

Är vindskydd på ventilerade vindsbjälklag onödigt?

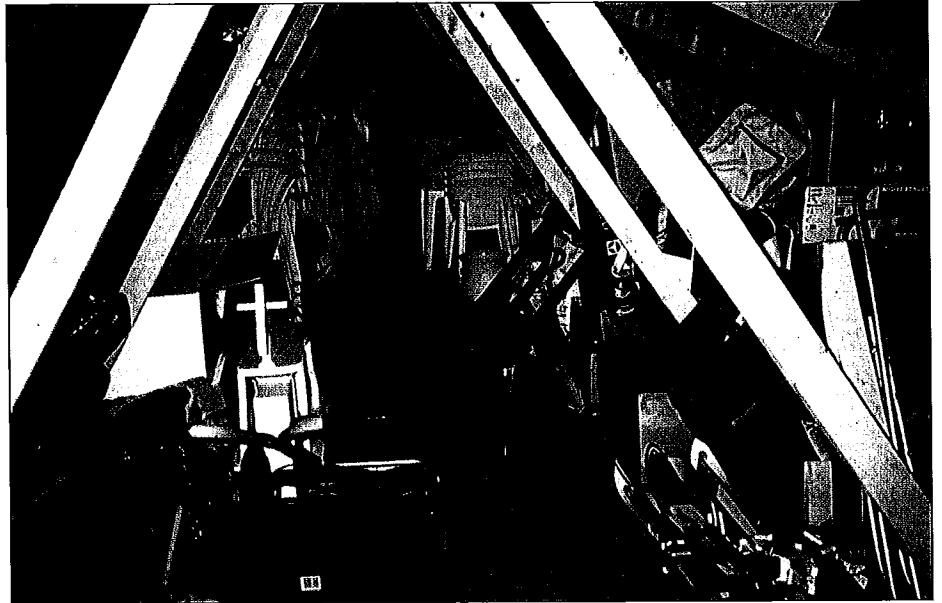
Isolermaterial som är känsliga för luftrörelser ska, enligt Boverkets riktlinjer, förses med vindskydd om det finns risk för luftrörelser längs isoleringens yta. Detta beaktas genom att vind- och fuktskydd monteras på klimatskalet. Däremot i ventilerade vindsbjälklag installeras lösfallnadsisolering utan någon form av vindskydd. Kan detta bero på att inga luftrörelser uppträder i vindsbjälklaget eller på att materialet är okänsligt för luftrörelser?

Lösfallnadsisolering är idag den vanligaste isoleringen på vindsbjälklag i bostadshus. Den består vanligtvis av mineralull eller cellulosa och installeras genom sprutning på vindsbjälklaget. Appliceringen går snabbt och täcker eventuella kanaler och installationer som finns på vindsbjälklaget. Detta är de stora fördelarna med lösfallnadsisolering jämfört med skivisolering. Nackdelarna med lösfallnad är att den inte får belastas och att det vid ogynnsamma förhållanden kan uppkomma luftrörelser som transporterar värme i isoleringen, så kallad konvektion. Detta orsakar onödigt stora värmeförluster genom bjälklaget eftersom luften tar upp värme vid den nedre, varma ytan och avger värmen vid den övre kalla ytan. Konvektionsluften kan också bära med sig fukt som ansamlas på kalla ytor i konstruktionen. Eftersom vindsutrymmet vanligtvis är ventilerat kommer isoleringen även att påverkas av ventilationsluften. Detta ger upphov till påtvingad konvektion och effekten av denna går att minska genom att täcka isoleringen med ett mindre luftgenomsläppligt skikt, vilket då även försvårar arbetsutförandet. För att kunna bedöma riskerna för konvektion och dess konsekvenser för lösfallnadsisolering på vindsbjälklag behövs både teoretiska kunskaper och experiment.

Teori för konvektion på vindsbjälklag

Lösfallnadsisoleringar är porösa och innehåller därmed stora mängder luft. Om

Artikelförfattare är tekn dr **Mihail Serkitjij** och tekn lic **Paula Wahlgren**, Institutionen för byggnadsfysik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg.



Behövs det vindskydd på ventilerade vindsbjälklag med lösfallnadsisolering?

porsystemet är öppet, som i till exempel mineralull, kan luftrörelser uppstå på grund av temperaturskillnader i isoleringen. Dessa luftrörelser ökar värmetransporten, så kallad *naturlig konvektion* uppstår. Andra benämningar är egenkonvektion och fri konvektion.

Vind- och tryckförhållanden kring en byggnad ger förutsättningar för luftrörelser vid och i ytterkonstruktionen. Sådana luftrörelser som styrs av förhållanden utanför konstruktionen, till exempel av vind eller mekanisk ventilation, kan också öka värmetransporten i konstruktionen. Detta fenomen kallas *påtvingad konvektion*. Oftast samverkar de båda strömningssätten.

Drivkraften för naturlig konvektion beskrivs ofta av ett dimensionslöst tal, det så kallade modifierade Rayleightalet, Ra_m , som definieras av:

$$Ra_m = C_{luft} \cdot \frac{d \cdot k \cdot \Delta T}{\lambda} \quad (-) \quad (1)$$

Faktorn C_{luft} beskriver egenskaper hos luften i materialet och beror av medeltemperaturen. Den specifika permeabiliteten hos isoleringen betecknas k (m^2), värmekonduktiviteten utan konvektion, λ (W/mK), isoleringstjockleken, d (m) och temperaturskillnaden över isoleringslagret, ΔT ($^\circ C$).

För att beskriva det ökade värmeflödet genom ett material på grund av konvektion används ett annat dimensionslöst tal, Nusselts tal. Det definieras som

$$Nu = \frac{\text{värmeflöde med konvektion}}{\text{värmeflöde utan konvektion}} \quad (2)$$

Om ingen konvektion förekommer är Nusselts tal 1 och i annat fall överstiger

det 1. Vid naturlig konvektion används Nusselts tal som en funktion av det modifierade Rayleightalet och vid påtvingad konvektion som en funktion av vindhastigheten.

Man har funnit att det existerar ett kritiskt modifierat Rayleightal för horisontellt placerad isolering över vilket naturlig konvektion uppträder. För ett poröst material som befinner sig mellan två icke permeabla plattor varav den undre är varmare än den övre erhålles ett kritiskt Rayleightal på cirka 40. När värmekonduktiviteten för ett material ska bestämmas används en plattapparat som kan vara horisontell eller vertikal. Normalt används en nedåtriktad värmeström, vilket innebär att den konvektiva värmeöverföringen inte uppträder vid provningen.

Ovannämnda gränsvärde har verifierats både experimentellt och teoretiskt av många forskare. Enligt teoretiska beräkningar, *Nield* (1968), startar naturlig konvektion i horisontell isolering med en öppen överyta (motsvarande lösfallnadsisolering på vindar) vid ett modifierat Rayleightal mellan 10 och 27. En förändring av randvillkoren från det ideala fallet, med isoterma och icke luftgenomsläppliga ytor, innebär alltså en minskning av gränsen för det kritiska modifierade Rayleightalet. Det betyder att den naturliga konvektionen kommer att starta tidigare och därmed att risken för värmeförluster blir större. Även materialets struktur kan medföra att det kritiska modifierade Rayleightalet blir lägre.

Vanligtvis appliceras lösfallnadsisolering på vindsbjälklag utan någon form av täckning, dock med skydd vid takfoten. Detta innebär att materialet kommer att

ge, (Energimagasinet, 2000), och materia-
len har egenskaper enligt *tabell 1*.

Mätningar på horisontella lager av lösfyllnadsisolering

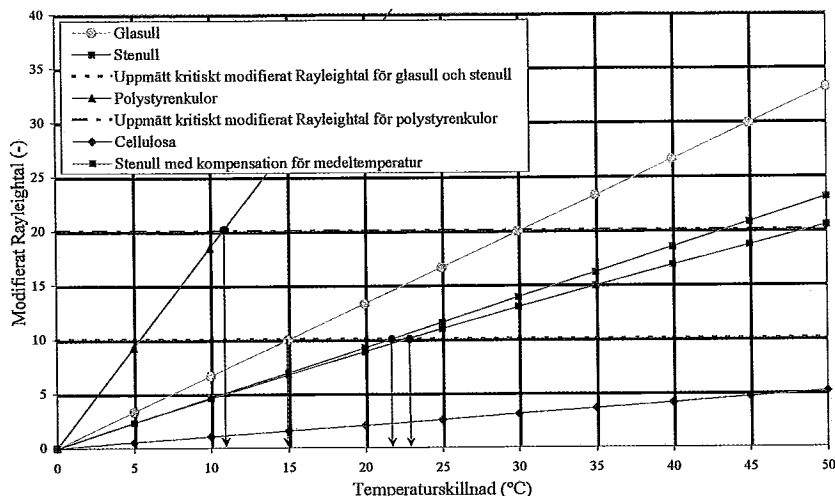
Mätningar på ett homogent lager av lösfyllnadsisolering av stenull och av glasull har visat att naturlig konvektion i dessa material startar vid ett Rayleightal på 10, medan exempelvis polystyrenkulor (pellets) är mindre benägna att tillåta luftfrörelser och har ett kritiskt Rayleightal på 20 (Serkitjis, 1995). I *figur 2* visas Nusselts tal som funktion av det modifierade Rayleightalet för materialen i *tabell 1*.

De i *figur 2* uppmätta kritiska Rayleightalen finns inritade i *figur 1* och med hjälp av denna information kan man utläsa att den naturliga konvektionen startar vid en temperaturskillnad av ungefär 15 °C för glasullen, 22 °C för stenullen, 11 °C för polystyrenkulorna, och inte alls för cellulosa inom undersökta temperaturnivåer. Den kritiska temperaturskillnaden höjs något då ovasidan blir kallare eftersom värmekonduktiviteten i isoleringen minskar med minskande medeltemperatur. Denna effekt kan studeras för stenull i diagrammet, och visar sig ha en marginell effekt genom att höja den kritiska temperaturskillnaden från 22 °C till 23 °C.

Vad har det då för effekt på värmeflödena att naturlig konvektion har startat i isoleringen?

Mätningar har visat temperaturer på överytan av isoleringen på -18 °C vid en utetemperatur på -25 °C. Detta ger en temperaturskillnad över isoleringen på 38 °C om man antar en undre ytemperatur på 20 °C (rimligt vid en ungefärlig inne-temperatur på 22 °C). Det modifierade Rayleightalet för glasull blir då 25 vid en isolertjocklek på 0,45 m och enligt *figur 2* innebär detta ett Nusselttal på 1,8, alltså ett flöde som är 80 procent större på grund av naturlig konvektion. Detta visar att den lätta glasullen är olämplig att använda som lösfyllnadsisolering på vindar i vårt klimat, trots att detta material klarar normkraven upp till 0,4 m. Vid denna tjocklek startar konvektion i glasullen vid en temperaturskillnad på 17 °C och ovanstående temperaturskillnad på 38 °C resulterar i ett Nusselttal på 1,55. För stenullen innebär en temperaturskillnad på 38 °C att det modifierade Rayleightalet blir 17,5 och att Nusselts tal blir 1,1, dvs 10 procent ökning i värmefföde. Cellulosa kommer inte upp till det kritiska Rayleightalet 10 vid denna temperaturskillnaden.

När det gäller den påtvingade konvektionen måste man undersöka vilka vindhastigheter som kan vara aktuella på vindbjälklaget. En undersökning utförd av (Silberstein med flera, 1991) har visat att en vindhastighet utomhus på 6 m/s kan orsaka en vindhastighet på cirka 1,5 m/s parallellt med värmeisoleringsmaterialet i ett ventilerat vindbjälklag, se *figur 3*.



Figur 1: Modifierat Rayleightal som funktion av temperaturskillnaden över isoleringen för en 0,45 m tjock vindsisolering (glasull $k = 2,7 \cdot 10^{-8}$, stenull $k = 1,5 \cdot 10^{-8}$, cellulosa $k = 2,5 \cdot 10^{-9}$, polystyrenkulor $k = 6 \cdot 10^{-8}$)

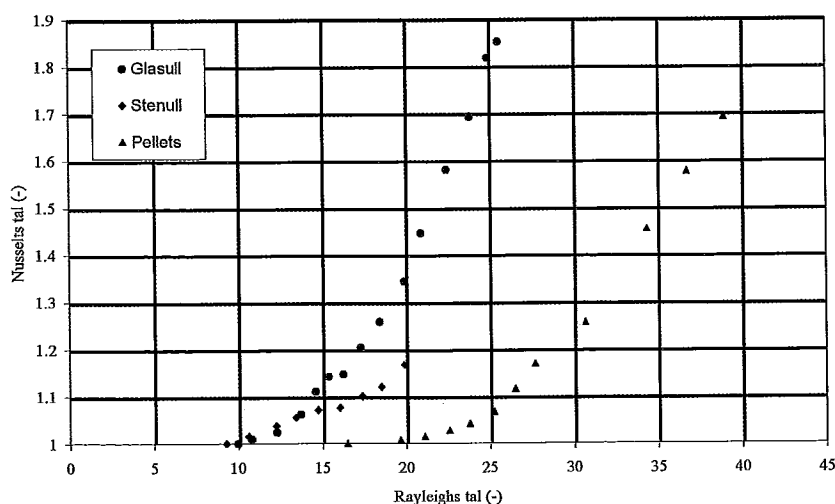
Material	Densitet (kg/m ³)	Permeabilitet (m ²)	Värmekonduktivitet (W/mK)
Polystyrenkulor	12,8–13,4	$5,5\text{--}6,5 \cdot 10^{-8}$	0,044
Stenull	30–34	$1,5\text{--}2,5 \cdot 10^{-8}$	0,044
Glasull	8–9	$2,6\text{--}2,8 \cdot 10^{-8}$	0,055
Cellulosa	32–36	$2,4\text{--}2,6 \cdot 10^{-9}$	0,033

Tabell 1: Materialegenskaper hos de testade materialen. Observera att glasullen är av en mycket lätt variant som inte används i Sverige.

angränsa dels till bjälklaget som kan betraktas som en lufttät och i det närmaste isoterm varmsida, och dels till en ovanliggande luftvolym som knappast kan beskrivas som isoterm. Det är, med andra ord, inte samma randvillkor i verkligheten som för de teoretiskt beräknade kritiska Rayleightalen.

För att kunna jämföra de kritiska modifierade Rayleightalen med de modifierade

Rayleightal som uppkommer i vindsoleringar behöver vi bestämma de faktorer som ingår i ekvation 1 för isoleringen. Genom att anta värden på isoleringens värmekonduktivitet och permeabilitet samt på dess tjocklek erhålls det modifierade Rayleightalet som funktion av temperaturskillnaden över isoleringen. I *figur 1* är vindsisoleringen 0,45 m tjock, vilket 1999 var den vanligaste isolertjockleken i Sveri-



Figur 2: Uppmätt Nusselts tal som funktion av Rayleighs tal för lösull av glasull ($k = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$), stenull ($k = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$), samt polystyrenkulor ($k = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2$), Serkitjis (2000).