

# Hur man förhindrar naturlig konvektion från att förorsaka extra värmeförlust och fuktproblem i tjocka isoleringslager

Sivert Uvsløkk<sup>1,\*</sup>, Hans Boye Skogstad<sup>1</sup>, Steinar Grynning<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SINTEF Byggeforsk, Norge

\*E-post: {HYPERLINK "mailto:sivert.uvslokk@sintef.no" }

## SAMMANFATTNING

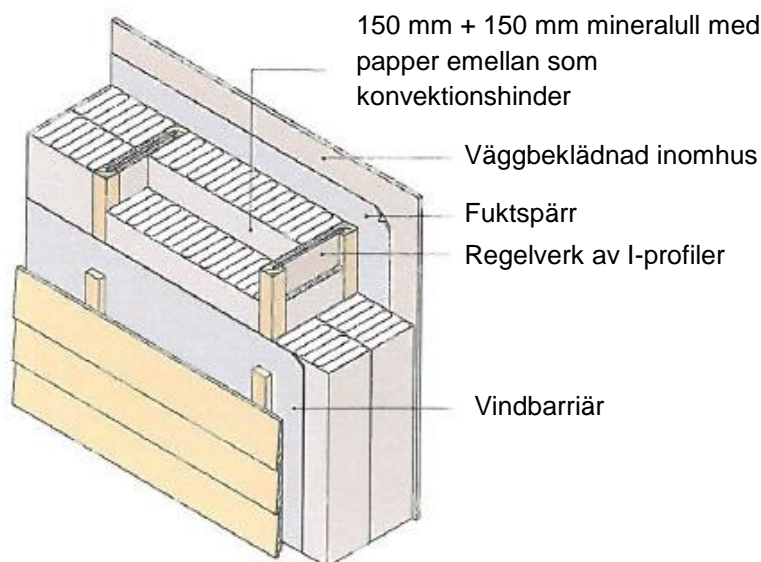
I väggar med tjocka lager av termisk isolering som är genomtränglig, som i passivhus, kan naturlig konvektion förorsaka extra värmeförluster och leda till tillfälliga fuktproblem beroende på en omfördelning av den inbyggda fukten i träreglarna. Laboratiemätningar med Hotbox på fullskaliga väggar visar att naturlig konvektion kan förhindras på ett effektivt sätt genom att man använder vertikala konvektionshinder som delar upp isoleringen i två lager.

## NYCKELORD

Värmetransmission genom väggar, naturlig konvektion, konvektionshinder, fullskaliga mätningar med Hotbox, omfördelning av fukt.

## INLEDNING

I tjocka lager av genomtränglig isolering, kan naturlig konvektion utvecklas och leda till extra värmeförlust. I regelkonstruktioner, som väggar och tak, kommer naturlig konvektion också att leda till omfördelning av den inbyggda fukten i reglarna. Omfördelningen kommer att ge ett ökat fukttinnehåll, och en tillfällig risk för mögeltillväxt, i de övre, yttre delarna av konstruktionen. För att undvika fuktproblem i nya konstruktioner och för att erhålla full effekt med tjocka isoleringslager, rekommenderar SINTEF Byggeforsk att man använder sig av ett vertikalt konvektionshinder som delar upp isoleringen i två lager i vägghålrum som överstiger 200 mm, som visas i figur 1.



Figur 1. Träregeleväggar med vertikalt konvektionshinder. För vägghåligheter som överstiger 200 mm rekommenderar SINTEF Byggeforsk att man delar upp isoleringen i två lager med hjälp av ett vertikalt konvektionshinder. Mineralullsskivor med papper limmat på en sida, som formar ett vertikalt konvektionshinder mellan de två lagren, är tillräckligt för att förhindra naturlig konvektion.

## Naturlig konvektion

Drivkraften för naturlig konvektion är skillnaden i flytkraft mellan de varma och de kalla delarna i isoleringslagret. Den lättare luften i den varma delen flyter uppåt och den tyngre luften i den kalla delen kommer att flyta neråt och forma en konvektionscell i vägghåligheten. Det modifierade Rayleightalet  $Ra_m$  är ett dimensionslöst tal som används för att beskriva risken för naturlig konvektion.  $Ra_m$  definieras med ekvationen (1) från (ISO, 2007).

$$Ra_m = \frac{g\beta\rho c_p}{\nu} x \frac{dk\Delta T}{\lambda} \quad (1)$$

där  $g$  är acceleration beroende på gravitation,  $\beta$  är den termiska expansionen av luft,  $\rho$  är luftens täthet,  $c_p$  är den specifika värmekapaciteten vid konstant tryck,  $\nu$  är den kinematiska viskositeten för luft,  $d$  är isoleringslagrets tjocklek, i m,  $k$  är permeabiliteten för den isolerade håligheten,  $\Delta T$  är temperaturskillnaden tvärs isoleringslagret, i K, och  $\lambda$  är den termiska konduktiviteten i isoleringen, i W / (mK).

Den första delen av ekvationen (1) beror på gravitationen och luftens egenskaper och varierar en aning beroende på medeltemperaturen. Som man kan se från den andra delen av ekvationen (1), som beror på egenskaperna hos den isolerade håligheten, är  $Ra_m$  proportionell både till tjockleken och den isolerade hålighetens genomtränglighet, liksom temperaturskillnaden. Risken för naturlig konvektion är därför störst för tjocka väggar och den extra värmeförlusten beroende på naturlig konvektion är störst under de kallaste perioderna på vintersäsongen, när värmebehovet i ett hus är som störst.

I enlighet med ISO (2007) kan man bortse från naturlig konvektion i väggar om  $Ra_m < 2,5$ .

Motståndet mot internt luftflöde är omvänt proportionellt både till tjockleken av den isolerade håligheten och den effektiva luftgenomträngligheten i isoleringslagret. Båda dessa parametrar kan minskas i design- och konstruktionsprocessen för väggen.

Permeabilitet uppnås normalt genom luftmotståndsmätningar på isoleringsprover. För bedömning av naturlig konvektion i väggar vid beräkning av  $Ra_m$ , ska permeabiliteten parallellt med väggen,  $k_{||}$ , användas eftersom detta värde är närmare ”den praktiska” permeabiliteten för den isolerade håligheten, än väggens normala permeabilitet,  $k_{\perp}$ , vilken inte ska användas för mineralullsskivor. Uvsløkk (1996).

Naturlig konvektion kan dock förhindras på ett effektivt sätt genom att man delar upp ett tjockt isoleringslager i två tunnare lager som separeras med ett lager papper. Således kommer drivkraften,  $\Delta T$  tvärs varje lager, att halveras och flödesmotståndet dubbleras, vilket minskar  $Ra_m$  med en faktor av 0,25, och den naturliga konvektionen kommer att elimineras på ett effektivt sätt.

Rekommendationen att använda konvektionshinder baseras på en serie mätningar som utförts i laboratoriet hos NTNU/SINTEF Byggforsk i Trondheim. Resultaten i detta dokument härrör från mätningar utförda i samarbete med tre magisterstudenter under perioden 1994 till 1997. (Bjerkevoll, 1994), (Johannessen, 1995) och (Janssen, 1997).

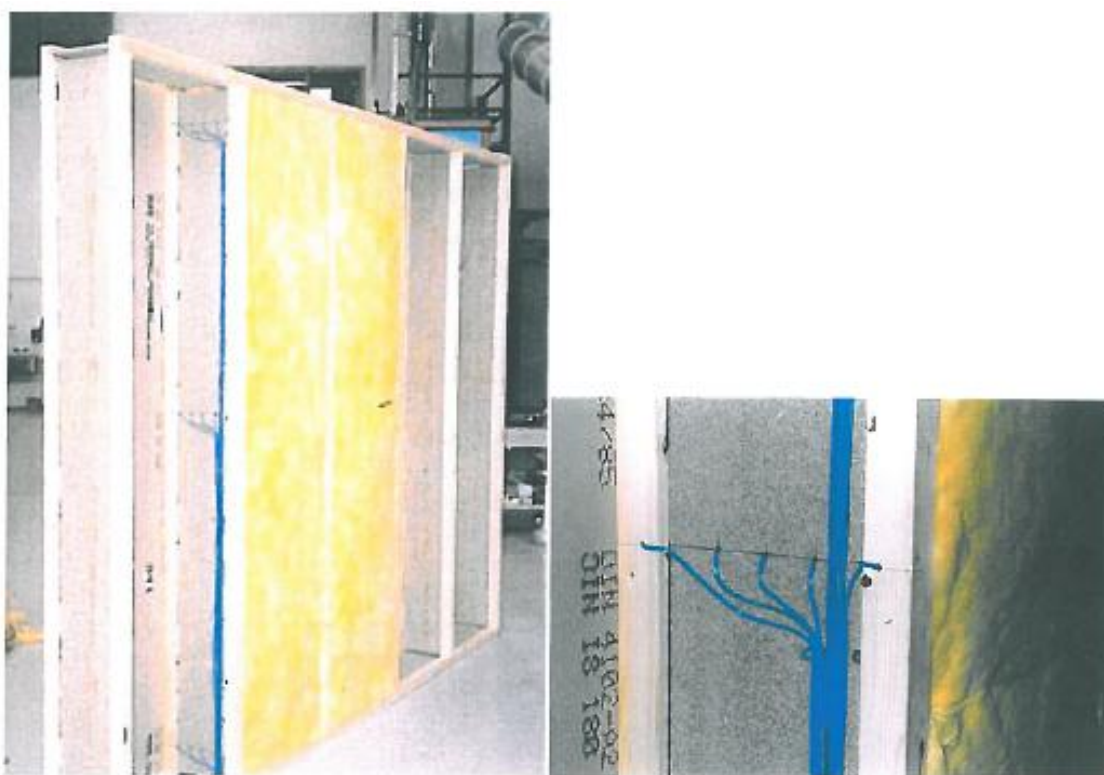
Trots att mätningarna genomfördes för några år sedan är resultaten mer relevanta idag. Användningen av väggar med tjocka isoleringslager blir mer vanliga eftersom isoleringskraven i byggnadsreglerna verkar gå i riktning mot standarden för passivhus.

Jämvikten i fuktfördelningen i regelkonstruktionen följer temperaturfördelningen i väggen. Minskande temperaturer ger ökande luftfuktighet, RH, och ökande fuktmängd. Eftersom naturlig konvektion påverkar temperaturfördelningen, som visas i figur 3, påverkar den också fuktfördelningen och ger den högsta fuktmängden i den kallaste delen av hammarbandet och toppen av träreglarna.

## METODER

Naturlig konvektion i väggar och en metod att förhindra den, har studerats genom fullskalemätningar på träregelväggar, 2,4 m höga, vid användning av en skyddad Hotbox. Både temperaturfördelning och värmetransmission, U-värden, har uppmätts vid olika temperaturskillnader och temperaturnivåer.

Temperaturfördelningen genom isoleringslagren mättes med hjälp av termoomkopplare som sytts in i isoleringen i två av vägghåligheterna. Se figur 2 som visar testväggen under uppbyggnad.

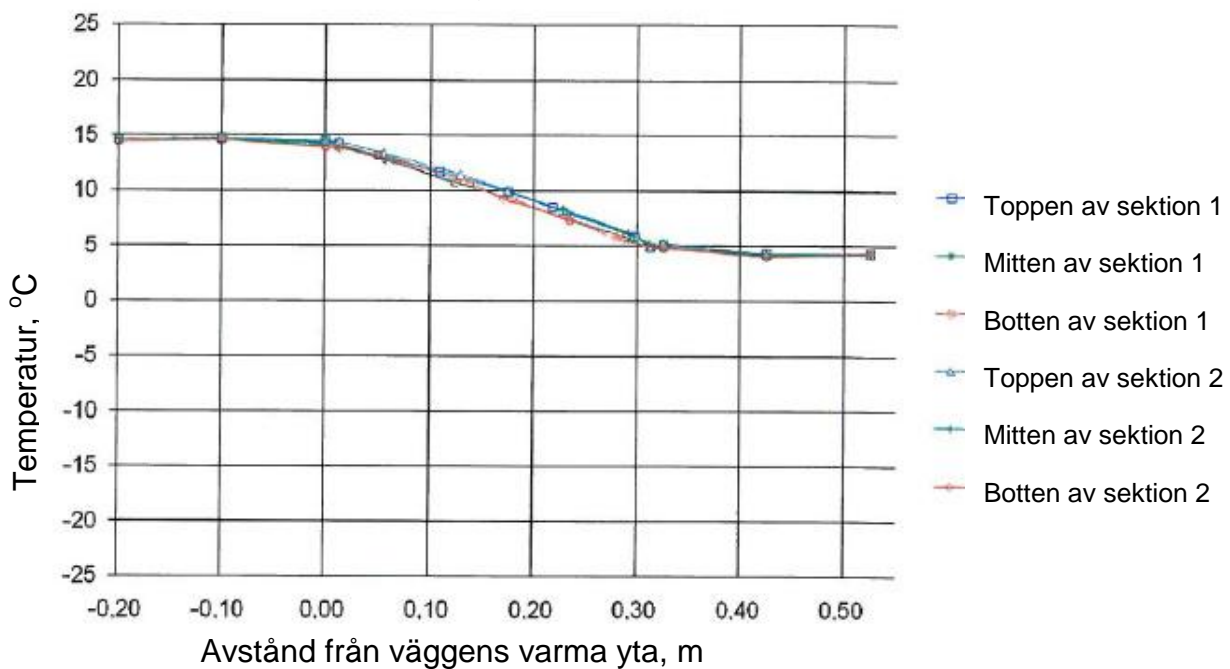


Figur 2. Träregelvägg 1, gjord av 300 mm I-profiler, under bearbetning. Temperaturfördelningen genom isoleringslagren mättes med termoomkopplare, de blå kablarna, insydda i isoleringen 100 mm från hammarbandet, på mellanhöjd och 100 mm från bottenplankan (Bjerkevoll, 1994).

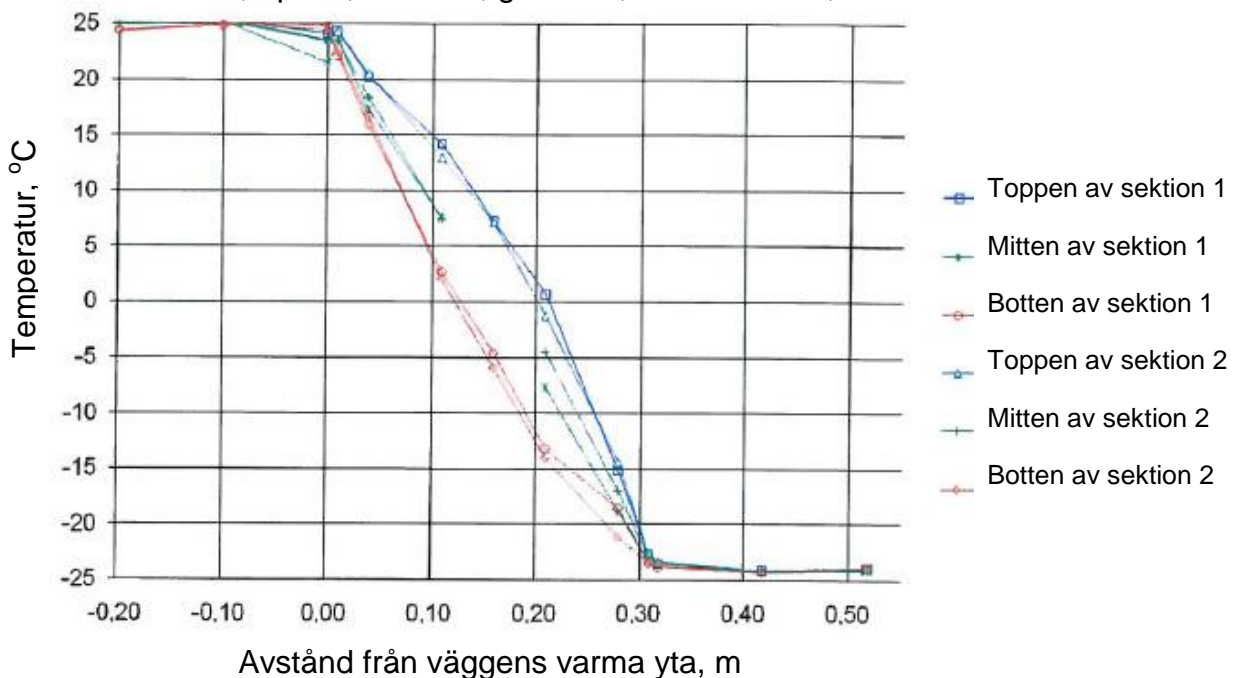
## RESULTAT

Den uppmätta temperaturfördelningen genom isoleringen i vägg 1, vid låg och hög temperaturskillnad tvärs väggen, visas i de två diagrammen i figur 3. Den uppmätta värmetransmissionen, U-värde, för de tre varianterna av vägg 2 anges i figur 5. Några materialegenskaper och beräknade Rayleightal,  $Ra_m$ , anges i figurerna eller i texterna till figurerna.

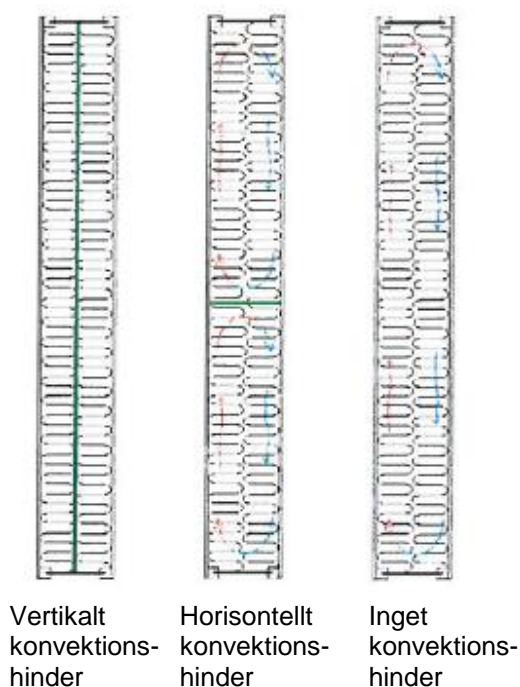
#34404, I-profil, 298 mm, glasull A, bra utförande, +15°C/+5°C



#34401, I-profil, 298 mm, glasull A, bra utförande, +25°C/-25°C



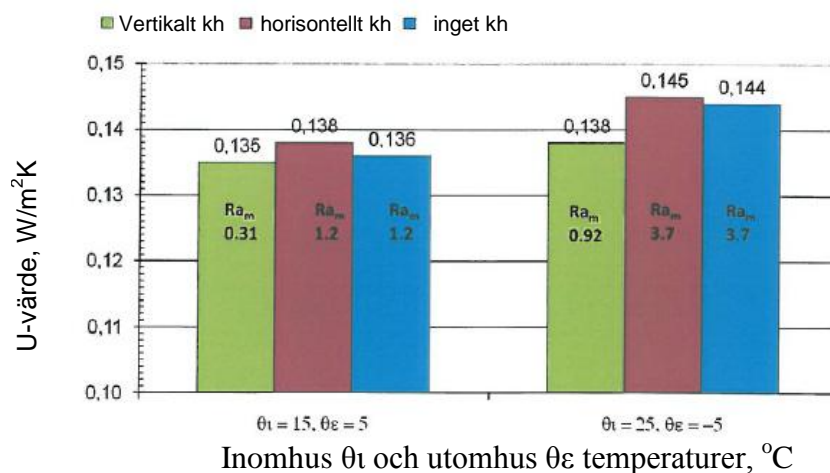
Figur 3. Uppmätt temperaturfördelning genom isoleringslagret vid två olika temperaturskillnader tvärs väggen,  $\Delta T$  10°C, övre diagrammet, och  $\Delta T$  50°C, undre diagrammet. Temperaturerna uppmättes med hjälp av termoomkopplare insydda i två av de isolerade vägghåligheterna, se figur 2. Egenskaper för termisk isolering: Glasull,  $\rho = 18,4 \text{ kg/m}^3$ ,  $\lambda_{10} = 0,0361 \text{ W/(mK)}$ ,  $K_{\parallel} = 3,7 \text{ E-9 m}^2$ ,  $k_{\perp} = 1,9 \text{ E-9 m}^2$   $Ra_m$  0,99 för det övre diagrammet, och  $Ra_m$  5,9 för det undre diagrammet.



Figur 4. Tvärprofil av träregelvägg 2,  $d = 300$  mm,  $h = 2400$  mm, som har mätts med två olika varianter av konvektionshinder, liksom utan konvektionshinder.

Termiska isoleringsegenskaper:

Glasull,  $\rho = 13,2$  kg/m<sup>3</sup>,  $\lambda_{10} = 0,038$  W/(mK),  $K_{||} = 5,1$  E-9 m<sup>2</sup>,  $k_{\perp} = 2,5$  E-9 m<sup>2</sup>



Figur 5. Diagrammet visar hur det uppmätta U-värdet påverkas av konvektionshindren (kh) i isoleringsslaget vid två temperaturskillnader,  $\Delta T$ , tvärs väggen.

## DISKUSSION

Både mätningarna gällande U-värde och temperaturmätningarna visar att naturlig konvektion kan utvecklas i väggar med ett tjockt isoleringslager vid normala vintertemperaturer. Temperaturfördelningen, figur 3, är approximativt linjär genom isoleringen när  $\Delta T$  är låg, som förväntas i väggar med ingen konvektion. Vid högre  $\Delta T$ , är dock temperaturfördelningen icke-linjär, vilket klart indikerar luftflöden i isoleringen.

Den naturliga konvektionen ökar med ökande temperaturskillnader tvärs väggen för alla väggvarianter. Ett vertikalt konvektionshinder (kh) i mitten av isoleringen förbättrar isoleringens prestanda och ger det lägsta U-värdet, se figur 5. Ett horisontellt kh leder dock till ökad naturlig konvektion och ett U-värde som är en aning högre än utan kh.

Resultaten visar att naturlig konvektion utvecklas vid lägre  $Ra_m$  än 2,5, vilket är en kritisk gräns enligt ISO (2007), även vid användning av permeabiliteten  $k_{||}$ , som mätts parallellt med mineralullsskivorna. Permeabiliteten  $k_{\perp}$ , som är normal för skivorna, är i normala fall hälften av värdet för  $k_{||}$  och kommer att ge ett för lågt  $Ra_m$  i enlighet med den nuvarande studien. En anledning till den tidiga konvektionen kan vara att den "praktiska" permeabiliteten för väggisoleringen till och med är högre än  $k_{||}$  eftersom isoleringsskivorna inte fyller kaviteten helt i de verkliga träregelväggarna.

Som visas i figur 5 ökar värmeförlusten genom väggen en aning när man applicerar ett horisontellt konvektionshinder. En förklaring är förmodligen att två konvektionsceller utvecklas och trots att var och en av dem är mindre, kommer summan av de två att ge en högre värmeförlustökning per area än en större konvektionscell.

För att få en vägg med termisk prestanda enligt det U-värde som beräknats i kalkyler, måste reglarna och resten av timmerramen monteras exakt, med korrekta c/c-avstånd. Mineralullsskivorna måste ha en aning större mått än träregelhåligheten i alla riktningar, för att undvika lufthål. Andra mått, som inte presenterats här, på väggar med olika isoleringsfel såsom lufthål som korsar isoleringslagret, ger stora värmeförluster, framför allt lufthål på hammarbandet och bottenplattorna.

## SLUTLEDNINGAR

Denna studie visar att naturlig konvektion kan utvecklas i tjock väggisolering under normala vinterförhållanden. Naturlig konvektion kan dock förhindras på ett effektivt sätt med hjälp av ett vertikalt konvektionshinder. En praktisk lösning är att använda två lager av mineralullsskivor med papper limmat på en sida. Att dela upp vägghåligheten i två tunnare isoleringshåligheter med ett tunt lager av papper är tillräckligt för att reducera naturlig konvektion till ett minimum.

## GODKÄNNANDE

Arbetet med det här dokumentet har fått stöd av Forskningsrådet i Norge och flera partner genom NTNU/SINTEF forskningsprojekt ROBUST, "*Robust envelope construction details for buildings of the 21st Century*".

## REFERENSER

ISO 2007. NS-EN ISO 10456:2007, Hygrotermiska egenskaper – tabulerade designvärden och procedurer för att fastställa deklarerade och design-termiska värden. Bjerkevold, G.O. 1994. "Hot-box malingar på hoyisolerte bygningskonstruksjoner". (Mätningar med Hotbox på strukturer med tjocka isoleringslager). Examensarbete. NTNU.

Trondheim, Norge, 78 sidor. Johannessen, E. 1995. "Hot-box malingar på heyisolerte bygningskonstruksjoner". (Mätningar med Hotbox på strukturer med tjocka isoleringslager.) Examensarbete. NTNU.

Trondheim, Norge, 78 sidor. Janssen, Hans. 1997. Termisk prestanda på högisolerade träregelväggar.

Examensarbete. Katholieke Universitet Leuven, NTNU. Leuven, 134 sidor. Uvsløkk, S. Skogstad, H.B. Aske, I.J. 1996. Naturlig konvektion i träregelväggar med tjocka termiska isoleringslager. I: *Protokoll från det 4:e symposiet för byggnadsfysik i Norden*. Helsingfors, vol. 1, sidorna 315-322.