan vara stora.

TÄNK SÄRSKILT PÅ DETTA:

- Vindskyddet får inte vara så lufttätt mot ångdiffusion att det förhindrar den fukt som har kommit in i konstruktionen från att torka ut utåt.
- Var särskilt noga med vindskyddet vid byggnadens hörn. Här får inte finnas några onödiga skarvar.
- Följ anvisningarna i de rekommendationer som kan utläsas i figuren nedan. De bygger på många års erfarenhet och är en garanti för korrekt funktion. Om du väljer en annan lösning, gör du det på egen risk. I så fall bör du rådfråga tillverkaren eller en auktoriserad expert.



Figur 7

Lätt stenull som PAROC UNS 37z

Stenull, minst PAROC WAS 50

Stenull, minst PAROC WAS 25 (30 mm) eller PAROC WAS 35 (50, 80 mm)

Fasadmaterial efter eget val

Fasadsikt av sten, betong e.d.

Vindskydd av gips, fiberplatta, folie eller papper

Ventilerade luftutrymmen

Bakom fasadsiktet och under takbeläggningen bör det finnas en ventilerad luftspalt. Syftet med ett luftspalten är att ventileras (och i väggar även att dränera) bort eventuellt regnvatten som har trängt in och att förhindra detta från att nå andra fuktkänsliga byggnadsdelar. Dessutom måste utrymmet ventileras bort all eventuell fukt som kommer inifrån byggnaden.

Luftspalten bör vara minst 20 mm bred och får inte vara helt igensatt av putsläkt eller putsbruk.

Sandwich-konstruktioner, betongelement eller så kallade industritak eller läglutande tak kräver normalt ingen luftspalt.

TÄNK SÄRSKILT PÅ DETTA:

- Om fasadmaterialet har en slät baksida, får spikläkter eller liknande inte täta luftspalten.
- Om kanten på bjälklaget måste tätas för att förebygga risk för spridning av brand, bör luftgenomsläpplig stenull väljas.
- Se till att du bygger med begränsad ventilation vid takfoten av vindsbjälklaget, och komplettera med taknock- eller gavelventilation.
- Följ anvisningarna i rekommendationerna ovan. De bygger på många års erfarenhet och är en garanti för korrekt funktion. Om du väljer en annan lösning, gör du det på egen risk. I så fall bör du rådfråga tillverkaren eller en erkänd expertis.

Värme

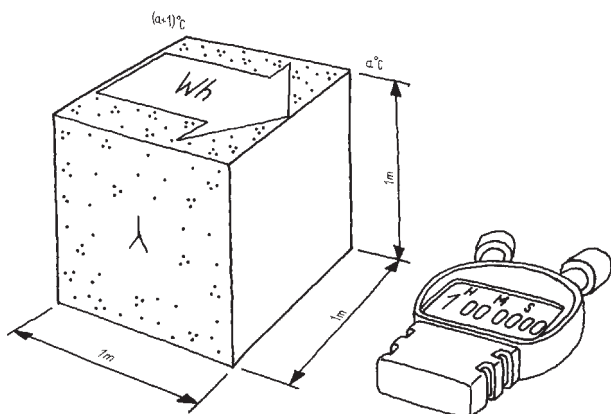
Värmetransmission – d v s överföring av värme från en varmare kropp till en kallare – kan principiellt sett ske på tre olika sätt:

- 1) **Ledning** – d v s fortplantning av värme genom fasta material eller stillastående vätskor.
- 2) **Konvektion** – d v s förflyttning av värme genom rörelse i vätskor eller gaser.
- 3) **Strålning** – d v s överföring av värme genom elektromagnetiska vågor.

Värmetransmission genom fasta, ogenomskinliga material sker enbart genom ledning. Vid transmission genom vätskor och gaser, medverkar konvektion och strålning. Genom vakuum sker värmetransmission enbart genom strålning.

De material som används inom isolertekniken är alla porösa, d v s en del av materialets volym är fylld med gas, ofta luft. Värmetransmission genom traditionella isolermaterial sker därför genom både ledning, konvektion och strålning.

Ett materials värmeisolerande förmåga anges av värmekonduktiviteten som betecknas λ . Tidigare har man kallat värmekonduktiviteten för värmeledningsförmåga eller värmeledningstal.



Figur 8.

Värmekonduktivitet

Värmetransmission kan teoretiskt beräknas med utgångspunkt från de fysikaliska lagarna men beräkningarna är i praktiken besvärliga att genomföra. Istället mäts därför värmekonduktiviteten hos olika material. Denna definieras som den värmemängd i Wh som per timme – h – passerar genom ett 1 m tjockt skikt med en yta av 1 m², när temperaturskillnaden över materialet är 1 °C. Figur 8 illustrerar denna definition som matematiskt kan skrivas

$$\frac{W \cdot h \cdot m}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

vilket förkortas till W/m °C.

Vid användning resulterar formeln i ett siffervärde för värmekonduktiviteten. Denna betecknas med den grekiska bokstaven λ (lambda).

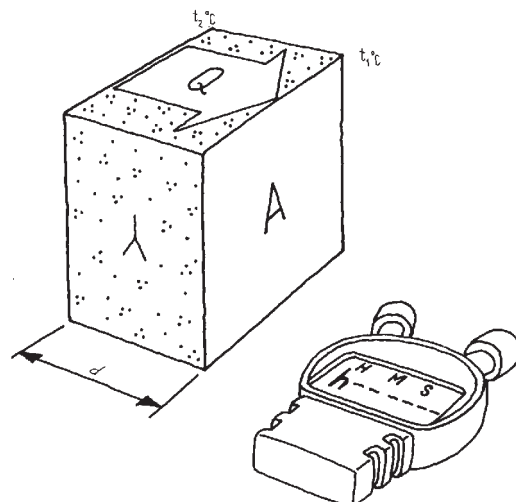
λ -värde

λ kan användas för beräkningar av transporterad värmemängd genom ett visst material under viss tid.

Exempel: Om två kroppar, båda med ytan A och med temperaturerna t_1 och t_2 är åtskilda med ett isolermaterial med värmekonduktiviteten l och tjockleken d, transporteras under tiden h värmemängden Q genom isolermaterialet. Se figur 9.

$$Q = \frac{\lambda}{d} \cdot (t_2 - t_1) \cdot A \cdot h$$

Ett materials isolerförmåga är alltså bättre ju lägre dess λ är. För vanligt förekommande isolermaterial är λ ca 0,03 – 0,04 W/m °C (laboratorievärden mätta vid ca 10 °C medeltemperatur).



Figur 9.

Materialstrukturens inverkan på värmekonduktiviteten

Ett materials isolerförmåga är beroende av dess densitet, vilken i sin tur påverkas av materialets porositet. Denna kan vara beskaffad på olika sätt.

Hos cellplast – t ex Ecoprim® – uppträder porositeten som slutna hålrum utan inbördes förbindelse. Grundmaterialet är helt sammanhängande och styvt. Stenull har en helt annorlunda porositet. Porvolymen är helt sammanhängande och grundmaterialet – fibrerna – har kontakt med varann endast punktvis. I alla övriga isolerematerial förekommer porositet i former som i stort sett kan sägas ligga mellan dessa två ytterligheter.

Värmetransport

Om två ytor med olika temperatur skiljs åt av en luftspalt, sker en överströmning av värme från den varmare till den kallare ytan. Värmeströmmen över luftspalten per m² och timma kan skrivas som:

$$q = \frac{\lambda_{\text{luft}}}{d} (t_2 - t_1)$$

λ_{luft} är sammansatt av tre delar:

λ_l = luftens egentliga värmekonduktivitet

λ_k = bidraget från konvektionen

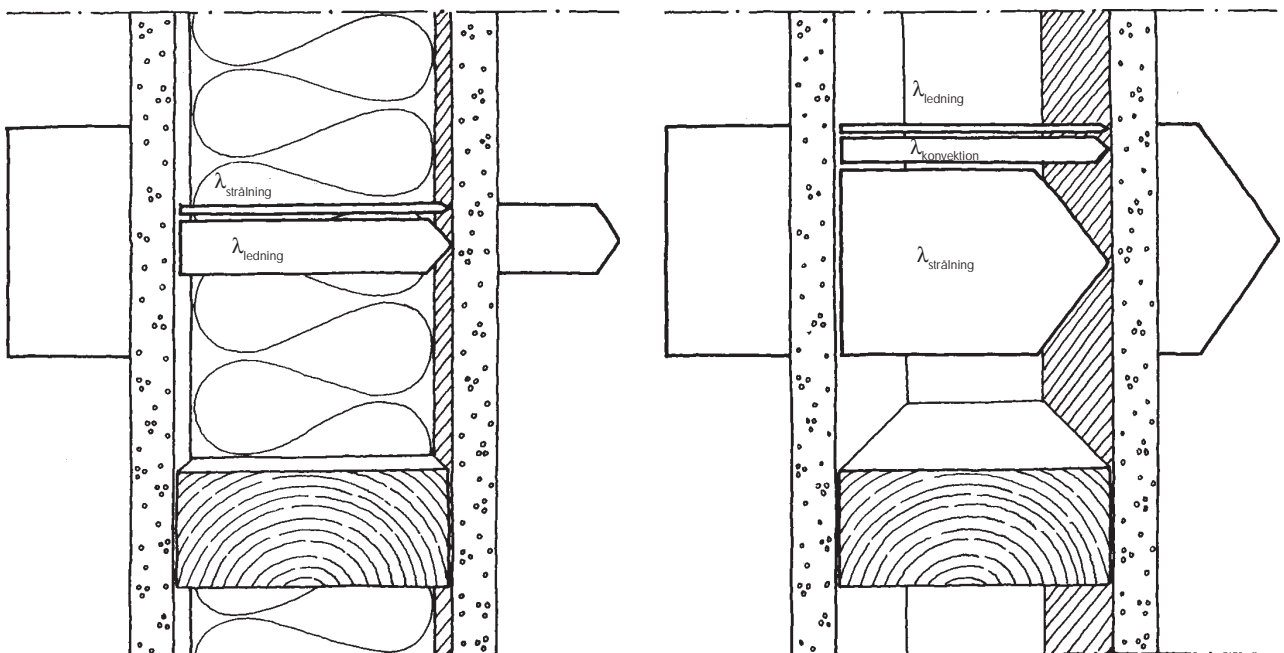
λ_s = strålningsbidraget

För en luftspalt av 100 mm mellan t ex träytor eller murverk (inte metalliskt blanka ytor) gäller de värden som framgår av figur 10.

Om ett poröst isolerematerial nu placeras i luftspalten blir följden att luftspalten delas upp, antingen av cellväggar eller av fibrer. Konvektionen i luftspalten upphör nästan helt eftersom luft rörelserna hämmas starkt av volymens uppdelning. Strålningsbidraget – som var den dominerande transmissionsformen – reduceras väsentligt, därför att det nu är många små celler eller fibrer som utväxlar strålning vid mycket små temperaturdifferenser. Är isolerematerialet fyllt med luft, förändras däremot inte den egentliga värmeledningen genom luften. Till de tre tidigare nämnda transmissionsformerna kommer nu också ett extra bidrag till värmeströmmen i form av värmeledning genom isoleringens grundmaterial – cell- eller fibermaterial.

Strålningsbidraget blir – liksom konvektionsbidraget – mindre ju fler fibrer eller celler det finns i isolerematerialet. För att minska den totala värmestrålningen är det alltså önskvärt med många fibrer eller celler. Å andra sidan innebär en stor mängd isolerematerial en ökad värmeledning genom grundmaterialet. För fibermaterial önskas därför så många fibrer som möjligt per massenhet.

	Isolering W/m °C		Luftspalt W/m °C	
λ_l :	0,028	(82 %)	0,025	(4%)
λ_k :	0,000	(0 %)	0,116	(19%)
λ_s :	0,006	(18 %)	0,476	(77%)
	0,034	(100 %)	0,617	(100 %)



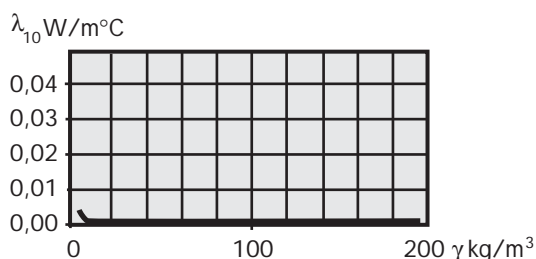
Figur 10. Värmekonduktivitets sammansättning i Paroc stenull och i luftspalt.

Densitetens inverkan på isolerförmågan hos Paroc stenull

Följande fem figurer visar hur isolerförmågan hos Paroc stenull varierar med densiteten med avseende på de fyra ovan nämnda bidragen till värmeströmmen samt för värmeströmmen totalt.

Konvektion

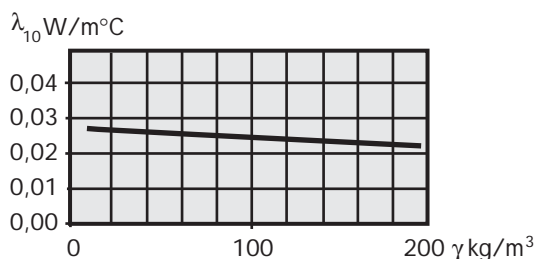
Som en följd av temperaturskillnad uppstår en viss konvektion i stenull. Av figuren framgår dock att konvektionsbidraget är utan betydelse vid densiteter från 20 kg/m³ och uppåt d v s för alla dagens produkter.



Figur 11. Inverkan av konvektion.

Värmeledning genom luft

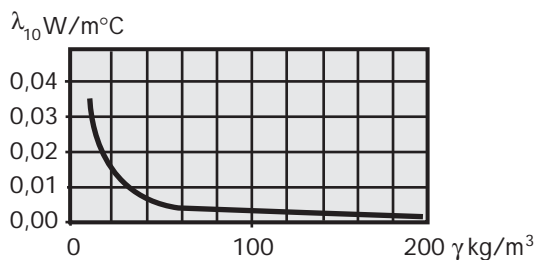
Värmeledning genom den stillastående luften ger det största bidraget till den totala värmeströmmen genom isolermaterialet och förändras bara mycket lite vid olika densitet. Detta beror på att fibermaterialet, under alla omständigheter, upptar endast en liten del av den samlade volymen.



Figur 12. Inverkan av ledning i luft.

Strålning

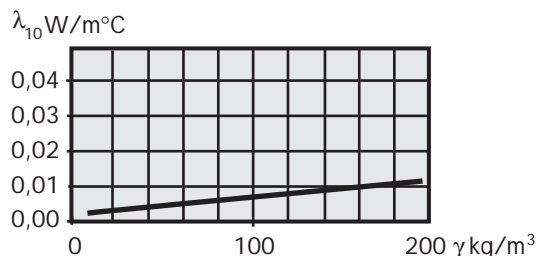
Strålningsbidraget är hårt knutet till stenullens densitet och kan vid låga densiteter bli dominerande. Vidare skall noteras att strålningsbidraget i hög grad är temperaturberoende och får ökad betydelse vid ökade temperaturer.



Figur 13. Inverkan av strålning.

Värmeledning genom fibermaterial

Då mängden fibrer växer proportionellt med densiteten (för samma fiberdiameter), växer också fiberledningsbidraget proportionellt med densiteten.



Figur 14. Inverkan av ledning i fibrer.

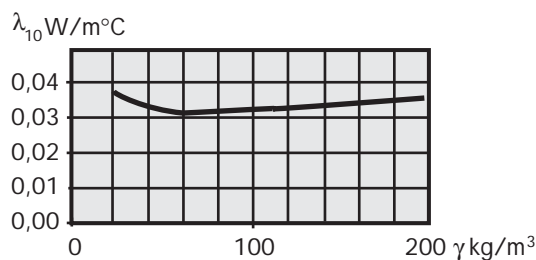
Kurvan kan se annorlunda ut om fiberorienteringen i materialet ändras.

Totala värmeströmmen

Om man adderar de ovan nämnda bidragen till den totala värmeströmmen, får man en kurva som anger värmekonduktiviteten för Paroc stenull som funktion av densiteten. Av kurvan framgår att värmekonduktiviteten har minimum omkring en densitet på 80 kg/m³. Minimiläget i övrigt varierar starkt beroende på temperaturen.

Det ovan beskrivna sambandet mellan värmekonduktiviteten och densitet gäller för de flesta isolermaterial, dock naturligtvis med andra siffror.

Det bör observeras att sambandet för stenull även varierar med fiberorienteringen som kan styras för att få optimala hanterings- eller kompressionsegenskaper.



Figur 15. Samband mellan värmekonduktivitet och densitet.

λ-värde för beräkning

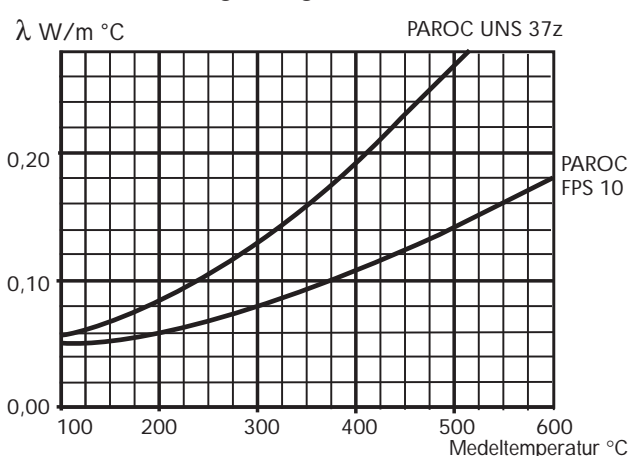
Det är λ₁₀-värdet, med statistisk variation, som används när den värmeisolerings tekniska statusen för en byggnadsdel beräknas. I EN-reglerna kallas det λ_D, där D står för deklarerad. EN 10456 beskriver hur λ_D beräknas i detalj. Det kan förekomma nationella tillägg, beroende på lokalt använda konstruktionslösningar. Paroc anger alltid ett aktuellt värde för λ_D för de olika produkterna.

Värmekonduktivitetsens beroende av temperaturen

Värmekonduktiviteten för stenull ökar med ökande medeltemperatur. Ökningen är ca 0,5 % per °C för lätta produkter och ca 0,3 % per °C för tunga produkter i området 0 – 100 °C.

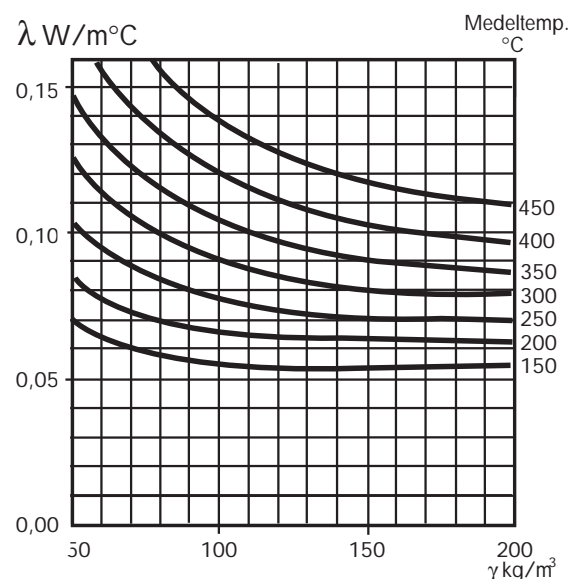
Detta beror på att värmetransmission genom strålning samt värmeledning genom stillstående luft ökar med ökande temperatur. Konvektionens och fiberledningens temperaturberoende är betydligt mindre.

Värmekonduktivitetsens beroende av temperaturen vid olika densiteter framgår av figur 16.



Figur 16. Värmekonduktivitetsens beroende av temperaturen vid olika densiteter.

Figur 17 visar värmekonduktiviteten som funktion av både densitet och medeltemperatur. Av figuren framgår att λ -minimum förskjuts mot högre densiteter när värmeledningen sker vid högre temperaturer. Detta innebär att det är en isolerteknisk fördel att använda produkter med högre densitet för isolerarbeten inom högttemperaturområden.



Figur 17. λ -värdet som funktion av densitet och medeltemperatur.

Man bör dessutom notera att λ -värdet alltid skall anges med en siffra som visar vid vilken medeltemperatur det är mätt. För byggisolering mäts värmekonduktiviteten λ_{10} , vilket betyder λ -värdet mätt vid 10 °C (motsvarande medeltemperaturen inne i en vägg med temperaturen 20 °C invändigt och 0 °C utvändigt).

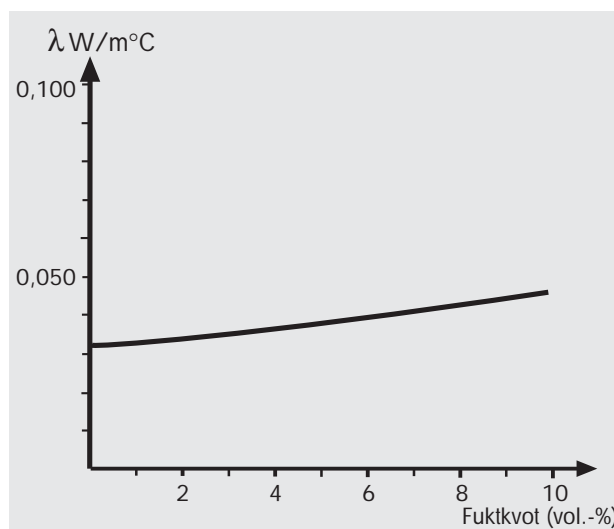
Värmekonduktivitetsens beroende av isolermaterialets vatteninnehåll

Skulle ett isolermaterial innehålla vatten påverkar det självklart materialets värmekonduktivitet. Paroc stenull ges vid tillverkningen vattenavvisande egenskaper och har i praktiken visat betydande motståndsförmåga mot upptagning av vatten. Materialet tar emot vatten endast när detta trycks in. Erfarenheter visar att det är mycket svårt att på annat sätt komma upp i vattenhalter som överstiger 0,5 volymprocent.

Vattenupptagning vid absorption är mycket liten. Vid 95 % relativ luftfuktighet är det hygroskopiska vatteninnehållet i stenull endast ca 0,004 volymprocent.

Materialet är mycket diffusionsöppet – diffusionstalet är ca 0,5 mg m/hN. Detta låga värde innebär att ånga kan passera isolerskiktet samtidigt som den avkyls, utan att kondensera.

Egenskaperna hos Paroc stenull gör att materialet kan användas som kapillärbrytande skikt.



Figur 18. λ -värdet som funktion av vatteninnehållet.

Begränsa värmeförluster

Värmemotstånd

När materialegenskapen λ_D är känd, kan värmeresistansen över isolerskiktet bestämmas. Den beräknas enligt EN 6946 med följande formel:

$$R = d / \lambda_D ; \quad \text{m}^2 \text{ K/W,}$$

d = isoleringens tjocklek i meter

EN 6946 stipulerar hur värmemotståndet beräknas för olika typer av konstruktioner. R_{si} och R_{se} , det inre och yttre övergångsmotståndet i olika riktningar, anges även. Dessutom beskriver standarden hur olika luftspalter och andra särskilda detaljer skall behandlas.

Slutresultatet för en byggnadsdel är R_T

Värmegenomgångskoefficienten kan då beräknas utgående från

$$U = 1/R_T ; \quad \text{W/m}^2 \text{ K}$$

Korrigerad värmegenomgångskoefficient för byggnadskomponenter

Den korrigerade värmegenomgångskoefficienten, U_c , för en byggnadsdel beräknas enligt följande ekvation:

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_g + \Delta U_r$$

För beräkning av U_c används EN ISO 6946.

För att beräkna värmegenomgångskoefficienten för en byggnadsdel (inte ett fönster) krävs tillgång till följande:

- **EN ISO 6946** "Building components and structural parts – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods" (svensk version saknas)
- **EN 12524** "Byggmaterial och byggprodukter - Fukt- och värmetekniska egenskaper - Tabeller med beräkningsvärden"
- **EN ISO 10456** "Building materials and building products – Procedures for the determination of declared and calculable thermal values" (svensk version saknas)
- Materialdata från tillverkaren av värmeisoleringsmaterialet. Observera att dessa **data är tillverknings-specifika**.

De flesta tillverkare anger den korrigerade värmegenomgångskoefficienten, U_c , för de konstruktioner som rekommenderas. Om man bestämmer sig för att använda de värdena, behöver man inte göra någon egen beräkning. Däremot behöver man kontrollera att tillverkaren hänvisar till rätt standard.

På marknaden finns också datoriserade beräkningsprogram som förenklar beräkningen för dem som vill göra dem själv.

När man följer **EN ISO 6946**, får man ett värde på U angivet i $\text{W/m}^2 \text{ K}$. Därefter utförs en korrigeringsmed hjälp av de tre termer som anges som värden på ΔU . Information om dem finns i Bilaga D till standarden.

ΔU_f är en korrigeringsterm för extra värmeflöde som orsakas av mindre metallbeslag i konstruktionen. Den är ofta betydelselös, särskilt i träkonstruktioner.

ΔU_g är en korrigeringsterm som tar hänsyn till normala byggfel som inträffar när uppförandet äger rum. Standarden är allmän och ger inte tillräcklig vägledning för nationella konstruktioner.

ΔU_r är en korrigerings för nederbörd och vind som har ytterligare påverkan på värmeförlusterna för omvända tak.

Ytterligare information om materialegenskaper och våra produkter finns på www.paroc.se

Fukt

I detta avsnitt behandlas först några fuktbegrepp och därefter stenullens fuktegenskaper. Vidare behandlas översiktligt de typer av fukt som kan uppträda samt hur fukttransport kan ske.

Några speciella fuktproblem behandlas även i detta avsnitt: Täta hus, isolerings- och ventilationssambandet, källarytterväggar samt Platta på mark.

Mycket av byggforskningen ägnas av naturliga skäl åt fuktproblematiken, vilket medför att en hel del litteratur finns tillgänglig i ämnet. Det mesta är samlat i Fukthandboken författad av Lars-Erik Nevander och Bengt Elmarsson. Byggforskningsrådet har dessutom publicerat ett stort antal illustrativa skrifter från den s k Fuktgruppen vid LTH. Dessutom finns idag ett stort antal dataprogram som underlättar fuktberäkningar.

Definitioner

Ångdiffusion

Transport av vattenånga på grund av utjämning av ånghalt eller ångtryck. Diffusion är ett relativt långsamt förlopp.

Ångkonvektion

Transport av vattenånga på grund av luftrörelser orsakade av skillnader i lufttryck. Konvektion är ett relativt snabbt förlopp.

Ånghalt

Förhållandet mellan ångans massa och gasblandningens totala volym. Uttrycks i kg/m^3 .

Mättnadsångtryck

Partialtrycket för vattenånga i luft kan vid viss temperatur uppgå till **högst** ett visst värde. Detta kallas mättnadsångtryck och varierar **endast** med temperaturen. Ju högre temperatur, desto högre mättnadsångtryck.

Mättnadsånghalt

Den ånghalt som vid en viss temperatur motsvarar mättnadsångtrycket kallas mättnadsånghalt. Det är alltså den största mängd ånga luften kan innehålla vid den temperaturen.

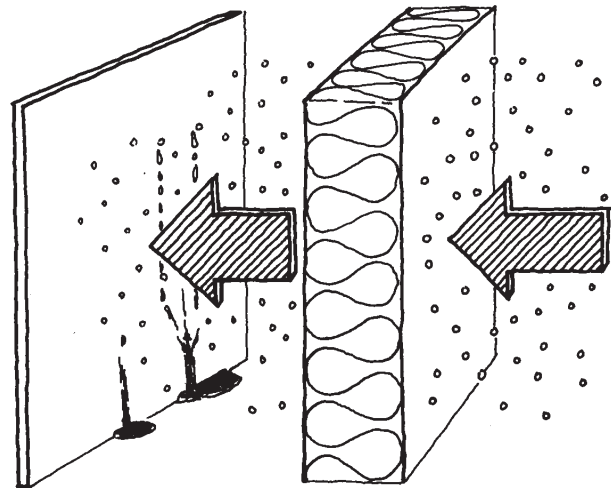
Relativ ånghalt

Relativ ånghalt – $R\ddot{A}$ – kallas också relativ fuktighet och är ett mått på förhållandet mellan den aktuella ånghalten (ångtrycket) och mättnadsånghalten (mättnadsångtrycket). $R\ddot{A}$ uttrycks i procent.

Den relativa ånghalten är av stor betydelse för uppkomsten av fuktskador.

Stenullens fuktegenskaper

Ånggenomsläpligheten i stenull är hög i förhållande till andra byggnadsmaterial, vilket gör att kondensation inte sker inuti ett isolerskikt av Paroc stenull trots ett eventuellt temperaturfall över isoleringen och även om den s k daggpunkten faller inuti isoleringen.



Figur 19.

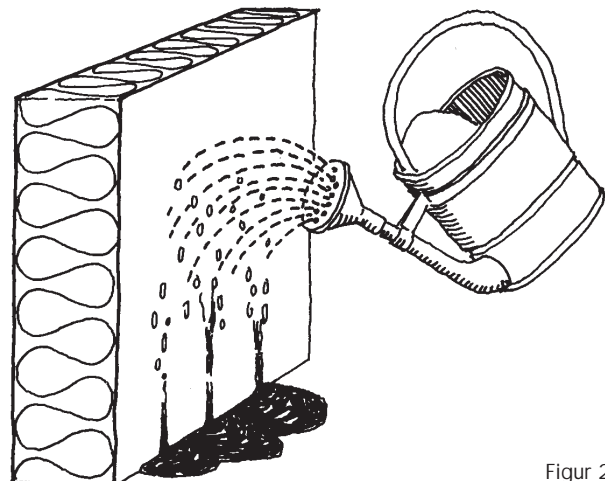
Vattenavvisning och hygroskopicitet

Alla produkter av Paroc stenull behandlas vid tillverkningen på ett sätt som gör dem vattenavvisande.

Förmågan att avvisa vatten gör att vatten som rinner utefter ytan på t ex en skiva av Paroc, ej väter fibrerna och inte heller tränger in i ullen.

Endast om vattnet är utsatt för tryck kan det pressas in i skivan. Fiber materialet kan i en sådan situation ändå inte absorbera något vatten utan detta kommer att ligga fritt mellan fibrerna. Torkningen går därför snabbt, inte minst på grund av den höga ånggenomsläpligheten.

Produkter av Paroc stenull kan inte suga vatten kapillärt. De kan inte heller ta upp fukt ur luften, annat än i försumbart små mängder vid extrema fuktigheter.



Figur 20.

Vattenresistens och fuktstabilitet

Produkter av Paroc stenull har mycket hög vatten- och fuktresistens. Dels är själva fibermaterialet utomordentligt resistent mot fukt, dels har det härdade bindemedlet – fenolhartsen – en mycket god fuktstabilitet.

Korrosion

Isolermaterial som är i kontakt med metall kan medverka både passivt och aktivt till korrosion om vatten eller fukt är närvarande.

Ett passivt bidrag till korrosion ger isolermaterialet om det binder vatten mot metallytan. Eftersom Paroc stenull är vattenavvisande och saknar både hygroskopiska och kapillarsugande tendenser, är dess möjlighet till passivt korrosionsbidrag minimalt. Dess låga diffusionsmotstånd underlättar tvärtom uttorkning när förhållandena är gynnsamma för detta. Omvänt leder det låga diffusionsmotståndet till att stenullen ej kan bidra till att förhindra fuktvandring mot en kall yta. Genom närvaron av luft i isoleringen kan korrosionsangrepp ske på korrosiva material om inte fukten kan torka ut.

Isolermaterial som är vattenlösligt kan öka vattnets elektriska ledningsförmåga eller väsentligt förändra vattnets pH-värde och därigenom bidra aktivt till korrosion. Den höga fuktresistensen hos Paroc stenull gör att lösligheten är mycket låg. Ledningsförmåga och pH-värde ändras inte.

Vissa andra typer av isolermaterial kan innehålla ämnen som direkt bidrar till korrosionsförloppet, t ex brandhämmande salter. Paroc stenull är obrännbart i sig och innehåller naturligtvis inga sådana ämnen.

Fuktkällor

En byggnadsdel kan tillföras fukt genom nederbörd, kondensation av vattenånga i luft, uppsugning av markfukt eller genom läckage. Dessutom kommer alla material i kontakt med luftens vattenånga och absorberar därvid större eller mindre mängd vatten. Under byggnadstiden tillförs också stora mängder vatten, s k byggfukt.

Normalt skiljer man på följande fuktkällor:

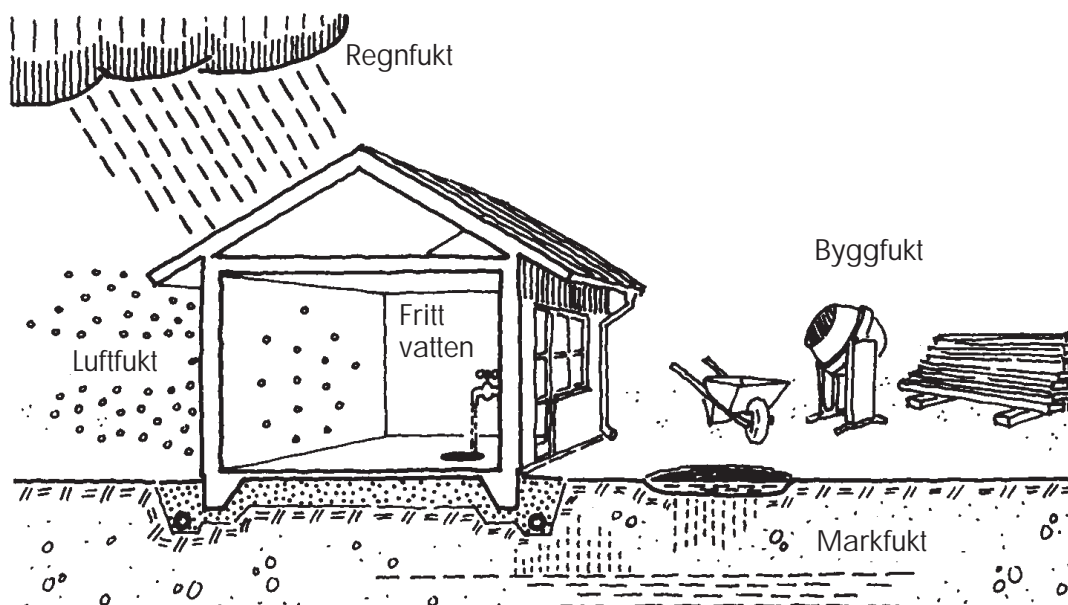
- Luftfukt
- Byggfukt
- Regnfukt
- Markfukt (vid ånghalt 100 %)
- Fritt vatten

Luftfukt

Luft innehåller vattenånga och graden av innehåll beskrivs med den relativa ånghalten – RÅ.

Den relativa ånghalten utomhus kan beräknas vara 85 % under vintern och 70 % under sommaren.

Den relativa ånghalten i luften inomhus bestäms av uteluftens temperatur och ånghalt, inneluftens temperatur, fuktproduktionen inomhus samt ventilationsintensiteten under stationära förhållanden. Det vill säga – om man har en jämn fuktproduktion och jämn ventilationsintensitet – att sambandet kan skrivas som; ånghalten inomhus = ånghalten utomhus + det s k fukttillskottet. Riktvärden på detta fukttillskott vintertid kan vara; 3 g/m³ för kontorshus, 4 g/m³ för normalt bostadsutrymme.



Figur 21.

Byggfukt

Byggfukt är sådan fukt som tillförs konstruktionen under byggskedet eller vid tillverkningen av byggnadsmaterialet.

Byggfukten skall efter byggskedet torka ut så att konstruktionen kommer i jämvikt med omgivande relativ ånghalt.

Markfukt

Inverkan av markfukt är i stor utsträckning beroende av grundvattenytans läge, men också av jordarten, markytans vattenavledning och markens dräneringsegenskaper.

Markfukt kan indelas i:

- Ytvatten
- Infiltrationsvatten (d v s ytvatten på väg genom konstruktionen)
- Grundvatten
- Sprickvatten
- Kapillärt uppsuget vatten.

Ovanför högsta grundvattenytans läge – HGv – skall markfukten alltid förutsättas vara 100 % RÅ.

Exempel

En byggnad uppvärms till +20 °C och ventileras med 0,5 oms/h (uteluft). Byggnadens volym är 300 m³ och fuktproduktionen inomhus på grund av människor, djur och växter etc är 0,6 kg/h. Utomhus är temperaturen ± 0 °C och relativa ånghalten 90 %, d v s ånghalten är 0,0043 kg/m³. Mättnadsånghalten vid + 20 °C är 0,0173 kg/m³.

Den relativa ånghalten inomhus blir:

$$R\ddot{A} = \frac{\text{ånghalten}}{\text{mättnadsånghalten}}$$

$$\text{Ånghalten i inneluften} = 0,0043 + \frac{0,6}{0,5 \cdot 300}$$

(Ångmängden i uteluften per m³ plus totala ångproduktionen inomhus genom ventilationsgraden.)

$$R\ddot{A} = \frac{0,0043 + \frac{0,6}{0,5 \cdot 300}}{0,0173} = 48 \%$$

Minskas ventilationsgraden inomhus stiger den relativa ånghalten. Detta är ett problem som i vissa fall blivit akut i dagens välisolerade och täta hus med otillräcklig ventilation.

Fukttransport

De viktigaste fukttransportmekanismerna är:

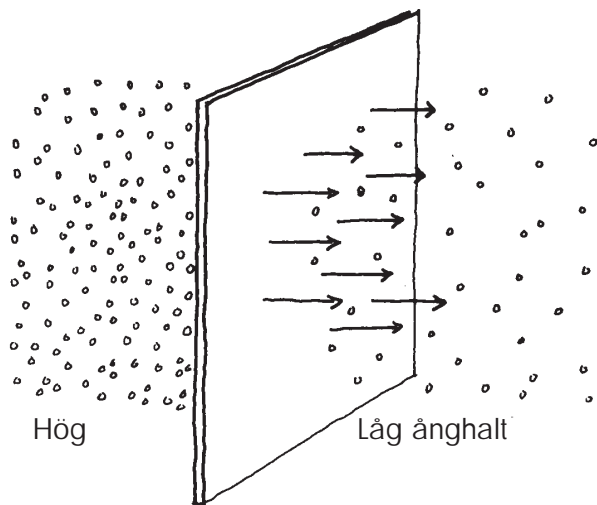
- Diffusion
- Konvektion (som vattenånga)
- Kapillärsugning
- Tyngdkraft (som vätska)

Diffusion

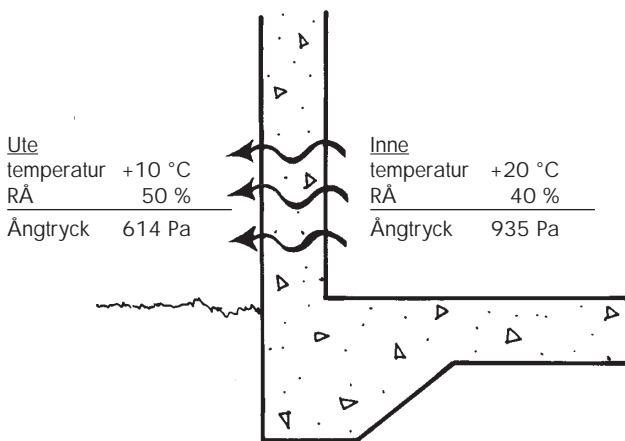
Fuktdiffusion strävar att utjämna skillnader i ånghalt i luften genom molekylära rörelser. Fuktflödet går alltså från ett område med högre ånghalt till ett med lägre. Diffusionen kan i praktiken anses oberoende av temperaturen.

Temperatur (°C)	Mättnadsånghalt c_m (10 ⁻³ kg/m ³)	Mättnadsångtryck	
		P_m (Pa)	(mmHg)
-12	1.81	217.3	1.63
-10	2.15	259.9	1.95
-8	2.54	309.3	2.32
-6	3.00	367.9	2.76
-4	3.53	437.2	3.28
-2	4.15	517.2	3.88
0	4.86	610.5	4.58
1	5.18	657.2	4.93
2	5.57	705.2	5.29
3	5.96	758.2	5.69
4	6.37	813.1	6.10
5	6.79	871.8	6.54
6	7.26	934.4	7.01
7	7.74	1001.0	7.51
8	8.27	1073	8.05
9	8.83	1148	8.61
10	9.40	1228	9.21
11	10.03	1312	9.84
12	10.67	1402	10.52
13	11.38	1494	11.23
14	12.05	1598	11.99
15	12.83	1705	12.74
16	13.66	1817	13.63
17	14.45	1937	14.53
18	15.36	2063	15.48
19	16.29	2197	16.48
20	17.3	2338	17.54
21	18.3	2486	18.65
22	19.4	2643	19.83
23	20.6	2809	21.07
24	21.8	2983	22.38
25	23.0	3167	23.76
26	24.4	3360	25.21
27	25.8	3564	26.74
28	27.2	3779	28.35
29	28.7	4004	30.04
30	30.4	4242	31.82

Tabell 22. Sambanden mellan temperatur – mättnadsånghalt/mättnadsångtryck.



Figur 23: Diffusion från hög till låg ånghalt.



Figur 24. Diffusion genom obehandlad vägg.

Utetemperaturen är +10 °C. Den relativa ånghalten är 50 %. Det ger enligt tabellen ett ångtryck ute på 614 Pa.

Inomhustemperaturen är +20 °C och RÅ 40 %. Det ger ångtrycket inne på 935 Pa.

Diffusion kommer att ske från högre ångtryck till lägre, d v s inifrån och ut.

Konvektion

Fuktkonvektion innebär att en luftmassas innehåll av vattenångor följer med när luftmassan strömmar igenom en konstruktion. Om luftmassan rör sig från ett varmare utrymme till ett kallare, kan vattenången i luften kondensera på kalla ytor. Om luftströmmen går från kallt till varmt kan kondensation inte ske, luftströmmen verkar istället utorkande. För normala tillämpningar är det alltså farligt med övertryck inomhus.

Luftrörelsen – och därmed konvektionen – hindras om det någonstans i konstruktionen finns ett lufttätt skikt.

Kapillärsugning

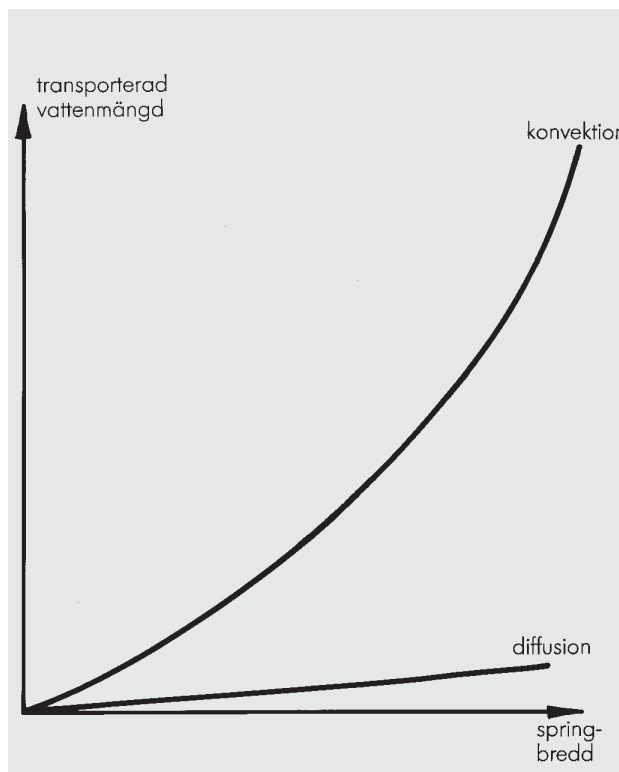
Kapillärsugning strävar att utjämna fukthalten i ett material genom fuktvandring i vätskefas.

Kapillärsugning kan vanligen försummas för torra material men vid en viss kritisk fukthalt bildas det en sammanhängande vattenmassa i materialet och fukttransporten genom kapillärsugning blir då mycket stor. Denna typ av kapillär vattentransport behöver sällan beaktas. Den förekommer dock kring isolering i mark och vid slagregn mot fasader.

Konvektionen dominerar

Fuktdiffusion och fuktkonvektion kan förekomma samtidigt och antingen samverka eller motverka. Det har tidigare alltid talats om vikten av att ha en ångspärr i konstruktionen. Betraktar man den mängd fukt som på grund av diffusion kan transporteras från en plats till en annan under viss tid, finner man att den är liten jämförd med den mängd som transporteras via konvektion. En ångspärr i yttervägg eller tak fungerar därför egentligen i första hand som konvektionsspärr eller lufttätning.

Mängden fukt som transporteras genom konvektion är förutom av lufttrycksskillnaden över konstruktionen också beroende av hälarean. Det är viktigt att känna till att ett stort hål medger mångfalt större fukttransport än många små hål med sammanlagt samma area. Det är därför viktigast att undvika de stora otätheterna.



Figur 25.

Täta hus

Det gäller att isolera byggnaden väl för att spara energi. Samtidigt måste byggnaden göras tät så att ventilationen kan kontrolleras. En god täthet medför att luften till allra största delen går via ventilationssystemet. Härigenom kan ventilationsmängden anpassas till byggnadens behov oberoende av vindtryck och dylikt.

Behov av ventilation finns av många skäl; att ta bort luft (från människor, tobaksrök, matlagning m m), förse människor med erforderligt syre, undvika för höga CO₂-halter, förhindra att skadliga halter av radon och formaldehyd uppkommer samt att evakuera fukt (undvika kondens på fönster och väggar, mögel etc). Behovet av ventilation varierar därför starkt mellan olika typer av byggnader.

Minskad ventilation ger ökad relativ ånghalt

Ur fuktsynpunkt är en väl fungerande ventilation av stor betydelse. Det är nämligen ventilationsgradens inverkan på den relativa luftfuktigheten som är avgörande för om mögelbildning skall uppstå eller ej.

I en normal bostad alstras en hel del fukt. Människan avger fukt redan vid temperaturer under +20 °C. Vid +20 °C avger normalt en människa ca 40 g vatten per timme och denna mängd ökar med 7 g för varje grad däröver. Matlagning, bad, tvätt och växter ger sina tillskott till denna fuktbelastning.

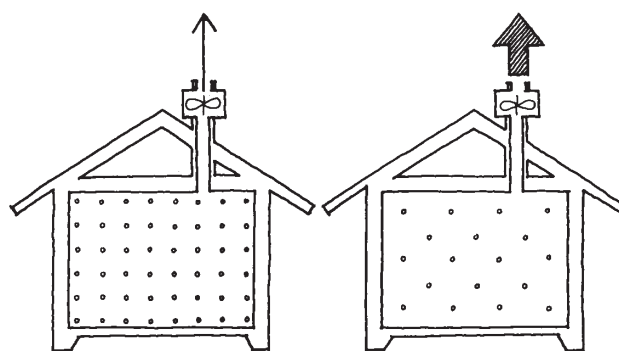
Den alstrade fukten övergår till vattenånga och tas upp av inomhusluften vars grad av fukttinnehåll kan beskrivas med den s k relativa ånghalten, d v s kvoten mellan aktuell ånghalt och mättnadsånghalten vid den aktuella inneluft-temperaturen.

Huset med dess inredning – möbler, väggar m m – strävar nu efter att ställa in sig i fuktjämvikt med luften i huset. Med en god ventilation hålls ånghalten vid normala värden.

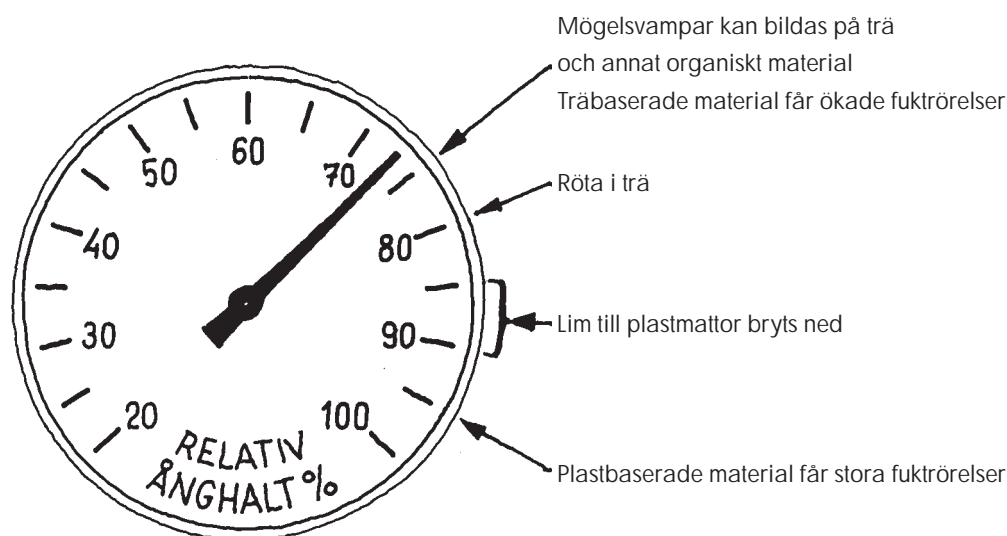
Med en dålig ventilation sker däremot en fuktanrikning i alla material som kan ta emot fukt. Anrikningen fortskrider, och risken för mögelbildning ökar.

Det är lätt att se att om ventilationsgraden minskar, stiger den relativa luftfuktigheten.

Risken för mögelbildning blir hög. Redan vid en relativ ånghalt av 75 % kan vissa typer av mögelsvampar frodas vid normal rumstemperatur.



Figur 26. Effekt av låg och hög ventilation.



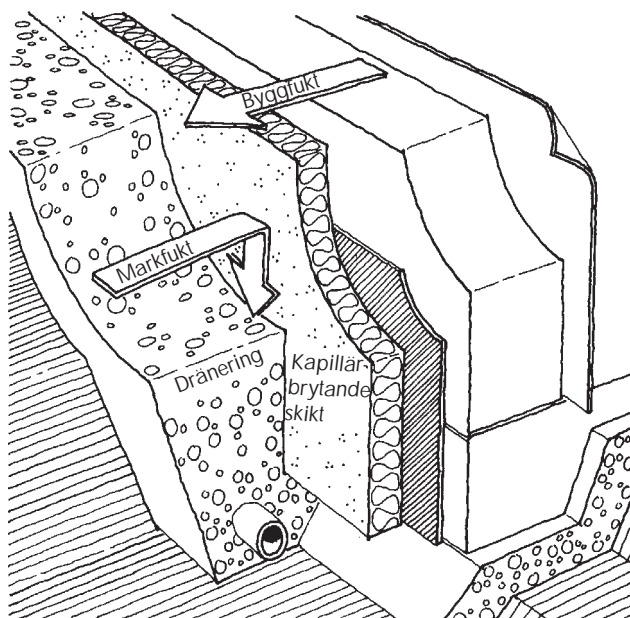
Figur 27. Ånghaltens inverkan.

Källarväggar

Källarväggar utsätts för angrepp från ett antal olika fukt-källor. I källarväggen finns byggfukt, utrymmet innanför väggen innehåller luftfukt, i marken utanför väggen förekommer markfukt. Dessutom kan man riskera att få lokala vattentryck mot väggen orsakade av regn, smältvatten eller vattenströmningar i marken. Fukt kan också sugas kapillärt genom bottenplattan upp i väggen.

Fukt i källarkonstruktioner måste därför kunna torka ut. Konstruktören måste förutsätta att man kan komma att förse insidan med tätt material, t ex vinyltapet eller tät plastfärg. Det rationella sättet att förhindra fuktproblem i källarvägg är därför att göra det möjligt för konstruktionen att torka ut utåt.

Om källarväggen isoleras utvändigt med ett kapillärbrytande, ånggenomsläppligt material kommer utifrån kommande fukt att avledas. Byggfukten kan torka ut genom den ånggenomsläppliga isoleringen. Det betyder att det gör detsamma vilket material man har som inre ytbeklädnad. Det går alltså att ha ett tätt skikt där.



Figur 28. Kapillärbrytande isolering av källarvägg.

Platta på mark och källargolv

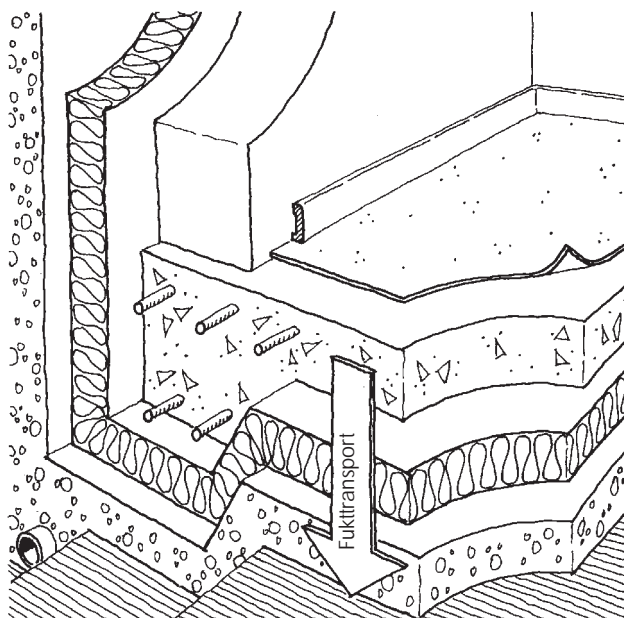
Platta på mark och källargolv kan isoleras över eller under betongen. Många klagomål på senare år har rört fuktproblemen vid platta på markgrundläggning. De allra flesta fallen rör uppreglade golv ovanpå betongplattan. Denna konstruktionslösning tillämpas därför idag knappt alls.

Isolering över betong

Ett skäl som talar för värmeisolering ovanpå plattan är att ett sådant golv känns behagligare att gå på än ett golv med en plastmatta limmad direkt på betongen. Ett annat skäl är att betongplattans yta kan utföras med minskad noggrannhet.

Nackdelen med att ha isoleringen ovanpå plattan är att man måste stoppa transporten av fukt i ångfas upp genom plattan med en ångspärr. Om den inte görs helt tät riskerar man skador på golvet. Cellplast kan inte ersätta ångspärren eftersom det alltid blir springor mellan skivorna. Cellplasten är dessutom inte tillräckligt diffusionstät.

Om man är det minsta osäker på att kunna åstadkomma en varaktigt tät ångspärr bör man istället placera isoleringen under betongen.



Figur 29. Isolering under betongplatta.

Isolering under betong

Det rationella – och framför allt säkra – sättet att bygga platta på mark är att isolera på undersidan med en öppen isolering. Vad som talar för denna typ av värmeisolering är att man får en fuktmeکانisk fördel i och med att man får en fuktvandring från plattan till marken, istället för från marken till plattan. Hur kan detta vara möjligt?

Jo, marken har 100 % RÅ och en viss temperatur, säg 17 °C. Detta ger ett ångtryck av 1937 Pa. Isoleringen gör att man får en temperatur i plattans underkant som är högre än i marken, t ex 20 °C. Mättnadsångtrycket i plattan – alltså vid 100 % RÅ – är vid denna temperatur 2338 Pa.

Eftersom ångtrycken strävar efter ett jämviktsläge, får man en ångtransport nedåt. Denna fortsätter ända till dess att ångtrycken är lika i mark och platta. I exemplet ovan inträffar det då plattan får 83 % RÅ. Den fuktighetsgraden påverkar inte plastmatta eller lim.

För att säkert få en ångtransport nedåt, fordras en temperaturskillnad på minst 2 °C, vilket man får med 30 – 40 mm stenull vid plattbredder upp till ca 15 meter. Ur energiekonomisk synpunkt väljer man dock ofta en betydligt tjockare isolering. Detta ger även bättre säkerhet mot fuktskador.

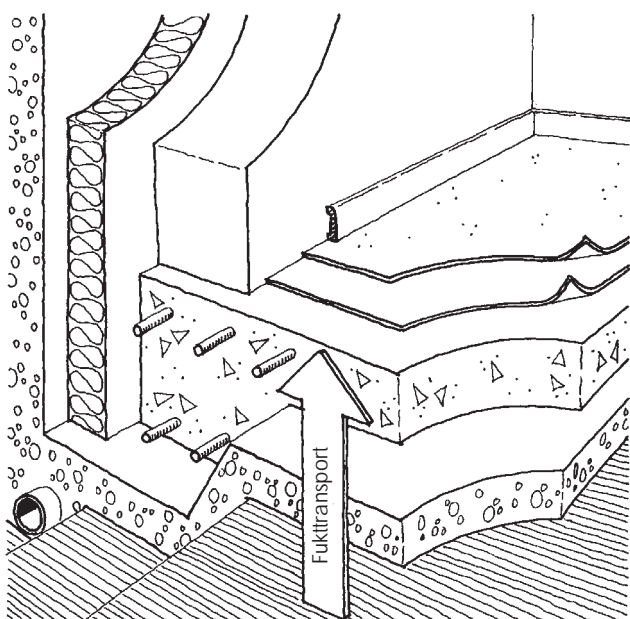
Isoleringen måste läggas under **hela** plattan. Om isolering sker endast av randfälten, blir de inre delarna av plattan oskyddade mot markfukt. Isoleringen måste även dras fram under kantbalkar, avstyvningar etc. Eventuellt bör man där använda ett isolermaterial som tål högre last än isoleringen i övrigt.

Oisolerad platta

Vad händer om man lagt en tät golvbeklädnad på en betongplatta som redan hunnit torka till en genomsnittlig fuktighet av 90 % RÅ?

Under plattan ligger ett dränerande och kapillärbrytande skikt. Fuktigheten i marken är 100 % RÅ. Eftersom temperaturen i plattan blir densamma som i marken, kommer man att få en ångtransport från marken till den torrare plattan. Ångtransporten kommer att fortsätta till dess att ångtrycken blivit utjämnade, d v s till 100 % RÅ.

Följden blir förtvålning av golvbeläggningens lim eller mögelangrepp på organiskt material.



Figur 30. Oisolerad platta.

Ytterligare information om materialegenskaper och våra produkter finns på www.paroc.se

Frost

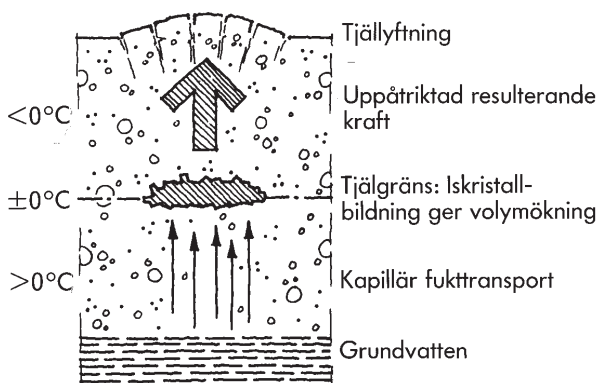
När värme avgår från marken och temperaturen där blir lägre än 0 °C omvandlas markens vatteninnehåll till is, marken tjälär. Av tjäle finns två slag: **israndig** (diskontinuerlig) tjäle och **homogen** tjäle. Endast den israndiga tjälen ger upphov till tjällyftningar.

Ett begrepp som är av stor betydelse i samband med tjäle är **kapillaritet**. Om man placerar ett smalt rör i en skål med vatten kommer detta att stiga i röret. I marken händer samma sak, d v s en torr jordart har förmåga att suga upp vatten beroende på att det i jorden finns små hålrum som tjänstgör som rör för transport av grundvatten från en lägre nivå till en högre.

Uppkomst av tjäle

Alla jordarter har en viss förmåga att binda vatten. Jordkornen omger sig med ett vattenhölje vars tjocklek varierar med kornstorleken.

När värmen går ur marken omvandlas jordkornens vattenhöljen till iskristaller – tjäle. Stannar nu tjäle på ett visst djup – tjälgränsen – och det finns förutsättning för att nya vattenmolekyler kan transporteras dit, kommer dessa också att övergå till is och ansluta sig till den redan befintliga massan av iskristaller. Isskiktet får därmed en volymökning som – enligt minsta motståndets lag – riktar sig uppåt och följaktligen lyfter ovanliggande jordlager.



Figur 31. Mekanism vid tjällyftning.

Förutsättningen för en tillväxt hos isskiktet är att det finns en kapillärförbindelse med grundvattnet. Isskiktet kommer då att "stjäla" vattenmolekyler från de jordkorn som befinner sig närmast under tjälgränsen. De "bestulna" jordkornen kommer i sin tur att stjäla från de närmast underliggande och "stöldvägen" kommer att fortsätta på detta sätt så länge isskiktet har kapillär förbindelse med grundvattnet. Om sådan förbindelse däremot saknas, kommer isvolymökningen att utebli och inga tjällyftningar äga rum.

Olika jord ger olika tjäle

Ju finkornigare en jordart är, desto tjockare är det vattenhölje som omsluter det enskilda jordkornet. Detta gör att vattenmolekyler kan transporteras lättare och även snabbare då kornen är små och transportvägen kort. I en finkornig jordart sker dessutom tjällyftningen lättare eftersom antalet kontaktpunkter mellan isskiktet och kornen är betydligt fler (belastningen i varje punkt mindre). Leror utgör ett undantag då de har liten kapillär stighastighet.

I en grovkornig jordart blir vattentransporten försvärad på grund av en lång transportväg och tunnare vattenhöljen. Därtill kommer att belastningen i beröringspunkterna är så stor att iskristallerna inte orkar lyfta ovanliggande lager utan istället fyller ut hålrummen mellan kornen. För att en tjällyftning skall kunna ske behöver alltså följande villkor uppfyllas samtidigt:

- Jordarten skall vara tjälfarlig.
- Vatten skall kunna transporteras till tjälgränsen.
- Tillräckligt stor mängd värme skall kunna försvinna ur det tjälfarliga jordlagret.
- Belastningen på marken måste vara mindre än tjälens lyftkraft.

Isolering i mark förhindrar tjälskador

Tjälskador kan förebyggas på olika sätt. Man kan:

- Byta ut den tjälfarliga jordarten mot en mindre tjälfarlig.
- Sänka grundvattennivån så att jorden inte kan suga åt sig vatten.
- Grundlägga på frostfritt djup.
- Lägga ett lager värmeisolering i marken.

Det ur ekonomisk synvinkel mest intressanta alternativet är att lägga ett värmeisolerande lager. Fördelen med markisolering är att man starkt begränsar värmeströmmen från marken under isoleringen, vilket resulterar i ett mindre tjäl djup genom att temperaturen under isolerskiktet mycket sällan understiger 0 °C. Det minskade tjäl djupet ger i sin tur:

- Mycket liten risk för tjälskador.
- Mindre grundläggningsdjup för hus m m.
- Mindre läggningsdjup för vatten- och avloppsledningar.

För att få en fungerande markisolering krävs att man ställer följande krav på isolermaterialet:

- Det får inte ruttna.
- Det måste motstå angrepp från marksvampar.
- Det måste ha hög tryckhållfasthet.
- Det måste ha bra värmeisoleringsförmåga.

Ecoprime extruderad cellplast motsvarar dessa krav. För utförandet och dimensionering – se Tjäl- och frostisolering.

Markisolering

Det finns många olika rekommendationer för isolermaterial som skall användas i mark och för konstruktioner på mark.

Den gamla traditionen att ta hänsyn till den naturliga geografin följs tyvärr inte alltid. I dag bygger man hus på gamla sankmarker eller uttorkade sjöbottnar eller på andra typer av mark som är mindre lämpliga för detta syfte. De lokala förhållandena bör tas med i beräkningen när man bestämmer sig för en lösning.

De olika markisoleringlösningarna är mer eller mindre motståndskraftiga mot fuktbelastning. Funktionen hos de olika materialen och de viktigaste skillnaderna presenteras nedan.

Uttalanden har gjorts av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut (SP) och Munthers Torkteknik AB för de konstruktioner som presenteras nedan. Båda företagen har haft att göra med många olika problem och har således lärt sig hur man inte skall bygga. Nedan kallas de SP respektive MT.

Platta på mark

Allmän beskrivning

En platta på mark med en uppvärmd byggnad måste alltid vara försedd med värmeisolering. Det främsta syftet med denna är att begränsa den relativa fuktigheten i golvet till en nivå som inte skadar golvmaterialet. Isoleringen skall också minska värmeförlusterna längs golvet yttre delar. Om plattans isolering är mycket tjock, kan det vara nödvändigt med markfrostisolering på utsidan.

Värmeisoleringen kan placeras antingen under eller ovanpå betongplattan.

För att plattan skall fungera på rätt sätt krävs ett tillförlitligt kapillärbrytande skikt och dränering mellan mark och betongplatta. När en betongplatta på mark används, måste plattan skyddas mot kontakt med vatten som suges upp genom kapillärverkan. Isoleringen skall vara torr, så att överskottsfukt inte når golvet.

En korrekt konstruerad markplatta är teoretiskt säker med avseende på fukt, och den är också avsevärt billigare än andra lösningar.

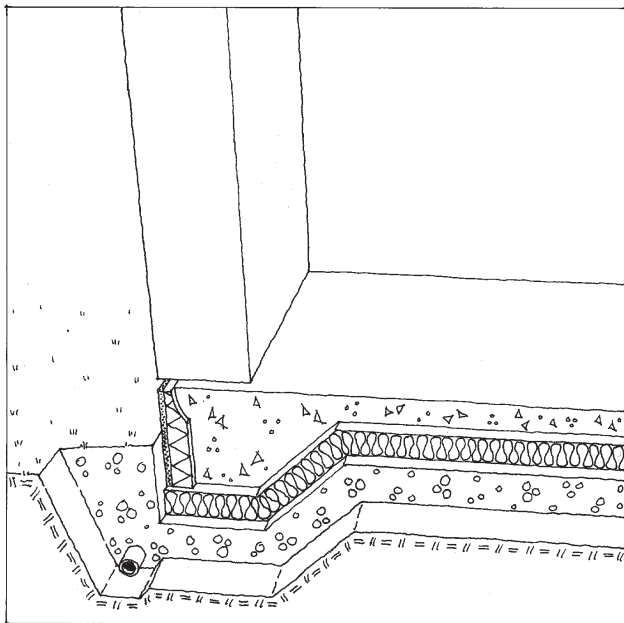
Kritiska faktorer

- Konstruktionen skall vara sådan att den hindrar grundvatten, kapillärvatten eller vatten som sipprar in från utsidan från att nå värmeisoleringen eller golvmaterial som är känsligt för fukt.
- Konstruktionen skall också sänka den relativa fuktigheten, d v s värmeisoleringen skall hålla RH så låg att golvmaterial känsliga för fukt skyddas.
- Konstruktionen skall också vara hållbar och icke deformbar, så att den tål dynamisk belastning.
- Konstruktionen skall bestå av material som motstår eventuell exponering för fukt utan att förstöras eller avge farliga material.

Viktiga detaljer

- Betongplattan måste kunna torka uppåt eller nedåt innan täta golvmaterial läggs på. Tjocka delar av plattan kan vara särskilt problematiska i detta avseende.
- Fuktspärren skiljer det fuktkänsliga materialet, t ex trä på plattan, från själva plattan.
- När isoleringen ligger under plattan, placeras vid behov en fuktspärre ovanpå plattan.
- Diffusionssäkert golvmaterial med fuktkänsligt lim kräver en fuktspärre.
- När isoleringen ligger ovanpå plattan, placeras en fuktspärre mellan plattan och isoleringen. För detta krävs att plattan först noggrant rengörs.
- Rekommendationerna är allmänt giltiga för små hus. När större plattor – mer än 10 m breda – används, krävs en särskild fuktlösning, t ex en fuktspärre mellan isolering och platta.
- När golvvärme används, bör isoleringen kompletteras med en fuktspärre mellan plattan och isoleringen nedanför.

Platta på isolering



Figur 32. Hela plattan är alltid isolerad. Minst 100 mm dräneringsmaterial under isoleringen. Kanterna isoleras om isoleringen av plattan är över 120 mm tjock.

Isolering med Paroc stenull under plattan anses vara en torr metod; inga tillägg krävs vid beräkningen av värmeisoleringskapaciteten.

Torktiden för en platta med stenull är ca 40 dagar.

Plattan fortsätter att torka nedåt även efter installation av golvmaterialet.

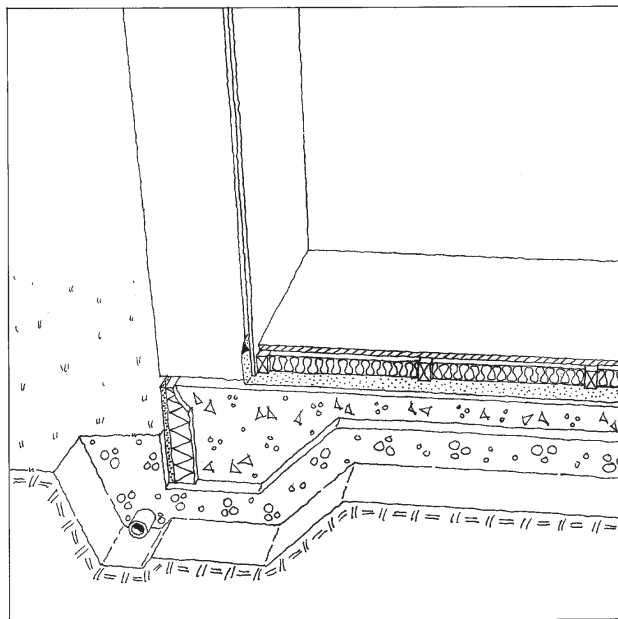
Om EPS eller annan plastisolering används, är torktiden 60 dagar. Plastisolering kan ge extra skydd mot fukt underifrån.

KOMMENTAR:

SP: Föga skada på detta golv. Om stenullen byts ut mot isolering av cellplast, tar torkningen längre tid efter installation av tät golvmaterial. Innan golvet läggs, torkar plattan främst uppåt oavsett isoleringsmaterial. Tillräcklig tid för torkning är nödvändig. När fuktens rörelseriktning är omvänd, t ex när golvvärmens stängs av, är tät isolering bättre än öppen stenull. Fuktspärr krävs i sådana fall.

MT: Vad gäller skydd mot fukt är detta den bästa konstruktionen för platta på mark. Trösklar och liknande bör också skyddas mot betongen. Fukttinnehållet i betongplattan är normalt så lågt att ytskiktet kan väljas tämligen fritt.

Isolering ovanpå plattan



Figur 33. En PE-ångspärr eller en fuktspärr placeras mellan isolering och platta. Det kapillärbrytande skiktet bör vara minst 150 mm tjockt.

Denna lösning ger ett mjukt och varmt golv. Inga problem med fukt från konstruktionen, om betongytan är alldeles ren.

Kräver noggrant arbete. Konstruktionen är känslig för fukt ovanifrån.

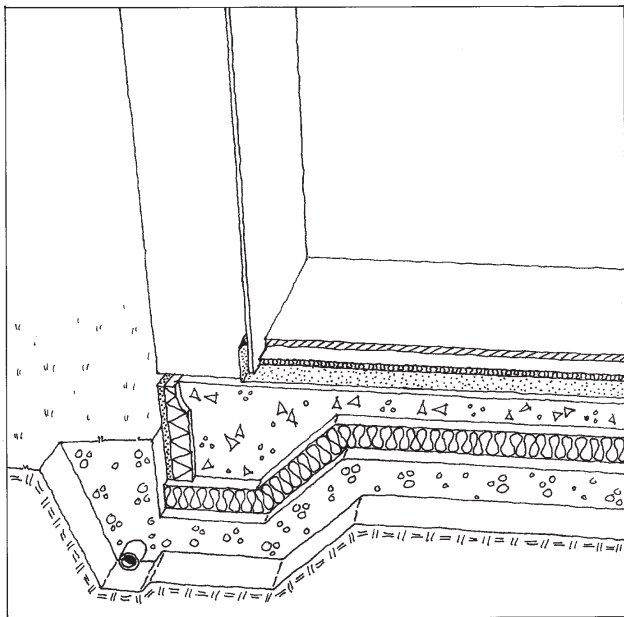
Att hålla ångspärren hel under byggnadsarbetet kan vara ett problem.

KOMMENTAR:

SP: Vanligt med skador framför allt på golvkonstruktioner med regler. Plastfolie garanterar inte att inga skador uppstår. Det kommer att finnas fukt under plasten, och mikroorganismerna kommer att frodas. Om lukt uppstår, är ett flytande golv svårare att reparera. Ångvandring gör plattan fuktig trots kapillärbrytande skikt.

MT: Vad gäller fukt bör denna konstruktion undvikas. Isoleringskiktet får inte innehålla organiskt material. Trösklar och liknande är placerade ovanför isolerskiktets övre kant, i varm rumsluft, och bör vara tillräckligt isolerade mot fukt. Isoleringskiktets ångtäthet bör tas med i beräkningen med avseende på andra skikt, inklusive golvets ytmaterial.

Isolering ovanpå och under plattan



Figur 34. Kombination av isolering under och ovanpå plattan enligt tidigare alternativ.

Huvudisoleringen under plattan kan kombineras med ett tunt skikt komfortisolering.

Om plattan är isolerad på undersidan med PAROC GRS 30, kan den fortsätta att torka nedåt sedan den täta golvbeleggningen har lagts på.

En plastfolie placeras mellan betong och stenull på ovensidan.

Optimalt fuktskydd och komfort:

PAROC GRS 30 under plattan och 17 eller 25 mm PAROC SSB 2 på ovensidan. Dubbla golvsivor för jämn kompression på ovensidan. Plastfolie mellan isolering och platta.

KOMMENTAR:

SP: Ett bra, komfortabelt golv. Inga skador. En alternativ lösning är ett ventilerat tätskikt, fuktskyddsmatta, som medger torkning av fukt i konstruktionen samtidigt som golvet är varmt.

MT: Vad gäller fuktisolering är detta bättre bara med isolering undertill. Vad gäller komfort bör trampskiktet separeras från betongplattan så att golvytans temperatur inte blir för låg. Detta kan emellanåt uppnås med rätt valt golvmaterial. Isolerskiktet bör aldrig ha bärande stomme av organiskt material. Placera trösklar och liknande ovanför isolerskiktets övre kant.

Källarvägg

Allmänt

Källaren utsätts för olika fuktkällor. Väggekonstruktionen innehåller fukt som måste få torka ut. Det kommer fukt från marken utanför källarväggen. Regn, vatten från smältande snö och is eller vattenströmmar i marken kan också ge upphov till lokala vattentryck mot källarväggen. Kapillarsugning kan göra att vatten suges genom plattan och uppför väggen.

Fukt i konstruktionen

Fukten i en källarkonstruktion måste få torka ut, antingen utåt eller inåt. Om väggens insida är belagd med material som inte andas, t ex vinyltapet eller plastfärg, kan fukten i praktiken bara torka utåt.

En korrekt konstruerad källarvägg tillåter därför diffusion på utsidan.

Fukten torkar ut under en period av flera år, varefter väggens insida kan tätas mot diffusion utan risk för skador, även om ytterväggen är diffusionssäker.

Fukt i mark

Fukt i mark är den största orsaken till problem. Man bör räkna med en relativ fuktighet (RH) på 100 % i marken, även om värdet emellanåt är lägre.

Fukt i mark i form av fritt vatten kan dräneras bort. Väggens bör för säkerhets skull ha ett kapillärbrytande skikt, så att vattenströmmen i dräneringen inte skadar väggen.

Fukt i ytan

Planera en sluttning som leder bort från byggnaden.

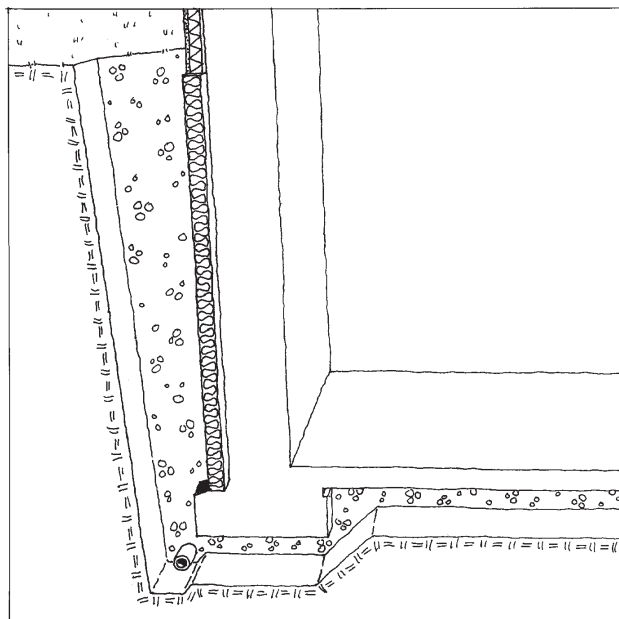
Kritiska faktorer

- Fukt i konstruktionen måste kunna torka utåt om insidan på källarväggen är tät.
- Väggens måste vara skyddad mot fukt från utsidan.

Viktiga detaljer

- Betongplattan sträcker sig utanför källarväggen, och ett halkäl gjuts. Halkälet måste gutas försiktigt så att den täcker sprickan mellan vägg och platta. För att vara på den säkra sidan bör man isolera väggen mot fukt med bitumen 0,5 m ovanför halkälet.
- Ett sätt att bryta kapillärsugningen är att sätta upp en markskiva, PAROC GRS 30, mot källarväggen. Eventuellt vatten i marken rinner parallellt med plattan, eftersom motståndet i plattan vanligen är högre än i marken. I tät mark kan det omvända inträffa. För att hindra vatten från att rinna in genom skivan och in i väggen måste det finnas ett dräneringsskikt av lämpligt material utanför skivan. Skivan är en del av dräneringssystemet och måste därför ha kontakt med den del som leder bort vattnet.
- En spårad isoleringsskiva eller en fuktskyddande matta är öppen nedtill och ökar därför risken för vatteninträning.
- Om det finns stor risk för vattentryck mot väggen, kan en bitumenmatta passas in mot väggen oavsett isoleringstyp.
- Dränerande återfyllnad måste leda till dräneringsledningen.

Utvändig isolering



Figur 35. Ned: Isolering i kontakt med dränering..
Upp: Murbruk på isolering eller sockelelement.
Vägg: Bitumenbeläggning ca 0,5 m upp.

Ett dräneringsskikt om minst 200 mm placeras närmast isoleringen.

Stenull hindrar kapillärverkan, men den har en öppen konstruktion som tillåter väggen att torka utåt. Vatten leds bort längs isoleringsytan.

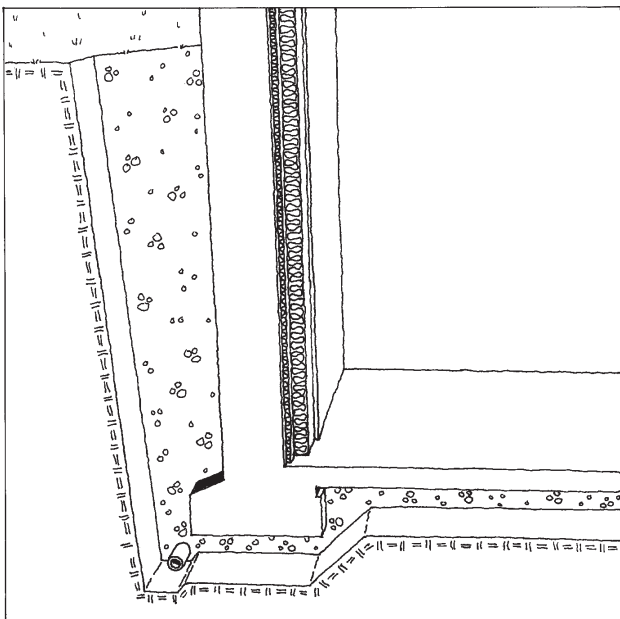
Värmemotståndet sänks, enligt anvisningarna i byggreglerna, med $0,20 \text{ m}^2\text{K/W}$ när stenullen är i kontakt med marken.

KOMMENTAR:

SP: Bra konstruktion oavsett isoleringsmaterial. Vattentrycket i marken på grund av igensatt dränering orsakar problem. Det är viktigt att dränera bort ytvattnet från huset.

MT: Helt klart det bästa alternativet vad gäller fuktighet. Måla insidan av väggen med en silikat- eller KC-färg som släpper igenom ånga. Man kan också lämna ytterväggen obehandlad.

Inväändig isolering



Figur 36. OBS! Inga träreglar får placeras inuti väggen – RISK FÖR RÖTA. Använd inte plastfolie som ångspärr.

Om träreglar används skall först en 20 mm stenullsskiva placeras direkt på hela väggen.

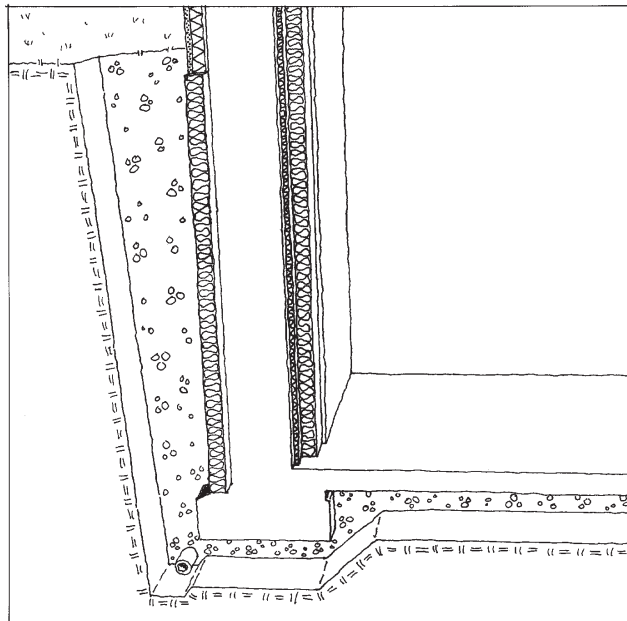
Väggen kan i viss mån torka inåt när stenull används som isolering.

KOMMENTAR:

SP: Stor risk för mögel på väggen. Detta är en risk som byggherrar bör vara medvetna om.

MT: Källarväggen kommer att vara kallare och därför fuktigare än utan isolering eller med utvändig isolering. Isoleringskikten bör aldrig ha en stomme av oorganiskt material. Beakta isoleringskiktets ångtäthet i förhållande till andra material i väggen. Vad gäller komfort har denna konstruktion samma fördelar som ut- och invändig isolering.

Ut- och invändig isolering



Figur 37. Rekommendationer för ut- och invändig isolering kan kombineras. Isoleringen är främst placerad på väggens utsida.

Den utvändiga isoleringen är huvudisoleringen och är kompletterad med ett tunt isolerskikt på insidan för högre komfort.

KOMMENTAR:

SP: Poängen är den yttre isoleringen. På insidan räcker det med en skiva, t ex gips, eftersom man inte kommer i kontakt med väggen på samma sätt som golvet.

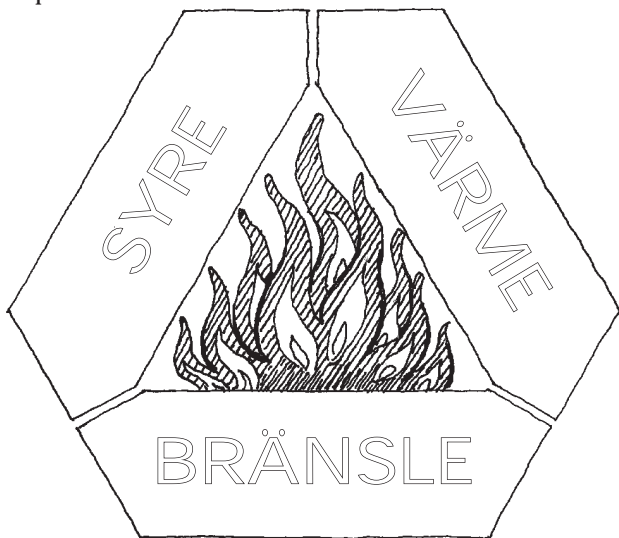
MT: Vad gäller fuktisolering är denna version sämre än isolering enbart på utsidan. Isoleringskiktets egenskaper i fråga om fuktgenomsläpplighet måste tas med i beräkningen när man "stänger in" delar av byggnaden. Isoleringskikten bör aldrig ha en stomme av organiskt material. Vad komforten beträffar har detta alternativ fördelar jämfört med väggar som är isolerade på utsidan. Motstrålning från väggen minskas, och källaren upplevs som mindre "rå".

Brand

Brand kan definieras som en destruktiv termisk process som av sig själv ökar skadorna tills allt brännbart material som är utsatt för eld har brunnit upp.

Följande krävs för att en brand skall uppstå och fortsätta:

- Brännbart material
- Tillräckligt mycket syre
- Värme som gör att ett material uppnår antändningstemperatur



Figur 38. Brandtriangeln visar vad som krävs för att brand skall uppstå.

Bränsle

När brännbara material kombineras med syre, alstrar de mer värme än vad som krävs för den kemiska reaktionen. Brännbarheten graderas som eldfarlighet.

- **Självantändande material**
Material som kan börja brinna utan inverkan av en yttre värmekälla, t ex bomullsstrassel indränkt i linolja.
- **Lättantändliga material**
Material som i finfördelat tillstånd kan tändas med en tändsticka och som fortsätter att brinna i luft, t ex papper, trästickor och de flesta textilier.
- **Svårantändliga material**
Material som tänds när de upphettas lokalt och som brinner så länge de upphettas, men som inte fortsätter att brinna sedan värmekällan har avlägsnats. Några exempel: träullscementskivor och vissa plaster. Det finns testmetoder för att bestämma om material är svårantändliga.

Obrännbara material inkluderar vanliga byggmaterial såsom cement, betong, hålbetong, gips, tegel och stenull. Obrännbarheten testas vanligen.

Luft

Det syre som krävs för förbränning kommer vanligen från luften. Brandens intensitet beror av syretillförseln. En minskning av mängden syre kan därför släcka eller dämpa elden.

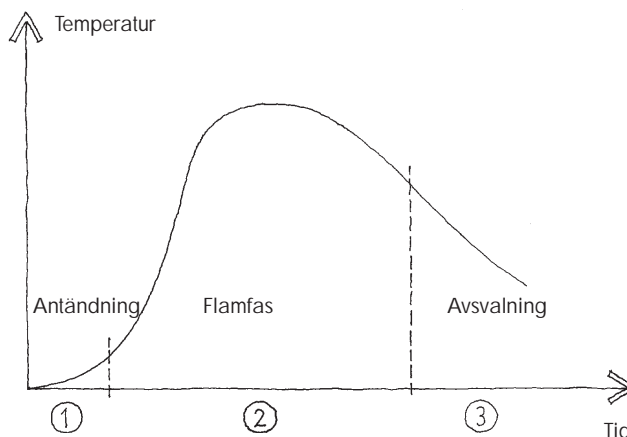
Värme

När temperaturen hos brännbara material når antändningstemperaturen, leder det till snabb förbränning. Den värme som krävs för antändning kan åstadkommas genom

- öppen eld (t ex tändsticka)
- ett uppvärmt föremål (t ex svetsloppa)
- optiska fenomen (t ex brännglas)
- elektriska fenomen (t ex ljusbåge)
- friktion (t ex överhettning i ett lager)

Den förbränningstemperatur som uppnås beror av flera faktorer, t ex de brinnande materialens värmevärde (MJ/kg), förbränningshastigheten (beror av pulvrisingen), lufttillförseln och den mängd förbränningsgas som alstras.

En brand i ett rum kan delas in i tre huvudfaser: antändning, förbränning och avsvälning.



Figur 39. De olika stadierna av en brand längs en tid/temperaturkurva.

1. Antändning

Lättantändliga inomhusmaterial, t ex textilier eller annat möbelstoppningsmaterial, börjar brinna som resultat av oförsiktig hantering av en brandkälla. En brand kan orsakas av cigaretter, tändstickor, radiatorer, svetsutrustning eller liknande. Fel i elektrisk utrustning och mordbrand är andra möjliga orsaker. Antändningsfasen kan vara flera timmar lång, om branden börjar som glödförbränning. Processen kan dock vara extremt snabb om lättantändliga material, vätskor eller gaser antänds. Rök och gaser genereras i ett rum när det börjar glöda, och atmosfären kan vara livshotande långt innan temperaturen i rummet börjar stiga.

2. Flamfas, fullt utvecklade brand

Antändningen blir en fullt utvecklade brand i och med den så kallade övertändningen. Detta är en kritisk fas i brandens utveckling. Efter övertändningen är det inte längre möjligt att stanna kvar i rummet, och det är svårt att begränsa och släcka elden. Alla brännbara ytor i rummet står nu i brand, och temperaturen stiger snabbt. Den maximala temperaturen i ett rum under brandfasen är 800-1100 °C. Konstruktionen står under brandstress, och elden kan spridas till andra rum och andra delar av byggnaden genom spridning av lågor, värmestrålning, värmeledning eller konvektion av lättantändliga gaser. Alstringen av rök och gaser kan vara extrem.

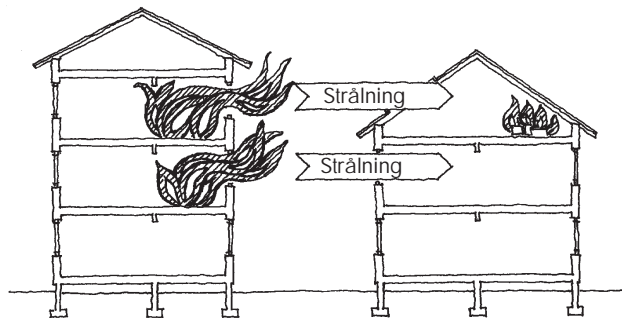
3. Avsvälning

Under denna fas minskar mängden brännbara material och temperaturen sjunker. Förbränningsprocessen upphör gradvis.

De viktigaste faktorerna som bestämmer formen på tid/temperaturkurvan i figur 39 är mängden och fördelningen av brännbara material, ventilationen, syretillförseln och egenskaperna hos byggnadskomponenterna (t ex värmekapacitet).

Brandens spridning

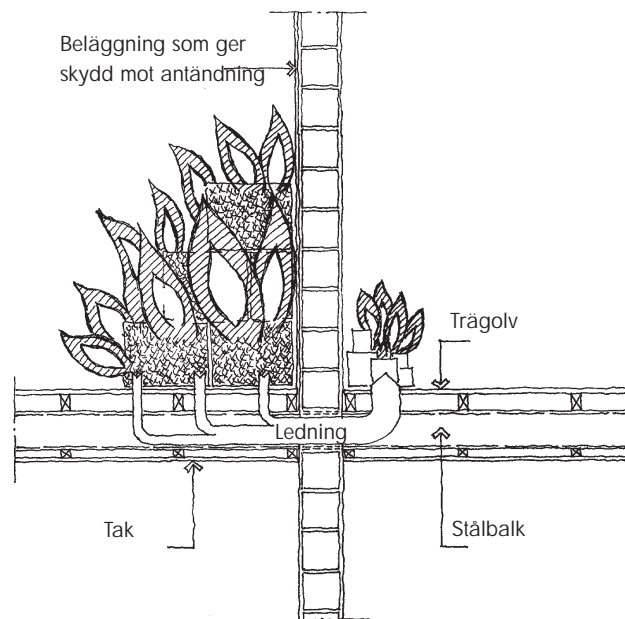
En brand sprids främst genom strålning, ledning och konvektion.



Figur 40 A. Brand som sprids genom strålning.

Strålning

Värme strålar från varma kroppar till kalla. I första hand utgörs värmestrålningen av osynlig infraröd strålning. Strålningens intensitet minskar med kvadraten på avståndet från källan.

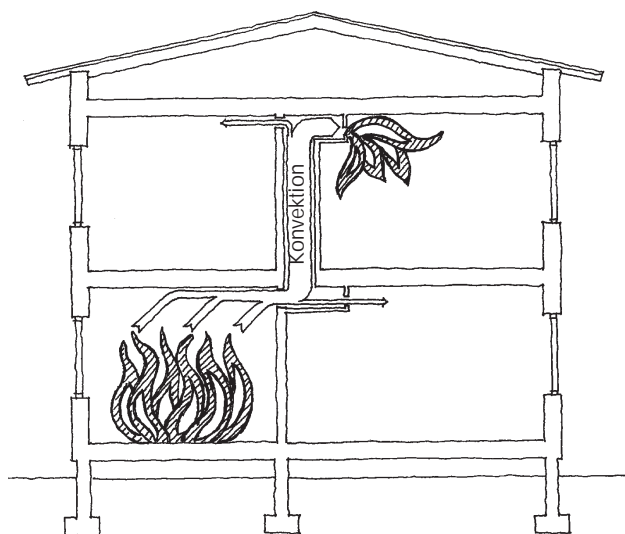


Figur 40 B. Brand som sprids genom ledning.

Ledning

Värme leds i ett material (fast kropp, vätska eller gas) eller från ett föremål som är i direkt kontakt med ett annat. Metaller är de bästa ledarna för värme. Vätskor leder värme dåligt och gaser ännu sämre.

Vid brand kan värme även ledas genom icke brännbara material och konstruktioner. Exempelvis en tunn betongvägg är inget säkert hinder för spridning av en brand. Eftersom metaller är bra värmeledare, kan rör och andra liknande konstruktioner som går i väggar utgöra en risk.



Figur 40 C. Brand som sprids genom konvektion.

Konvektion

De uppkommande förbränningsgaserna och den omgivande luften värms upp i en brand. Eftersom varma gaser är lättare än svala, sker en konvektion eller värmefflöde av heta gasblandningar.

Vid en inomhusbrand kan sådan konvekterad värme ge upphov till sekundära bränder på stora avstånd från huvudbranden, delvis genom upphettning av brännbara material till antändningstemperatur, delvis därför att gaser som på grund av syrebrist inte har brunnit antänds när det finns tillräckligt med syre.

Brandskydd för byggnader

Syftet med den nationella bygglagstiftningen är att hus skall byggas på sådant sätt att bränder förhindras. Dessutom bör spridning av eld inom en byggnad eller till andra byggnader förebyggas. Här är en enkel sammanfattning av syftena med brandskyddsförordningarna.

- Att rädda liv
- Att rädda egendom

Detta kan också uttryckas på följande sätt:

- **Förebygga bränder**
Krav rörande icke brännbara material, tillräckliga avstånd till brännbara material, ytskikt m m
- **Medge säker utrymning vid brand**
Krav på två utgångar eller maximal längd på utrymningsvägar, o s v.
- **Garantera konstruktionernas hållbarhet vid brand**
Ramen bör bestå av brandskyddsutformade konstruktioner, o s v.
- **Minska risken för att brand sprids**
Krav på ytmaterial, brandceller i vindsutrymmen, o s v.
- **Förenkla brandsläckning**
Krav rörande ventilation, brandposter och tillgänglighet för räddningsfordon m m.

Dessa krav utgör grunden för en byggnads brandskyddsutformning.

Brandisolering

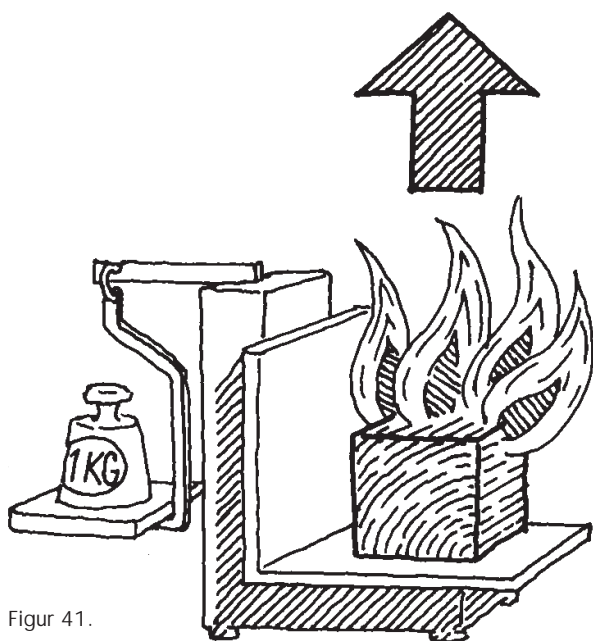
Brandisolering av byggnader avser att förhindra att brand uppstår, sprider sig, samt att säkra att en eventuell brand får ett förlopp som är acceptabelt med utgångspunkt från personsäkerhet och ekonomi.

Konstruktionsutförande och brandteknisk bedömning baseras i de flesta fall på fullskaleprovningar, typprovningar av allmänna konstruktioner eller provning av den aktuella konstruktionen. För närvarande satsas dock stora resurser på att utveckla teorier för att kunna dimensionera brandutsatta konstruktioner med beräkningar. Det är då viktigt att ha kännedom om ingående materials egenskaper vid höga temperaturer.

Brandbelastning

Med brandbelastning menar man förhållandet mellan den samlade värmemängd som frigörs vid fullständig förbränning av allt brännbart material i en byggnad, inklusive lagervaror, inventarier etc och byggnadens totala omslutningsarea.

Brandbelastningen uttrycks i MJ/m² men är i litteraturen ofta angiven i enheten kg trä/m². Denna enhet är internationellt använd och praktiskt användbar eftersom en väsentlig del av förekommande brandbelastning utgörs av trä. Andra brännbara material omräknas till trä i förhållande till deras förbränningsvärme. Brandbelastningen kan därför beräknas som summan av samtliga materials förbränningsvärme, dividerat med förbränningsvärmens hos ett kg trä (fur) som är 19000 kJ/kg.



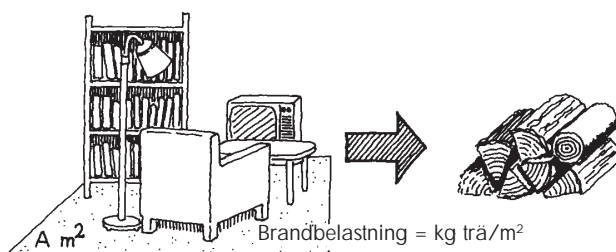
Figur 41.

Byggnadstyp	Brandbelastning i kg trä m ² golvyta
Bostäder	25 – 45
Sjukhus	20 – 40
Hotell	15 – 25
Kontor	20 – 95
Skolor	15 – 30
Bibliotek	200 – 400
Lagerlokaler	30 – 125
Varuhus	15 – 50

Tabell 42. Tabellen visar resultatet av en undersökning över brandbelastningens storlek i olika byggnader med bärande konstruktion av betong.

Tabellen visar att brandbelastningen inte bara varierar mellan olika kategorier av byggnader, utan även inom samma kategori. Detta beror på den olika möbleringstyp och grad som kan förekomma.

En bred kunskap om förekommande brandbelastning i olika byggnadstyper ger alltså grunden för de krav som ställs på byggnadskonstruktionerna (bärande konstruktioner, ytterväggar, bjälklag etc.) och för den brandtekniska dimensioneringen av dessa.



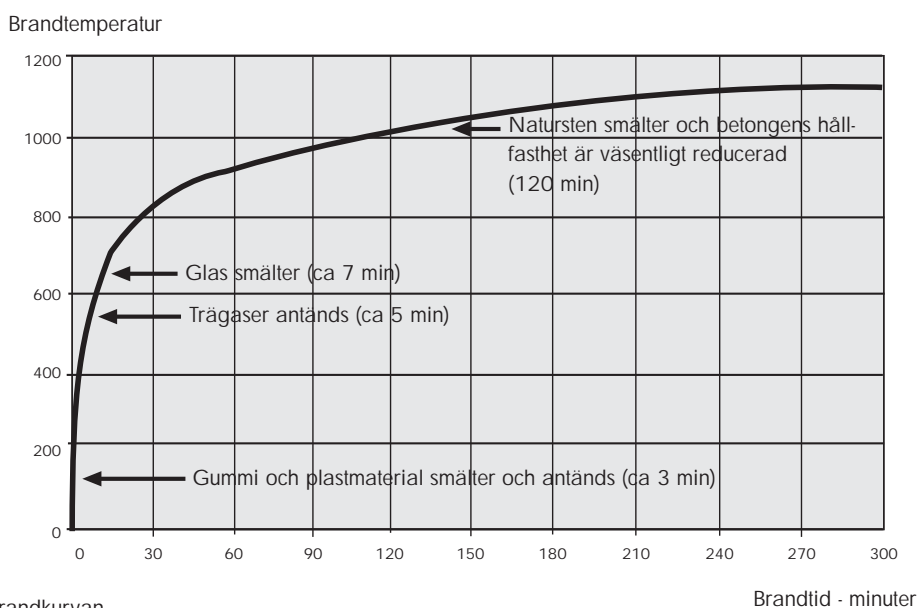
Figur 43.

Brandförloppet

Brandförloppet – dvs temperatur/tidsförloppet – beror i hög grad på brandbelastningen och brandcellernas geometri.

En fullständig beskrivning av brandförloppet i en brandcell kompliceras dock av att en mängd faktorer har inverkan. Man har därför enats om att använda den s k normalbrandkurvan (se figur 44) vid alla provningar och beräkningar där det inte finns särskilda skäl att frångå den. Ett sådant skäl kan vara risk för petroleumbrand där en annan kurva, den s k hydrocarbonkurvan, beskriver ett annat tids- och temperaturförlopp.

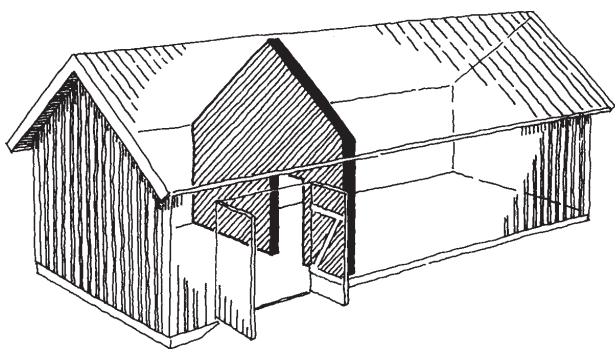
Jämfört med normalbrandkurvan framgår bl a stenullens unika brandegenskaper.



Figur 44: Normalbrandkurvan.

Brandcell

Med brandcell – som kan omfatta ett rum eller en sammanhängande grupp av rum – avses en del av en byggnad som är avskild på ett sådant sätt att en brand i denna del, kan förhindras att sprida sig till en annan del av byggnaden under viss tid.



Figur 45. Byggnad med två brandceller.

Denna tid bestäms med hänsyn till byggnadens ändamål och antal våningar.

I brandcellens omslutande konstruktioner får ingå byggnadsdelar – t ex fönster och dörrar – med mindre brandmotstånd än vad som svarar mot den för brandcellen angivna. Detta under förutsättning att brand ändå kan hindras att sprida sig i anslutning till dessa byggnadsdelar, genom ingripande av brandförsvaret inom normal insatstid eller på annat sätt.

Brandtekniska byggnadsklasser

Byggnader indelas i tre olika brandtekniska byggnadsklasser. Vid klassindelningen skall vind räknas som en våning om där finns en bostad eller huvuddelen av en bostad.

Byggnad i klass Br1

Byggnader med *tre eller flera våningsplan* bör utföras i klass Br1.

Följande byggnader med *två våningsplan* bör utföras i klass Br1:

- Byggnader avsedda för sovande som inte förväntas ha god lokalkännedom.
- Byggnader avsedda för personer som har små förutsättningar att själva sätta sig i säkerhet.
- Byggnader med samlingslokal på andra våningsplanet.

Byggnad i klass Br2

Följande byggnader med *två våningsplan* bör utföras i lägst klass Br2:

- Byggnader avsedda för fler än två bostadslägenheter och där bostads- eller arbetsrum finns i vindsplanet.
- Byggnader med samlingslokaler i markplanet.
- Byggnader som har en byggnadsarea större än 200 m² och som inte delas i enheter av högst denna storlek genom brandväggar i lägst klass REI 60-M.

Byggnader med *ett våningsplan* med samlingslokaler i eller under markplanet bör utföras i lägst klass Br2.

För övriga byggnader kan beroende t ex av särskilt användningssätt finnas speciella föreskrifter.

Detaljerade krav på olika byggnadsdelar för olika typer av byggnader finns i föreskrifter från t ex Boverket eller försäkringsbranschen.

Euroklasser

Inom EU har man tagit fram ett nytt gemensamt system för att testa och klassificera byggnadsmaterials brandegenskaper. Detta innebär att antalet brandprovningmetoder reducerats och ersatts av ett fåtal harmoniserade. Det innebär också att den svenska definitionen på obännbarhet samt att ytskikt-klasserna I, II och III upphör att gälla som myndighetskrav. De ersätts istället av de nya Euroklasserna A1, A2, B – F, där A1 är den bästa klassen. Euroklasserna beskriver ett byggnadsmaterials bidrag till brand, och om det finns risk för övertändning. För klass A1, A2 och B får ingen övertändning ske. Klasserna A2-D kombineras med tilläggsklasser som beskriver om byggnadsmaterialet släpper ifrån sig rök (s1,s2,s3) eller avger brinnande droppar (d0,d1,d3) vid brandpåverkan. Klass E kan enbart kombineras med tilläggsklass d2. För sämsta klassen F har prestanda ej fastställts. BBR innehåller regler för hur de olika materialen får användas. Paroc stenull utan ytbeklädnad är klassade i bästa klassen A1.

Beklädnader

Tändskyddande beklädnad är en beklädnad av obrännbart eller annat lämpligt material som är fastsatt på betryggande sätt och som vid brandprovning enligt en standardiserad metod under minst 10 minuter förmår hindra antändning av bakomliggande, brännbara material.

Paroc stenull är i specificerade konstruktionslösningar klassificerad som tändskyddande beklädnad.

Klassindelning av ytskikt

Ytskiktet är avgörande för rökutveckling och brandspridning i ett rum under brandens inledande skede. I utrymningsvägar ställs därför stränga krav. BBR delar in ytskikten i tre kravnivåer Euroklass B-s1,d0 (tidigare ytskikt klass I), C-s2,d0 (tidigare ytskikt klass II) och D-s2,d0 (tidigare ytskikt klass III). Sämre ytskikt än Euroklass D-s2,d0 får ej användas. Paroc stenull med ytskikt av glasfiberflor är klassade som A2-s1,d0.

Klassificering av byggnadsdelar

I BBR anges krav på byggnadsdelar beroende på funktion i klasserna

- R (bärförmåga)
- E (integritet)
- I (isolering)

Med integritet avses konstruktioners förmåga att förhindra genombränning. Med isolering avses förmågan att begränsa temperaturen på den icke brandutsatta sidan normalt till en temperaturstegring på max. 140 °C.

Till klassbeteckningarna, som ofta är en kombination av två eller tre klasser, kopplas ett tidskrav i minuter, t ex RE 30 eller REI 60.

Klassificeringen kan kombineras med tilläggsbeteckningen

- M för speciell hänsyn till mekanisk åverkan.
- C för dörrar med stänganordning.

Klassificerade konstruktioner

I Byggboken, avsnitt "Brand- och ljudisolering av väggar, bjälklag och tak" redovisas ett stort antal av de ur brandsynpunkt godkända konstruktioner i vilka Paroc stenull förekommer.

Brandmotståndförmåga hos Paroc stenull

Paroc stenull framställs av bergarten diabas som upphettas till sin smältpunkt – ca 1500 °C – och då, via en speciell process, kan omvandlas till fibrer.

Paroc stenull är därför, bortsett från ett mycket litet innehåll av bindemedel och olja, en oorganisk produkt.

Temperaturbeständighet

Paroc stenull är ett isolermaterial med hög smältpunkt, väl ägnat för användning i konstruktioner med höga brandkrav. Isoleringen ökar inte brandbelastningen och den bevarar isolerförmågan under brand. Bindemedlet i produkter av Paroc stenull förkolnar vid en temperatur av ca 200 °C. Stenullsfibern klarar över 1000 °C.

Paroc stenull kan därför användas vid högre temperaturer än 200 °C – fibrerna blir kvar och skyddar det bakomliggande materialet mot flampåverkan. Isoleringen skall placeras i konstruktionen så att den inte på grund av mekanisk påverkan kan ändra form när bindemedlet avgår.

Som regel är bara den ena sidan utsatt för höga temperaturer och därmed följande nedbrytning av bindemedlet. Paroc stenull har även vid de höga temperaturer som förekommer under en brand goda värmeisolerande egenskaper. Temperaturfallet genom det främsta isolerskiktet blir så stort att resten av isoleringen förblir intakt.

Isoleringens effektivitet

Följande faktorer avgör en brandisolerings effektivitet:

1) Termostabiliteten

Isolermaterialet skall kunna tåla de höga temperaturer som uppstår under en brand utan att smälta eller ha för stor krympning.

2) Isolerförmågan

Isolerförmågan är beroende av temperaturen. Isolermaterialet skall ha goda värmeisolerande egenskaper även vid höga temperaturer.

3) Värmekapaciteten

Värmekapaciteten hos Paroc stenull är liten beroende på den låga densiteten. Betong t ex, har stor värmekapacitet.

Dimensionering

Syftet med en brandteknisk dimensionering är att åstadkomma en konstruktion som med säkerhet tål den brandpåverkan den kan komma att utsättas för, utan att det vid någon tidpunkt uppstår fara för kollaps. Dessutom gäller det ofta att förhindra antändning av material på den icke brandutsatta sidan.

Sådana beräkningar är svåra att göra. I många fall får man därför dimensionera med ledning av utförda provningar. För vissa konstruktioner finns det möjlighet att göra databeräkningar, bl a för brandisolerings av stålkonstruktioner med PAROC FPS 14. För avskiljande träkonstruktioner tillämpas den s k Additionsmetoden.

Additionsmetoden

Avskiljande träkonstruktioner

Additionsmetoden är en metod för att beräkna brandmotståndet i avskiljande konstruktioner utförda med träreglar i högst brandteknisk klass EI 60. Genom att addera brandmotståndet i konstruktionens olika materialskikt, får man en uppskattning av hela konstruktionens brandmotstånd (b_{tot}). Underlaget för beräkningarna är en stor mängd brandprovningar. Man utgår från ett sk grundvärde (b_n). Detta är brandmotståndet för ett materialskikt. Genom att multiplicera grundvärdet med en positionskoefficient (k_n) tar man hänsyn till var i konstruktionen som skiktet befinner sig. Man kan även beskriva det enligt följande formel.

$$b_{tot} = b_1 k_1 + b_2 k_2 + \dots = \sum b_n k_n \quad (\text{formel 1})$$

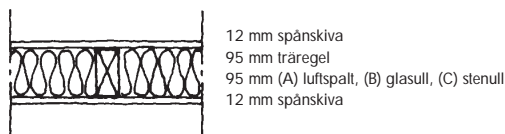
Exempel på materials grundvärde (b) och positionskoefficient (k) framgår i tabeller nedan.

Grundvärden (b_n) för olika material

Typ	Densitet (kg/m ³)	Tjocklek (mm)	Grundvärde (min)
Träbaserade skivor samt all plywood	450-590	12	11,1
		20	18,7
Spånskivor och fiberskivor	600-800	12	13,6
		22	24,6
Gippskivor Normal Protect F	680-780 ≥830	13	18,0
		15	22,0
Glasull	19	45	5,0
		95	10,0
		120	12,0
		195	20,0
Stenull	28	45	9,0
		95	19,0
		120	24,0
		195	39,0
Luftspalt		45-195	5,0

Beräkningsexempel.

Här följer exempel på väggar där brandmotståndet (b_{tot}) beräknas enligt Additionsmetoden (formel 1).



(A) Luftspalt

$$b_{tot} = (13,6 \times 0,8) + (5,0 \times 1,0) + (13,6 \times 0,6) = 24,0 \text{ min}$$

(B) Glasull

$$b_{tot} = (13,6 \times 0,78) + (10,0 \times 1,0) + (13,6 \times 0,67) = 29,7 \text{ min}$$

(C) Stenull

$$b_{tot} = (13,6 \times 0,78) + (19,0 \times 1,0) + (13,6 \times 2,9) = 69,0 \text{ min}$$

Positionskoefficienter (k_n) för olika materialskikt i väggar med ett skivlag.

Typ	Tj.lek (mm)	Positionskoefficienter								
		Exponerad skiva med bakomliggande			Oexponerad skiva med framförliggande					
		Glasull/stenull (mm) 45-195	Luftspalt	Isol/luftsp	*)1)Glasull (mm) 45-195	Stenull (mm) 45 70 95 145			2)3) Luftspalt	
Träbaserade skivor samt all plywood	12	0,78	0,8	1,0	0,67	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6
	20	0,94	0,8	1,0	1,23	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6 ^{**}
Spån- och fiberskivor	12	0,78	0,8	1,0	0,67	1,9	2,2	2,9	3,9	0,6
	22	0,98	0,8	1,0	1,37	1,9	2,4	2,9	3,9	0,6 ^{**}
Gippskiva Normal Protect F	13	0,80	0,8	1,0	0,74	1,9	2,4	2,9	3,9	0,7
	15	0,84	0,8	1,5 ⁴⁾	0,88	1,9	2,4	2,9	3,9	0,7

*) Gäller med avseende på exponerad skivas tjocklek.

***) 0,8 för regelbredd ≥ 70 mm.

Med Protect F eller motsvarande som exponerad skiva, dvs en skiva som sitter kvar ≥ 60 minuter, får följande positionskoefficienter användas:

1) Samma som för stenull, dock högst 2,9.

2) 1,5 för träbaserade skivor.

3) 1,8 för gippskivor och fibercementskivor.

4) 2,0 för glasull.

Positionskoefficienter (k_n) för olika materialskikt i väggar med två skivlag.

Konstruktion ²⁾ Exponerad/oexponerad skiva + skiva närmast regel	Exponerade skivor		Isolering/luftspalt	Oexponerade skivor	
	Skiva 1 exponerad	Skiva 2 närmast regel		Skiva 3 närmast regel	Skiva 4 oexponerad
2 x träbaserad skiva luftspalt	1,0	0,6	1,0	0,5	0,7
2 x gippskiva luftspalt	1,0	1,0	1,0	1,0	0,7 ³⁾
Gips + träbaserad skiva luftspalt	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7 ³⁾
Träbaserad skiva + gips luftspalt	1,0	0,6	1,0	1,0	0,7 ³⁾
2 x träbaserad skiva stenull, 28 kg/m ³	1,0	0,6	1,0	1,0 ¹⁾	2,0 ¹⁾
2 x gippskiva stenull, 28 kg/m ³	1,0	1,0	1,0	1,0 ¹⁾	3,5 ¹⁾
Gips + träbaserad skiva stenull, 28 kg/m ³	1,0	1,0	1,0	1,0 ¹⁾	2,0 ¹⁾
Träbaserad skiva + gips stenull, 28 kg/m ³	1,0	0,6	1,0	1,0 ¹⁾	2,5 ¹⁾

1) Värde som ligger väl på den säkra sidan. För att tillgodose - räkna högre värden krävs mer underlag.

2) Total skivtjocklek max 26 mm per väggside.

3) 1,0 för regelbredd ≥ 70 mm.

Avskiljande träkonstruktioner

Additionsmetoden –

Kompletterande data för Paroc stenull

Grundvärden för materialen i Träteks underlag har tagits fram genom ett omfattande provningsprogram där provkroppar brandprovats både i full och i reducerad skala. För att komplettera Träteks undersökning och framför allt studera inverkan av stenullens densitet, har vi initierat ett examensarbete vid Institutionen för Teknisk Utbildning i Norrköping. Examensarbetet har utförts enligt samma metodik som Träteck använt. Vissa tester har utförts parallellt och visar på god överensstämmelse. Resultaten framgår av nedanstående tabeller.

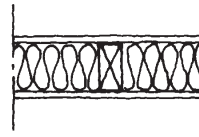
Grundvärden (b_n) för olika produkter av Paroc stenull samt för gipsskiva Gyproc Normal

Produktnummer	Densitet (kg/m ³)	Tjocklek (mm)	Grundvärde (min)
Gipsskiva	730	13	18,7
PAROC UNS 37	26	45	7,7
		70	10,9
		95	11,6
		145	20,3
PAROC WAS 50	45	45	10,4
		70	16,8
		95	20,2
PAROC ROS 20	80	50	12,6
		80	24,5
		100	32,3
PAROC FPS 14	140	30	11,9
		50	23,5
		70	38,0
		80	43,7

Positionskoefficienter (k_n)

Typ	Tj.lek (mm)	Positionskoefficient Exponerad beklädd skiva med bakomliggande stenull	Stenull densitet (kg/m ³)	Positionskoefficienter									
				Stenull	Oexponerad bekl. skiva med framförliggande stenull, tjocklek (mm)								
					30	45	50	70	80	95	100	145	
Gipsskiva	13	0,9	26	1,0	-	2,1	-	2,6	-	2,9	-	3,5	
		0,9	45	1,0	-	2,3	-	2,7	-	3,3	-	-	
		0,9	80	1,0	-	-	3,1	3,5	-	4,1	4,3	-	-
		0,9	140	1,0	2,6	-	3,6	4,1	4,3	-	-	-	-

Anm. (-) data saknas.



13 mm gipsskiva
95 mm PAROC Skiva
45 x 95 mm träregel c 600 mm
13 mm gipsskiva

Beräkningsexempel.

Här följer två beräkningsexempel enligt (formel 1) på konstruktionen ovan.

(D) PAROC UNS 37 (26 kg/m³)

$$b_{\text{tot}} = (18,7 \times 0,9) + (11,6 \times 1,0) + (18,7 \times 2,9) = 82,7 \text{ min}$$

(E) PAROC WAS 50 (45 kg/m³)

$$b_{\text{tot}} = (18,7 \times 0,9) + (20,2 \times 1,0) + (18,7 \times 3,3) = 98,7 \text{ min}$$

Additionsmetoden –

Brandmotstånd större än 60 min

Enligt beräkningarna ovan framgår det att höga tider på brandmotstånd nås om man använder stenull som isolering. Dessa tider blir vanligtvis högre än de brandklasser som anges i tidigare avsnitt. Varför? Vid en brand brinner den inre beklädnaden upp eller faller ned. I regel sker detta efter 15–25 minuters brand. Därefter är träregeln och isoleringen exponerade för elden. Stenullen som klarar temperaturer över 1000 °C sitter kvar och skyddar den oexponerade beklädnadsskivan. Träreglarna förkolnar med en hastighet på 0,7–1,0 mm per minut, vilket för exemplet ovan innebär att de är förbrukade efter ca 100 minuter. Oftast kläms isoleringen fast mellan reglarna genom övermått, men då dessa brinner upp faller isoleringen ur regelverket. Därefter tar sig branden även igenom den oexponerade skivan. Hela detta förlopp som kan variera starkt från fall till fall, tar man ingen hänsyn till då man beräknar brandmotståndet. Därför bör man iaktta en viss försiktighet då sådana beräkningar utförs. Detta är också huvudskalet till att Additionsmetoden inte får användas för brandtider över 60 minuter.

Ett annat skäl till att de angivna brandklasserna blir lägre är att brandmotståndstiden reduceras ned till närmaste tidsklass. Exempel D ovan 82,7 min reduceras till 60 min.

Ytterligare information om materialegenskaper och våra produkter finns på www.paroc.se

Ljud

Ljudeffekt och ljudintensitet

Ljud är energi och man kan ofta lösa akustiska problem genom att behandla uppgiften energimässigt. Framför allt är detta ett lättförståeligt betraktelsesätt.

Varje ljudkälla kan betraktas som en effektkälla som avger P watt. En tänkt punktförmig ljudkälla strålar lika i alla riktningar och man kan på avståndet r m beräkna intensiteten I watt/m² med följande formel. Inga reflekterande ytor i närheten.

$$I = P/(4\pi r^2) \quad (1)$$

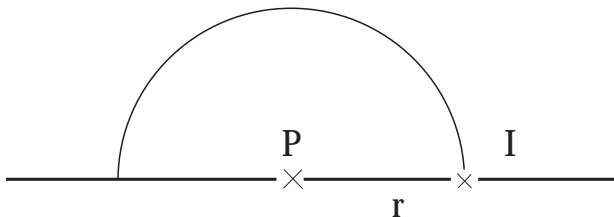
P = ljudeffekt, W

r = avstånd, m

I = ljudintensitet, W/m²

Vid halvfärisk utbredning, dvs på en hård markyta, får man istället

$$I = P/(2\pi r^2) \quad (2)$$



Figur 46. Ljudutbredning över hård mark.

OBS! Intensiteten avtar med kvadraten på avståndet (6 dB per avståndsdubbling).

Ljudkälla	Effekt, W	L _w dB
Viskning	10 ⁻⁹	30
Samtal	10 ⁻⁵	70
Skrikande röst	10 ⁻³	90
Lastbil	10 ⁻²	100
Trumpet, Flygel	10 ⁻¹	110
Tryckluft, nithammare	10 ⁰	120
Stor orkester	10 ¹	130
4-motorigt propellerplan	10 ³	150
Jetplan	10 ⁴	160
Saturnusraket	10 ⁷	190

Tabell 47. Exempel på ljudkällors avgivna ljudeffekt.

Exempel 1: Ett fullsatt Ullevi (40 000 pers.) vrålar: Mååll! Vad blir avgiven akustisk effekt?

Svar: 40 000 · 10⁻³ W = 40 Watt

Ljudtryck

Vi kan inte direkt höra ljudintensiteten utan vår hörselupplevelse är kopplad till begreppet ljudtryck i en ljudvåg (jmf temperatur på värmesidan). Förhållandet mellan intensitet och ljudtryck kan allmänt skrivas

$$I = p^2/(nZ) = p^2/(n\varrho c) \quad (3)$$

p = ljudtryck, Pa

$Z = \varrho c$ = mediets karakteristiska impedans = 400 för "normal" luft

ϱ = mediets densitet, kg/m³

c = ljudhastigheten i mediet, m/s

n = en konstant, varierande mellan 1 och 4 beroende på ljudfältets karaktär

Plan ljudvåg

På stort avstånd från en punktljudkälla utan reflekterande ytor i närheten har en plan ljudvåg bildats.

$n = 1$ i formel (3). Formel (1) gäller.

Diffust ljudfält

I ett diffust ljudfält är alla infallsvinklar för ljudvågorna slumpmässigt lika företrädda. Ljudet kommer "från alla håll".

$n = 4$ i formel (3).

I efterklangsfältet i ett ljudhårt rum råder ett diffust ljudfält.

Om man placerar en ljudkälla i ett rum uppnås jämvikt när tillförd och avgiven ljudeffekt är lika, dvs i efterklangsfältet:

$$P = I \cdot A \quad (4)$$

P = tillförd ljudeffekt, W

I = intensitet, W/m²

A = rummets absorption, m²

Exempel 2: En maskin avger 0,1 W akustisk effekt. Den placeras

a) utomhus på hård mark

b) inomhus i ett efterklangsrums med absorptionen

= 6 m². Vad blir ljudintensitet respektive ljudtryck på 100 m avstånd utomhus och i efterklangsfältet inomhus?

Svar: a) $I = P/(2\pi r^2) = 0,1/2 \cdot \pi \cdot 100^2 = 1,6 \cdot 10^{-6}$ W/m².

$p^2 = I \cdot (n\varrho c) = 1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400$.

$p = 0,025$ Pa.

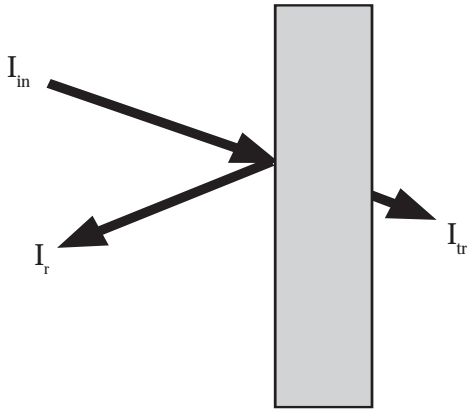
b) $I = P/A = 0,1/6 = 0,017$ W/m².

$p^2 = I \cdot (n\varrho c) = 0,017 \cdot 4 \cdot 400$.

$p = 5,2$ Pa.

Transmission

Om en skiljeveta mellan två utrymmen träffas av en ljudvåg kommer en viss andel att reflekteras och en liten andel att transmitteras. Vi bortser från att väggen kan uppta ljudenergi.



Figur 48. Transmission genom skiljekonstruktion.

$$I_{in} = I_{tr} + I_r \quad (5)$$

$$\tau = I_{tr} / I_{in} \quad (6)$$

$$\rho = I_r / I_{in} \quad (7)$$

I_{in} = Infallande ljudintensitet, W/m^2

I_{tr} = Transmitterad ljudintensitet, W/m^2

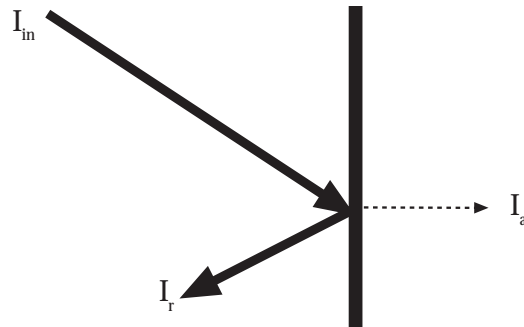
I_r = Reflekerad ljudintensitet, W/m^2

τ = Transmissionsfaktor

ρ = Reflektionsfaktor

Absorption

Om en begränsningsyta i ett rum träffas av en ljudvåg kommer en viss andel att reflekteras. Från rummet sett kommer återstoden att absorberas.



Figur 49. Absorption hos begränsningsyta.

$$I_{in} = I_r + I_a \quad (8)$$

$$\alpha = I_a / I_{in} \quad (9)$$

$$\rho = I_r / I_{in} \quad (10)$$

I_{in} = Infallande ljudintensitet, W/m^2

I_a = Absorberad ljudintensitet, W/m^2

I_r = Reflekerad ljudintensitet, W/m^2

α = Absorptionsfaktor

ρ = Reflektionsfaktor

Anm. I verkligheten förekommer förstås absorption och transmission oftast samtidigt.

dB-begreppet

Begreppen dB och Bel (=10 dB) är egentligen rena matematiska begrepp och inte några "ljudsorster". Då man jämför två storheter, A och B, med varandra kan man säga att A är ett antal gånger större (äldre, tyngre etc) än B, eller ett visst antal dB relativt B. Om t ex farfarsfar är 100 år och sonsondottern är 1 år, så är han 100 ggr = $10^2 = 2$ Bel äldre än hon. D v s farfarsfar är 20 dB gammal (relativt sin sonsondotter, vars ålder är referens). Bel är således logaritmen för ett förhållande mellan två storheter.

Inom akustiken talar man om nivå (eng. level) som skrives L, och man anger nivån i dB för såväl effekter som intensiteter och ljudtryck (plus vibrationer m m). Man måste därför hålla reda på vilken storhet som avses med dB-värdet och vad referensvärdet är.

Referensvärden:

$$\begin{aligned} \text{Ljudeffekt: } W_0 &= 10^{-12} \text{ W} \\ \text{Ljudintensitet: } I_0 &= 10^{-12} \text{ W/m}^2 \\ \text{Ljudtryck: } p_0 &= 20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \end{aligned}$$

Nivåer:

$$\begin{aligned} \text{Effektnivå } L_w &= 10 \cdot \log(W/W_0) \text{ dB} \\ \text{Intensitetsnivå } L_I &= 10 \cdot \log(I/I_0) \text{ dB} \\ \text{Ljudtrycksnivå } L_p &= 10 \cdot \log(p/p_0)^2 \text{ dB} \end{aligned}$$

Referensvärdet för ljudtryck motsvarar ungefär hörseltröskeln (vid 1000 Hz). Intensitetsnivån och ljudtrycksnivån är ungefär lika i en plan ljudvåg för "normal" luft.

Addition av dB

dB är logaritmiska tal och man måste först övergå till linjära tal innan man kan addera eller subtrahera dem, samt därefter gå tillbaka till logaritmer.

Exempel 3: Fem olika dB-värden skall adderas: 43, 45, 33, 32 och 38. Vad blir summan?

Svar: Övergå först till Bel : 4.3, 4.5, 3.3, 3.2 och 3.8 Bel skall adderas. Gå nu över till linjära tal och addera $10^{4.3} + 10^{4.5} + 10^{3.3} + 10^{3.2} + 10^{3.8} = 20000 + 30000 + 2000 + 1600 + 6300 = 60000 = 10^{4.8}$. D v s summan blir 4.8 Bel (= log 60000) = 48 dB.

Exempel 4: Uttryck svaren i övningsexempel 1 o 2 i dB!

Svar: 1) $L_w = 10 \cdot \log(W/W_0) \text{ dB} = 10 \cdot \log(40/10^{-12}) \text{ dB} = 136 \text{ dB}$.

2 a) $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0) \text{ dB} = 10 \cdot (1,6 \cdot 10^{-6}/10^{-12}) \text{ dB} = 62 \text{ dB}$
 $L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2 \text{ dB} = 10 \cdot \log(1,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 400/400 \cdot 10^{-12}) \text{ dB} = 62 \text{ dB}$

(L_I och L_p lika i plan ljudvåg)

2 b) $L_I = 10 \cdot \log(I/I_0) \text{ dB} = 10 \cdot (0,017/10^{-12}) \text{ dB} = 102 \text{ dB}$

$L_p = 10 \cdot \log(p/p_0)^2 \text{ dB} = 10 \cdot \log(0,017 \cdot 4 \cdot 400/400 \cdot 10^{-12}) \text{ dB} = 108 \text{ dB}$

(L_p är 6 dB högre än L_I i diffust ljudfält)

Reduktionstal

Begreppet reduktionstal är egentligen detsamma som transmissionsfaktorn men uttryckt i dB. För att få ett positivt dB-tal inverteras faktorn.

$$R = 10 \cdot \log(1/\tau) \quad (11)$$

R = reduktionstalet, dB

τ = transmissionsfaktorn

Exempel 5: Transmissionfaktorn vid en viss frekvens är

a) för 160 cm betong = 0.000003

b) 13 mm gips = 0.001. Vad blir reduktionstalen?

Svar: a) $R = 10 \cdot \log 1/(3 \cdot 10^{-6}) = 55 \text{ dB}$

b) $R = 10 \cdot \log 1/0.001 = 30 \text{ dB}$

Resultierande reduktionstal

Om en vägg består av två eller flera delar (fönster, dörrar etc) med olika reduktionstal kan man räkna ut resultierande reduktionstalet för hela väggen enligt följande.

$$\tau_0 \cdot S_0 = \tau_1 \cdot S_1 + \tau_2 \cdot S_2 + \tau_3 \cdot S_3 + \dots \quad (12)$$

eller uttryckt i dB för två ytor:

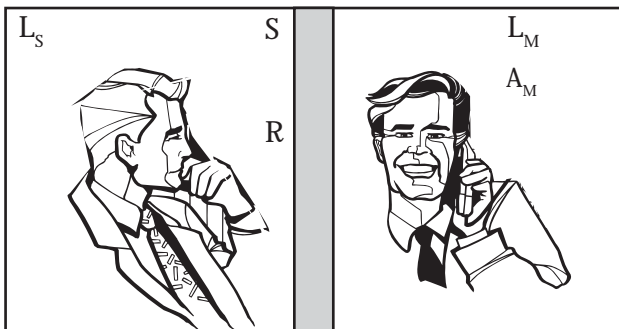
$$R_0 = R_1 - 10 \cdot \log[S_1/S_0 + S_2/S_0 \cdot 10^{0.1(R_1-R_2)}] \quad (13)$$

- τ_0 = resulterande transmissionsfaktor
- R_0 = resulterande reduktionstal
- S_0 = total area
- τ_n = transmissionsfaktor för yta n
- R_n = reduktionstal för yta n
- S_n = area för yta n

Exempel 6: En dörr med $R = 30$ dB är placerad i en vägg med $R = 52$ dB. Dörrens area = 2 m^2 och väggens area (inkl. dörr) = 25 m^2 . Vad blir resulterande reduktionstalet?

Svar: $R_0 = R_1 - 10 \cdot \log[S_1/S_0 + S_2/S_0 \cdot 10^{0.1(R_1-R_2)}] = 52 - 10 \cdot \log[23/25 + 2/25 \cdot 10^{0.1(52-30)}] = 52 - 11 = 41 \text{ dB}$

Mätning och beräkning av reduktionstal



Figur 50. Ljudisolering mellan två rum.

Om två rum skiljs av en vägg med arean $S \text{ m}^2$ erhålles reduktionstalet ur följande formel

$$R = L_S - L_M - 10 \cdot \log(A_M/S) \quad (14)$$

- L_S = ljudtrycksnivå i sändarrum, dB
- L_M = ljudtrycksnivå i mottagarrum, dB
- A_M = absorption i mottagarrum, m^2
- S = skiljeytans area, m^2

Vid mätningar uppmättes L_S och L_M direkt medan A_M beräknas ur formel (17) efter uppmätning av efterklangstiden T .

Anm.

- R beskriver reduktionstalet hos en konstruktion (uppmätt på lab.).
- R' beskriver ljudisoleringen mellan två rum (uppmätt i fält).

Exempel 7: Vid övningsspelning på piano i ett vardagsrum uppmättes 95 dB. Ett sovrum i lägenheten intill gränsar till vardagsrummet med en gemensam skiljearea om 8 m^2 . Antag att väggens reduktionstal är 55 dB och att absorptionen i sovrummet uppgår till 12 m^2 . Vad blir ljudnivån i sovrummet?

Svar: $L_M = L_S - R - 10 \cdot \log(A_M/S) = 95 - 55 - 10 \cdot \log(12/8) = 38 \text{ dB}$

Rumsakustik

Ljudutbredning

Ljudtrycksnivån från en punktljudkälla med känd avgiven effekt fås ur

$$L_p = L_W + 10 \cdot \log(1/4\pi r^2 + 4(1-\alpha_m)/A) \quad (15)$$

- L_p = ljudtrycksnivån på avstånd r , dB
- L_W = ljudeffektnivån från punktljudkälla, W
- r = avstånd, m
- α_m = medelabsorptionsfaktorn för rummets begränsningsytor
- A = rummets absorption, m^2

Den första termen beskriver ljudtrycksnivån i direktfältet och den andra termen ljudtrycksnivån i efterklangsfältet.

Avståndsdämpning i direktfältet 6 dB/avståndsdubbling för en punktljudkälla. Jämför med en linjeljudkälla (t ex trafik på en väg) som ger 3 dB/avståndsdubbling.

Absorption

När ljud infaller mot en yta absorberas en del av den infallande ljudintensiteten. Varje yta har en viss absorption.

$$A = S \cdot \alpha \quad (16)$$

- α = absorptionsfaktor
- S = ytans area, m^2
- A = ytans absorption, m^2

Efterklangstid

Efterklangstiden används för att karakterisera ett rums absorberande egenskaper. Den bestäms av rummets storlek och absorption.

$$T = 0.16 \cdot V/A \quad (17)$$

- T = efterklangstiden, s
- V = rummets volym, m^3
- A = rummets absorption, m^2

Efterklangstiden definieras som tiden för en ljudnivåminskning av 60 dB efter avstängning av ett kraftigt ljud från en högtalare eller eventuellt ett skott. Ljudets utdöendeförlopp kan i allmänhet approximeras till en rät linje.

Absorptionen för ett rum beräknas från

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots = \sum S_n \cdot \alpha_n = S \cdot \alpha_m \quad (18)$$

A = rummets totala absorption, m^2

A_1 = absorption för yta 1, m^2

S_1 = area för yta 1, m^2

α_1 = absorptionsfaktor för yta 1

S_n = area för yta n, m^2

α_n = absorptionsfaktor för yta n

α_m = rummets medelabsorptionsfaktor

S = rummets totala area, m^2

Exempel 8: I ett klassrum önskar man en efterklangstid på max. 0.8 sek. Antag dimensionerna $6 \cdot 10 \cdot 3$ m för klassrummet och att man försöker nå denna efterklangstid med enbart ett absorberande undertak. Vilken absorptionsfaktor krävs då för undertaket?

Svar: $A = 0.16 \cdot V/T = 0.16 \cdot 180/0.8 = 36 m^2$.

$\alpha = A/S = 36/60 = 0.6$

Ljud som vågrörelse

I många sammanhang räcker det inte att behandla ljudproblem enbart energimässigt, utan man måste ta hänsyn till att ljudet är en vågrörelse. Luftmolekyler rör sig, vibrerar, runt sitt jämviktsläge i en ljudvåg. Avståndet mellan två partiklar i samma rörelsefas utgör en våglängd. Antalet hela svängningar per sek är frekvensen. Följande samband råder:

$$c = f \cdot \lambda \quad (19)$$

c = ljudhastigheten, m/s

f = frekvensen, Hz

λ = våglängden, m

I luft är ljudhastigheten ca 340 m/s (temperaturberoende).

I gaser förekommer endast longitudinella vågor vars hastighet är frekvensoberoende.

I plattor (skivmaterial som gips-, lbg-, spån-) förekommer böjvågor. Ljudhastigheten hos dessa böjvågor är frekvensberoende, ökar med ökande frekvens.

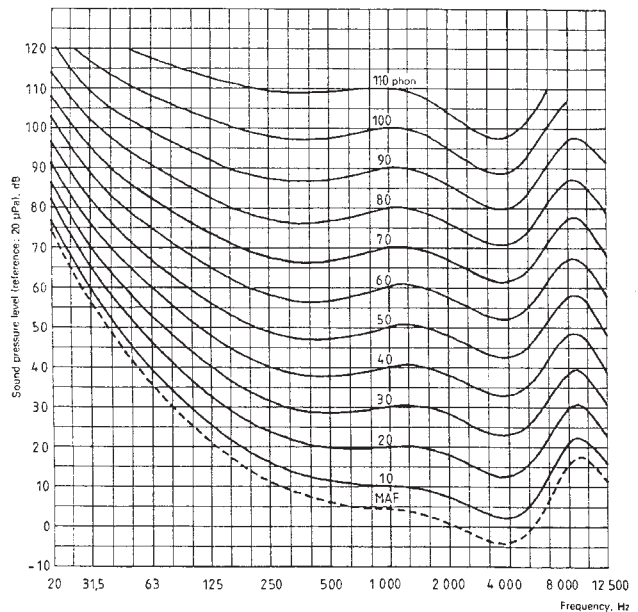
Hörseln och frekvensvägning

Vår hörsel har olika känslighet i olika frekvensområden.

Hörseltröskeln ligger nära 0 dB i frekvensområdet

1 – 4 kHz men ligger mycket högt vid låga frekvenser. Vid 50 Hz ligger den på ca 40 dB.

Man brukar som tumregler ange att 3 dB är den minsta förändring i ljudstyrka som kan uppfattas och att 10 dB subjektivt upplevs som en fördubbling av hörstyrkan. Som framgår av diagrammet med "likaljudlighetskurvorna" är dessa tumregler stora förenklingar av verkligheten.

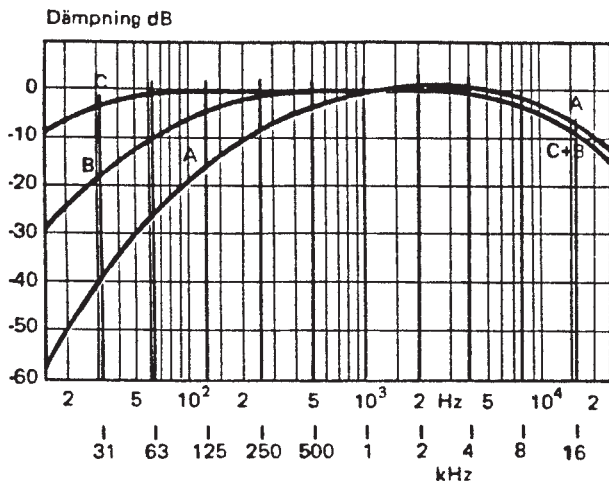


Figur 51. "Likaljudlighetskurvor" enligt SS-ISO 226.

Filter

Vid mätning tar man hänsyn till örats känslighet genom att mäta med ett filter inkopplat mellan mikrofon och mätinstrument. Vanligen mäter man med A-filter, dBA, när det gäller hörselskaderisk och komfort.

I bostäder mäter man ofta även med C-filter för att kunna bedöma det lågfrekventa bullrets störning.



Figur 52. Standardiserade vägningskurvor.

Oktav Hz	A-filter	C-filter
16	-56,7	-8,5
31	-39,4	-3,0
63	-26,2	-0,8
125	-16,1	-0,2
250	-8,6	0
500	-3,2	0
1000	0	0
2000	1,2	-0,2
4000	1,0	-0,8
8000	-1,1	-3,0

Tabell 53. Dämpningsvärden för filter A och C.

Vid bullerbekämpning brukar man mäta i oktavband, och vid reduktionstalsmätningar i tersband (1/3 oktav). Dessa band har konstant relativ bandbredd. Följande gäller:

$$B = f_o - f_u \quad (20)$$

Oktavband: $f_o = 2 \cdot f_u$ och $f_c = \sqrt{2} \cdot f_u$

Tersband: $f_o = 2^{1/3} \cdot f_u$ och $f_c = 2^{1/6} \cdot f_u$

B = bandbredd, Hz

f_o = övre gränshfrekvens, Hz

f_u = undre gränshfrekvens, Hz

f_c = centerfrekvens, Hz

Exempel 9: I ett fläktrum uppmättes ljudtrycksnivåerna oktavbandsvis enligt tabell. Till fläktrummet gränsar ett sovrum med skiljearean 10 m^2 och absorptionen 10 m^2 . Väggen reduktionstal oktavbandsvis enligt tabell. Vad blir ljudnivån i dBA i fläktrummet och i sovrummet?

Svar:

125	250	500	1000	2000	4000	Oktav
69	62	55	52	48	45	Ljudnivå
-16	-9	-3	0	+1	+1	A-filter
53	53	52	52	49	46	A-nivå Fläktrum
20	30	50	55	60	60	Reduktionstal
33	23	2	-	-	-	A-nivå Sovrum

Korrektionstermen $10 \cdot \log(A_M/S) = 0$, varför $L_M = L_S - R$

Den sammanlagda nivån i fläktrummet (logaritmsk addition av $53 + 53 + \dots$) = 59 dBA.

Den sammanlagda nivån i sovrummet (logaritmsk addition av $33 + 23 + 2$) = 33 dBA.

Ljudisolering

I bostäder och lokaler handlar det om två slag av isolering:

Luftljudsisolering

Härmed menas isolering mot ljud från en grannlägenhet där ljudet avges till luften, t ex tal, sång, ljud från radio och TV.

Luftljudsisoleringen bestäms av reduktionstalet (definierat tidigare) som mäts i 21 tersband från 50 till 5000 Hz.

Ett högt R eller R' innebär bra isolering.

Stegljudsisolering

Stegljudsisolering innebär isolering mot ljud som uppstår av att någon går på bjälklaget i lägenheten ovanpå eller vid sidan om.

Stegljudsisoleringen bestäms genom mätning av ljudtrycksnivån när bjälklaget mekaniskt bearbetas av en standardiserad hammarapparat. Nivån mäts i 21 tersband från 50 – 5000 Hz.

$$L_n = L_M + 10 \cdot \log(A_M/10) \quad (21)$$

L_M = ljudtrycksnivån i mottagarrummet, dB

A_M = absorptionen i mottagarrummet, m^2

L_n är stegljudsnivån för en konstruktion (uppmätt i lab.).

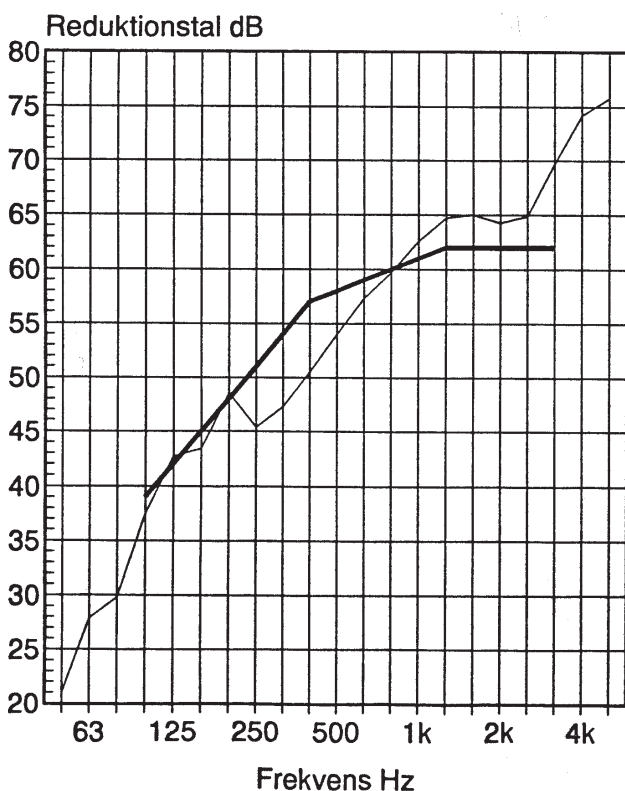
L'_n är stegljudsnivån uppmätt i fält.

Ett lågt L_n eller L'_n innebär bra isolering.

Beräkning av R_w

En ljudisoleringmätning redovisas som en kurva över R eller R' från 50 till 5000 Hz enligt figur. R o R' anges med en decimal.

När man beräknar sammanfattningsvärdet R_w eller R'_w måste kurvan "vägas" (w står för "weighed") på ett lämpligt sätt. Vägningen tillgår så att uppmätta kurvan mellan 100 och 3150 Hz jämföres med en standardiserad referenskurva. Se figur 54.



Figur 54. Uppmätt reduktionstal, R' , och referenskurva.

Referenskurvan flyttas i steg om 1 dB mot uppmätta kurvan till dess summa av avvikelserna under referenskurvan är så stor som möjligt men inte över 32,0 dB.

Värdet på referenskurvan vid 500 Hz efter flyttningen definieras som R_w eller R'_w för uppmätta kurvan.

C-termer

R_w -begreppet är framtaget för att passa förhållandena inomhus mellan lägenheter där den mänskliga rösten är dominerande ljudkällan. För nutida bullerkällor i bostäder, t ex stereoanläggningar, är begreppet otillräckligt. För ytterväggars ljudisolering, där ljudkällan utgörs av trafik är R_w -begreppet också olämpligt.

I ISO 717-standarden har därför R_w kompletterats med anpassningstermer eller C-termer. Det kompletta sammanfattningsvärdet lyder:

$$R_w(C; C_{tr}; C_{50-3150}; C_{tr,50-3150})$$

C och C_{tr} omfattar frekvensområdet 100 – 3150 Hz.

Sammanfattningsvärdena

$$R_w + C \text{ och } R_w + C_{50-3150}$$

anger ljudisoleringen i dBA för ett bullerspektrum med lika hög nivå i alla tersband.

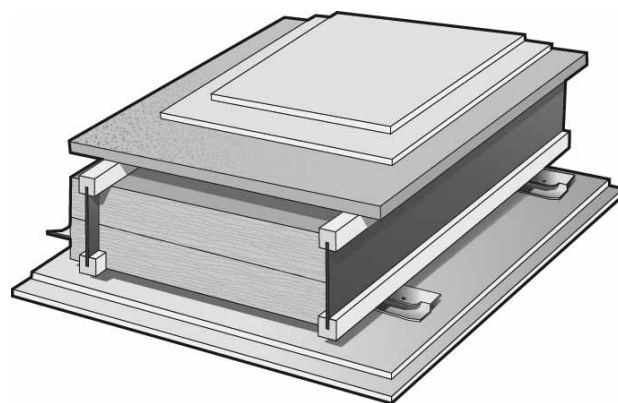
Sammanfattningsvärdena

$$R_w + C_{tr} \text{ och } R_w + C_{tr,50-3150}$$

anger ljudisoleringen i dBA för ett standardiserat trafikbullerspektrum.

Lägenhetsskiljande träbjälklag

Figur 54 och tabell 56 visar resultatet från en fältmätning på ett lätt lägenhetsskiljande träbjälklag enligt figur 55. Golvbeläggning utgörs av 14 mm parkett på 3 mm Aerolen.



Figur 55. Lägenhetsskiljande träbjälklag.

Det kompletta sammanfattningsvärdet för luftljudsisoleringen blir:

$$R'_w = 58 (-2; -6; -3; -15) \text{ dB, d v s}$$

$$R'_w + C = 58 - 2 = 56 \text{ dB, och}$$

$$R'_w + C_{50-3150} = 58 - 3 = 55 \text{ dB}$$

Resultatet innebär att sammanfattningsvärdet sänks då man tar hänsyn till den dåliga isoleringen vid låga frekvenser.

f Hz	R' dB	Ref. kurva	Neg. Avvik	Rosa brus	A-filter	A-vägt rosa brus L	L-R'
50	21,0			-11	-30,2	-41	-61
63	27,9			-11	-26,2	-37	-64,9
80	29,8			-11	-22,5	-34	-63,8
100	37,5	39	1,5	-11	-19,1	-30	-67,5
125	42,7	42	0	-11	-16,1	-27	-69,7
160	43,4	45	1,6	-11	-13,4	-24	-67,4
200	48,5	48	0	-11	-10,9	-22	-70,5
250	45,4	51	5,6	-11	-8,6	-20	-65,4
315	47,3	54	6,7	-11	-6,6	-18	-65,3
400	50,5	57	6,5	-11	-4,8	-16	-66,5
500	54,0	58	4	-11	-3,2	-14	-68
630	57,3	59	1,7	-11	-1,9	-13	-70,3
800	59,7	60	0,3	-11	-0,8	-12	-71,7
1000	62,6	61	0	-11	-0	-11	-73,6
1250	64,7	62	0	-11	0,6	-10	-74,7
1600	65	62	0	-11	1	-10	-75
2000	64,3	62	0	-11	1,2	-10	-74,3
2500	64,9	62	0	-11	1,3	-10	-74,9
3150	69,7	62	0	-11	1,2	-10	-79,7
		R' _w = 58 dB	ΣAvv.= 27,9 dB			logΣ = 0 dB	logΣ = -55 dB

Tabell 56. Beräkning av R'_w och C₅₀₋₅₀₀₀ för bjälklaget i figur 54. När referenskurvan flyttats så högt som möjligt utan att ΣAvv > 32,0 dB avläses R'_w vid 500 Hz.

Rosa brus innebär lika nivå i varje tersband. Nivån är vald så att den A-vägda nivån (logaritmska summan av L) blir 0 dB (normaliserad till 0 dB).

Logaritmska summan av L-R' blir -55 dB, dvs konstruktionen isolerar 0-(-55)=55 dB för det valda ljudspektrat rosa brus.

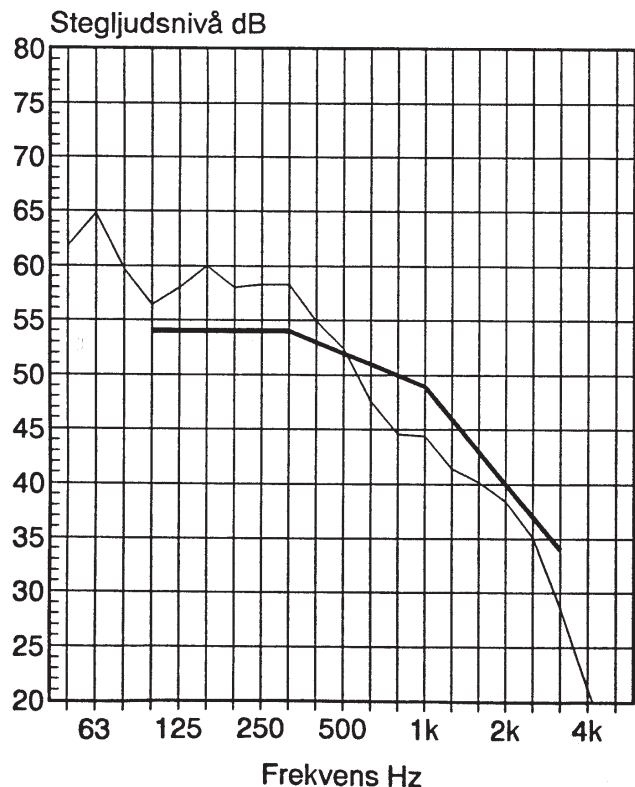
C₅₀₋₃₁₅₀ blir därvid 55-58 = -3 dB.

Beräkning av L_{n,w}

Vid stegljudsmätningar mäter man den nivå som en standardiserad hammarapparat åstadkommer i underliggande rum. Resultatet redovisas som en kurva över L_n eller L'_n från 50 till 5000 Hz. L_n och L'_n anges med en decimal.

Vid beräkning av sammanfattningsvärdet L_{n,w} eller L'_{n,w} utgår man på motsvarande sätt från stegljudsnivåerna vid de 16 mätfrekvenserna 100 – 3150 Hz och jämför denna kurva med en standardiserad referenskurva.

Samma villkor som för R_w beträffande summa avvikelser, max. 32,0 dB, samt avläsning av referenskurvan efter flyttningen vid 500 Hz. Observera att avvikelserna denna gång ligger ovanför referenskurvan. Se figur 57.



Figur 57. Uppmätt stegljudsnivå, L'_n, och referenskurva.

C-termer

Det har visat sig att L_{n,w}-begreppet inte ger en helt rättvisande bild av stegljudsisoleringen för olika bjälklagstyper. Framför allt behöver man ta bättre hänsyn till höga stegljudsnivåer vid frekvenser under 100 Hz för lätta bjälklag. ISO-717 kompletterar därför L_n och L'_n med två C-termer:

$$C_{i,100-2500} \text{ och } C_{i,50-2500}$$

Dessa termer tar hänsyn till uppmätta ljudnivån från hammarapparaten i hela angivna frekvensområdet och sammanfattningsvärdet lyder:

$$L_{n,w} (C; C_{i,50-2500})$$

Lägenhetsskiljande träbjälklag

Figur 57 och tabell 58 visar resultatet från en stegljudsmätning i fält på samma lätta träbjälklag som visas på figur 55.

Det kompletta sammanfattningsvärdet för stegljudsnivån blir:

$$L'_{n,w} = 52 (0; 3) \text{ dB, d v s}$$

$$L'_{n,w} + C = 52 + 0 = 52 \text{ dB, och}$$

$$L'_{n,w} + C_{i,50-2500} = 52 + 3 = 55 \text{ dB}$$

Resultatet innebär att sammanfattningsvärdet höjs (= sämre stegljudsisolering) då hänsyn tas till stegljudsnivåerna under 100 Hz.

f Hz	L'n dB	Ref. kurva	Neg. Avvik.
50	61,8		
63	64,8		
80	59,7		
100	56,4	54	2,4
125	58,0	54	4,0
160	60,0	54	6,0
200	58,0	54	4,0
250	58,3	54	0,3
315	58,3	54	4,3
400	54,6	53	1,6
500	52,4	52	0,4
630	47,6	51	0
800	44,6	50	0
1000	44,4	49	0
1250	41,4	46	0
1600	40,2	43	0
2000	38,4	40	0
2500	35,1	37	0
3150	28,6	34	0
	logΣ = 70,1 dB	L' _{n,w} = 52 dB	ΣAvv. 27,0 dB

Tabell 58. Beräkning av L'_{n,w} och C₅₀₋₂₅₀₀ för bjälklaget i figur 55. När referenskurvan sänkts så långt som möjligt utan att ΣAvv > 32,0 dB avläses L'_{n,w} vid 500 Hz.

L'_n -värdena för frekvensområdet 50 – 2500 Hz summeras logaritmiskt och ger en total nivå av 70,1 dB från hammar-apparaten.

C₅₀₋₂₅₀₀ beräknas ur C₅₀₋₂₅₀₀ = ΣL - 15 - L'_{n,w} = 70 - 15 - 52 = 3 dB

Ytterväggar

Om en yttervägg, eller ett fönster, skall isolera mot gatutrafikbuller skall sammanfattningsvärdet för isolering mot trafik vara så högt som möjligt.

Typiska värden för en (värmemässigt) högisolerande träfasad är

$$R_w = 48 \text{ (-2; -7; -2; -12) dB}$$

Isoleringen mot trafikbuller blir för en sådan träfasad

$$R_w + C_{tr,50-3150} = 48 - 12 = 36 \text{ dB}$$

Ljudisolerande väggkonstruktioner

Enkelvägg

Med enkelvägg menas en enskiktetskonstruktion, en skiva av gips, glas, tegel, betong etc. Reduktionstalet bestäms av väggens massa, styvhet, inre förluster och inspänning samt area. En god första approximation är att enbart se till väggens massa. Reduktionstalet enligt masslagen:

$$R = 20 \cdot \log m + 20 \cdot \log f - 49 \text{ dB} \quad (22)$$

m = massan/area, kg/m²

f = frekvensen, Hz

OBS! Reduktionstalet ökar med 6 dB för dubbling av massan och med 6 dB för dubbling av frekvensen, 6 dB/oktav.

Exempel 10: Beräkna reduktionstalet för 1 mm stålplåt vid 500 Hz.

$$\begin{aligned} \text{Svar: } R &= 20 \cdot \log m + 20 \cdot \log f - 49 = \\ &= 20 \cdot \log 8 + 20 \cdot \log 500 - 49 = 23 \text{ dB} \end{aligned}$$

Koincidens

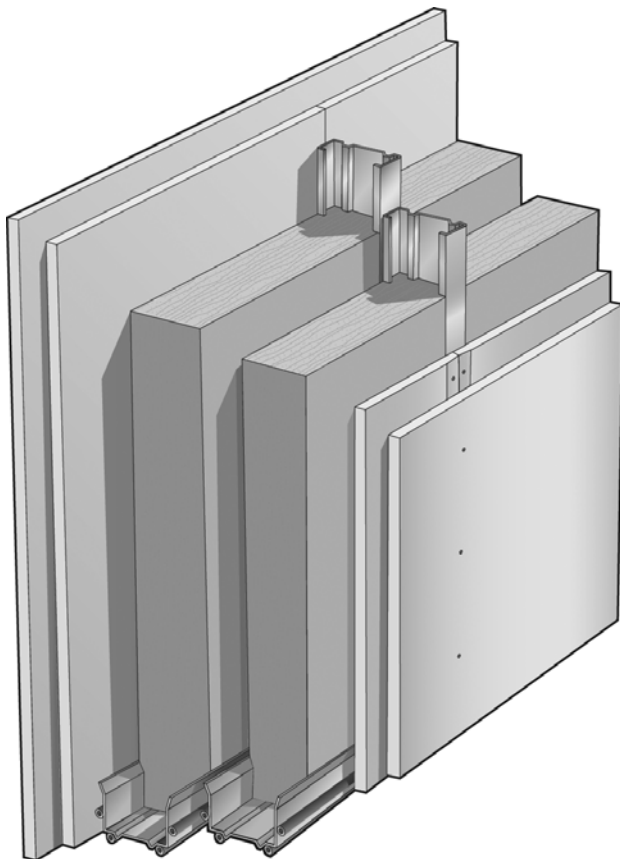
Ljudhastigheten för fria böjningsvågor i skivan är frekvensberoende. Vid en viss frekvens, koincidensfrekvensen, blir hastigheten lika med ljudhastigheten i luft. Vid denna frekvens anpassar sig skivans vågmönster lätt till luftens ljudvågor, och skivans isolering minskar.

Koincidensfrekvensen bestäms av skivans styvhetsegenskaper. I koincidensområdet och vid frekvenser ovanför påverkas reduktionstalet av skivans inre förluster.

Som exempel kan nämnas att koincidens för 13 mm gips inträffar vid ca 3000 Hz. 26 mm gips skulle innebära att koincidensfrekvensen flyttades mot lägre frekvenser, vilket är ogynnsamt, varför 2 · 13 gips är en bättre lösning.

Dubbelvägg

Dubbelvägg är ett lämpligt alternativ när man vill nå hög isolering med en lätt konstruktion. Avgörande för en dubbelväggs reduktion är resonansfrekvensen. Under denna fungerar väggen som en enkelvägg enligt masslagen, vid resonansfrekvensen får reduktionstalskurvan en dal, och ovanför resonansfrekvensen blir isoleringen hög.



Figur 59. Dubbelvägg med stålregelstomme.

Resonansfrekvens

Resonansfrekvensen kan beräknas ur

$$f_r = 60 \cdot \sqrt{(m_1 + m_2) / (m_1 \cdot m_2 \cdot d)} \quad (23)$$

- f_r = resonansfrekvensen, Hz
- m_1 = massan hos delvägg 1, kg/m²
- m_2 = massan hos delvägg 2, kg/m²
- d = avstånd mellan delväggar, m

Exempel 11: En dubbelvägg med en 13 mm gips (9 kg/m²) på varje sida. Om man önskar en resonansfrekvens på 63 Hz, vilket avstånd krävs mellan gipsskivorna?

Svar: $f_r = 60 \cdot \sqrt{(m_1 + m_2) / (m_1 \cdot m_2 \cdot d)} = 63 = 60 \cdot \sqrt{18 / (81 \cdot d)}$. $d = (60 / 63)^2 \cdot (18 / 81) = 0.2$ m

Absorbent

Med en absorbent, stenull, i luftspalten ökar ljudisoleringen. Ju större spalten är desto större nytta gör absorbenten. Man kan i allmänhet räkna med 5 – 10 dB ökning av R med en fylld vägg jämfört med en tom.

Stum förbindning

En stum kontakt mellan två delväggar kan ha förödande verkan då delväggarna är styva, såsom betong eller lättbetong. För böjveka delväggar som gipsskivor är försämringen inte lika allvarlig.

Strålningsminskande skikt

Det "strålningsminskande skiktet" utgör en vanlig form av tilläggsisolering. Det består av en böjvek skiva, t ex 13 mm gips, som monteras med stenull bakom mot en tyngre vägg av t ex lättbetong. Montaget kan ske med genomgående regler eller ändå hellre med speciella monteringsmetoder där direktkontakt med befintlig vägg undviks. För att nå god verkan även vid låga frekvenser måste stenullens tjocklek ökas.

Ljudisolerande bjälklag

Bjälklag skall uppfylla både kraven på hög luftljudsisolering och låg stegljudsnivå.

Som regel är det svårast att uppfylla stegljudskravet.

Luftljudsisolering

Principerna för enkelvägg och dubbelvägg gäller även för bjälklag.

Ett homogent betongbjälklag på 16 cm kan beräknas uppfylla reduktionstalskravet i BBR-99. Hålbjälklag av betong kan beräknas ge ungefär samma effekt när vikten motsvarar 16 cm homogent betong.

Träbjälklag med genomgående bjälkar kan inte förväntas uppfylla normkraven. För att nå hög isolering med träbjälklag måste man använda "dubbelväggsprincipen", d v s använda ett frihängande undertak och/eller ett friliggande övergolv.

I praktiken når man god effekt genom att hänga undertaket (gipsskivor etc.) i elastiska plåtprofiler (akustikregel).

Ett friliggande övergolv åstadkoms i praktiken med ett s k flytande golv.

Absorbent

Liksom i dubbelväggen får man god effekt av en stenullsabsorbent i ett träbjälklag då undertaket är elastiskt upphängt. Däremot är effekten dålig i ett bjälklag med genomgående bjälkar.

Stegljudsisolering

Stegljudskravet kan klaras efter två huvudprinciper, flytande golv eller mjuk golvbeläggning.

Mjuk golvbeläggning

Denna lösning på stegljudsproblemet kan endast användas då bjälklaget i sig klarar kravet beträffande luftljudsisolering och den utgör vanligaste lösningen för betongbjälklag.

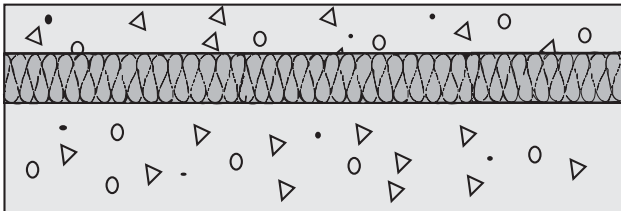
Den mjuka golvbeläggningen kan utgöras av en mjuk heltäckningsmatta eller en linoleummatta med mjuk undersida. Sådana stegljudstestade mattor finns klassade av Sveriges Tekniska Forskningsinstitut, SP.

De har därvid testats på ett betongbjälklag och erhållit ett värde, vägd stegljudsförbättring, ΔL_w dB. Om man utgår från att ett betongbjälklag har $L_{n,w}$ ungefär = 75 dB, måste man ha en mjuk golvbeläggning med ΔL_w minst 17 dB för att kravet $L_{n,w}$ max. 58 dB (BBR-99) skall uppfyllas.

Flytande golv

Ett flytande golv består av en skiva som ligger och "flyter" på ett elastiskt skikt.

Ett effektivt flytande golv skall ha så tung skiva och mjukt elastiskt skikt som möjligt. Om skivan består av betong och elastiska skiktet av en stenullsskiva blir effekten mycket god. Det är ytterst viktigt att betongskivan ej får kontakt med bjälklaget varför det elastiska skiktet även måste skilja betongskivan från omgivande väggar.



Figur 60. Flytande golv.

Man kan emellertid även nå hygglig effekt med ett lätt flytande golv av spån- och golvgips på stenullsskivor. Effekten kan ökas genom att golvet läggs i ett sandskikt som ökar massan ovan elastiska skiktet.

Om man vill försöka nå högre ljudklasser än minimikraven i BBR-99 får man som regel använda principen med flytande golv.

Det flytande golvet har effekt både på stegljuds- och luftljudsisoleringen!

Ljudisolering i färdig byggnad

För att man skall nå förväntad effekt med bra ljudisolerande konstruktioner måste all icke önskvärd ljudtransport undvikas. Denna är av två slag:

Flanktransmission

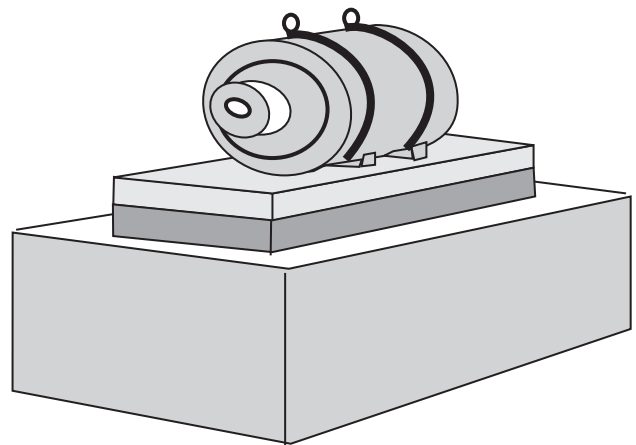
I en byggnad kan ljudöverföring mellan två rum ske via en flankerande byggnadsdel, såsom ytterväggen eller taket. För att undvika detta måste fabrikanternas anvisningar på anslutningsdetaljer följas noga. Ofta krävs en "säkerhetsmarginal" på skiljekonstruktionens ljuddata som gardering för viss flanktransmission.

Läckage

Springor, ventilationskanaler, gemensam rörledning för TV-antenn, är exempel på objekt som ger ljudläckage. Detta kan undvikas genom god planering och gott arbetsutförande.

Vibrationsisolering

En maskin, t ex en fläkt, som placeras direkt på ett bjälklag, kan sprida sina vibrationer som stomljud i hela huset. För att undvika detta placeras därför maskinen med sitt fundament på vibrationsisolatorer av stål eller gummi eller en stenullsskiva. För att isoleringen skall bli effektiv krävs att underlaget är tungt eller styvt. En tumregel är att ett betongbjälklags vikt skall överstiga maskin + fundament ca 4 ggr. Ett träbjälklag kan behöva kompletteras med styva stälbjälklar för att fungera som underlag.



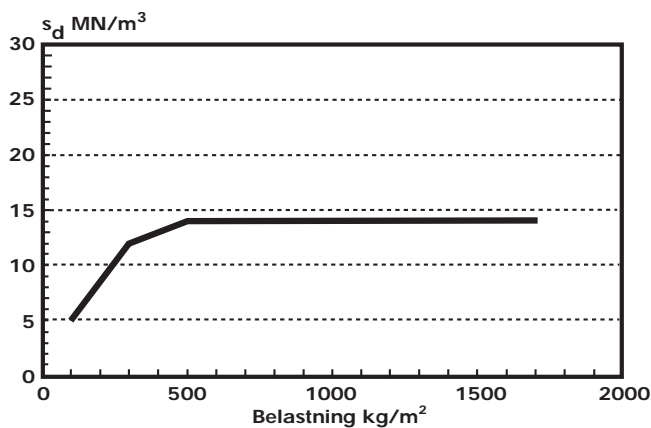
Figur 61. Vibrationsisolering.

En fördel med en stenullsskiva är att de inre förlusterna är stora, varför amplituden inte blir så stor vid resonans. Det är viktigt att en vibrationsisolering dimensioneras rätt. Uppställningens resonansfrekvens (kallas ibland egenfrekvens), f_r , Hz skall väljas låg i förhållande till maskinens lägsta störfrekvens f_s , Hz.

Fjädringsegenskaper hos stenullsskivor

Paroc stenullsskiva är ett heterogent material. Detta innebär bl a att de dynamiska fjädringsegenskaperna inte kan härledas från mätresultat över statiska sammantryckningen utan måste mätas upp separat.

Det principiella utseendet för dynamiska styvheten s_d som funktion av belastningen framgår av figur 62. Lägga märke till att s_d är konstant över en viss belastning, ca 500 kg/m².



Figur 62. Principiellt utseende för dynamisk styvhet som funktion av belastning för skivor av Paroc stenull.

Resonansfrekvensen för den vibrationsisolerande uppställningen beräknas ur följande formel

$$f_r = (1/2\pi) \cdot \sqrt{s/m} \text{ Hz} \quad (24)$$

- f_r = resonansfrekvensen, Hz
- s = dynamisk styvhet, N/m³
- m = belastning, kg/m²

Då stenull och liknande material används som "fjädr" sammansätts dynamiska styvheten, s , av två komponenter: s_d , som utgör materialstyvheten, och s_a , som utgör den inneslängda luftens fjädring. Denna kan beräknas och antar följande värden för olika tjocklekar

h mm	s _a MN/m ³
5	22
10	11
20	6
30	4
50	2
100	1

Val av skiva/tjocklek

Vid val av skiva och tjocklek får man ta hänsyn till följande faktorer:

- Skivans kompression under statisk last.
- Rekommenderad statisk maxbelastning av skivan.
- Skivans dynamiska egenskaper, s_d enligt tabell 63.

I flytande-golv-konstruktioner skall det elastiska skiktet vara så mjukt som möjligt. Enligt provningsstandard skall dynamiska styvheten för stenull anges vid en belastning av 200 kg/m², då den skall användas i flytande golv under övergolv av betong.

Dynamisk styvhet, MN/m ³				
Tjocklek mm	17	25	30	50
Produkt				
PAROC SSB 1			12	10
PAROC SSB 2t	20	15		

Tabell 63. Dynamisk styvhet, MN/m³, för skivor av Paroc. Värdet vid belastningen 200 kg/m² är avsedd att användas i flytande-golv-konstruktioner med övergolv av betong. Värdet vid belastning > 500 kg/m² vid vibrationsisolering av maskiner etc. Till dessa värden skall läggas den inneslängda luftens styvhet för att erhålla den totala styvheten.

Exempel 12: En maskin väger 100 kg. Den skall placeras på ett betongfundament på 1 · 2 m. Detta placeras sedan på en 100 mm stenullsskiva med $s_d = 10 \text{ MN/m}^2$ vid en belastning > 500 kg/m² ovanpå ett betongbjälklag. Om man önskar en resonansfrekvens på 30 Hz för uppställningen, hur tjockt betongfundament krävs?

Svar: $f_r = (1/2\pi) \cdot \sqrt{s_d/m} = 30 = (1/2\pi) \cdot \sqrt{10 \cdot 10^6/m}$
 $m = [1/(30 \cdot 2\pi)]^2 \cdot 10 \cdot 10^6 = 280 \text{ kg/m}^2$. Maskinen vägde 100/2 = 50 kg/m², d v s btgfundamentet skall väga 230 kg/m² och bör därför vara ca 10 cm tjockt. (Enligt diagrammet är s_d och därmed f_r troligen något lägre vid denna relativt låga belastning. Detta är enbart gynnsamt vid en vibrationsisolering.)

När det gäller Myndighetskrav och Ljuddata för olika konstruktioner hänvisas till avsnittet Brand- och ljudisolering av väggar, bjälklag och tak i Byggboken.

CE-märkning



Varför CE-märkning?

För att underlätta handeln inom Europa har gemensamma standarder utarbetats för ett antal varor så att de fritt skall kunna säljas inom hela EU utan nationella restriktioner. Standarderna för värmeisoleringsprodukter täcker relevanta produkttegenskaper. Hänvisning görs till provningsmetoder, och beteckningar samt egenskapsnivåer fastställs, ibland i form av gränsvärden, men oftast i form av klasser. CE-märkningen är metoden för att säkerställa att produkttegenskaper utprovas och rapporteras på samma sätt inom hela EU.

Standarder för värmeisoleringsprodukter

Den europeiska standarden SS-EN13162 är tillämplig på mineralull som är avsedd att användas som värmeisolering i byggnader. Den heter "Värmeisoleringsprodukter för byggnader – Fabrikstillverkade mineralullsprodukter (MW) – Egenskapsredovisning".

Elva material ingår i standardpaketet för byggisolering, alla med lägre deklarerad värmekonduktivitet, λ_D , än 0,06 W/mK. Gemensamma egenskapsbeteckningar och klassgränser har nu införts för alla dessa elva material. En miniminivå för interna provningsrutiner har införts för tillverkarna, för vissa egenskaper kompletterad med extern tillverkningsprovning.

Paroc Group är en av de ledande tillverkarna av mineralullsisolering i Europa. Till PAROC® produkter och lösningar hör byggisolering, teknisk isolering, fartygisolering, sandwichelement och akustikprodukter. Vi har tillverkning i Sverige, Finland, Litauen och Polen. Vi har sälj- och representationsbolag i 13 europeiska länder.



Byggisolering har ett komplett sortiment av produkter och lösningar för all traditionell byggisolering. Produkterna används huvudsakligen för värme-, brand- och ljudisolering av utvändiga väggar, tak, golv och källare samt i bjälklag och mellanväggar.



Teknisk Isolerings produkter används som värme-, brand- och ljudisolering till främst industriprocesser, apparater, fartyg och inom VVS-området.



Obrännbara sandwichelement har ett ytskikt av stålplåt och en kärna av stenull. Elementen används till ytterväggar, mellanväggar och undertak i offentliga byggnader samt affärs- och industribyggnader.

Informationen i denna broschyr är en beskrivning av de villkor och tekniska egenskaper som gäller för redovisade produkter och är gällande ända tills att den ersätts av nästa tryckta eller digitala version. Senaste versionen av denna broschyr hittar du dock alltid på www.paroc.se. Vi tar inget ansvar för om våra produkter användes utanför de i våra informationsmaterial beskrivna användningsområdena.

Redovisade byggkonstruktioner utgör områden där våra produkters funktion och tekniska egenskaper är väl beprovade. Informationen är dock inte att betrakta som en garanti då vi ej har kontroll över ingående komponenter från andra leverantörer samt utförandemomenten i byggprocessen.

Vi reserverar oss dessutom för om vår rekommenderade konstruktion eventuellt inte skulle generera förväntade värden vid en beräkning eller mätning av byggnadens energiåtgång. Detta eftersom energiåtgången är beroende bl a av valt energisystem och dess funktion.

På grund av kontinuerlig utveckling av våra produkter förbehåller vi oss rätten att göra förändringar och anpassningar i våra informationsmaterial.



PAROC AB
Byggisolering Sverige
541 86 Skövde
Telefon 0500-46 90 00
www.paroc.se

A MEMBER OF PAROC GROUP