



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R46:1978

**Köldbryggor i tilläggs-
isolerade ytterväggar**

Ann-Charlotte Andersson

Byggforskningen

R46:1978

Köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar

Ann-Charlotte Andersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750248-3 från Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för byggnadsteknik, Lunds tekniska högskola, Lund.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Nyckelord:

värmtransporter
ytterväggar
tilläggsisolering
köldbryggor
beräkningsmetoder

UDK 699.86

R46:1978

ISBN 91-540-2862-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 854489

KÖLDBRYGGOR I TILLÄGGSISOLERADE YTTERVÄGGAR

INNEHÅLL

Sammanfattning	1
Summary	3
Beteckningar	6
1 Inledning	7
2 Beräkningsmetodik och beräkningsförutsättningar	9
2.1 Lufttemperaturer	10
2.2 Värmeövergång	10
2.3 Värmeledningstal och värmemotstånd	24
3 Val av köldbryggor för beräkningar	26
3.1 Allmänt	26
3.2 Ytterväggstyper	27
3.3 Köldbryggor i ytterväggarna	28
3.3.1 Bjälklagsanslutningar	29
3.3.2 Innerväggsanslutningar	31
3.3.3 Balkongplattor	32
3.3.4 Fönstersmygar	33
4 Beräkningar av värmeförluster genom köldbryggor vid varierande invändig isolertjocklek	35
4.1 Allmänt	35
4.2 Bjälklagsanslutningar	37
4.3 Innerväggsanslutningar	41
4.4 Balkongplattor	42
4.5 Fönstersmygar	44
4.6 Ytterväggshörn	48
4.7 Inverkan av olika övergångskoefficienter på yttemperaturer och värmeförluster	50

5	Värmeförluster genom köldbryggor i praktiska fall	52
6	Beräkningar av köldbryggornas inverkan på energibesparing vid tilläggsisolering av ytterväggar	57
6.1	Tilläggsisolering av 1½-stens massiv tegelvägg (väggtyp A)	57
6.2	Tilläggsisolering av 1-stenstegelvägg med invändig träullsplatta (väggtyp B)	60
6.3	Tilläggsisolering av murad gasbetongvägg (väggtyp C)	62
6.4	Tilläggsisolering av utvändigt lättbetongisolerad betongvägg (väggtyp D)	64
7	Konsekvenser av köldbryggor vid invändig tilläggsisolering	66
	Litteratur	76

SAMMANFATTNING

Rapporten behandlar effekterna av de köldbryggor som finns, och i vissa fall uppstår, vid tilläggsisolering av ytterväggar, i första hand invändigt. De köldbryggor som behandlas här, är anslutningar mellan yttervägg och innervägg eller bjälklag, anslutningar vid balkongplatta, fönstersmygar samt ytterväggshörn.

De konsekvenser som studerats är inverkan på värmeförlusterna genom ytterväggarna samt risk för kondensation på invändiga ytor.

De studerade konstruktionerna har valts ut enligt kriteriet att de skall vara vanligt förekommande i flerfamiljshus från perioden 1900 - 1950 med tyngdpunkten på senare delen av denna period. Följande ytterväggstyper har valts:

- A. $1\frac{1}{2}$ -stens tegelvägg, invändigt putsad
- B. 1-stenstegelvägg, invändigt isolerad med 5 cm träullsplatta
- C. 250 mm gasbetongmurverk
- D. 15 cm betongvägg, utvändigt isolerad med 10 cm lättbetong.

Något exempel på anslutning till trävägg ingår också. Köldbryggorna blir dock inte så markerade då det är en trävägg som isoleras, varför ett exempel räcker för att visa storleksordningen av köldbryggans inverkan. För valda anslutningar till de fyra ytterväggstyperna har värmeflödet genom ytterväggen inklusive köldbrygga beräknats med ett datorprogram för stationär tvådimensionell värmeledning. Inverkan av varierande isolertjocklek har beräknats. Resultaten är uppställda i tabellform och finns i kapitel 4. Inverkan av utvändigt tilläggsisolering finns redovisad för något fall.

De beräknade yttemperaturerna vid köldbryggorna, som ju är av intresse vid bedömning av risken för ytkondensation, framgår också av tabellerna i kapitel 4.

Tendensen är, för de flesta av de beräknade köldbryggorna, att det extra värmeflödet p g a köldbryggan ökar markant vid invändig tilläggsisolering med tjocklekar upp till 7 cm. Det extra värmeflödet ökar sedan långsammare, och sjunker i vissa fall igen vid isolertjocklekar omkring 12 - 15 cm. Detta beror delvis på den definition extra värmeflödet har.

Utvändig tilläggsisolering medför att inverkan av bjälklags- och innerväggsanslutningar blir försumbar, men fönstersmygar och balkongplattanslutningar kan få stor inverkan på värmeförlusterna.

Kapitel 5 ger förslag till bedömning av köldbryggornas inverkan i andra fall än de som beräknats. Både invändig och utväändig tilläggsisolering behandlas. Underlag till kapitel 5 är dels egna beräkningar, dels beräkningar som gjorts av andra och finns redovisade i litteraturen.

I kapitel 6 sätts de enskilda köldbryggorna samman, och inverkan på värmeförlusterna genom ytterväggspartier innehållande flera köldbryggor studeras. Detta görs för de fyra ovannämnda ytterväggstyperna. Ett "effektivt" k -värde beräknas här, som totala värmeflödet genom ytterväggspartiet, dividerat med den i beräkningen förutsatta temperaturskillnaden över väggen och väggpartiets yta. Detta jämförs med det s_k "nominella" k -värdet, vilket här definieras som det k -värde väggen skulle ha om man inte tog hänsyn till köldbryggorna. För en väggtyp, $1\frac{1}{2}$ -stenstegelväggen, beräknas också det "effektiva" k -värdet vid utväändig tilläggsisolering av väggen.

Andelen värmeflöde genom väggen som beror av köldbryggorna redovisas också. Vid invändig tilläggsisolering med 10 cm mineralull är köldbryggornas andel av totala värmeflödet genom de betraktade ytterväggssnitten av storleksordningen 50%. Köldbryggorna är inte alltid försumbara vid utväändig tilläggsisolering, men ur energibesparingssynpunkt är den utväändiga isoleringen klart att föredra framför den invändiga.

I kapitel 7 görs ytterligare genomgång av köldbryggornas tänkbara konsekvenser. Möjlig energibesparing genom ut- respektive invändig tilläggsisolering av ett flerfamiljshus illustreras genom ett exempel.

Beräkningarna av yttemperaturer vid köldbryggorna visar att fönstersmygarnas innerytor är ställen där ytkondensation i vissa fall kan förväntas inträffa. Anslutningen av isoleringen till smygen har stor betydelse för yttemperaturen.

Kondensationsrisken exemplifieras med ett par diagram som för något alternativ visar vilken maximal relativ fuktighet inneluften kan ha innan kondensation börjar, vid olika utetemperaturer.

SUMMARY

This report deals with the effect of the thermal bridges which already exist and those which sometimes occur when additional insulation is applied to external walls - mainly on the inside. The thermal bridges dealt with here are connections between external walls and inner walls or joists, balcony slab connections, window splays and corners of external walls.

The importance of thermal bridges in walls increases when the insulation of existing houses is improved by means of additional insulation of the external walls. The effect of a thermal bridge is considerable if the inside of the external walls is insulated, as the insulation is interrupted, for example, at joist connections. Internal insulation is therefore less efficient than external insulation from an energy saving point of view.

The consequences which have been studied are the effect on the heat losses through the external walls and the risk for condensation on the internal surfaces.

The constructions which were studied were selected according to the criterion that they should be commonly used in blocks of flats built between 1900 and 1950 and particularly during the latter part of that period. The following types of external walls were selected:

- A 38 cm brick wall, internally plastered
- B 25 cm brick wall, internally insulated with a 50 mm wood-wool board
- C 250 mm porous concrete wall
- D 150 mm concrete wall, externally insulated with 100 mm porous concrete

An example of a wall of wood was also included. Thermal bridges are not as prominent when a wall of wood is insulated and one example is sufficient to show the magnitude of the effect of the thermal bridge.

The heat flux through the external wall, including the thermal bridge was calculated with a computer program for stationary, two-dimensional heat transfer. The effect of varying insulation thicknesses was also calculated. The results are shown in Tables in Chapter 4. In some cases the

effect of external additional insulation is also shown.

The calculated surface temperatures by the thermal bridges, which are of interest when determining the risks of surface condensation, are also shown in Chapter 4.

The tendency is, that for most of the thermal bridges calculated, the extra heat flux due to the thermal bridge increases considerably where additional insulation thicknesses of up to 70 mm on the inside of the wall are concerned. The extra heat flux then increases more slowly and, in some cases, drops again when insulation thicknesses of about 120 mm - 150 mm are used. This depends to a certain extent on the definition of the extra heat flux.

External additional insulation means that the effect of joists and inner wall connections can be disregarded but window splays and balcony slab connections can greatly affect the heat losses.

Chapter 5 suggests ways of estimating the effect of the thermal bridges in cases other than those calculated. Both internal and external additional insulation are dealt with. Chapter 5 is based on my own calculations as well as on those made by others which have been reported in literature.

In Chapter 6 the separate thermal bridges have been placed together and the effect on the heat losses through parts of external walls with several thermal bridges was studied. This was done in the above mentioned four types of external walls. An "effective" u-value* was calculated as the total heat flux through the part of the external wall, divided by the assumed temperature difference across the wall and the surface of the wall part in question. This was compared with the so-called "nominal" u-value which was defined as the u-value the wall would have had if the thermal bridges had been disregarded. The "effective" u-value was also calculated for one wall type, the 38 cm brick wall, after additional insulation of the outside of the wall.

The proportion of the heat flux through the wall which depends on the

*u-value is in this report denoted k-value.

thermal bridges is also shown. When the inside of the wall was insulated with 100 mm mineral wool the thermal bridges were responsible for about 50% of the total heat flux through the wall part studied. It is not always possible to disregard the thermal bridges when insulating externally but external insulation is definitely to be preferred from an energy saving point of view.

Another review of the possible consequences of thermal bridges can be found in Chapter 7. Energy saving by means of external and internal additional insulation in blocks of flats is shown in one example.

The calculation of surface temperatures showed that the internal surfaces of the window splays are areas where surface condensation can sometimes be expected to occur. Application of insulation to the window splay is of great importance where the surface temperature is concerned.

The risk for condensation is illustrated by a couple of diagrams which, in one alternative, shows the maximum permitted relative humidity of the air in the room before condensation begins at different outdoor temperatures.

ANVÄNDA BETECKNINGAR

Beteckning	Förklaring	Enhet
A	Area	m ²
a	Värmediffusivitet	m ² /s
C _s	Strålningskonstanten för absolut svart yta	5,775 W/m ² K
d	Tjocklek	m
F	Synfaktor	1
g	Tyngdacceleration	9,81 m/s ²
k	Värmeegenomgångskoefficient	W/m ² K
l	Längd	m
m	Värmemotstånd	m ² K/W
P	Värmeeffekt	W
Q	Värmeflöde	W
Q	Specifikt värmebehov	s · °C
Q _e	Extra värmeflöde för köldbrygga	W/mK
q	Värmeflödestäthet	W/m ²
T	Temperatur	K
u	Hastighet	m/s
α	Värmeövergångskoefficient	W/m ² K
α	Absorptans, absorptionsfaktor	1
β	Volymutvidgningskoefficient	K ⁻¹
ε	Emissionstal	1
ϑ	Temperatur	°C
λ	Värmeledningsförmåga	W/mK
ν	Kinematisk viskositet	m ² /s

1 INLEDNING

Denna rapport behandlar effekterna av köldbryggor vid tilläggsisolering av ytterväggar, främst invändig tilläggsisolering. Med en köldbrygga menas i allmänhet en konstruktionsdetalj som har ett lägre värmemotstånd än konstruktionen i övrigt. De köldbryggor som är speciellt aktuella för en invändigt tilläggsisolerad yttervägg är anslutningar mellan yttervägg och innervägg, bjälklag och balkongplatta samt fönster- och dörrsmygar. Vid anslutningarna kan en invändig isolering inte föras förbi, och den köldbrygga som redan finns där blir mera accentuerad. Vissa anslutningar som tidigare inte utgjort köldbryggor i ytterväggen kommer efter tilläggsisolering kring anslutningen att utgöra köldbryggor enligt den ovan angivna definitionen.

Köldbryggor orsakar en del negativa effekter av vilka de viktigaste är

- ökade värmeförluster
- risk för ytkondensation
- nedsmutsning av invändiga ytor
- dåligt termiskt inomhusklimat.

Värmeförlusterna genom köldbryggorna kan i många fall vara så stora att man måste ta hänsyn till dem vid beräkning av den energibesparing som erhålls med en tilläggsisolering. En invändig tilläggsisolering som jämförs med en utvändiga av samma tjocklek ger mindre energibesparing än den utvändiga även om man tar hänsyn till att den invändiga isoleringen har mindre yta än den utvändiga.

Ytkondensation kan uppstå vid köldbryggor eftersom yttemperaturen är låg. I bostadshus med normal fuktproduktion måste risken betraktas som liten, utom möjligen i fönstersmygar där yttemperaturen tidvis kan bli mycket låg om smygens insidor inte kan isoleras.

Ojämn nedsmutsning vid köldbryggor uppstår p g a den så kallade termoidiffusionen, vilken bl a innebär att partiklar i luften avsätts på de kallaste ytorna i rummet. Detta är ett vanligt fenomen och visar sig ofta genom avteckning av reglar i en regelvägg eller av spikskallar.

De låga temperaturerna vid köldbryggorna påverkar totalupplevelsen av inomhusklimatet, eftersom värme avges från människans hud mot kalla ytor genom strålning.

I rapporten ges i kapitel 2 en kort orientering om den använda beräkningsmetodiken, och de yttre faktorer som påverkar beräkningarna. Kapitel 3 ger en översikt över de beräknade konstruktionerna. I kapitel 4 redovisas beräkningsresultaten, i form av extra värmefflöde och temperaturer vid köldbryggorna. Kapitel 5 ger anvisningar för hur man skall bedöma köldbryggor med avseende på värmeförluster vid tilläggsisolering utvändigt och invändigt av ytterväggar.

I kapitel 6 har köldbryggornas totala inverkan på värmeförlusterna genom ytterväggar beräknats för fyra olika typer av väggar, vanligt förekommande i flerfamiljshus från 1930 - 50-talen. Vissa förutsättningar har här gjorts angående innerväggsavstånd, fönsterstorlekar m m. Kapitel 7, slutligen är en något mera utförlig diskussion av köldbryggornas konsekvenser.

Den föreliggande rapporten utgör redovisning av en del av ett forskningsprojekt som finansieras med anslag från Byggforskningsrådet. Detta projekt behandlar de byggnadstekniska konsekvenserna av tilläggsisolering av befintliga byggnader.

2 BERÄKNINGSMETODIK OCH BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR

Vid köldbryggor har man flerdimensionell värmeströmning. I det allmänna fallet är värmeströmningen också icke-stationär eftersom ute- och inne-temperatur ständigt varierar. Vid de beräkningar som har gjorts för denna rapport har emellertid förutsatts stationär värmeströmning. Inverkan av icke-stationära förlopp kan alltså inte säkert bedömas, men är förmodligen av liten betydelse då det gäller jämförande beräkningar av värmeförluster genom köldbryggorna. I hörn där tre byggnadsdelar möts, som i en takvinkel eller golvvinkel är värmeströmningen tredimensionell. De tredimensionella effekterna har försumrats här, vilket troligen betyder att värmeförlusterna har underskattats något, samt att yttemperaturerna i sådana hörn är lägre än de som fås om beräkningen görs tvådimensionellt. Förutsättningen för en tvådimensionell beräkning är också att ett snitt som läggs genom köldbryggan är oberoende av var det läggs, d v s att materialskikten är homogena i sina plan. Detta medför att vissa approximationer måste göras, vilket diskuteras senare.

För tvådimensionell stationär värmeströmning gäller Laplaces differentialekvation

$$\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial y^2} = 0$$

där

ϑ är strömningens drivande potential, i detta fall temperaturen, och x och y är koordinater.

En analytisk lösning av denna ekvation är praktiskt omöjlig utom för mycket enkla fall, och man måste därför använda en numerisk metod. Den vanligast använda är relaxationsmetoden, men även finita elementmetoder kan användas för denna typ av problem. De beräkningar som redovisas i denna rapport är alla gjorda med relaxationsmetoden. Några förberedande beräkningar gjordes med finita elementmetoden men denna visade sig vara mera tidskrävande för dessa enkla typer av konstruktioner och randvillkor, och övergavs därför.

Relaxationsmetoden innebär ett differensräkningsförfarande. Konstruktionen delas in i rutnät med varje ruta representerande en cell med en viss temperatur i mitten. Cellen är i temperaturjämvikt med omgivande celler och för varje cell erhålls ett jämviktsvillkor, som vid stationära förhållanden är att summan av värmeflödet till cellen från de omgivande cellerna är lika med 0. Det finns ett flertal utvecklade dataprogram för lösning av sådana problem. Beräkningarna i denna rapport är gjorda med ett program som utvecklats av Brodén (1969).

2.1 LUFTTEMPERATURER

I alla beräkningar har förutsatts konstant ute- och inlufttemperatur. Vid beräkning av värmeflödet genom köldbryggorna är det betydelselöst vilka omgivande temperaturer som väljs, eftersom värmeflödet alltid kan anges per en grads temperaturskillnad, genom att dividera med temperaturskillnaden mellan inne- och uteluften. Vid beräkning av yttemperaturerna är det emellertid intressant att göra beräkningarna vid några bestämda temperaturförhållanden. Här har valts inlufttemperaturen $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och utlufttemperaturen $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Yttemperaturer vid andra ute- eller inlufttemperaturer kan givetvis lätt erhållas om de är kända vid de angivna temperaturförhållandena.

Om ϑ_0 är temperaturen i en punkt vid innetemperaturen $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och utetemperaturen $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ erhålls temperaturen i samma punkt, ϑ_0' , vid inne- och utetemperaturen ϑ_i respektive ϑ_u ur

$$\frac{20 - \vartheta_0}{20 - (-20)} = \frac{\vartheta_i - \vartheta_0'}{\vartheta_i - \vartheta_u} \quad \text{vilket ger}$$

$$\vartheta_0' = \vartheta_i - (20 - \vartheta_0) \frac{(\vartheta_i - \vartheta_u)}{40}$$

2.2 VÄRMEÖVERGÅNG

Värmeövergången vid en yta beskrivs med värmeövergångskoefficienten, α eller värmeövergångsmotståndet, m , mellan vilka sambandet $\alpha = 1/m$ gäller. Värmeövergången är sammansatt av en del som beror på strålningen mot omgivande ytor och en del som beror på luftrörelser vid ytan, konvektion.

Värmetransporten mellan en yta och omgivande luft p g a konvektion kan uttryckas som

$$q_k = \alpha_k (\vartheta_y - \vartheta_L)$$

där

q_k = värmetransporten p g a konvektion, W/m^2

α_k = konvektionsövergångskoefficienten, W/m^2K

ϑ_y = ytans temperatur, K eller $^{\circ}C$

ϑ_L = luftens temperatur på avstånd från ytan, K eller $^{\circ}C$

För konvektionsövergångskoefficienten är man hänvisad till experimentella resultat vilka uttrycks med hjälp av dimensionslösa tal för att vara så allmängiltiga som möjligt.

Strålningstransporten mellan en yta och dess omgivning brukar också uttryckas med en värmeövergångskoefficient, α_s .

Strålningen från en yta A_1 som absorberas av en yta A_2 kan uttryckas som

$$Q_{12} = \alpha_{21} \cdot F_{12} \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot C_s \left(\frac{T_1}{100}\right)^4$$

där

ϵ_1 = emittansen för A_1 vid temperaturen T_1 K

α_{21} = absorptansen hos A_2 med temperaturen T_2 för strålning från A_1 med temperaturen T_1 .

F_{12} = synfaktorn, den del av strålningen som lämnar A_1 i alla riktningar och träffar A_2 .

C_s = strålningskonstanten för en svart kropp = $5,7 W/m^2K^4$

Den del av strålningen från ytan A_2 som absorberas av A_1 kan på samma sätt uttryckas som

$$Q_{21} = A_2 F_{21} \epsilon_2 \alpha_{12} C_s \left(\frac{T_2}{100}\right)^4$$

dessutom gäller $F_{12} \cdot A_1 = F_{21} \cdot A_2$

samt enligt Kirchoffs lag $\alpha_{12} = \epsilon_1$ och $\alpha_{21} = \epsilon_2$ om emittansen förutsätts oberoende av temperaturen.

Om kropparna ej är transparenta, samt dessutom små i förhållande till avståndet mellan dem, vilket medför att all infallande strålning som inte absorberas av kropparna reflekteras och att en försumbar del av den reflekterade strålningen från en kropp träffar den andra, fås strålningen mellan kropparna

$$Q = Q_{12} - Q_{21} = A_1 \cdot F_{12} \cdot \epsilon_{12} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

ϵ_{12} = den resulterande emittansen för de båda ytorna = $\epsilon_1 \cdot \epsilon_2$

Synfaktorn eller, som man även säger, vinkelkoefficienten F_{12} uttrycks matematiskt

$$F_{12} = \frac{1}{\pi \cdot A_1} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{r^2} dA_1 dA_2$$

med beteckningar enligt FIG 2.1.

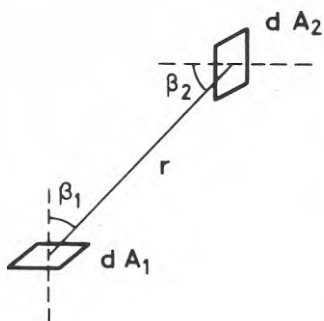


FIG 2.1. Strålning mellan två ytelement.

Synfaktorn finns tabellerad för ett stort antal fall, t ex i VVS-handboken. Mera komplicerade fall kan ofta lösas genom kombinationer av de enkla fallen.

En yta i ett rum påverkas av strålning från alla i rummet befintliga ytor. Det totala strålningsutbytet för en yta A_0 i ett rum med n st motstrålande ytor med respektive temperaturer och emissional T_1, T_2, \dots, T_n och $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$ kan skrivas som

$$Q = C_s \cdot A_0 \sum_{i=1}^n \epsilon_{oi} F_{oi} \left[\left(\frac{T_0}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 \right]$$

En skenbar övergångskoefficient p g a strålning kan sedan definieras genom att man sätter

$$\alpha_s = \frac{Q}{A_0 \cdot \Delta\vartheta}$$

Q definieras av uttrycket ovan och $\Delta\vartheta$ sätts ofta lika med $\vartheta_0 - \vartheta_L$ där ϑ_L är omgivande lufts temperatur. Man sätter ju ofta totala värmeövergångskoefficienten lika med $\alpha_s + \alpha_k$ och då måste både α_s och α_k vara relaterade till samma temperaturskillnad, skillnaden mellan ytans temperatur och omgivande lufts temperatur. Man brukar emellertid ofta definiera α_s i förhållande till en medelstrålningstemperatur hos omgivande ytor. Om övergångskoefficienten relaterad till en medelstrålningstemperatur, ϑ_m , kallas α'_s , blir sambandet mellan de två övergångskoefficienterna

$$\alpha_s = \alpha'_s \cdot \frac{\vartheta_m - \vartheta_y}{\vartheta_l - \vartheta_y}$$

där

ϑ_y = ytans temperatur

ϑ_l = luftens temperatur

ϑ_m = medelstrålningstemperaturen hos omgivande yta.

Om alla motstrålande ytor har samma temperatur kan man för en yta sätta

$$\alpha_s = 0,04 \cdot \epsilon_{12} \cdot C_s \left(\frac{\frac{1}{2}(T_o + T_m)}{100} \right)^3$$

Värmeövergången vid en yta påverkas även av eventuell kondensation på eller avdunstning från ytan, eller t ex regn på ytan. Man definierar ibland ett värmeövergångstal pga kondensation, α_{kond} . Eftersom strålnings- och strömningsförhållandena vid ytan förändras av kondensationen innebär det en förenkling att direkt summera de olika övergångstalen. Med viss försiktighet kan man emellertid vid överslagsberäkningar sätta

$$\alpha = \alpha_s + \alpha_k + \alpha_{kond}$$

Från inverkan av kondensation och avdunstning bortses i fortsättningen.

I den svenska byggnormen, SBN 1975, anges summan av yttre och inre värmeövergångsmotstånd för vägg och tak mot det fria vara lika med $0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$. Av detta brukar man anse ca $0,20$ höra till ytterväggs insida och $0,05$ till utsidan. Vid beräkning av yttemperaturer på olika ytor anger man emellertid värden på inre övergångsmotståndet, m_i , enligt tabellen nedan.

TAB 2.1. Beräkningsvärden för inre värmeövergångsmotståndet vid beräkning av yttemperatur

Byggnadsdel	m_i ($\text{m}^2\text{C/W}$)	Anmärkning
Fönster	0,12	
Yttervägg med fönster	0,12	Övriga rumsytor mot uppvärmt utrymme
	0,20	Fler än en rumsyta mot uppvärmt utrymme eller det fria
Yttervägg utan fönster	0,25	
Golv	0,25	En yttervägg med fönster
	0,35	Fler än en rumsyta mot uppvärmt utrymme eller det fria
Tak	0,20	En yttervägg med fönster
	0,30	Fler än en rumsyta mot uppvärmt utrymme eller det fria

För värmeövergången mitt på en yttervägg angavs tidigare i SBN 67 $m_i + m_u = 0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$, varav man brukade sätta $m_i = 0,13$ och $m_u = 0,04$. Detta ger $\alpha_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $\alpha_u = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$, vilka värden har använts för de i KAP 4.2 - 4.6 redovisade beräkningarna.

Detta leder givetvis till vissa fel i beräkningarna, främst vad det gäller bedömning av risken för ytkondensation t ex i fönstersmygar. Ett annat fel är att effektbehovet för en byggnad kan underskattas (eller överskattas), eftersom värmeövergången kan variera inom ett stort område även om man kan välja värden som är genomsnittligt korrekta.

Värmeövergången vid ytterytor finns noggrant behandlad i litteraturen, se t ex Brown (1956) och Sandberg (1973). Van Straaten (1967) anger rekommenderade värden på yttre värmeövergångskoefficienter, α_u , för olika länder. Dessa varierar mellan ca 14 och 34 W/m²K. Den för beräkningarna valda yttre värmeövergångskoefficienten ligger troligen något i överkant, varför en beräkning även görs med $\alpha_u = 15$ W/m²K. Denna redovisas i KAP 4.7.

Värmeövergång vid rumsytor

Strålningsövergångskoefficienten vid en yta kan beräknas enligt ovan om man förutsätter stationära temperaturförhållanden och kända temperaturer och emissionstal hos omgivande ytor. Nevander (1961) redovisar en sådan beräkning för ett rum enligt FIG 2.2. För fallet med endast motstrålade väggar och bjälklag med samma temperatur ökar α_s till det dubbla från yttervägghörnet till mitt på väggen, eftersom synfaktorn i hörnet är $\frac{1}{2}$ mot 1 mitt på väggen.

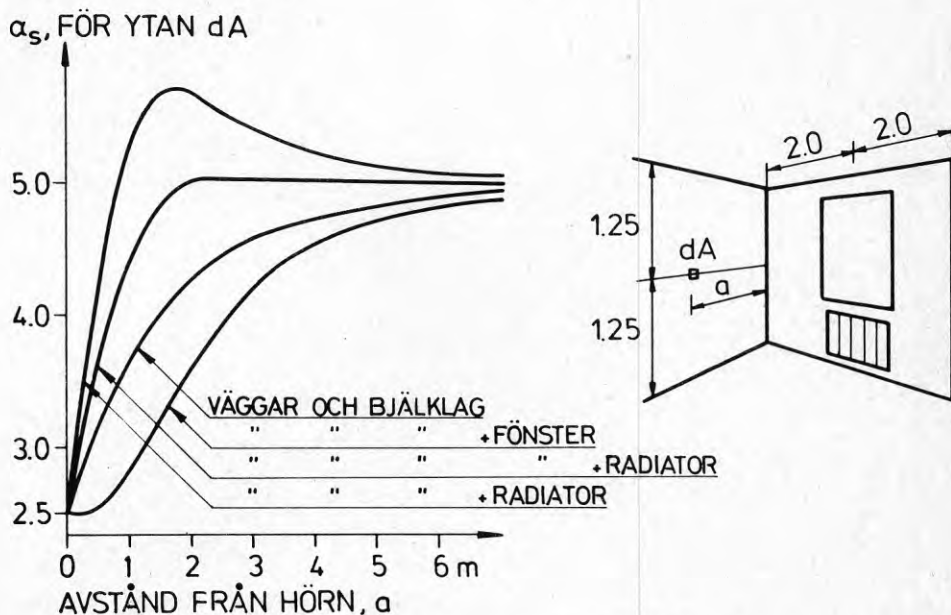


FIG 2.2. Exempel på variation i värmeövergångskoefficient p g a strålning α_s , på olika avstånd från yttervägghörn (Nevander 1961).

För konvektion vid ytor används experimentellt funna samband, vanligen uttryckta med hjälp av något eller några av de dimensionslösa talen

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda}$$

$$Re = \frac{u \cdot l}{\nu}$$

$$Gr = \frac{g \cdot \beta}{\nu^2} \cdot \vartheta$$

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

α_k = värmeövergångskoefficient p g a konvektion, W/m²K

l = längd, m

λ = värmeledningsförmåga, W/m K

u = strömningshastighet, m/s

ν = kinematisk viskositet, m²/s

g = tyngdaccelerationen, m/s²

β = volymutvidgningskoefficient, K⁻¹

a = värmediffusivitet, m²/s

Egenkonvektion vid fria vertikala och horisontella skivor kan representeras i formen

$$Nu_{medel} = C \cdot (Gr \cdot Pr)^n \text{ där}$$

$$Nu_{medel} = \text{genomsnittligt Nusselttal för hela skivan} = \frac{\alpha_{medel} \cdot l}{\lambda}$$

Då strömningen är laminär ($Pr \cdot Gr < 10^8$) gäller

$$Nu_{medel} = C_1 (Gr \cdot Pr)^{0,25}$$

C_1 brukar i litteraturen anges vara ca 0,5 - 0,6.

Den lokala konvektionsövergångskoefficienten på avståndet x från skivans början kan beräknas ur

$$Nu_x = \frac{\alpha_x \cdot x}{\lambda} = \frac{3}{4} \cdot Nu_{medel}$$

Då strömningen blir turbulent gäller

$$Nu = C_2 (Gr \cdot Pr)^{0,33}$$

C_2 brukar anges vara 0,10 - 0,15.

I detta fall är Nusselttalet oberoende av x .

I FIG 2.3 visas α_k för en vertikal vägg enligt ovanstående uttryck som funktion av avståndet från väggens ovkant och temperaturskillnaden mellan luft och yta. Då $Gr \cdot Pr$ blir större än 10^8 antas strömningen bli turbulent, varför α_k blir ungefär oberoende av höjden.

Eftersom ytterväggsytor normalt är kallare än luften är strömningen nedåtriktad och konvektionsövergångstalet störst nära taket. Enligt denna beräkning är variationen i α_k med höjden ganska liten. Det beräknade värdet är ca 2 - 2,5 $W/m^2 K$ vid en temperaturdifferens som är 3 °C. Omslag till turbulent strömning sker i detta fall vid avståndet ca 0,7 m från strömningens teoretiska början. I verkligheten har man emellertid alltid utskjutande detaljer på eller vid en ytterväggsyta där strömningen upplöses och blir turbulent.

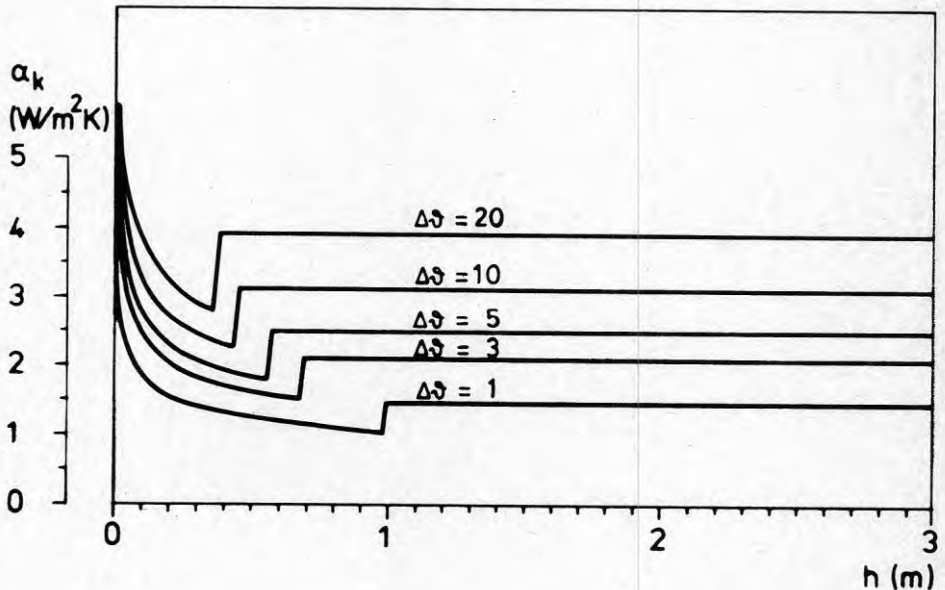


FIG 2.3. Egenkonvektion vid vertikal yta som funktion av avstånd från ytans ovkant och temperaturdifferens mellan yta och luft.

För hela rumsytor anges av Kollmar och Liese (1957) följande uttryck:

$$\begin{array}{ll} \text{varmt golv} & \alpha_k = 2,6 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \\ \text{varmt tak} & \alpha_k = 0,6 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \\ \text{varm vägg} & \alpha_k = 2,0 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \end{array}$$

$\Delta\vartheta$ är differensen mellan ytans temperatur och omgivande lufts temperatur. Med "varm" yta menas en yta vars temperatur är högre än lufttemperaturen. Man kan anta att uttrycket för varmt tak gäller för kallt golv, att uttrycket för varmt golv gäller för kallt tak och att uttrycket för varm vägg gäller även för kall vägg.

Dessa uttryck uppges gälla för oventilerade rum. För ventilerade rum bör α_k vara större.

I FIG 2.4 visas de ovan angivna uttrycken som funktion av temperaturskillnaden mellan ytan och omgivande luft. För ventilerade rum har antagits

$$\begin{array}{ll} \text{tak} & \alpha_u = 3,6 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \\ \text{golv} & \alpha_u = 1,6 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \\ \text{vägg} & \alpha_u = 3,0 \sqrt[4]{\Delta\vartheta} \end{array}$$

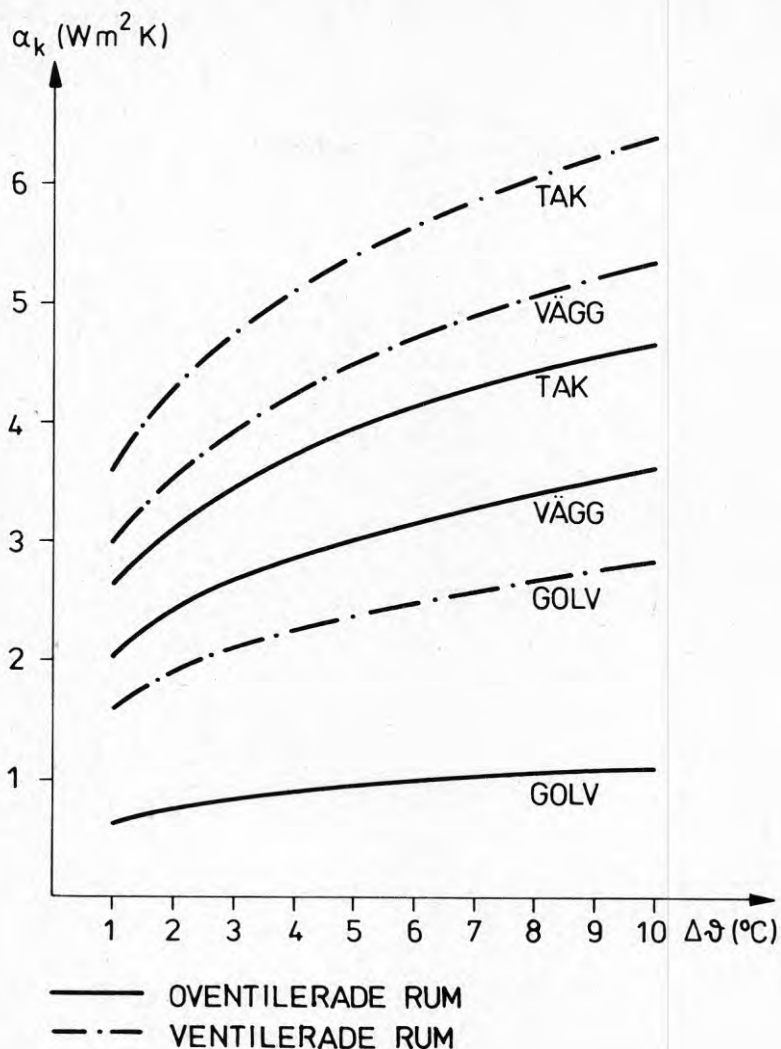


FIG 2.4. Konvektionsövergångstal enligt Kollmar & Liese (1957) som funktion av temperaturdifferensen mellan ytan och omgivande luft.

Mätningar av värmeövergångskoefficienter i ett rum har gjorts av Adamson (1970). Dessa mätningar företogs i ett hörnrum i en enplansvilla. α_i i en punkt på en yta definieras som

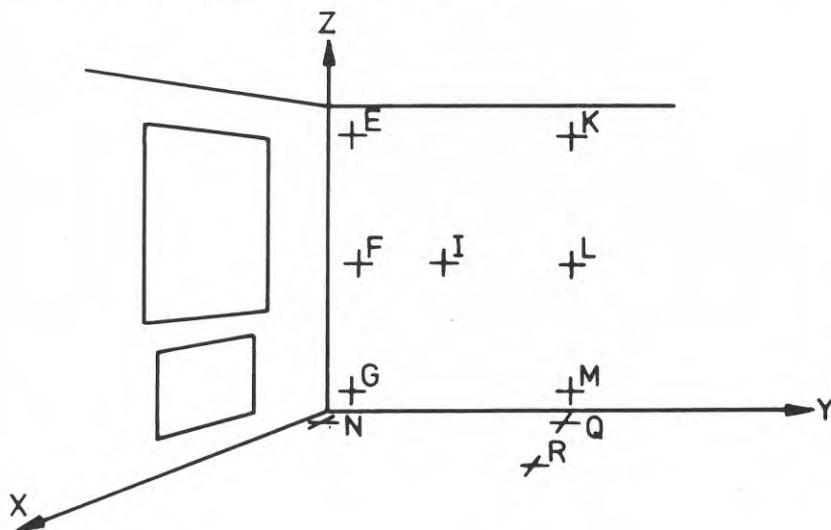
$$\alpha = \frac{Q}{\vartheta_r - \vartheta_y} \quad \text{där}$$

Q = värmeflödet i punkten (W/m^2)

ϑ_r = genomsnittlig rumstemperatur i rummets mitt K eller $^{\circ}\text{C}$

ϑ_y = temperaturen i punkten.

FIG 2.5 visar mätpunkternas placering och mätresultaten för det aktuella fallet. Mätperioden har varit 60 timmar.



Mät-punkt	x (m)	y (m)	z (m)	ϑ_y ($^{\circ}\text{C}$)	α_s ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	α_k ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
E	0	0,20	2,25	18,1	1,0	3,4
F	0	0,20	1,20	17,9	0,9	2,6
G	0	0,20	0,15	17,1	1,7	1,2
I	0	0,95	1,20	18,1	1,2	2,4
K	0	2,00	2,25	18,5	0,7	4,8
L	0	2,00	1,20	18,1	1,5	2,5
M	0	2,00	0,15	17,3	2,1	1,6
N	0,20	0,20	0	16,9	2,0	0,5
Q	0,20	2,00	0	17,0	2,8	-0,9
R	2,00	2,00	0	17,4	3,7	-2,2

FIG 2.5. Mätning av α -värden. Placering av mätpunkter samt medelvärden över en 60-timmars period i januari (Adamson 1970).

Bestämningen av övergångskoefficienterna i ett rum bör göras med ett passningsförfarande eftersom både α_s och α_k är funktioner av yttemperaturen.

För beräkning av inverkan av α_i på värmeflöde och yttemperatur vid köldbryggor används en modell enligt FIG 2.6 nedan. Det är en del av en yttervägg med bjälklagsanslutning, där innerytorna delas in i zoner med olika värmeövergångskoefficienter.

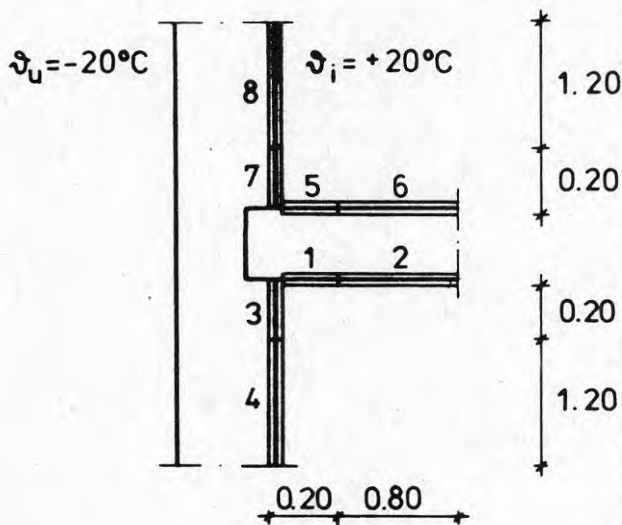


FIG 2.6. Indelning av yttervägg med bjälklagsanslutning i zoner med olika övergångstal.

Två fall beräknas, vilka antas motsvara ett svagt respektive ett kraftigare ventilerat rum. TAB 2.2 nedan anger övergångskoefficienterna för de två fallen, och beräkningsresultaten redovisas i KAP 4.7.

Övergångskoefficienterna uppskattas med hjälp av beräknade yttemperaturer vid $\alpha_i = 7,7 \text{ W/mK}$.

TAB 2.2. Övergångskoefficienter för modellen i FIG 2.5.

ZON	FALL 1			FALL 2		
	α_s	α_k	$\alpha_s + \alpha_k$	α_s	α_k	$\alpha_s + \alpha_k$
1	2,25	4,0	6,25	2,25	5,5	7,75
2	5,0	3,0	8,0	5,0	4,25	9,25
3	2,25	3,0	5,25	2,25	4,5	6,75
4	4,5	2,5	7,0	4,5	4,0	8,5
5	2,25	1,0	3,25	2,25	2,3	4,55
6	5,0	0,8	5,8	5,0	1,8	6,8
7	2,25	1,5	3,75	2,25	2,0	4,25
8	4,5	2,5	7,0	4,5	4,5	9,0

Fönster

Värmeövergången vid fönster är komplicerad. I denna diskussion skall hänsyn inte tas till sol- och himmelsstrålningens inverkan på fönstrets temperatur- och övergångsförhållanden. Vintertid tillförs ett fönster då värme från luft som strömmar upp från radiatorer under fönstret, rumsluft som strömmar ner vid fönstret och strålning från omgivande ytor, golv, tak och väggar.

Strålningsövergångskoefficienten vid fönstret kan enligt tidigare approximativt beräknas ur

$$\alpha_s = 0,04 \cdot \epsilon C_s \left(\frac{\frac{1}{2}(T_y + T_m)}{100} \right)^3$$

α_s hänförs härvid till temperaturskillnaden $\vartheta_y - \vartheta_m$ där ϑ_m (T_m) är medeltemperaturen hos omgivande ytor. Denna brukar vid normala temperaturförhållanden i ett rum vara något lägre än lufttemperaturen.

För den konvektiva övergången vid fönstret kan sättas

$$\alpha_k = 2,2 (\vartheta_1 - \vartheta_y)^{0,25} \quad \text{vid egenkonvektion}$$

$$\alpha_k = 5,8 + 3,9 \cdot u \quad \text{vid påtvingad konvektion}$$

u är medelhastigheten i luftströmningen.

I själva fönstersmygen är α_k litet.

En radiator som är placerad under fönstret ändrar givetvis konvektionsförhållandena kraftigt. FIG 2.7 visar två möjliga fall.

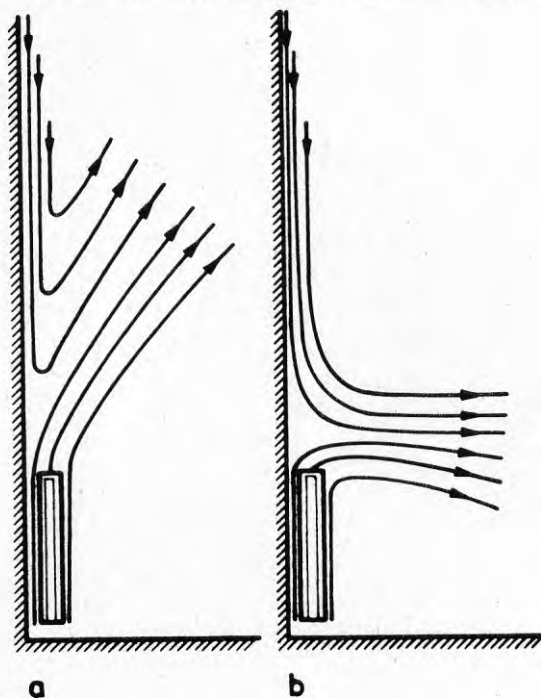


FIG 2.7. Strömningsförlopp vid placering av radiator under kall vertikal yta a) den varma luftströmmen från radiatoren interfererar med den nedåtriktade strömmen från den kalla ytan b) luftströmmen från radiatoren är inte tillräcklig för att hindra luftströmningen ned längs ytan (Efter Fanger 1964).

För det första fallet är risken för ytkondensation på fönstret eller i fönstersmygen obetydlig.

I förhållande till beräkningarna i KAP 4.5 med konstant $\alpha_i = 7,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ är det rimligt att anta att övergångskoefficienten vid själva fönstret är något högre, och att den är lägre på smygens insida. En mera realistisk beräkning av temperaturförhållandena i smygen redovisas i KAP 4.7, och de övergångskoefficienter som används på de olika ytorna visas i FIG 2.8 nedan. α_k har här satts lika med 0 på smygens insida, och övriga övergångskoefficienter har beräknats ur de temperaturförhållanden

som erhållits vid beräkning med $\alpha_i = 7,7$.

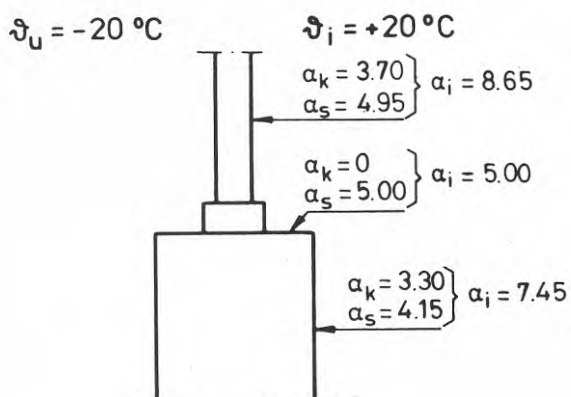


FIG 2.8. Antaganden om övergångskoefficienter i fönstersmyg.

2.3. VÄRMELEDNINGSTAL OCH VÄRMEMOTSTÅND

De värmeledningstal som används är till största delen hämtade ur SBN 67. Eftersom dessa är angivna i kcal/m h $^\circ\text{C}$, har de multiplicerats med faktorn 1,16, för att få enheten W/m K. Tabellen nedan visar de använda värmeledningstalen.

För tilläggsisoleringen har antagits att isoleringsmaterialet ligger i ett regelverk, och att regelandelen är 6% av isoleringens yta. Med isoleringsmaterialets värmeledningstal lika med 0,041 W/m K och reglarnas lika med 0,14 W/m K fås ett resulterande värmeledningstal för tilläggsisoleringen som är 0,047 W/m K. Detta resulterande värmeledningstal har genomgående använts för tilläggsisoleringen, eftersom man på detta sätt slipper göra en tredimensionell beräkning. De fel som denna förenkling ger i beräkningen kan bedömas som mycket små.

För puts har genomgående förutsatts kalkputs då den aktuella byggnadsdelen förekommer fram till ca 1945. I senare byggnadsdelar har antagits kalkcementputs. Detta betyder att av de beräknade konstruktionerna har

putsen på de utvändigt lättbetongisolerade betongväggarna antagits vara kalkcementputs, och i alla övriga konstruktioner kalkputs.

För tegelmurverk har i alla beräkningar förutsatts värmeledningstalet 0,58 W/m K. Detta motsvarar t ex murverk av fulltegel med volymvikten 1600 kg/m³ eller murverk av håltegel med volymvikten 1400 kg/m³.

För murverk av lättbetongblock har använts värmeledningstalet 0,22 W/m K vilket gäller för volymvikten 510 kg/m³. Denna kvalitet började dock inte användas förrän ca 1950. Tidigare användes murverk med volymvikten 600 kg/m³, vilka har ett högre värmeledningstal.

TAB 2.3. Värmeledningsförmåga för olika material.

Material	λ (W/m K)
Tegelmurverk	0,58
Lättbetongmurverk	0,22
Betong	1,75
Trällsplatta	0,08
Trä	0,14
Kalkbruk	0,93
Kalkcementbruk	1,04
Mineralull + regler regelandel 6%	0,047
Lättbetong (utvändig isolering, $\gamma = 400 \text{ kg/m}^3$)	0,14
Tretong	0,46
Tegelplattor	0,34
Tung fyllning	0,23
Murverk av massiva betongblock	1,16

För speciella skikt, som t ex gipsskivor och luftspalter har det i SBN angivna värmemotståndet för skiktet omvandlats till ett fiktivt värmeledningstal, genom att skiktets tjocklek har dividerats med aktuellt värmemotstånd.

3. VAL AV KÖLDBRYGGOR FÖR BERÄKNINGAR

3.1 ALLMÄNT

De köldbryggor som har beräknats i denna undersökning har valts enligt kriteriet att vara vanligt förekommande i byggnader från ca 1900 till 1950, med tyngdpunkten på senare delen av denna tidsperiod. Byggnader från denna tidsperiod utgör en stor del av det befintliga byggnadsbeståndet, och ytterväggarna har dålig isolering enligt nuvarande standard, vilket innebär att tilläggsisolering av ytterväggarna kan vara aktuellt i många fall. Ytterväggarna skall givetvis också vara lämpliga för tilläggsisolering invändigt, vilket medför att kanalmurar inte är medtagna i undersökningen eftersom dessa oftast isoleras i kanalen och köldbryggorna då inte är så betydelsefulla ur ekonomisk synpunkt. De utvalda köldbryggorna förekommer nästan uteslutande i flerfamiljshus. Trähus har inte ansetts vara intressanta, eftersom de köldbryggor som uppstår vid en invändig tilläggsisolering av dessa ytterväggar inte medför några betydande värmeförluster. En beräkning har dock gjorts för fullständighetens skull. Författaren har i ett tidigare arbete (1976) gått igenom material och utförande hos byggnadsdelar från den aktuella tidsperioden. FIG 3.1 som är hämtad från Höglund och Johnsson (1976) visar huvudsakligen förekommande ytterväggsmaterial i flerfamiljshus från ca 1920 - 1970. Under den aktuella tidsperioden dominerar tegel och gasbetongmurverk kraftigt. Tonvikten är i beräkningarna lagd på dessa ytterväggstyper.

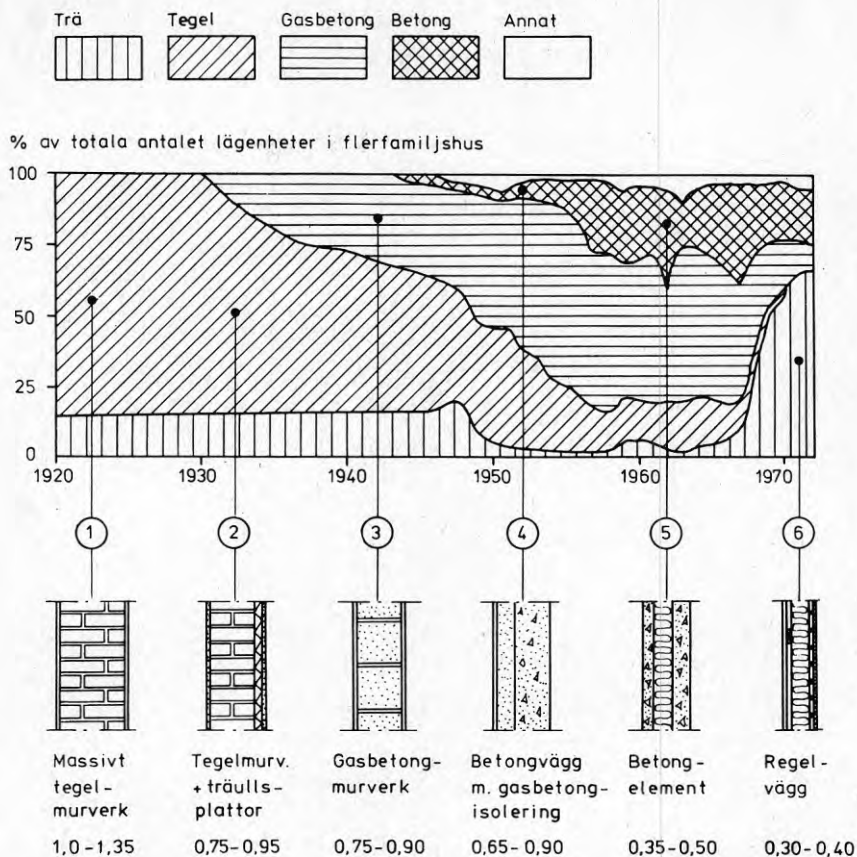


FIG 3.1. Huvudsakligt byggnadsmaterial i ytterväggar i flerfamiljshus samt exempel på vanligt förekommande väggtyper (Höglund och Johnsson (1976)).

3.2. YTTERVÄGGSTYPER

De beräknade köldbryggorna hänför sig nästan uteslutande till fyra ytterväggstyper:

A. 1½-stens tegelvägg

Denna vägg är mycket vanlig i flerfamiljshus i hela landet fram till ca 1940. Väggarna var ofta putsade både ut- och invändigt. I beräkningarna har väggarna dock förutsatts vara oputsade på utsidan. k-värdet för denna vägg är ca 1,1 - 1,2 W/m² K.

B. Tegelvägg invändigt isolerad med träullsplatta.

I början av 30-talet började man göra tunnare tegelväggar som var invändigt isolerade med träullsplatta, vilken sattes i bruk och putsades invändigt. Vanliga kombinationer var $1\frac{1}{2}$ -stens tegel + 2,5 cm träullsplatta och 1-stens tegel + 5 cm träullsplatta. Den senare kombinationen har valts för beräkningarna i denna rapport. Väggens k-värde är ca $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

C. Gasbetongmurverk.

Denna yttervägg började också användas i början av 30-talet. Väggen murades av block, 250 - 300 mm tjocka, beroende på påkänningar och klimat. Väggarna var ut- och invändigt putsade. I denna undersökning har valts 250 mm tjockt gasbetongmurverk för beräkningarna. Väggens k-värde är ca $0,7 - 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

D. Utvändigt isolerad betongvägg.

De allra första ytterväggarna av betong utfördes med invändig isolering av träullsplatta. Eftersom man fick problem med sprickbildningar i dessa väggar, övergick man till att göra väggarna utvändigt isolerade. Isoleringsmaterialet brukade vara gasbetong. Den yttervägg som valts för beräkningen består av 15 cm betong utvändigt isolerad med 10 cm gasbetong med volymvikten 400 kg/m^3 . k-värdet för en sådan vägg är ca $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

E. Plankvägg.

Som enda exempel på yttervägg av trä har valts en plankvägg. Den förekommer i byggnader från ca 1910 - 1945. Den valda väggen består av stående 3"plank, med träpanel på in- och utsidan. k-värdet för denna vägg är ca $1,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

3.3. KÖLDBRYGGOR I YTTERVÄGGARNA

De beräknade köldbryggorna är av fyra typer: bjälklagsanslutningar, innerväggsanslutningar, balkongplatta och fönstersmygar. Dessutom har ytterväggshörn beräknats för de fyra stenväggstyperna. Om man räknar efter innermått ger ytterväggshörnen extra värmeförluster, medan om man räknar efter yttermått verkar hörnen i stället som en extra isolering. Takfots- och källarväggsanslutningar eller socklar finns inte med i undersökningen.

3.3.1. Bjälklagsanslutningar.

Betongbjälklag förekommer som våningsbjälklag i stenhusen under 1930-talet och framåt. Dessa utfördes först med järnbalkar, senare utan. Bjälklagets ovansida försågs med fyllning av tillgängligt material och golvunderlag. Vanligt golvunderlag var betong eller tretong (sågsånsinblandad betong). I tegelmurar lades betongbjälklagen upp i muren med $\frac{1}{2}$ -stens (12 cm) upplag. Upplag i gasbetongmurverk brukade vara 12 - 15 cm. Det förekom ibland, speciellt i byggnader med invändigt isolerade tegelväggar, att bjälklaget kantisolerades med ca 2 - 3 cm träullsplatta. Ibland isolerades bjälklagets undersida med träullsplatta som drogs in ca 50 cm från ytterväggen.

I nästan alla tegelhus fram till på 1940-talet gjordes våningsbjälklagen som träbjälklag med tung fyllning mellan kraftiga bjälkar, med blindbotten och kanske spräckpanel och puts på undersidan och golvträ på översidan. Dessa bjälklag utgör inte någon köldbrygga i sig, utan tvärtom en extra isolering på väggen. Då väggen isoleras invändigt kommer anslutningen emellertid att verka som en köldbrygga.

Följande bjälklagsanslutningar har valts för beräkningarna i

Yttervägg typ A

A.1.1.1. 16 cm betongbjälklag upplagt i muren med $\frac{1}{2}$ -stens upplag. Övergolv av 4 cm tretong, putsad undersida.

A.1.1.2. Samma som A.1.1.1. men med bjälklaget kantisolerat med 3 cm träullsplatta.

A.1.2.1. Bjälklag av 5" x 10" bjälkar med 20 cm tung fyllning mellan bjälkarna, 1" blindbotten, 1" luftspalt, 1" spräckpanel + puts med vassmatta. Övergolv av $1\frac{1}{2}$ " trä.

Yttervägg typ B

B.1.1.1. Samma bjälklagskonstruktion som A.1.1.1.

B.1.1.2. Samma bjälklagskonstruktion som A.1.1.2.

Yttervägg typ C

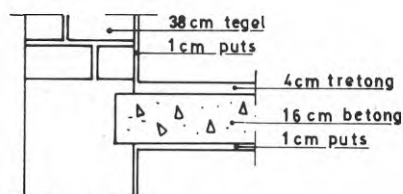
C.1.1.1. 16 cm betongbjälklag upplagt i muren med 12,5 cm upplag. Övergolv av regler 2" x 4" c 600 mm med fyllning av koksaska. Golvbeläggning av $11\frac{1}{4}$ " golvträ.

Yttervägg typ D

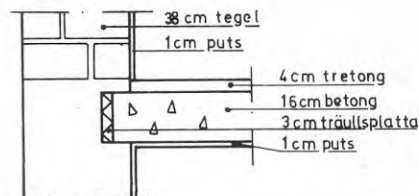
D.1.1.1. 16 cm betongbjälklag med övergolv av 3 cm betong. Detta bjälklag utgör ingen köldbrygga i ytterväggen förrän efter en invändig tilläggsisolering.

Yttervägg typ E

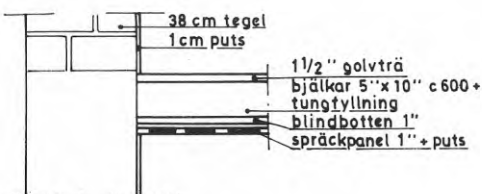
E.1. Träbjälklag av 9" bjälkar c 600 med 6" lätt fyllning, 1" blindbotten, luftspalt, 1" underpanel och golv av 1½" golvträ.



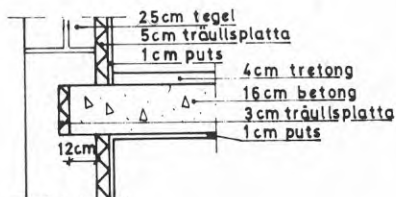
A.1.1.1



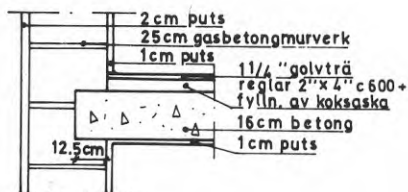
A.1.1.2.



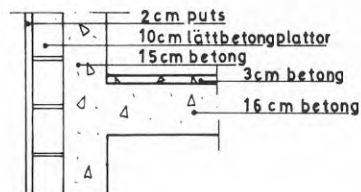
A.1.2.1.



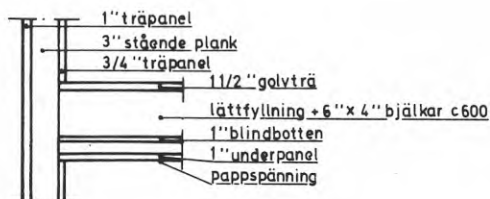
B.1.1.2.



C.1.1.1.



D.1.1.1.



E.1.

FIG 3.2. Bjälklagsanslutningar.

3.3.2. Innerväggsanslutningar

De innerväggsanslutningar som har valts är nästan uteslutande anslutningar mellan yttervägg och bärande innervägg. Detta är naturligt, eftersom de icke bärande innerväggarna medför köldbryggor av liten betydelse även efter en invändig tilläggsisolering. Ett exempel på anslutning mellan yttervägg och en s k plattvägg finns dock redovisat. Bärande innerväggar i tegelhus utfördes oftast av 1-stens eller $1\frac{1}{2}$ -stens tegelmurverk.

I gasbetonghusen murades innerväggarna av tegel eller massiva betongblock. Anslutningarna verkar oftast ha gjorts utan slits i ytterväggen.

Yttervägg typ A

A.2.1.1. Innervägg av 1-stens tegel, putsad på båda sidor.

A.2.2.1. Icke bärande innervägg av 7 cm tegelplattor, putsad på båda sidor.

Yttervägg typ B

B.2.1.1. Samma som A.2.1.1.

B.2.2.1. Innervägg av 20 cm massiva betongblock, putsad på båda sidor. Ingen slits i muren. Väggen bryter givetvis igenom träullsplatteisoleringen.

Yttervägg typ C

C.2.1.1. Innervägg av 20 cm massiva betongblock, putsad på båda sidor. 10 cm slits i ytterväggen.

C.2.1.2. Samma som C.2.1.1. men utan slits.

Yttervägg typ D

D.2.1.1. Innervägg av 15 cm betong.

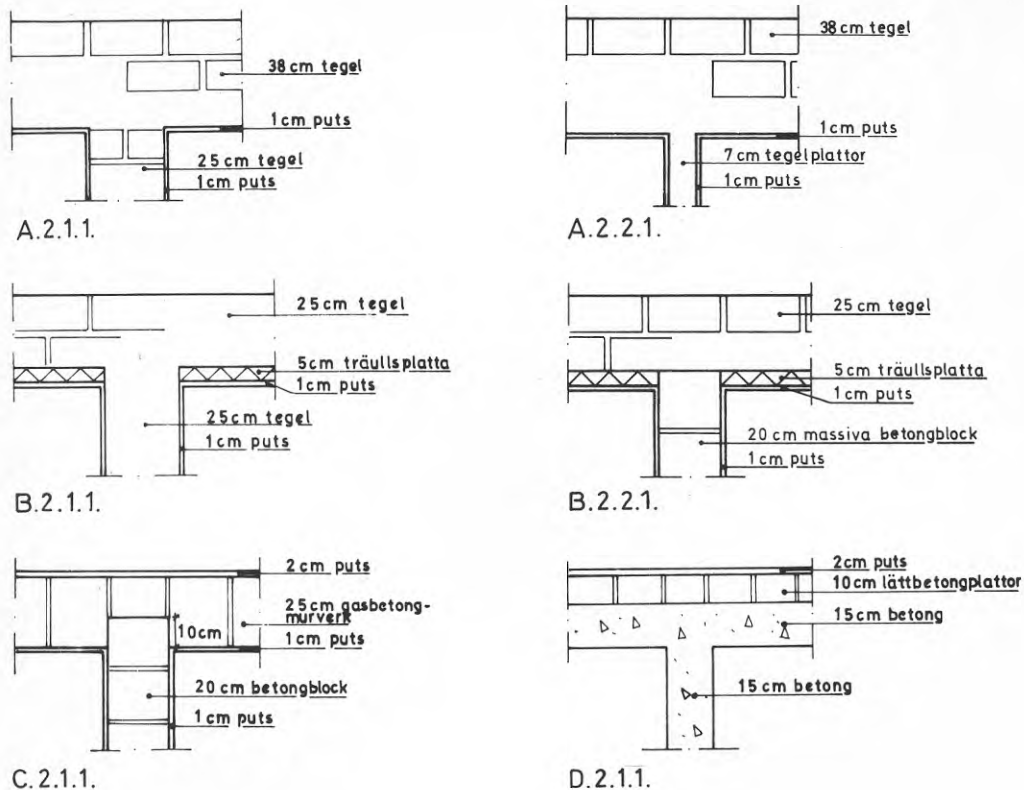


FIG 3.3. Innerväggsanslutningar.

3.3.3. Balkongplattor.

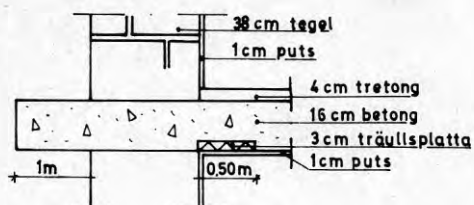
För alla balkongplattor har antagits samma konstruktion, d v s 16 cm betongplatta som sticker ut 1 m från ytterväggen. Golvmaterial är samma som för bjälklagen i respektive hustyper.

A.4.1. Övergolvs av 4 cm tretong. Bjälklaget isolerat på undersidan med 3 cm träullsplatta, indraget 50 cm från ytterväggens insida. Puts på undersidan.

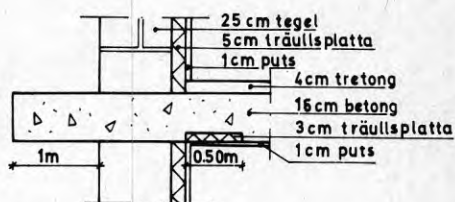
B.4.1. Samma som A.4.1.

C.4.1. Övergolvs av 2" x 4" reglar c 600 med fyllning av koksaska, 11/4" golvträ. Bjälklaget isolerat på undersidan på samma sätt som A.4.1.

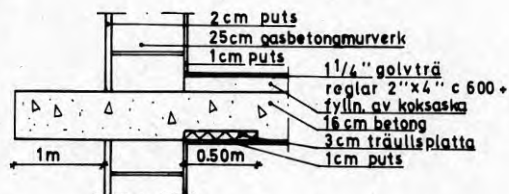
D.4.1. Övergolvs av 3 cm betong. Ingen isolering.



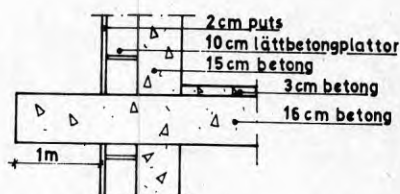
A.4.1.



B.4.1.



C.4.1.



D.4.1.

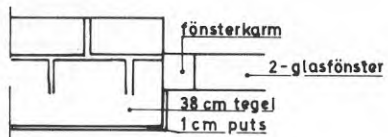
FIG 3.4. Balkongplattor.

3.3.4. Fönstersmygar.

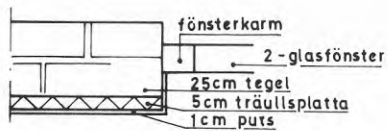
I alla fönstersmygar har antagits en 10 cm bred karm av trä.

I tegelväggarna har karmen antagits placerad centriskt i den bärande tegeldelen. För $1\frac{1}{2}$ -stens tegelväggen har dock ett par andra placeringar undersökts. Smygarnas insida är putsad.

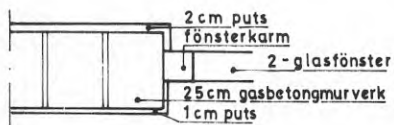
A.3.1 är fönstersmyg i $1\frac{1}{2}$ -stenstegelväggen. Här har två alternativa placeringar av karmen undersökts. Dessa avser placering av karmens centrum i fönstrets yttre respektive inre fjärdedelspunkt.



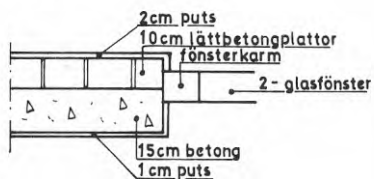
A.3.1.



B.3.1.



C.3.1.



D.3.1.

FIG. 3.5. Fönstersmygar.

4. BERÄKNINGAR AV VÄRMEFÖRLUSTER GENOM KÖLDBRYGGOR VID VARIERANDE INVÄNDIG ISOLERTJOCKLEK

4.1. ALLMÄNT

I följande avsnitt redovisas de beräknade värmeförlusterna genom de valda köldbryggorna. Varje köldbrygga är beräknad dels utan tilläggsisolering dels med invändig tilläggsisolering. Beräkningarna är i de flesta fall gjorda med isoleringstjocklekarna 5, 7, 10, 12 och 15 cm. Vissa fall är dock inte beräknade med 7 och 12 cm isolering. Invändig beklädnad har i samtliga fall antagits vara en 13 mm gipsskiva. För fönstersmygar har utförandet av isoleringen i själva smygen varierats. Detta diskuteras i KAP 4.5. De i KAP 4.2. - 4.5 redovisade fallen är alla beräknade med $\alpha_i = 7,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ och $\alpha_u = 25,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. I KAP 4.7 visas resultaten av beräkningen med varierande invändigt övergångstal.

Det extra värmeflödet genom en köldbrygga kan definieras på olika sätt. Ett sätt är att minska det datorberäknade värmeflödet genom ytterväggen inklusive köldbrygga med det värmeflöde som erhålls genom en lika lång bit av ytterväggen utan köldbrygga. Ett annat sätt som ibland kan vara att föredra vid praktiska beräkningar av värmeförlusterna är att fördela det extra värmeflödet på ytterväggens innermått. Principerna för de båda sätten visas i FIG 4.1. Sambandet mellan de båda sätten att ange det extra värmeflödet genom köldbryggan blir

$$Q_e^{II} = Q_e^I + k \cdot d \cdot (\vartheta_i - \vartheta_u) \text{ där}$$

Q_e^{II} = extra värmeflöde genom köldbryggan fördelat på innermått

Q_e^I = extra värmeflöde genom köldbryggan jämfört med en lika lång yttervägg utan köldbrygga

k = k-värdet för ytterväggen utan köldbrygga

d = köldbryggans bredd

ϑ_i, ϑ_u = temperaturen på in- respektive utsidan av ytterväggen

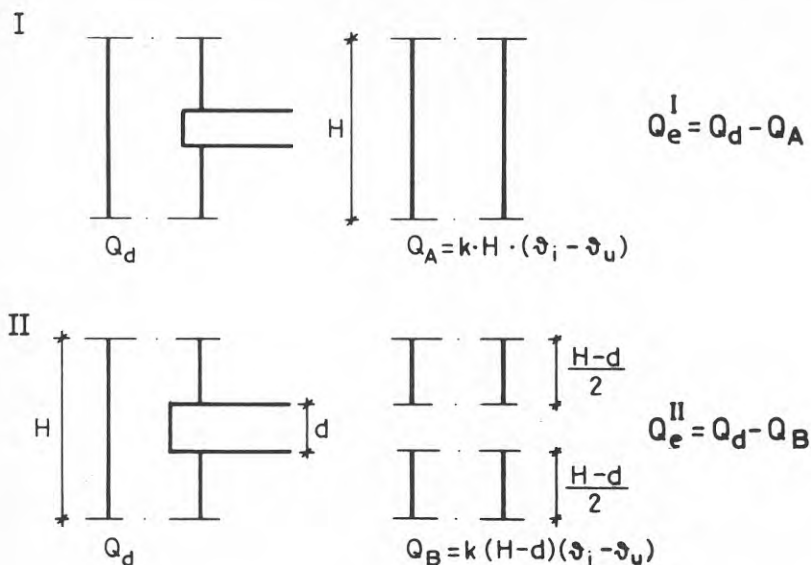


FIG 4.1. Sätt att beräkna extra värmefflöde genom köldbryggor.

I nedanstående tabeller redovisas det extra värmefflödet per längdmeter köldbrygga och vid 1 grads temperaturskillnad.

För bjälklags- och innerväggsanslutningar är det extra värmefflödet beräknat enligt båda ovannämnda definitionerna.

För ytterväggshörnen används innermått vid beräkningen av det extra värmefflödet. Det extra värmefflödet genom fönstersmygarna kan beräknas på ett speciellt sätt, vilket beskrivs i KAP 4.5.

I tabellerna redovisas också de beräknade hörntemperaturerna vid innetemperaturen $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och utetemperaturen $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Det bör observeras att detta inte är de verkliga yttertemperaturerna, eftersom beräkningarna är schablonmässigt gjorda med samma övergångstal på alla invändiga ytor. I KAP 4.7 visas vilken inverkan övergångstalet kan ha på yttertemperaturen. Temperaturerna är medtagna endast för att visa vilken inverkan den invändiga isoleringen har på temperaturen i hörn och fönstersmygar. De får dock inte ses som några absolutvärden.

4.2. BJÄLKLAGSANSLUTNINGAR

TAB 4.1 visar extra värmeflöde och yttemperaturer för de i KAP 3.3.1 beskrivna köldbryggorna. För varje väggkonstruktion anges dessutom det teoretiska k-värdet för väggen utan köldbrygga.

TAB 4.1. Extra värmeflöde för bjälklagsanslutningar vid varierande invändig isolering

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q_e^I (W/m K)	Q_e^{II} (W/m K)	ϑ_{min} (°C)
A.1.1.1.	0	1,20	0,06	0,31	13,3
1½-stens tegelmur	5	0,51	0,29	0,40	11,6
bjälklagsanslut-	7	0,42	0,32	0,41	11,7
ning av betong	10	0,33	0,34	0,41	11,9
	12	0,30	0,35	0,41	12,1
	15	0,25	0,36	0,41	12,4
A.1.1.2.	0	1,20	0,00	0,26	14,3
Som A.1.1.1.	5	0,51	0,27	0,38	14,0
bjälklaget kant-	7	0,42	0,30	0,39	14,0
isolerat	10	0,33	0,33	0,40	14,1
	12	0,30	0,34	0,40	14,2
	15	0,25	0,34	0,39	14,3
A.1.2.1.	0	1,20	-0,11	0,29	11,1
1½-stenstegelmur	5	0,51	0,03	0,21	15,5
bjälklagsanslut-	7	0,42	0,05	0,20	15,6
ning av trä	10	0,33	0,07	0,18	15,6
	15	0,25	0,08	0,16	16,3
B.1.1.1.	0	0,81	0,32	0,49	11,3
1-stenstegelmur +	5	0,42	0,40	0,49	11,4
5 cm träullsplatta	7	0,35	0,41	0,49	11,7
betongbjälklag	10	0,29	0,42	0,48	12,0
	12	0,26	0,41	0,47	12,2
	15	0,22	0,41	0,45	12,6

TAB 4.1. Extra värmefflöde för bjälklagsanslutningar vid varierande invändig isolering

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q_e^I (W/m K)	Q_e^{II} (W/m K)	ϑ_{min} (°C)
B.1.1.2	0	0,81	0,25	0,42	12,4
Som B.1.1.1.	5	0,42	0,36	0,45	12,1
med bjälklaget	7	0,36	0,38	0,45	12,3
kantisolerat	10	0,29	0,38	0,44	12,5
	12	0,26	0,39	0,44	12,7
	15	0,22	0,38	0,43	13,0
C.1.1.1.	0	0,75	0,05	0,28	13,8
25 cm gasbetong-	5	0,41	0,14	0,26	12,9
murade betong-	7	0,35	0,15	0,25	12,9
bjälklag	10	0,28	0,15	0,23	12,9
	12	0,25	0,15	0,22	12,9
	15	0,22	0,14	0,20	12,8
D.1.1.1.	0	1,01	0,02	0,21	15,5
Utvändigt lätt-	5	0,47	0,26	0,35	12,6
betongisolerad	7	0,39	0,30	0,37	12,6
betongvägg med	10	0,31	0,34	0,40	12,6
betongbjälklag	12	0,28	0,35	0,40	12,7
	15	0,24	0,36	0,41	12,9
E.1.1.1.	0	0,98	-0,08	0,19	12,9
Plankvägg med	5	0,47	0,02	0,16	14,8
träbjälklag	7	0,39	0,04	0,15	15,2
	10	0,31	0,05	0,13	15,7
	12	0,28	0,05	0,13	16,0
	15	0,23	0,05	0,12	16,4

Det extra värmefflödet genom köldbryggorna, Q_e^I , ökar i början snabbt med ökande invändig isolertjocklek, för att sedan plana ut och i vissa fall minska vid stora isolertjocklekar. I FIG 4.2. visas extra värmefflödet, Q_e^I , som funktion av invändig isolertjocklek, d , för ett par av de beräknade bjälklagsanslutningarna.

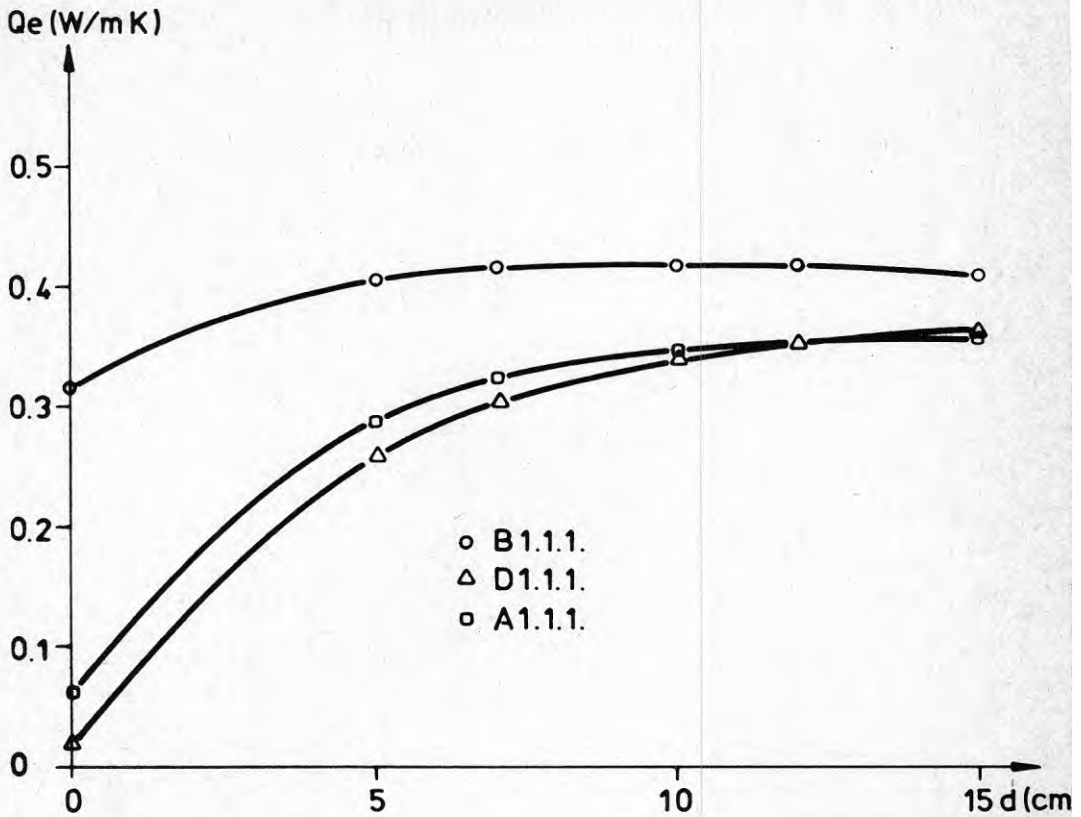


FIG 4.2. Extra värmeflödet genom köldbryggor som funktion av tjocklek för tilläggsisolering.

Ökningen av extra värmeflöde med isolertjockleken beror delvis på den valda definitionen. Ju mera isolering av omgivande vägg, desto mindre är värmeflödet genom den del av väggen som köldbryggan ersätter, och det extra värmeflödet blir därför större. För de bjälklagsanslutningar där bjälklaget i sig inte utgör någon köldbrygga före tilläggsisoleringen blir det extra värmeflödet, Q_e^I , negativt. Detta beror på den valda definitionen. Värmeflödet ut genom anslutningen är ju mindre än om anslutningen inte hade funnits, eftersom denna nu verkar som extra isolering.

I tabellen syns inverkan av kantisolering av bjälklaget vid jämförelse mellan A.1.1.1. och A.1.1.2. Inverkan på värmeförlusterna är tydlig då omgivande vägg är dåligt isolerad, men blir mindre märkbar då isoleringen

ökar. På temperaturen i hörnen har kantisoleringen dock en tydlig inverkan. Temperatursänkningen i hörnen vid övergång från 0 till 5 cm invändig tilläggsisolering beror på deformationen av temperaturfältet kring köldbrygga, vilket visas i isotermdiagrammen i FIG 4.3.

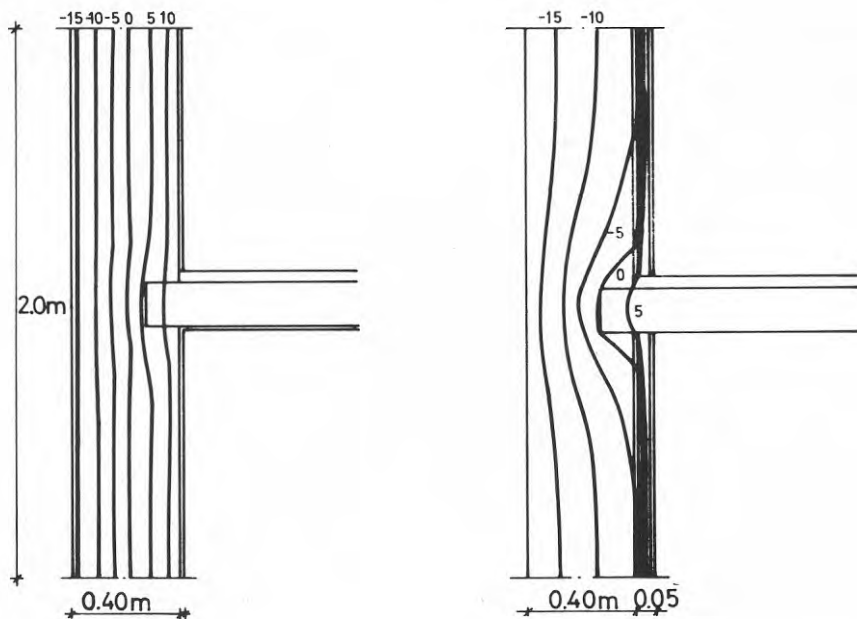


FIG 4.3. Temperaturfält vid bjälklagsanlutning A.1.1.1. med a) ingen invändig tilläggsisolering b) 5 cm invändig tilläggsisolering.

Bjälklagsanslutning A.1.1.1. har också beräknats med 5 respektive 10 cm utvändigt tilläggsisolering. Köldbryggeeffekterna är i detta fall helt försumbara.

TAB 4.2. Extra värmeflöde genom utvändigt tilläggsisolerad köldbrygga

Köldbrygga	Utvändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q_e^I (W/m K)	Q_e^{II} (W/m K)	ϑ_{min} (°C)
A.1.1.1.	5	0,51	0,02	0,13	17,1
	10	0,33	0,01	0,07	18,1

4.3. INNERVÄGGSANSLUTNINGAR

I TAB 4.3. visas extra värmefflöde och lägsta beräknade yttemperatur för de i KAP 3.3.2 beskrivna köldbryggorna.

TAB 4.3. Extra värmefflöde för innerväggsanslutningar med varierande invändig isolering.

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e ^I (W/m K)	Q _e ^{II} (W/m K)	θ _{min} (°C)
A.2.1.1.	0	1,20	0,00	0,32	12,8
1½-stens tegel- vägg innervägg av 1-stenstegel	5 10 15	0,51 0,33 0,25	0,18 0,22 0,24	0,32 0,31 0,31	11,6 12,4 13,0
A.2.2.1.	0	1,20	0,00	0,08	14,1
1½-stenstegelvägg icke bärande inner- vägg av tegelplattor	5 7 10 12 15	0,51 0,42 0,33 0,29 0,25	0,09 0,10 0,10 0,10 0,10	0,13 0,13 0,12 0,12 0,11	13,8 14,2 14,9 15,1 15,6
B.2.1.1.	0	0,81	0,15	0,37	12,8
1-stens tegelvägg med putsad träullsplatta innervägg av 1-stens- tegel	5 7 10 12 15	0,42 0,36 0,29 0,26 0,22	0,24 0,25 0,25 0,25 0,25	0,35 0,35 0,33 0,32 0,31	12,3 12,6 13,0 13,3 13,7
B.2.2.1	0	0,81	0,21	0,39	13,0
1-stenstegelvägg med putsad träullsplatta innervägg av betong- block	5 10 15	0,42 0,29 0,22	0,31 0,33 0,32	0,40 0,39 0,37	12,9 13,3 13,8
C.2.1.1.	0	0,75	0,05	0,28	13,8
25 cm gasbetongmurverk innervägg av betong- block	5 7 10 12 15	0,41 0,35 0,28 0,25 0,22	0,14 0,15 0,15 0,15 0,14	0,26 0,25 0,23 0,22 0,20	12,9 12,9 12,9 12,9 12,8

TAB 4.3. Extra värmefflöde för innerväggsanslutningar med varierande invändig isolering.

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e ^I (W/m K)	Q _e ^{II} (W/m K)	θ _{min} (°C)
C.2.1.2.	0	0,75	0,00	0,17	16,8
Som C.2.1.1. utan slits i ytterväggar	5	0,41	0,11	0,20	16,4
	10	0,28	0,16	0,22	16,4
	15	0,22	0,17	0,22	16,4
D.2.1.1.	0	1,01	0,01	0,16	15,7
Utvändigt lättbetong- isolerad betongvägg	5	0,47	0,24	0,31	12,7
	7	0,39	0,27	0,33	12,6
med innervägg av betong	10	0,31	0,30	0,35	12,7
	12	0,28	0,31	0,36	12,8
	15	0,24	0,32	0,36	13,0

4.4. BALKONGPLATTOR

I TAB 4.4 visas extra värmefflöde och lägsta beräknade yttemperaturer för de i KAP 3.3.3 beskrivna köldbryggorna.

TAB 4.4. Extra värmefflöde för balkongplattor vid varierande invändig isolering

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e ^I (W/m K)	Q _e ^{II} (W/m K)	θ _{min} (°C)
A.4.1.	0	1,20	0,22	0,47	11,6
1½-stens tegelvägg	5	0,51	0,34	0,45	11,8
16 cm genomgående betongplatta bjälk- laget isol. under- till med träulls- platta	7	0,42	0,36	0,45	11,9
	10	0,33	0,37	0,44	12,3
	12	0,29	0,37	0,43	12,5
	15	0,25	0,37	0,43	12,7
B.4.1.	0	0,81	0,33	0,50	12,0
1-stens tegelvägg	5	0,42	0,38	0,47	12,5
med 5 cm träulls- platta. Plattan som	7	0,36	0,39	0,47	12,8
	10	0,29	0,39	0,45	13,1
A.4.1.	12	0,26	0,39	0,44	13,4
	15	0,22	0,37	0,42	13,7

TAB 4.4. Extra värmefflöde för balkongplattor vid varierande invändig isolering

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e ^I (W/m K)	Q _e ^{II} (W/m K)	Δ _{min} (°C)
C.4.1.	0	0,75	0,30	0,50	11,2
25 cm gasbetong-	5	0,41	0,33	0,44	13,5
murverk genomgående	7	0,35	0,34	0,43	13,8
16 cm betongplatta,	10	0,28	0,34	0,41	14,3
övergolv av trä	12	0,25	0,34	0,40	14,5
	15	0,22	0,33	0,39	14,8
D.4.1.	0	1,01	0,54	0,73	11,6
Utvändigt lätt-	5	0,47	0,54	0,63	9,7
betongisolerad	7	0,39	0,54	0,62	9,9
betongvägg, genom-	10	0,31	0,54	0,60	10,3
gående 16 cm betong-	12	0,28	0,54	0,59	10,6
platta	15	0,24	0,53	0,57	11,1

Köldbrygga A.4.1. har även beräknats med 5 respektive 10 cm utvändig tilläggsisolering.

TAB 4.5. Extra värmefflöde genom balkongplatta vid utvändig tilläggsisolering.

Köldbrygga	Utvändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e ^I (W/m K)	Q _e ^{II} (W/m K)	Δ _{min} (°C)
A.4.1.	5	0,51	0,40	0,62	14,2
	10	0,33	0,44	0,51	15,1

Genomgående balkongplattor av betong är kraftiga köldbryggor. Man försöker därför ofta bryta dem med någon typ av kantisolering. Detta medför emellertid att armeringen i plattan måste ökas, vilket motverkar kantisoleringens effekt. I dessa beräkningar har inte tagits hänsyn till detta.

Värmeförlusterna på grund av balkongplattan blir större vid utvändig än invändig tilläggsisolering av ytterväggen. Detta beror på att betongplattans utkragning blir mindre då isoleringen görs utvändigt. Utkragningen verkar nämligen som en extra isolering på väggen. Det farligaste fallet

är om betongplattan är avskuren jäms med ytterväggen.

4.5. FÖNSTERSMYGAR

I TAB 4.6 visas extra värmefflöde och lägsta beräknade invändiga yttemperaturer för de i KAP 3.3.4 beskrivna fönstersmygarna. Det extra värmefflödet har här jämförts med den s k k-värdesmetoden på det sättet att den konstruktionen inklusive karm och fönster snittats upp i sina respektive delar och det endimensionella värmefflödet genom varje del beräknats. Det extra värmefflödet har sedan beräknats som skillnaden mellan värmefflödet ut genom konstruktionens yttre begränsningsyta och summan av de endimensionella delarna.

Strålnings- och konvektionsförhållandena i fönstersmygar är komplicerade och ofullständigt kända, varför resultaten bör tas med en viss försiktighet.

I nedanstående tabell har isoleringen antagits utförd genom att den dragits fram och avslutats jäms med ytterväggens anslutning till fönstret. Vid fallet med fönstersmygar finns det ingen anledning att skilja på fall med ytter- och innermått.

TAB 4.6. Extra värmefflöde genom fönstersmygar vid varierande invändig tilläggsisolering.

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e (W/m K)	θ _{min} (°C)
A.3.1.	0	1,20	0,12	8,8
1½-stens-	5	0,51	0,25	5,4
tegelvägg	7	0,42	0,27	5,2
	10	0,33	0,29	4,9
	12	0,29	0,31	4,8
	15	0,25	0,31	4,7
B.3.1.	0	0,81	0,14	6,7
1-stens tegelvägg	5	0,42	0,21	1,9
+ 5 cm träullsplatta	7	0,36	0,21	1,6
	10	0,29	0,22	1,4
	15	0,22	0,24	1,2

TAB 4.6. Extra värmefflöde genom fönstersmygar vid varierande invändig tilläggsisolering.

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e (W/m K)	ϑ _{min} (°C)
C.3.1.	0	0,75	0,03	13,8
25 cm gasbetong- murverk	5	0,41	0,07	11,8
	7	0,35	0,09	11,6
	10	0,28	0,10	11,3
	15	0,22	0,11	11,1
D.3.1.	0	1,01	0,10	13,4
Betongvägg utvändigt isolerad med lätt- betong	5	0,47	0,15	5,9
	7	0,39	0,17	5,1
	10	0,31	0,19	4,4
	15	0,24	0,22	3,6

De låga temperaturerna i fönstersmygarna uppträder invid karmen. Dessa temperaturer kan givetvis inte ses som några absoluttemperaturer, eftersom övergångsförhållandena i smygen inte överensstämmer med verkligheten. Det är emellertid intressant att se hur temperaturen i smygen sjunker då väggen isoleras invändigt. I FIG 4.4. visas det beräknade temperaturfältet i fönstersmyg A.3.1. d v s anslutning i 1½-stenstegelvägg, dels utan dels med 10 cm invändig tilläggsisolering + beklädnad.

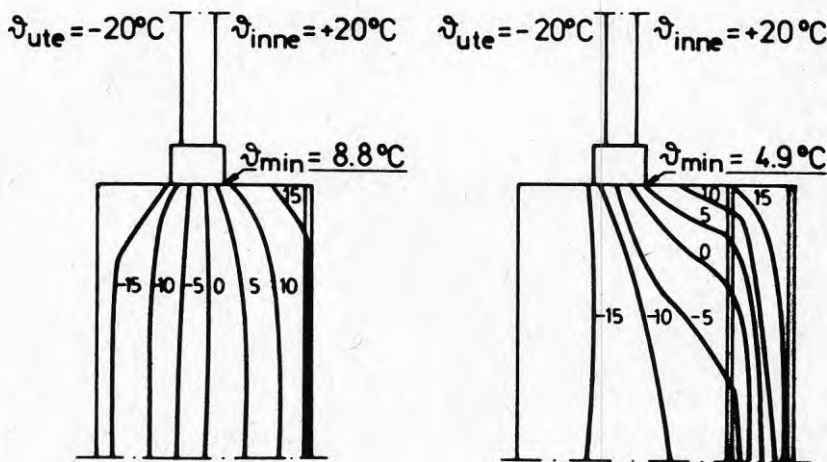


FIG 4.4. Temperaturfält i fönstersmyg med och utan invändig tilläggsisolering.

Temperaturen i fönstersmygen är intressant med hänsyn till risken för kondensation efter en invändig tilläggsisolering av ytterväggen. Förutsättningen för dessa beäkningar är emellertid att det inte finns plats att göra någon isolering av smygens insidor. Temperaturen påverkas emellertid av detaljlösningen av tilläggsisoleringen.

För fönstersmygen i den massiva tegelväggen har ett par olika lösningar studerats. FIG 4.5. visar tre olika lösningar av smygens isolering, och beräknade temperaturer och extra värmeflöden visas i TAB 4.7. Alternativ 1 innebär att en 9 mm träfiberskiva satts direkt mot den invändiga ytan. I alternativ 2 har träfiberskivan spikats mot en smal list, så att det finns ett luftmellanrum som är 5 mm mellan invändig puts och träfiberskivan. I alternativ 3 har smygen isolerats med 2 cm mineralull, $\lambda = 0,041 \text{ W/m K}$, och täckts med en 9 mm träfiberskiva.

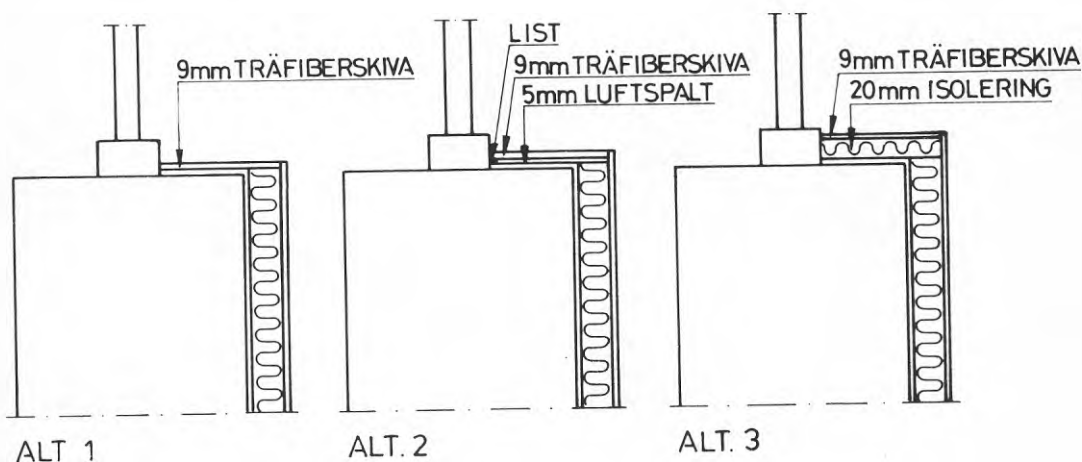


FIG 4.5. Olika alternativ för anslutning av invändig isolering till fönstersmyg A.3.1.

TAB 4.7. Extra värmefflöde och lägsta beräknade yttemperaturer för fönstersmygarna i FIG 4.5.

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	Q_e (W/m K)	ϑ_{\min} (°C)
A.3.1. alt 1	5	0,10	9,5
A.3.1. alt 2	5	0,14	10,4
A.3.1. alt 3	5	0,11	12,2

Värmeförlusterna genom smygen påverkas ganska lite men inverkan på temperaturen i smygen är tydlig.

Inverkan av karmens placering i smygen har studerats genom två exempel för fönstersmygen i 1½-stens tegelväggen, dels placering av karmen centriskt i inre fjärdedelspunkten, dels i yttre fjärdedelspunkten. Resultatet visas i TAB 4.8.

TAB 4.8. Extra värmefflöde och lägsta beräknade yttemperatur vid olika placering av karmen i fönstersmygen

Köldbrygga	Invändig isolering (cm)	Q_e (W/m K)	ϑ_{\min} (°C)
A.3.1. centrisk placering	0	0,12	8,8
A.3.1 inre 1/4-delspunkten	0	0,11	11,6
A.3.1. yttre 1/4-delspunkten	0	0,12	7,8

Utvändig tilläggsisolering av ytterväggen ger extra värmefflöden genom fönstersmygarna som är av ungefär samma storlek som vid invändig tilläggsisolering. Detta visas i TAB 4.9 som refererar till utvändig tilläggsisolering av en 1½-stens tegelvägg.

TAB 4.9. Extra värmeflöde och lägsta beräknade yttemperatur vid fönstersmygen i utvändigt tilläggsisolerad tegelvägg.

Köldbrygga	Utvändig isolering (cm)	Q_e (W/mK)	ϑ_{\min} (°C)
A.3.1.	5	0,19	10,9
	10	0,27	11,0

Lägre yttemperaturer än de här beräknade kan tänkas uppträda i smygarnas hörn, där värmeströmningen är tredimensionell och övergångsförhållandena annorlunda än mitt på smygens inneryta.

4.6. YTTERVÄGGSHÖRN

Ytterväggshörn brukar betraktas som köldbryggor i den meningen att man får extra värmeförluster genom dem, jämfört med en rak väggbit av samma längd som hörnets innermått. Detta är en geometrisk effekt och ytterväggshörn brukar hållas för geometriska köldbryggor i motsats till övriga, så kallade konstruktiva köldbryggor. Jämför man i stället värmeflödet med hörnets yttermått kommer hörnet att verka som en extra isolering. Olika utformningar av ytterväggshörn vid massiva väggar och sandwichväggar av lättbetong har studerats av Adamson och Höglund (1961).

För de fyra ytterväggstyperna A, B, C och D har värmeförlusterna på en ytterväggshörn beräknats vid varierande invändig isolertjocklek. Ytterhörnen har antagits vara fullständigt symmetriska och det extra värmeflödet är relaterat till hörnets innermått. Resultatens visas i TAB 4.10. Beräkningarna är gjorda med samma invändiga övergångstal som de tidigare beräkningarna. Inverkan av andra övergångstal diskuteras i KAP 4.7.

TAB 4.10. Extra värmefflöde och lägsta beräknade yttemperaturer för ytterväggshörn i äldre byggnader med varierande invändig tilläggsisolering.

Ytterväggshörn	Invändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e (W/mK)	θ _{min} (°C)
A.5.1.	0	1,20	0,18	8,5
1½-stens tegel- vägg	5	0,51	0,06	14,2
	7	0,42	0,04	15,0
	10	0,33	0,04	15,8
	12	0,29	0,03	16,2
	15	0,24	0,03	16,7
B.5.1.	0	0,81	0,07	13,0
1-stens tegelvägg + 5 cm träullsplatta	5	0,42	0,04	16,4
	10	0,29	0,03	17,3
	15	0,22	0,03	17,8
C.5.1.	0	0,75	0,16	12,4
25 cm gasbetong- murverk	5	0,41	0,06	15,0
	10	0,28	0,04	16,2
	15	0,22	0,04	16,9
D.5.1.	0	1,01	0,24	11,2
15 cm betongvägg med 10 cm utvändigt gasbetong	5	0,47	0,07	16,2
	7	0,39	0,06	16,7
	10	0,32	0,05	17,2
	15	0,24	0,04	17,7

Det extra värmefflödet minskar med ökande invändig isolertjocklek. Detta är naturligt eftersom värmefflödet nu får "längre väg att gå".

TAB 4.11. Utvändigt tilläggsisolering av ytterväggskarm

Ytterväggshörn	Utvändig isolering (cm)	K (W/m ² K)	Q _e (W/mK)	θ _{min} (°C)
A.5.1.	5	0,53	0,22	13,6
	10	0,34	0,18	15,5

I FIG 4.6. visas isotermbilder för ytterväggshörn i 1½-stens tegelvägg, oisolerad, invändigt respektive utvändigt tilläggsisolerad med 5 cm mineralull.

Isolering av ett ytterväggshörn måste emellertid såvida man inte använder isoleringselement kompletta med beklädnad, konstruktivt lösas på ett sätt som medför extra regler i själva hörnet p g a spikmöjligheter för beklädnadsskivor. Detta kommer att medföra sänkt temperatur jämfört med den ovan beräknade. Det är dock osannolikt att detta skulle innebära någon negativ konsekvens, eftersom temperaturen i hörnet med all säkerhet blir högre än före tilläggsisoleringen.

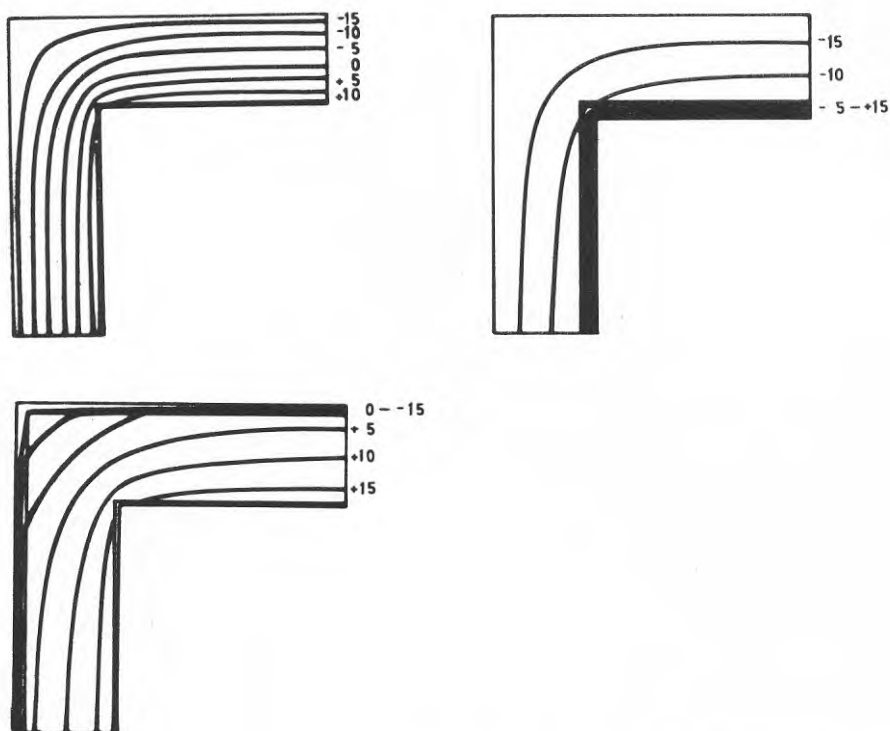


FIG 4.6. Temperaturfördelning vid oisolerade, invändigt respektive utvändigt tilläggsisolerade ytterväggshörn i $1\frac{1}{2}$ -stens tegelvägg.

4.7. INVERKAN AV OLIKA ÖVERGÅNGSKOEFFICIENTER PÅ YTTEMPERATUR OCH VÄRMEFÖRLUSTER

Värmeflöden och temperaturer vid köldbryggor vid olika värmeöverföringskoefficienter har beräknats enligt förutsättningarna i KAP 2.2. Beräkningsresultaten jämförs nedan med referensfallet $\alpha_u = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$, $\alpha_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det totala värmeflödet genom väggen med köldbrygga används här som jämförelsestorhet, eftersom det knappast är meningsfullt att definiera något extra värmeflöde för fallen med olika värmeövergångskoeff-

ficienter på olika ytor.

TAB 4.12. Värmefflöde och lägsta invändig ytemperatur vid yttervägg med bjälklagsanslutning A.1.1.1., $\vartheta_i = +20$ °C, $\vartheta_u = -20$ °C.

Invändig isolering	$\alpha_u=25, \alpha_i=7,7$		$\alpha_u=15, \alpha_i=7,7$		$\alpha_u=25, \alpha_i$ fall 1		$\alpha_u=25, \alpha_i$ fall 2	
	Q_{tot} W/mK	ϑ_{min} °C	Q_{tot} W/mK	ϑ_{min} °C	Q_{tot} W/mK	ϑ_{min} °C	Q_{tot} W/mK	ϑ_{min} °C
0 cm	3,55	13,3	3,53	13,8	3,53	11,1	3,66	12,0
5 cm	1,80	11,6	1,79	12,0	1,79	10,6	1,82	11,4
10 cm	1,33	11,9	1,32	12,2	1,31	10,8	1,33	11,6
15 cm	1,08	12,4	1,08	12,7	1,07	11,3	1,09	11,8

Om man jämför referensfallet med $\alpha_u = 25$ och α_i enligt fall 2, kan skillnaden i effekt- och energibehov för ett flerfamiljshus i Stockholm med den aktuella köldbryggans sammanlagda längd 400 m beräknas enligt

$$\Delta P = (3,66 - 3,55) \cdot (20 - (-16)) \cdot 400 = 1,6 \text{ kW}$$

$$\Delta E = (3,66 - 3,55) \cdot 400 \cdot 3570 \cdot 24 = 3800 \text{ kWh}$$

Specifika värmebehovet för Stockholm är 3570 graddagar.

Jämförelsen gäller utan tilläggsisolering av väggarna. Skillnaden blir mindre ju mer välisolerade väggarna är.

TAB 4.13 visar värmefflöde och ytemperaturer för fönstersmygen A.3.1. dels vid $\alpha_u = 25$ och $\alpha_i = 7,7$ dels vid $\alpha_u = 25$ och α_i enligt det fall som beskrevs i KAP 2.2. Skillnaden mellan de två fallen med avseende på temperaturer i smygen uppgår till knappt 2 °C vilket givetvis är väsentligt för bedömning av risken för ytkondens.

TAB 4.13. Värmefflöde och lägsta invändiga ytemperatur vid fönstersmyg A.3.1. $\vartheta_i = +20$ °C, $\vartheta_u = -20$ °C.

Invändig isolering	$\alpha_u = 25, \alpha_i = 7,7$		$\alpha_u = 25, \alpha_i$ enl KAP 2.2.	
	Q_{tot}	ϑ_{min}	Q_{tot}	ϑ_{min}
0 cm	1,65 W/mK	8,8 °C	1,64 W/mK	6,6 °C
5 cm	1,09 "	5,4 "	1,07 "	3,6 "
10 cm	0,95 "	4,9 "	0,94 "	3,0 "
15 cm	0,88 "	4,7 "	0,87 "	2,7 "

5. VÄRMEFÖRLUSTER GENOM KÖLDBRYGGOR I PRAKTISKA FALL

Eftersom urvalet av de beräknade köldbryggorna med nödvändighet måste begränsas kommer här att anges hur man kan beräkna andra konstruktioner med varierande noggrannhet. Det är osannolikt att man för praktisk dimensionering av isolering och beräkning av värmeförluster behöver göra beräkningarna så noggrant som i de tidigare kapitlen. Beräkning av yttemperaturer för bedömning av eventuell kondensrisk måste man emellertid göra med en numerisk metod på dator och bedömning av invändiga övergångstal bör då också göras mera noggrant än för de i KAP 4 beräknade fallen.

Tre olika metoder att beräkna värmeförlusterna genom köldbryggor anges nedan. Metod A är mest noggrann. Det kan emellertid diskuteras vilken av metoderna B och C som ger bäst resultat.

Metod A Datorberäkningar

Den noggrannaste metoden att beräkna värmeförlusterna är givetvis med numerisk metod på dator. Det finns t ex vid olika högskolor ett antal färdigutvecklade program enligt relaxationsmetoden eller finita elementmetoden. Författarens erfarenhet är att relaxationsmetoden är snabbare och därmed billigare för tvådimensionella, relativt enkla fall, typ de fall som finns i denna rapport.

Metod B Uppskattning med hjälp av KAP 4

Köldbryggor liknande de som finns i KAP 4 kan givetvis uppskattas utifrån dessa resultat. Olika faktorerers inverkan på extra värmeflödet är tydliga. Nedan anges några "tumregler" till hjälp för uppskattningen. Dessa syftar på den definition av extra värmeflödet, där väggen med köldbryggan jämförs med en lika lång vägg utan köldbrygga

1. Invändig tilläggsisolering av ytterväggen inverkar så att det extra värmeflödet ökar kraftigt från 0 till ca 5 cm isolering. Efter ca 7 cm invändig tilläggsisolering är det extra värmeflödet praktiskt taget konstant.
2. Köldbryggans inverkan ökar om väggjockleken minskar vid konstant λ -värde för homogen vägg respektive konstant k -värde för flerskiktsvägg.
3. Köldbryggans inverkan ökar med väggens värmeledande förmåga i sitt eget plan (tvärströmning). En sandwichkonstruktion med betong på båda

sidor om en isolering ger större värmeförlust genom en genomgående köldbrygga än en homogen vägg med samma k -värde. Om köldbryggan är i direkt kontakt med det ledande materialet i väggen blir värmeförlusterna större än om köldbryggan kan isoleras från detta.

4. Ökande utkragning av balkongplatta minskar det extra värmeflödet. Den utkragande plattan fungerar som en extra isolering av köldbryggan. Det ogynnsammaste fallet är om plattan är avskuren i liv med väggens ytersida (se t ex Nevander, 1961).
5. Kantisoleringar av bjälklag o dyl förekommer ganska sällan i de byggnader det här är fråga om. Kantisolering av betongbjälklag med 3 cm träullsplatta ger sänkning av extra värmeflödet av storleksordningen 0,01 - 0,06 W/mK, beroende på hur välisolerad väggen i övrigt är. Horisontella isoleringar av bjälklag eller balkongplatta ger en viss inverkan, men man bör komma ihåg att dessa ofta innebär att betongplattans tjocklek minskas och armeringen ökas. I de flesta beräkningar har man inte tagit hänsyn till detta, och inverkan av en kantisolering är i verkligheten kanske inte så stor.

Metod C Användning av tabell 5.1.

I tabellen nedan har beräkningsresultaten systematiserats så att för olika ytterväggs- och köldbryggetyper anges ett extra värmeflöde p g a köldbryggan som uppskattas med hjälp av egna samt en del andras beräkningar. Konstruktionerna är något generaliserade, och inverkan av utvändig eller invändig tilläggsisolering tages hänsyn till på följande sätt. För varje typkonstruktion anges ett ungefärligt värde på extra värmeflödet utan tilläggsisolering, ett värde vid utvändig tilläggsisolering och ett värde vid 7 cm invändig tilläggsisolering. Över 7 cm invändig tilläggsisolering antas det extra värmeflödet vara konstant. Mellan 0 och 7 cm invändig tilläggsisolering kan linjär interpolation göras. På detta sätt tar man ganska väl hänsyn till den invändiga isolertjockleken inverkan på värmeförlusterna genom köldbryggorna. I FIG 4.2. visades för ett par köldbryggor hur extra värmeflödet varierar med den invändiga isolertjockleken. Denna bild är typisk för alla de beräknade köldbryggorna, bortsett från ytterväggshörn och representeras ganska väl av det ovan beskrivna beräkningssättet. Anledningen till att utvändig tilläggsisolering är medtagen i tabellen är, att för vissa köldbryggor blir inverkan ganska stor även vid isolering på utsidan. Sådana köldbryggor är balkongplattor

och fönstersmygar. Det är därför motiverat att räkna med dessa vid bedömning av effekten av en utvändig tilläggsisolering. Att differentiera köldbryggornas inverkan med hänsyn till isolertjockleken har inte ansetts motiverat främst på grund av att beräkningsunderlaget är för litet. Principiellt sett är inverkan av isolertjockleken på utsidan samma som vid isolering på insidan, beroende på den definition som valts för det extra värmeflödet. Vid balkongplattor blir dock inverkan tydligare vid utvändig än vid invändig isolering av ytterväggen på grund av det tidigare nämnda förhållandet att balkongplattans utkragning minskar med den utvändiga tilläggsisoleringen. Då köldbryggorna totalt sett har en betydligt mindre inverkan vid utvändig än vid invändig tilläggsisolering kan det vara motiverat att använda tabellvärdena för utvändig tilläggsisolering som en överslagsberäkning för isolertjocklekar 5 - 12 cm. Alla bjälklags- och innerväggsanslutningar kan anses ha en försumbar inverkan vid utvändig tilläggsisolering av ytterväggen varför tabellvärdena i dessa fall satts lika med noll.

I tabellen anges ett område som det extra värmeflödet ligger inom. Kraftiga och breda köldbryggor bör givetvis ligga nära det övre gränsvärdet och tunnare och svagare köldbryggor bör ligga nära det undre gränsvärdet.

TAB 5.1. Extra värmeflöde p g a köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar

Konstruktion	Extra värmeflöde (W/mK)		
	Utan tilläggsisolering	7 cm inv tilläggsisolering	Utvändig tilläggsisolering
1. Tegelmurverk med anslutande betongbjälklag eller innervägg av betongblock	0,01 - 0,07	0,30 - 0,35	0
2. Tegelmurverk med anslutande träbjälklag eller icke bärande innervägg av trä eller plattor	-0,1 - 0	0,01 - 0,05	0
3. Tegelmurverk med anslutande bärande tegelinnerväggar	0	0,20 - 0,25	0

TAB 5.1. Extra värmefflöde p g a köldbryggor i tilläggsisolerade ytterväggar

Bjälklags- och innerväggsanslutningar			
Konstruktion	Extra värmefflöde (W/mK)		
	Utan tilläggsisolerings	7 cm inv tillläggsisolerings	Utvändig tillläggsisolerings
4. Tegelmurverk invändigt isolerat med 2 - 5 cm träullsplatta, anslutande betongbjälklag eller innervägg av betongblock	0,20 - 0,30	0,30 - 0,40	0
5. Tegelmurverk invändigt isolerat med träullsplatta anslutande bärande tegelinnerväggar	0,10 - 0,15	0,20 - 0,25	0
6. Gasbetongmurverk med anslutande betongbjälklag eller innervägg av betongblock	0,01 - 0,07	0,15 - 0,20	0
7. Utvändigt lättbetongisolerade betongväggar med anslutande bjälklag eller innerväggar av betong	0,01 - 0,02	0,25 - 0,30	0
8. Träväggar, anslutande bjälklag och innerväggar av trä	-0,1 - 0,05	0,03 - 0,05	0
Balkongplattor			
Konstruktion	Extra värmefflöde (W/mK)		
	Utan tilläggsisolerings	7 cm inv tillläggsisolerings	Utvändig tillläggsisolerings
9. Balkongplattor av betong genom tegel- gasbetongmurverk	0,20 - 0,30	0,35 - 0,40	0,40 - 0,45
10 Balkongplatta av betong genom utvändigt lättbetongisolerad betong	0,45 - 0,55	0,45 - 0,55	0,55 - 0,60

Fönstersmygar			
Konstruktion	Extra värmefflöde (W/mK)		
	Utan tilläggs- isolering	7 cm inv till- läggsisolering	Utvändig till- läggsisolering
11 Fönstersmyg i tegelmurverk	0,10 - 0,15	0,20 - 0,30	0,20 - 0,25
12 Fönstersmyg i gasbetongmurverk	0,02 - 0,05	0,07 - 0,10	0,07 - 0,10
13 Fönstersmyg i utvändig lättbetong-isolerad betongvägg	ca 0,10	0,15 - 0,20	0,15 - 0,20
Ytterväggshörn			
Konstruktion	Extra värmefflöde (W/mK)		
14 Ytterväggshörn i stenväggar med kraftigast isolering invändigt		0,02 - 0,07	
15 Ytterväggshörn i stenväggar med kraftigast isolering utvändigt		0,15 - 0,25	

6. BERÄKNINGAR AV KÖLDBRYGGORNAS INVERKAN PÅ ENERGIBESPARING VID TILLÄGGSISOLERING AV YTTERVÄGGAR

I detta kapitel visas exempel på den sammanlagda inverkan av köldbryggor i ett ytterväggsfält vid tilläggsisolering av ytterväggen. Beräkningarna har gjorts för de fyra ytterväggstyperna A, B, C och D, tidigare beskrivna i KAP 3. I exemplen redovisas sammanlagd inverkan av de i aktuellt väggfält befintliga köldbryggorna. Denna är beräknad som $Q_e = \Delta\vartheta \cdot \sum q_e \cdot l_{kb}$, där $\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_u$ satts till 40°C , q_e och l_{kb} är extra värmeflödet respektive längden för varje köldbrygga och summeringen är gjord över de i ytterväggsfältet befintliga köldbryggorna. Det totala värmeflödet genom ytterväggen beräknas sedan som

$$Q_{\text{tot}} = k \cdot A \cdot \Delta\vartheta + Q_e \quad \text{där}$$

k = ytterväggens nominella k-värde, $\text{W/m}^2\text{K}$

A = ytterväggens yta, m^2

Då väggfältet innehåller fönster, räknas det extra värmeflödet p g a fönstersmygen till ytterväggen och fönstret räknas inte med i det totala värmeflödet.

Ett effektivt k-värde för ytterväggen inklusive köldbrygga beräknas sedan som

$$k_{\text{eff}} = \frac{Q_{\text{tot}}}{A \cdot \Delta\vartheta}$$

Detta jämförs sedan för olika isolertjocklekar med det nominella k-värdet för ytterväggen.

6.1. TILLÄGGSISOLERING AV $1\frac{1}{2}$ -STENS MASSIV TEGELVÄGG (VÄGGTYP A)

I FIG 6.1. visas ett ytterväggsfält med yttermåttan $3,20 \times 4,00 \text{ m}^2$. Innermåttan är $(4,00 - 0,27) \times (3,20 - 0,21) \text{ m}^2$. I yttermåttan inräknas alltså bredden av en bjälklagsanslutning och en innerväggsanslutning. Ytterväggen innehåller ett fönster, $1,20 \times 1,40 \text{ m}^2$. Bjälklaget är ett 16 cm betongbjälklag med $\frac{1}{2}$ -stens upplag i väggen (A.1.1.1.) och innerväggen är en 1-stenstegelvägg (A.2.1.1.).

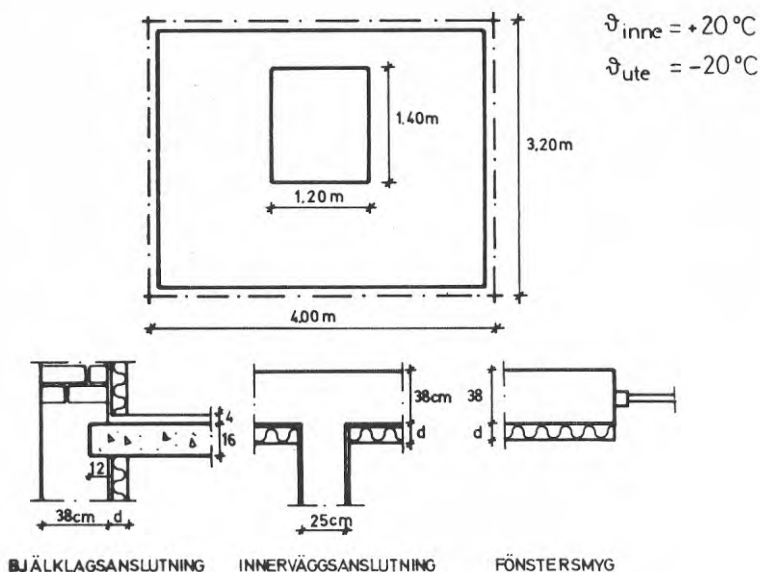


FIG 6.1. Väggfält använt för beräkningarna i TAB 6.1. och 6.2.

Invändig tilläggsisolering med mineralull i ett regelverk samt beklädnad av 13 mm gipsskiva ger följande inverkan på värmeförlusterna genom väggfältet i FIG 6.1.

TAB 6.1. Värmeförluster genom väggfältet i FIG 6.1. vid $\vartheta_{\text{inne}} = +20^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_{\text{ute}} = -20^{\circ}\text{C}$.

Invändig isolering (cm)	$Q_A (=k \cdot A \cdot 40)$ (W)	$Q_e (= \sum q_e \cdot l_{kb} \cdot 40)$ (W)	$Q_{\text{tot}} (=Q_A + Q_e)$ (W)	Q_e / Q_{tot} %	k_{nom} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	k_{eff} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
0	533,8	34,3	568,1	6,0	1,20	1,28
5	226,8	120,1	346,9	34,6	0,51	0,78
7	186,8	130,5	317,3	41,1	0,42	0,71
10	146,8	144,4	291,2	49,6	0,33	0,65
12	133,4	149,2	282,6	52,8	0,30	0,63
15	111,2	151,7	262,9	57,7	0,25	0,59

Av tabellen framgår bland annat att vid invändig tilläggsisolering med 10 cm mineralull mellan regler c 600 + invändig gipsskiva, utgör det beräknade värmeflödet genom köldbryggorna ca 50% av det totala värmeflödet

genom väggen. Det effektiva k-värdet är i det närmaste dubbelt så stort som det nominella. Det är tydligt att köldbryggornas inverkan på värmeförlusterna får en relativt sett starkt ökande betydelse då tilläggsisoleringens tjocklek ökar. Man kan därför dra slutsatsen att lönsamheten för kraftig invändig tilläggsisolering är mycket dålig.

I FIG 6.2. är värdena från TAB 6.1. avsatta som funktion av invändig isolertjocklek.

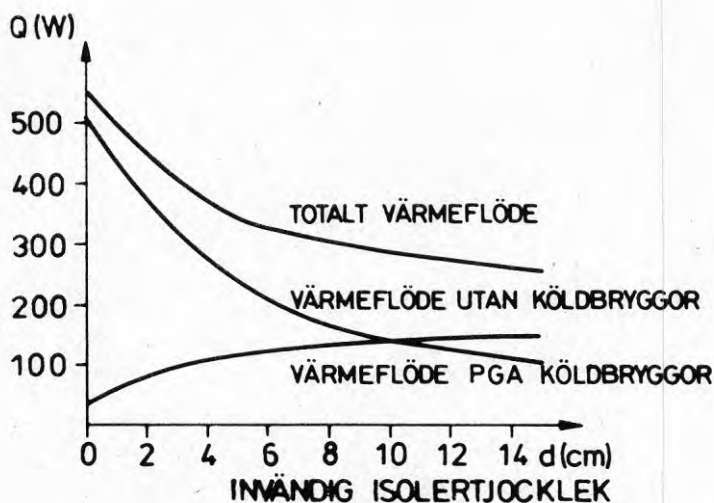


FIG 6.2. Inverkan av köldbryggor på värmeflödet genom ytterväggen i FIG 6.1.

Vid utvärdig tilläggsisolering av ytterväggen kommer inverkan av bjälklags- och innerväggsanslutningen att bli försumbara, medan fönstersmygen ger ett tillskott till värmeförlusterna, som ökar med isolertjockleken. I TAB 6.2 har gjorts motsvarande beräkning som i TAB 6.1, för 5 och 10 cm utvärdig tilläggsisolering, med en ytterbeklädnad som för enkelhetens skull antas ha samma värmemotstånd som en 13 mm gipsskiva.

TAB 6.2. Värmeförluster vid utvändigt tilläggsisolering av väggfältet i
 FIG 6.1 $\vartheta_{\text{inne}} = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_{\text{ute}} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Utvändig isolering (cm)	Q_A (W)	Q_e (W)	Q_{tot} (W)	Q_e/Q_{tot} %	k_{nom} (W/m ² K)	k_{eff} (W/m ² K)
0	533,8	34,3	568,1	6,0	1,20	1,28
5	226,8	44,2	271,0	16,3	0,51	0,61
10	146,8	56,8	203,6	27,9	0,33	0,46

I Fig 6.3 visas jämförelsen mellan utvändigt och invändigt tilläggsisolering med samma tjocklek. Det effektiva k-värdet är avsatt som funktion av isolertjockleken. Det nominella k-värdet är också inlagt i figuren. För utvändigt isolering tjockare än 10 cm har extrapolering gjorts.

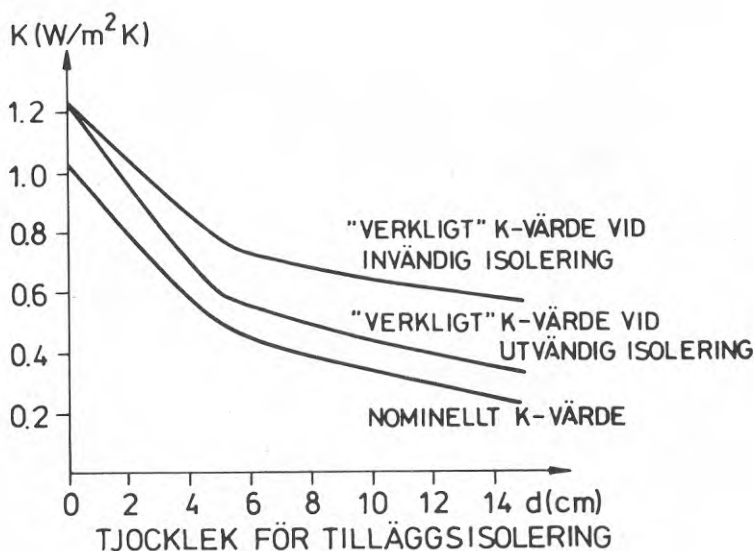


FIG 6.3. Effektivt k-värde för ytterväggfält innehållande köldbryggor, vid in- respektive utvändigt tilläggsisolering av ytterväggen.

6.2. TILLÄGGSISOLERING AV 1-STENS TEGELVÄGG MED INVÄNDIG TRÄULLSPLATTA (VÄGGTYP B).

För väggfältet i FIG 6.4. har inverkan av de i ytterväggen befintliga köldbryggorna beräknats vid invändigt tilläggsisolering med varierande

tjocklek. Beträffande isoleringsutförandet gäller samma antaganden som i KAP 6.1. De köldbryggor som finns i väggfältet är bjälklagsanslutningen B.1.1.1., innerväggsanslutningen B.2.1.1., och fönstersmygen B.3.1. Resultatet av beräkningen framgår av TAB 6.3.

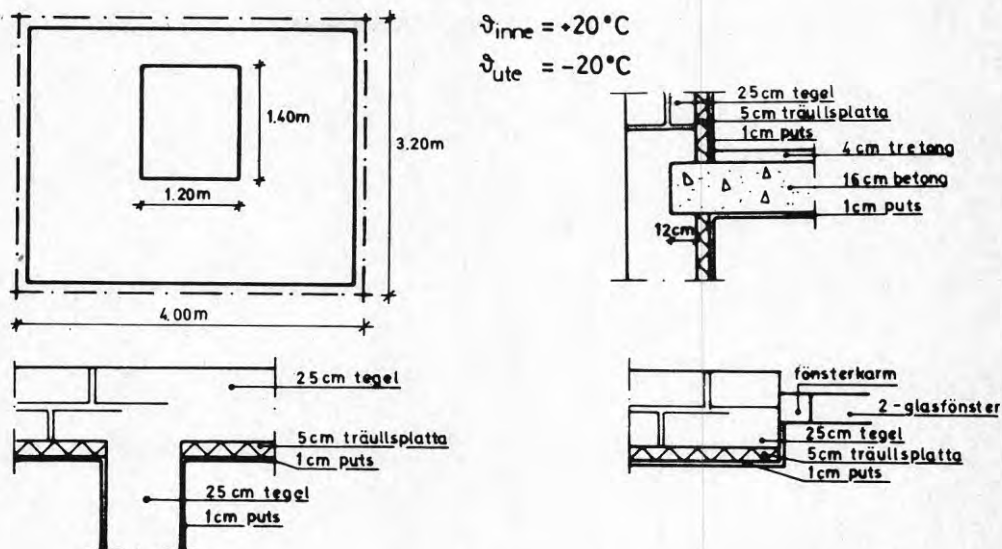


FIG 6.4. Vägghälvt användt för beräkningarna i TAB 6.3.

TAB 6.3. Värmeförluster genom väggfältet i FIG 6.4 vid $\vartheta_{\text{inne}} = +20^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_{\text{ute}} = -20^{\circ}\text{C}$.

Invändig isolering (cm)	$Q_A (k \cdot A \cdot 40)$ (W)	$Q_e (= \sum q_e \cdot l_{kb} \cdot 40)$ (W)	$Q_{\text{tot}} (= Q_A + Q_e)$ (W)	Q_e / Q_{tot} %	k_{nom} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	k_{eff} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
0	360,3	93,2	453,5	20,6	0,81	1,02
5	186,8	137,2	324,0	42,3	0,42	0,73
7	160,1	141,6	301,7	46,9	0,36	0,68
10	129,0	145,2	274,2	53,0	0,29	0,62
12	115,6	146,8	262,4	55,9	0,26	0,59
15	97,9	146,4	244,3	59,9	0,22	0,55

Den kraftigare relativa inverkan av köldbryggorna i detta exempel jämfört med föregående beror givetvis på att väggen redan från början är invändigt isolerad med en 5 cm träullsplatta. Köldbryggorna ger ju utan någon invändig tilläggsisolering en värmeförlust som är ca 20% av den totala värmeförlusten genom väggen. I FIG 6.5. jämförs det nominella k-värdet med det effektiva vid varierande invändig isolertjocklek.

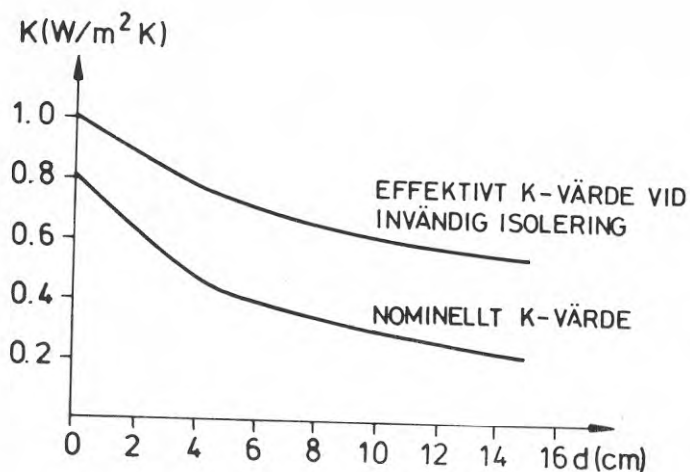


FIG 6.5. Effektivt k-värde jämfört med nominellt k-värde vid tilläggsisolering av ytterväggen i FIG 6.4.

6.3. TILLÄGGSISOLERING AV MURAD GASBETONGVÄGG (VÄGGTYP C)

För väggfältet i FIG 6.6. visas i TAB 6.4. beräkningen av värmeförlusterna genom ytterväggen inklusive köldbryggor. Väggfältet innehåller köldbryggorna C.1.1.1., C.2.1.2 och C.3.1.

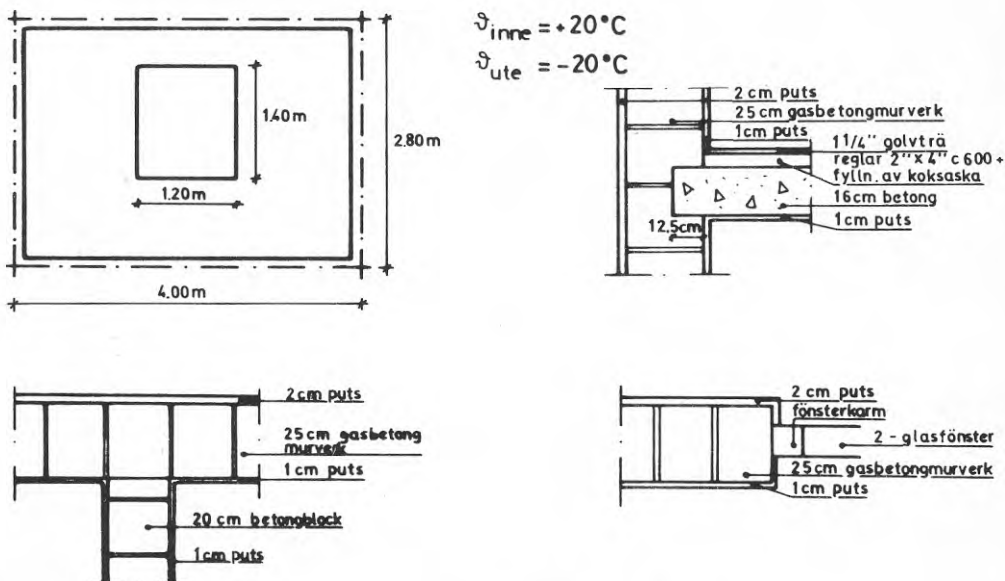


FIG 6.6. Väggfält använt för beräkningarna i TAB 6.4.

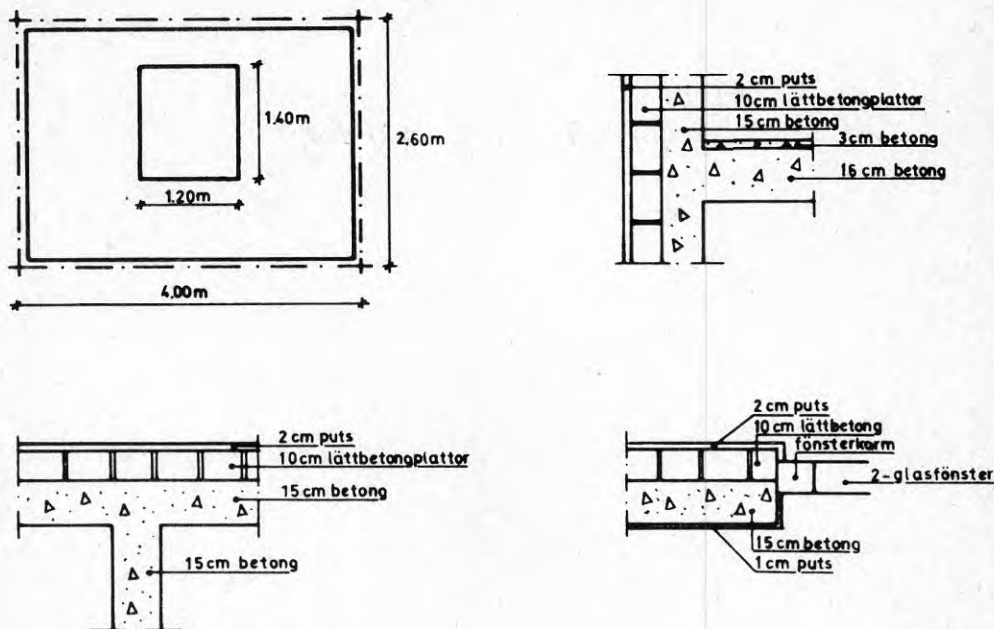


FIG 6.8. Väggfält använt för beräkningarna i TAB 6.5.

TAB 6.5. Värmeförluster genom väggfältet i FIG 6.8 vid $\vartheta_{\text{inne}} = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$
och $\vartheta_{\text{ute}} = -20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Invändig isolering (cm)	$Q_A (=k \cdot A \cdot 40)$ (W)	$Q_e (= \sum q_e \cdot l_{kb} \cdot 40)$ (W)	$Q_{\text{tot}} (=Q_A + Q_e)$ (W)	Q_e / Q_{tot} %	k_{nom} (W/mK)	k_{eff} (W/mK)
0	352,2	24,4	376,6	6,5	1,01	1,08
5	163,9	96,2	260,1	37,0	0,47	0,75
7	136,0	103,1	239,1	43,1	0,39	0,69
10	108,2	115,7	223,9	51,7	0,31	0,64
12	97,7	120,7	218,4	55,3	0,78	0,63
15	83,7	125,7	209,4	60,0	0,24	0,60

Köldbryggornas relativa inverkan blir här mycket kraftig. Detta beror delvis på att det studerade väggfältet är något mindre än i de föregående beräkningarna. Det har ansetts lämpligt att räkna med en mindre rumshöjd då denna ytterväggstyp är senare än de föregående. Köldbryggornas inverkan blir emellertid mycket kraftig, eftersom alla anslutningar är av betong.

TAB 6.4. Värmeförluster genom väggfältet i FIG 6.6. vid $\vartheta_{\text{inne}} = +20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ och $\vartheta_{\text{ute}} = -20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Invärdig isolering (cm)	$Q_A (=k \cdot A \cdot 40)$ (W)	$Q_e (= \sum q_e \cdot l_{kb} \cdot 40)$ (W)	$Q_{\text{tot}} (=Q_A + Q_e)$ (W)	Q_e / Q_{tot} %	k_{nom} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)	k_{eff} ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
0	285,6	14,2	299,8	4,7	0,75	0,79
5	156,1	49,3	205,4	24,0	0,41	0,54
7	133,3	55,9	189,2	29,5	0,35	0,50
10	106,6	61,6	168,2	36,6	0,28	0,44
12	95,2	63,1	158,3	39,9	0,25	0,42
15	83,8	64,9	148,7	43,6	0,22	0,39

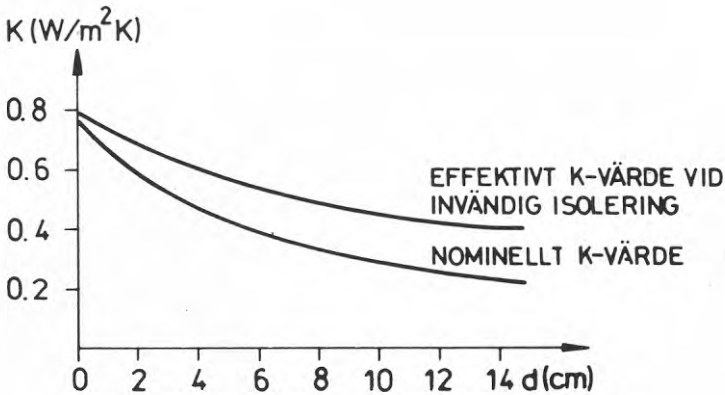


FIG 6.7. Effektivt k-värde jämfört med nominellt k-värde vid tilläggsisolering av ytterväggen i FIG 6.6.

6.4. TILLÄGGSISOLERING AV UTVÄNDIGT LÄTTBETONGISOLERAD BETONGVÄGG (VÄGG-TYP D)

För väggfältet i FIG 6.8. visas i TAB 6.5. beräkningen av värmeförlusterna genom ytterväggen inklusive köldbryggor. Väggfältet innehåller köldbryggorna D.1.1.1., D.2.1.1. och D.3.1.

Den utvändiga lättbetongisoleringen är inte tillräcklig för att förhindra de kraftiga köldbryggeeffekterna.

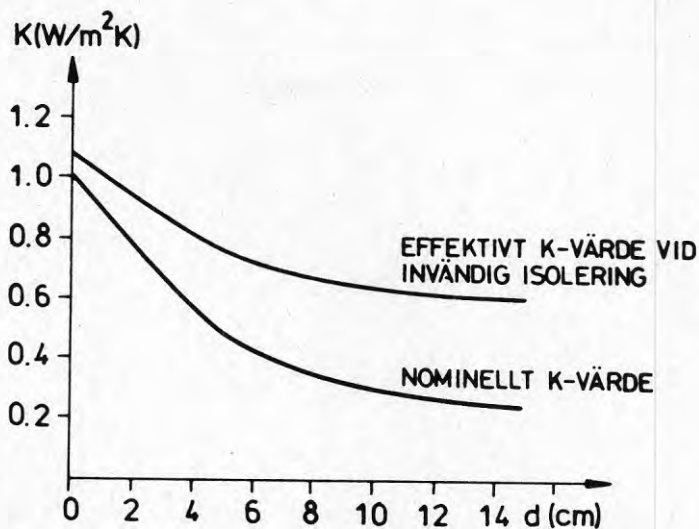


FIG 6.9. Effektivt k-värde jämfört med nominellt k-värde vid tilläggsisolering av ytterväggen i FIG 6.8.

7. KONSEKVENSER AV KÖLDBRYGGOR VID INVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING

I de föregående kapitlen har visats att en invändig tilläggsisolering av ytterväggarna i ett äldre hus medför att vissa köldbryggor, typ bjälklagsanslutningar, får ökad inverkan på olika sätt. Utväändig tilläggsisolering av väggarna minskar inverkan av innerväggs- och bjälklagsanslutningar på värmeförlusterna, men det skapar extra värmeflödet vid balkongplattegenomföringar och vid fönstersmygar ökar. Allmänt kan sägas om köldbryggeeffekterna efter en invändig tilläggsisolering:

1 Den i verkligheten erhållna energibesparingen blir betydligt mindre för invändig tilläggsisolering än för utväändig av samma tjocklek. Att ej ta hänsyn till köldbryggeeffekterna vid bedömning av energibesparingen med invändig tilläggsisolering ger fel i storleksordningen 100%, (se t ex TAB 6.1.).

2 Den effekt som uppvärmningssystemet måste dimensioneras för ökar på grund av köldbryggeeffekterna. Detta är emellertid knappast aktuellt i äldre hus, eftersom en tilläggsisolering alltid ger en positiv energibesparing och det befintliga uppvärmningssystemet då måste räcka till.

3 Ytterväggarnas, takens och golvens temperatur blir ojämna jämfört med förhållandena vid utväändig isolering, eller åtminstone vid måttliga isolertjocklekar, även jämfört med situationen före isoleringen. Även om ytterväggarnas yttemperaturer stiger, sjunker temperaturen vid själva köldbryggorna i flera fall. Detta medför

a) Dålig komfort. De kalla ytorna påverkar totalupplevelsen av klimatet. Det nämns ofta att man efter en tilläggsisolering kan sänka innetemperaturen eftersom omgivande ytor blir varmare. En sänkt innetemperatur ger en besparing eftersom både transmissions- och ventilationsförluster minskar. Denna effekt är svårbedömbär, men det är tydligt att komforten blir sämre jämfört med en utväändig isolering. Hur inverkan blir i förhållande till tillståndet före isoleringen är svårt att säga.

b) Nedsmutsning av invändiga ytor. Genom sk termofusion, som bl a innebär att partiklar snabbast avsätts på ytor med låg temperatur, kommer ytorna att se smutsiga ut snabbare ju mera ojämn temperaturfördelningen är. Detta leder till ökade underhållskostnader pga att tapetsering och målning måste göras oftare än vad som annars skulle varit fallet.

4 Risk för ytkondensation. Eftersom temperaturen på vissa ytor i rummet blir lägre efter en invändig tilläggsisolering kan man förmoda att risken för kondensation på dessa ytor ökar. De ytor som är mest aktuella är fönstersmygar, där utförandet av isoleringen är väsentlig för ytor- nas temperatur. Problemet är att det oftast inte finns plats att sätta någon extra isolering i själva smygen. Redan en ganska tunn skiva för- bättrar emellertid förhållandena väsentligt.

De två första punkterna ovan, inverkan på energi- och effektåtgång skall illustreras med ett exempel.

För huset i FIG 7.1. nedan beräknas energibesparingen med ut- respektive invändig tilläggsisolering av ytterväggarna. Beräkningen görs för tre al- ternativa lägen, Lund, Stockholm och Umeå. Energibesparingen p g a till- läggsisoleringen under en eldningssäsong beräknas som

$$\Delta E = \left[k_f \cdot A + \sum_i Q_{ei}^f \cdot l_i - k_e \cdot A - \sum_i Q_{ei}^e \cdot l_i \right] \cdot Q \quad \text{där}$$

ΔE = energibesparingen under en eldningssäsong, Wh

k_f, k_e = ytterväggarnas teoretiska k-värde före respektive efter till- läggsisoleringen, W/m^2K

A = ytterväggsytan (inkl köldbryggor), m^2

Q_{ei}^f, Q_{ei}^e = extra värmefflöde för köldbrygga i före respektive efter till- läggsisoleringen, W/m^2K

(extra värmefflödet är här definierat som skillnaden mellan totala värmefflödet genom yttervägg + köldbrygga och totala värmefflödet genom en lika lång bit yttervägg utan köldbrygga)

l_i = längden av köldbrygga i m

Q = ortens specifika värmebehov i gradtimmar Lund = 73680, Stockholm = 85680, Umeå = 115200

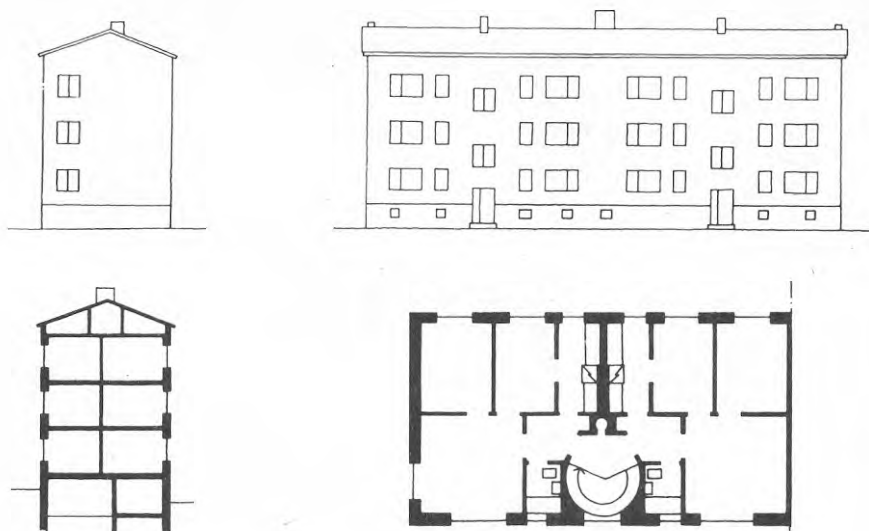


FIG 7.1. Hus använt för beräkningarna.

Husets ytterväggsyta, fönster och dörrar borträknade, är 1220 m^2 . Ytterväggen består av $1\frac{1}{2}$ -stens tegelmurverk med k -värdet $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. De köldbryggor som finns är bjälklagsanslutningar, innerväggsanslutningar och fönstersmygar.

I exemplet beaktas endast transmissionsförlusterna genom ytterväggarna.

Värmeeffektbehovet för transmissionen genom ytterväggarna beräknas enligt

$$P_T = (k \cdot A + \sum_i Q_{ei} \cdot l_i)(\vartheta_{1m} - LUT) \quad \text{där}$$

ϑ_{1m} = rumsluftens medeltemperatur (sätts i exemplet till $+20 \text{ }^\circ\text{C}$)

LUT = dimensionerande lägsta utetemperatur enligt SBN 1975, fig 35:23 b.

TAB 7.1. Erhållen energibesparing för en genomsnittlig eldnings säsong och värmeeffektbehov för transmission genom ytterväggarna vid tilläggsisolering av dessa ut- resp invändigt med 5 el 10 cm mineralull mellan reglar c 60 cm och ut- resp invändig beklädnad

Åtgärd	k·A (W/K)	$\Sigma Q_{ei} \cdot 1_i$ (W/K)	Lund		Stockholm		Umeå	
			ΔE (kWh)	P_T (kW)	ΔE (kWh)	P_T (kW)	ΔE (kWh)	P_T (kW)
Ingen	1464,0	30,9	-	48	-	54	-	63
Inv isol. 5 cm	622,2	144,3	$53,7 \cdot 10^3$	25	$62,4 \cdot 10^3$	28	$83,9 \cdot 10^3$	32
Inv isol. 10 cm	402,6	173,6	$67,7 \cdot 10^3$	18	$78,7 \cdot 10^3$	21	$105,8 \cdot 10^3$	24
Utv isol 5 cm	622,2	29,1	$62,2 \cdot 10^3$	21	$72,3 \cdot 10^3$	23	$97,2 \cdot 10^3$	27
Utv isol 10 cm	402,6	31,6	$78,2 \cdot 10^3$	14	$90,9 \cdot 10^3$	16	$122,2 \cdot 10^3$	18

I FIG 7.2 och 7.3 visas beräknad energibesparing respektive effekt för transmission genom ytterväggarna som funktion av isoleringstjocklek.

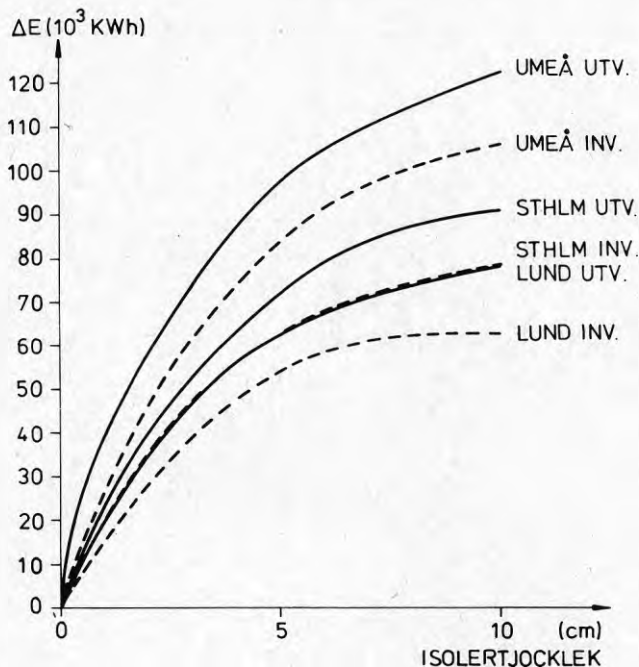


FIG 7.2. Enl TAB 7.1 erhållen energibesparing under en genomsnittlig eldnings säsong vid ut- resp invändig tilläggsisolering av det i FIG 7.1. visade huset beläget i Lund, Stockholm eller Umeå.

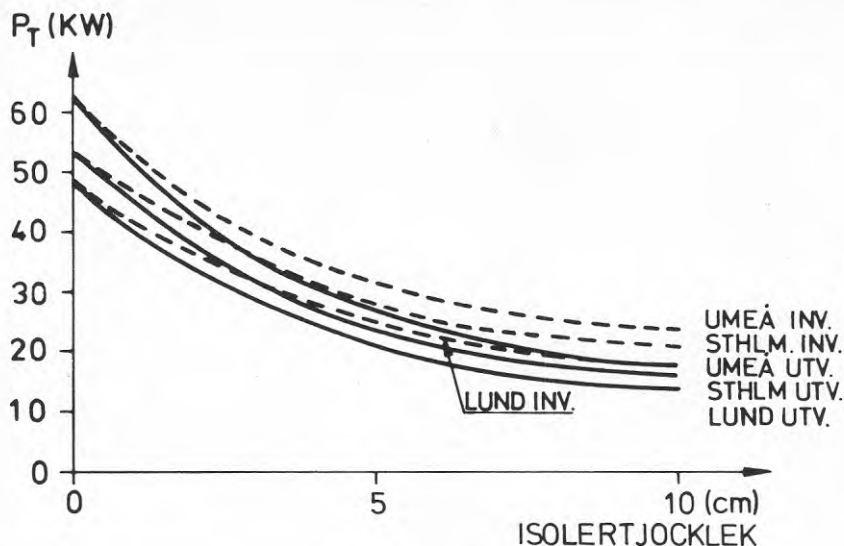


FIG 7.3. Erforderlig effekt för transmission genom ytterväggarna för huset i FIG 7.1. beläget i Lund, Stockholm eller Umeå.

Ovanstående exempel ger inte lika kraftig skillnad mellan in- och utvändigt isolering som beräkningen i KAP 6.1. Detta beror på att innerväggsavståndet i medeltal är större och att fönstren utgör en mindre del av totala ytterväggsytan i detta exempel än vad som antogs i KAP 6.1.

Risken för ytkondensation kan bedömas genom att man betraktar de beräknade temperaturerna vid köldbryggarna. I FIG 7.4. visas lägsta beräknade yttemperatur vid några bjälklagsanslutningar som funktion av tjockleken på en invändig tilläggsisolering. Isoleringens inverkan är olika för olika fall, den är mest märkbar då anslutningen tidigare utgjort en moderat köldbrygga i väggen. De temperatursänkningar som isoleringen ger upphov till är här ganska små, i de flesta fall 1 å 2 °C.

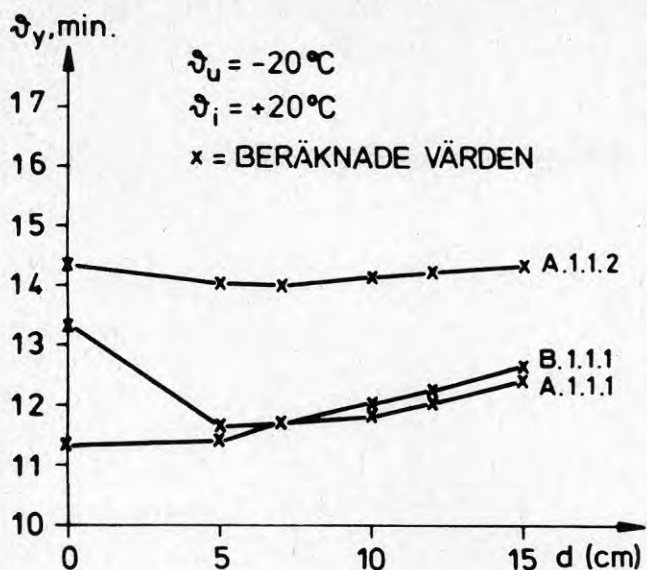


FIG 7.4. Lägsta beräknade yttemperatur vid några bjälklagsanslutningar med invändig tilläggsisolering 0 - 15 cm.

I fönstersmygen kan temperatursänkningen p g a tilläggsisoleringen vara betydligt större. FIG 7.5. visar lägsta beräknade yttemperatur i ett par fönstersmygar som funktion av den invändiga isoleringens tjocklek. Det är här förutsatt att isoleringen avslutas jäms med smygen, vilket är det ogynnsammaste fallet.

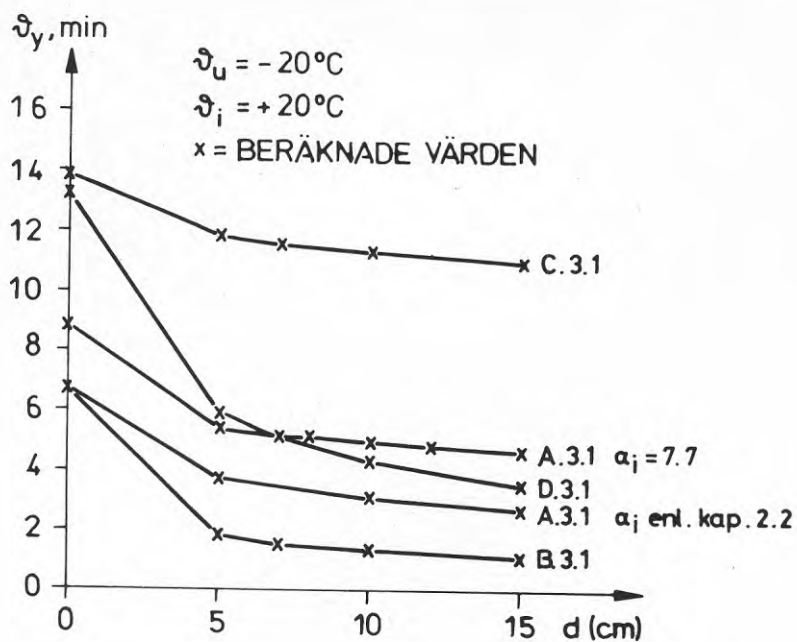


FIG 7.5. Lägsta beräknade yttemperatur i fönstersmygar med invändig tilläggsisolering 0 - 15 cm.

FIG 7.6, 7.7 och 7.8 visar vilken relativ luftfuktighet vid $+20^\circ\text{C}$ som rumsluften högst får ha vid olika utetemperaturer för att kondensation skall undvikas i fönstersmygar med och utan invändig tilläggsisolering.

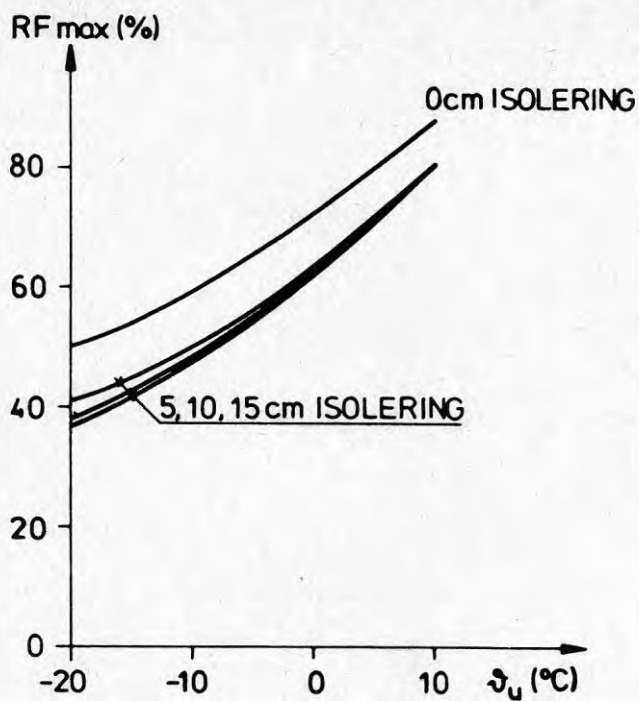


FIG 7.6. Fönstersmyg i 1½-stens tegelvägg, A.3.1. Högsta tillåtna relativa luftfuktighet inomhus (vid +20 °C) för att kondensation ej skall inträffa, vid invändig tilläggsisolering med olika tjocklek. Yttemperatur beräknad med $\alpha_j = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

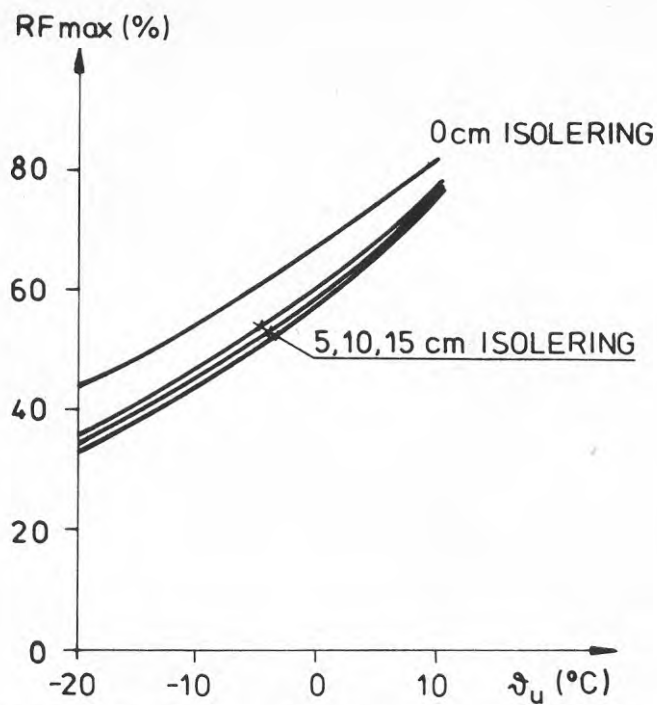


FIG 7.7. Fönstersmyg i $1\frac{1}{2}$ -stens tegelvägg, A.3.1. Högsta tillåtna relativa luftfuktighet inomhus (vid $+20$ °C) för att kondensation ej skall inträffa vid invändig tilläggsisolering med olika tjocklek. Ytemperatur beräknad med α_i enligt KAP 2.2.

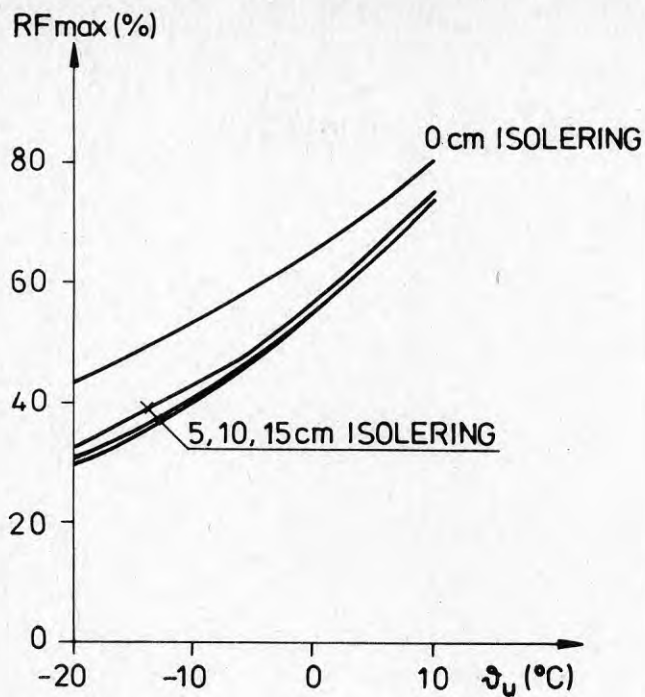


FIG 7.8. Fönstersmyg i 1-stens tegelvägg med 5 cm träullsplatta invändigt, B.3.1. Högsta tillåtna relativa luftfuktighet inomhus (vid +20 °C) för att kondensation ej skall inträffa, vid invändig tilläggsisolering med olika tjocklek. Ytemperatur beräknad med $\alpha_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- Adamson B, Höglund J. 1961. Utformning av hörn vid sandwichelement. Byggmästaren nr 2. Stockholm.
- Adamson B. 1970. Betongbjälklagsgenomföring av yttervägg. Arbetsrapport från inst f Byggnadskonstruktionslära, LTH. Lund.
- Adamson B. Byggnadstekniska värmeproblem. Kompendium i byggnadsteknik. Inst f Byggnadskonstruktionslära, LTH. Lund.
- Andersson A-C. 1976. Tilläggsisolering. Köldbryggor, fukt, rörelser och beständighet. Inst f Byggnadsteknik. Rapport nr 80. Lund.
- Berthier, J. 1970. Les points faibles thermiques ou ponts thermiques. Cahier du Centre Scientifique et Technique du Batiment. Paris.
- Brodén S. 1969. Temperaturfördelningen i ett tvådimensionellt område. Arbetsrapport från inst f Byggnadskonstruktionslära, LTH. Lund.
- Brown G. 1956. Värmeövergång vid byggnaders yttertor. Statens nämnd för byggnadsforskning. Handlingar nr 27. Stockholm.
- Fanger P O. 1964. Termiske luftstrømninger langs vinduer og kolde vægge. Ingeniøren nr 19. Köpenhamn.
- Höglund I, Johnsson B. 1976. Byggnadstekniska och installationstekniska åtgärder för energibesparing i äldre byggnader. Inst f Byggnadsteknik, KTH. Meddelande nr 108. Stockholm.
- Kollmar A, Liese W. 1957. Die Strahlungsheizung. München.
- Nevander L E. 1961. Köldbryggor i väggkonstruktioner. Byggmästaren nr 2. Stockholm.
- Nevander L E, Bankvall C, 1968. Värme. Kompendium i Byggnadsteknik I, LTH. Lund.
- Peterson F. 1975. Fönstertemperaturer vintertid. Tekniska meddelanden nr 67. Inst f Uppvärmnings- och Ventilationsteknik, KTH. Stockholm
- Sandberg P I. 1973. Byggnadsdelars fuktbalans i naturligt klimat. Inst f Byggnadsteknik. Rapport 43. Lund.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 750248-3 från
Statens råd för byggnadsforskning till Avdelningen för
byggnadsteknik, Lunds tekniska högskola, Lund**

R46:1978

ISBN 91-540-2862-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art. nr: 6600746

Abonnemangsgrupp:

Z. Konstruktioner och material

**Distribution: Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms