



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**

**R70:1979**

A 611 (632)

# **Värmegenomströmning vid innerväggar**

**Folke Peterson  
Teddy Rosenthal**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH VATTEN  
BYGGLABET

Rapport R70:1979

VÄRMEGENOMSTRÖMNING VID INNERVÄGGAR

Folke Peterson  
Teddy Rosenthal

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760929-0 från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

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

R70:1979

ISBN 91-540-3033-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954594



## Förord

Värme genomströmning vid innerväggar, dvs mellan rum i en byggnad kan spela stor roll i vissa sammanhang. Hit hör exempelvis:

- o värmetransporter mellan rum med väsentligt olika temperaturer (kylrum i f ö värmda byggnader)
- o värmestöld från en bostad till en annan, se Nyberg (1976)
- o värme genomgång vid tak, se Peterson (1975)

Värme flödena kan i dylika fall ej beräknas på "sedvanligt sätt", dvs som vid värme genomgång vid byggnaders yttertor. Skälen härtill är flera, dels avviker strömningsförhållandena vid innerytorna väsentligt från de vid byggnaders yttertor, dels är strålningsförhållandena olika.

Beräkningar rörande värme genomströmningen vid innerytor är svåra och omständliga. De bör därför utföras med hjälp av databeräkningar, t ex genom användande av datorprogrammet BRIS. I detta program behandlas ifrågasvarande värmeövergångstal (för konvektion och strålning mellan ytorna) på ett för beräkningarna tillfredsställande sätt. Genom en systematisk genomräkning av ett stort antal fall kan dock enkla "tumregler" för ingenjörsmässiga överslagsberäkningar uppställas.

Föreliggande arbete behandlar sådana beräkningar och resultatet av dem ges i tabell och diagramform. Enkla regler för bedömning av värme genomgången utan användande av datorprogram ges även.



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

1.	VÄRMEÖVERFÖRING VID INNERVÄGGAR	7
1.1	Den inre värmeövergångskoefficienten.	8
1.2	Värmeövergång vid innerväggar.	10
1.3	Några uppgifter.	12
2.	VÄRMEÖVERGÅNGSKOEFFICIENTER	15
2.1	Konvektiv värmeöverföring.	15
2.2	Uppåtstigande eller fallande luftström, horisontell yta.	19
2.3	Stillastående luft, horisontell yta.	21
2.4	Vertikal yta.	23
2.5	Inverkan av störningar.	23
2.6	Påtvungad strömning.	24
2.7	Blandad konvektion.	25
2.8	Värmeövergångskoefficienter i datorprogrammet BRIS.	29
2.9	Värmeöverföring vid strålning i datorprogrammet BRIS.	31
3.	EN ANALYTISK MODELL	35
3.1	Tvårumsproblemet.	35
4.	VAL AV FÖRUTSÄTTNINGAR: MODELLRUM, MATERIALKONSTANTER M M	39
5.	NÅGRA STORHETERS INFLYTANDE PÅ VÄRMEGENOMGÅNGEN VID INNERVÄGGAR	45
5.1	Inverkan av utetemperatur.	46
5.2	Inverkan av inomhustemperatur.	48
5.3	Inverkan av fönsterstorlek och fönsterläge.	51
5.4	Inverkan av fönsterplacering.	53
5.5	Inverkan av fönsterstorlek.	54
5.6	Inverkan av mellanväggars konstruktion.	56
5.7	Inverkan av ytterväggens $k$ -värde.	59
5.8	Inverkan av fönsterkonstruktion.	60
5.9	Sammanfattning.	63
6.	HÖRNRUM	67
6.1	Inverkan av rumstemperatur.	67
6.2	Inverkan av ytterväggskonstruktion.	69
6.3	Inverkan av mellanväggskonstruktion.	70
6.4	Inverkan av fönsterstorlek m m.	72
6.5	Slutsatser.	73

7.	RADIATORVÄRMDA RUM	75
7.1	Inverkan av utomhustemperatur och lufttemperatur.	75
7.2	Inverkan av mellanväggarnas konstruktion.	77
7.3	Inverkan av fönsterstorlek.	78
7.4	Sammanfattning.	79
8.	KONSEKVENSER OCH SLUTSATSER	81
8.1	Värmemätning.	81
8.2	Klimatberäkningar.	91
8.3	Värmeövergångskoefficienter till följd av konvektion.	94
	SAMMANFATTNING	95
	LITTERATURFÖRTECKNING	

## 1. VÄRMEÖVERFÖRING VID INNERVÄGGAR

Värmeöverföring vid byggnader behandlas vid ingenjörsmässiga beräkningar på ett kraftigt förenklat sätt. Dels kommer detta till synes i att man vanligen betraktar - i varje fall för vinterförhållanden - värmetransporterna under *stationära förhållanden*, dels genom att man inför s k *värmegenomgångskoefficient*,  $k$ . Dessutom kan man i vissa fall ifrågasätta det vanligen använda betraktelsesättet med *endimensionell* värmeströmning.

Antagandet om stationära förhållanden kan - om man använder medelvärden för uppträdande temperaturer inom en period (de flesta aktuella förlopp är periodiska) - rättfärdigas, för energiberäkningar<sup>1)</sup>. Speciellt kan också antagandet om stationära förhållanden under vinterperioder (uppvärmningsperioder) vara acceptabelt med anledning av de förhållandevis små temperaturamplituder som uppträder.

Att behandla strömningen som *endimensionell* är icke helt acceptabelt, och beräkningar utförda för endimensionell strömning kan uppvisa stora avvikelser från de verkliga förloppen - speciellt vid köldbryggor, bjälklagsgenomföringar m m.

Antagandet om en enkel uppbyggnad av en *värmegenomgångskoefficient*,  $k$ , för en vägg eller ett fönster är i sig felaktigt. För enkla beräkningar, t ex s k värmebehovberäkningar, är det dock acceptabelt. Sådana beräkningar syftar till att fastlägga radiatorstorlekar för olika rum eller på annat sätt vara *en grund* för dimensioneringen av värmearläggningen eller ventilationsanläggningen.

Vid denna typ av beräkning bestäms transmissionsförlusten,  $P$ , för t ex en yttervägg som

$$P = k \cdot A (\theta_l - \theta_u) \quad (1.1)$$

där  $k$  = väggen värmegenomgångskoefficient

$A$  = väggarean

$\theta_l$  = lufttemperaturen inomhus

$\theta_u$  = lufttemperaturen utomhus

1) Se Rydberg (1942)

Storleken av  $k$  beräknas vanligen från

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \quad (1.2)$$

Här är  $\alpha_i$  värmeövergångskoefficienten på väggens insida

$\alpha_u$  värmeövergångskoefficienten på väggens utsida

$d$  tjockleken av ett väggsnitt

$\lambda$  värmeledningsförmågan hos samma skikt

Av intresse är här storheten  $\alpha_i$ . Denna varierar med bl a väggtemperaturen och luftrörelserna inomhus. Också storheten  $\alpha_u$  varierar (med motsvarande storheter) liksom värmeledningsförmågan hos byggnadsmaterialen (vars fukthalt ändras under perioden). Normalt kan man bortse från variationerna i de sistnämnda termerna. Här skall därför storheten

$$m_y = \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \quad (1.3)$$

dvs de två sista termerna i uttrycket (1.2) betraktas som en konstant.

### 1.1 Den inre värmeövergångskoefficienten

Vi skall här se närmare på storleken av  $\alpha_i$ <sup>1)</sup>. Dess storlek härleds lättast genom att man betraktar värmetransporten till väggen i bild 1 a.

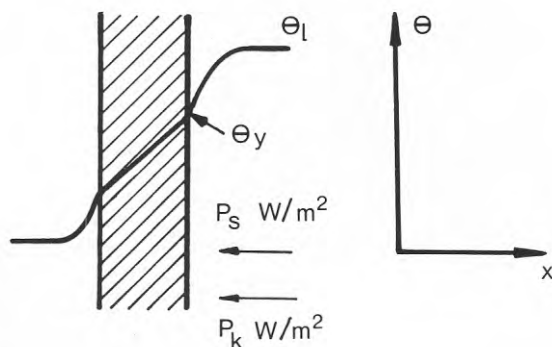


Bild 1 a

1) Framställningen hänför sig till motsvarande avsnitt i:  
F Peterson, Värmebehovsberäkningar, Institutionen för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH. Kompendium I:1.

Storheten  $\alpha_i$  och därmed självfallet  $\frac{1}{\alpha_i}$  antas normalt också vara konstant och olika för väggar, golv och tak, se t ex SBN 1975. Bild 1 a syftar på ett rum med en yttervägg, vars värmemotstånd i byggnadsdel och yttre värmemotstånd satts till  $m_y$  enligt ekvation (1.3). De inre väggarna - liksom tak och golv - har en medeltemperatur  $\theta_s$  och luftens temperatur, vilken antas lika i hela rumsvolymen, är  $\theta_l$ .

Värmeöverföringen till ytterväggen utgörs av strålning och konvektion. Värmeflödet genom strålning sker från innerväggarna till ytterväggen emedan dessa har högre temperatur än ytterväggen,

$$\theta_s > \theta_y \quad (1.4)$$

Värmeflödet från väggarna till ytterväggen blir med de gjorda antagandena

$$P_s = \alpha_s A (\theta_s - \theta_y) \quad (1.5)^1$$

Också från luften överförs värme till ytterväggen beroende på att luften (normalt) har en högre temperatur än väggytan,

$$\theta_l > \theta_y \quad (1.6)$$

Värmeeffekten som överförs blir

$$P_k = \alpha_k A (\theta_l - \theta_y) \quad (1.7)^2$$

Den totala värmeöverföringen blir per ytenhet

$$P/A = (P_s + P_k)/A = \alpha_s (\theta_s - \theta_y) + \alpha_k (\theta_l - \theta_y) \quad (1.8)$$

Detta uttryck kan jämföras med (1.1) och (1.2) varvid man finner

$$\alpha_i = \alpha_k + \alpha_s \left\{ \frac{\theta_s - \theta_y}{\theta_l - \theta_y} \right\} \quad (1.9)$$

Man kan således observera att det inre värmeövergångstalet *ej är summan av det för strålning och det för konvektion*. För  $\alpha_k$  kan man normalt sätta värden mellan 2 och 3 W/m<sup>2</sup>K.<sup>3)</sup> För  $\alpha_s$  är intervallet vid normala byggnadskonstruktioner väsentligt mindre och man kan i allmänhet sätta  $\alpha_s$  till 4,5 W/m<sup>2</sup>K.

1)  $\alpha_s$  är värmeövergångskoefficienten till följd av strålning  
 2)  $\alpha_k$  " " " " " " " konvektion  
 3)  $\alpha_k$  för hörn kan dock bli betydligt högre



Medelvärden  $\theta_y$  av inre väggtemperaturen hos en yttervägg med tvåglasfönster och  $k$ -värdet  $1 \text{ W/m}^2\text{K}^1$ ) ligger vintertid i storleksordningen  $15^\circ\text{C}$ , medan innerväggarnas temperatur ligger ca  $2^\circ\text{C}$  under lufttemperaturen. För en lufttemperatur  $\theta_l = 20^\circ\text{C}$  kommer därför det sammansatta värmeövergångstalet att bli

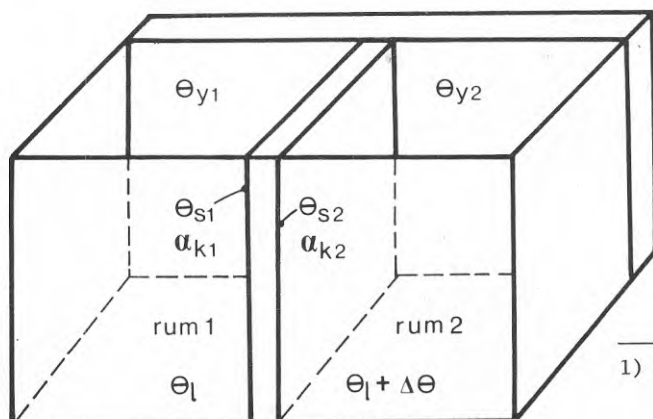
$$\alpha_z = 3 + 4,5 \left\{ \frac{18 - 15}{20 - 15} \right\} = 3 + 2,7 = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

om de ovan angivna värdena tillämpas. Detta skall jämföras med det ovägsda värdet

$$\alpha_z = \alpha_s + \alpha_k = 3 + 4,5 = 7,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

## 1.2 Värmeövergång vid innerväggar.

Värmeövergången vid innerväggar studeras sällan i samband med projektering av ett värmesystem. Skälet härtill är att man normalt förutsätter att samtliga rum har en och samma temperatur och att man därmed drar (den oftast felaktiga) slutsatsen att någon värmetransport ej kommer till stånd mellan rummen. Som påpekats i Peterson (1975) kan dock stora värmeströmmar uppträda speciellt vid tak och golv. I bild 1b visas ett fall vilket får tjäna som typexempel på hur en bedömning av värmeöverföringen vid en innervägg kan gå till. Bilden avser två rum skilda åt av en vägg vars yttemperatur är  $\theta_{s1}$  (i rum 1) resp.  $\theta_{s2}$  (i rum 2). Lufttemperaturen i rum 1 är  $\theta_l$  som tidigare och den förekommande yttemperaturen hos ytterväggen  $\theta_{y1}$  resp.  $\theta_{y2}$ .



1) äldre konstruktion

Bild 1b



Till följd av att lufttemperaturen skiljer sig med ett belopp  $\Delta\theta$  kommer också yttemperaturerna  $\theta_s$  och  $\theta_y$  att skilja sig i de båda rummen. Inom varje rum skall dock innerytornas temperatur antas konstant, om inte annat så för att förenkla beräkningarna.

Värmeövergångskoefficienten vid innerytorna har betecknats med  $\alpha_s$  och  $\alpha_{k1}$  resp.  $\alpha_{k2}$ . Medan som tidigare nämnts värmeövergångskoefficienten till följd av strålning nästan undantagslöst i dessa sammanhang kan sättas till  $4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  blir värmeövergångskoefficienten till följd av konvektion beroende av temperaturskillnaden mellan luft och vägg. Denna temperaturskillnad är normalt under uppvärmningsperioden lägre vid en innervägg än vid en yttervägg - vilket leder till att även  $\alpha_k$  blir lägre. Normalt kan man räkna med ett värde närmare 2 än  $3 \text{ W/m}^2\text{K}$  mitt på väggen.

Värmeövergången mellan innerytorna blir vid de gjorda antagandena (lika yttemperaturer i resp. rum) noll, och vi behöver endast betrakta strålningsutbytet mellan ytterväggen och den rumsskiljande väggen. Detta kan enligt vårt tidigare resonemang skrivas

$$P_{s1} = \phi \alpha_s A (\theta_{s1} - \theta_{y1}) \quad (1.10)$$

Storheten  $\phi$  är en vinkelkoefficient vilken här skall antas vara 0,22 - ett värde som är förhållandevis normalt för mindre bostadsrums geometri.

Väggen har också ett konvektivt värmeutbyte med rumsluften. Detta kan skrivas

$$P_{k1} = \alpha_k A (\theta_l - \theta_{s1}) \quad (1.11)$$

Här går energiflödet från luften till väggen eftersom lufttemperaturen  $\theta_l$  normalt är högre än väggtemperaturen  $\theta_{s1}$  :

$$\theta_l > \theta_{s1} \quad (1.12)$$

Av intresse är att det konvektiva värmeflödet går *till väggen* (till följd av att lufttemperaturen är högre än väggtemperaturen, jämför olikheten (1.12)) medan värmeflödet till följd av strålning rör sig *från* innerväggen, jämför olikheten (1.4). Medan man alltså vid en yttervägg har *samma riktning* på värmeflödet genom konvektion och strålning från innerväggar och alltså *kan addera de båda värmeöver-*

*gångskoefficienterna enligt ekvation (1.9), är detta ej möjligt för innerväggar. Värmeflödena går här vanligen i olika riktning och problemet med att bestämma väggtemperaturen, och värmeflödet genom väggen kan därför ej lösas med hjälp av en ekvation i enlighet med (1.1).*

### 1.3 Några uppgifter

I vissa sammanhang krävs förhållandevis stor noggrannhet vid beräkning av värmegenomgången vid innerväggar. Bland dessa fall märkes:

- o värmebehovsberäkningar vid rum som gränsar till andra lokaler med väsentligt annan temperatur än de förra. Hit hör t ex värmebehovsberäkningar för rum gränsande till trapphus eller icke uppvärmda lokaler.
- o bedömningar av "värmestölder" mellan rum, ett problem som aktualiserats genom att värmemätningar för lägenheter börjat diskuteras. I sådana fall att lufttemperaturerna hos olika lokaler i en byggnad skiljer sig väsentligt från varandra - ett förhållande som uppmärksamats bl a av Mandorff (1974) - kommer en mätning av värmeförbrukningen i en lokal ej att direkt visa denna lokals värmeförluster visavi uteluften, utan också innefatta de värmestölder (positiva och negativa) vilka förekommer mellan de olika rummen. Detta problem har påtalats av bl a Nyberg (1976) som också bedömt storleken av värmestölderna i olika lägenheter.
- o beräkning av värmetransmissionen mellan olika rum i en byggnad till följd av att rummen ej har samma utformning vad gäller fönstersättning m m. För exempelvis två angränsande rum med olika stora fönster men med samma temperatur hos rumsluften erhålls en viss värmeströmning från rummet med det större fönstret till det med det mindre.  
Ifrågavarande problem skall behandlas senare, se avsnitt 5.3.
- o bedömning av klimatet i ett rum. Här spelar temperaturen hos innerväggarna en viss roll - se t ex Mundt (1978) - och därmed också den aktuella värmeströmningen vid väggararna.

De problemområden där värmeströmningen vid innerväggar är av intresse skulle kunna mångfaldigas. Storleken av värmeströmningen

avhänger som senare skall visas mer av de uppträdande värmeövergångskoefficienterna vid väggarna än av väggkonstruktionens värmemotstånd! Det spelar således förhållandevis liten roll om en mellanvägg är 5 eller 10 cm tjock - se avsnitt 5.5 - vilket kan vara överraskande.

För att ge en enkel förklaring till detta fenomen - och andra - anges i avsnitt 3 en enkel modell för *ett* av de uppträdande problemen. Modellen har fördelen att ge *analytiska* uttryck för väggtemperaturer, värmeeströmning m m vid innerväggar. Den har ej legat till grund för de senare gjorda beräkningarna - avsnitt 5, 6 och 7. Här har istället datorprogrammet BRIS använts.

Vad gäller de ovan anförda värmeövergångskoefficienterna vid innerväggar (och övriga rumsytor) har ett översiktligt resonemang om dessas storlek givits i avsnitt 2, vilket även ger storleken hos värmeövergångskoefficienterna i BRIS. Detta resonemang skall i en annan publikation, Peterson (1979) fullföljas med en mer djupgående diskussion om värmeövergångskoefficienterna i ventilerade rum.



## 2. VÄRMEÖVERGÅNGSKOEFFICIENTER

Värmeövergångskoefficienten vid en väggyta sammansätts, som inledningsvis nämndes av en *värmeövergångskoefficient för konvektion* och en för *strålning*. Värmeövergångskoefficienten för strålning kan enkelt beräknas för ett *tomt* rum - hur beräkningen tillgår skall senare beröras. För möblerade rum är beräkningen svårare; i avsnitt 3 skall vi beröra svårigheterna och se hur man kan kringgå dem vid approximativa beräkningar.

Nedan skall vi närmare först studera värmeövergångskoefficienterna vid konvektiv värmeöverföring.

### 2.1 Konvektiv värmeöverföring

Värmeövergångskoefficienten till följd av konvektion vid väggytorna i ett rum bestäms av luftrörelserna vid väggen. Har luftrörelserna uppstått till följd av densitetsskillnader hos luften närmast väggen och luften i ett skikt någon cm från väggen talar man om *egenkonvektion* och värmeövergången bestäms av vissa experimentellt (och teoretiskt understödda) lagar. Uppstår däremot luftrörelserna till följd av ventilation, luftströmmar från apparater i rummet, läckage vid spalter eller genom personers rörelser i rummet *kan* man få så kallad *påtvångad konvektion*. Värmeöverföringen i detta senare fall bestäms av *andra lagar* än i det förra fallet.

Slutligen har man det fall att båda orsakerna till luftrörelser uppträder samtidigt. Den blandade typ av konvektion man på så sätt får kräver speciell behandling. I Peterson (1979) studeras hithörande fenomen närmare.

#### 2.1.1 Värmeövergångskoefficienten vid egenkonvektion.

Värmeövergångskoefficienten vid egenkonvektion kan bestämmas från samband av typen

$$\text{Nu} = f(\text{Gr}, \text{Pr}) \quad (2.1)$$

där Nu är Nusselttalet

$$\text{Nu} = \frac{\alpha d}{\lambda} \quad (2.2)$$

Gr är Grashofs tal

$$\text{Gr} = \frac{g H^3 \rho^2 \Delta \theta}{T \eta^2} \quad (2.3)$$

och Pr är Prandtltalet för vilket gäller

$$\text{Pr} = \frac{\eta c_p}{\lambda} \quad (2.4)$$

De olika beteckningarna avser:

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$\alpha$  = värmeövergångskoefficienten för konvektion

$H$  = en karakteristisk längd (t ex en vägghöjd)

$\lambda$  = luftens värmeledningsförmåga, se bild 2a

$\eta$  = luftens dynamiska viskositet, se bild 2b

$\rho$  = luftens densitet, vilken varierar med temperaturen enligt

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \quad (2.5)$$

där  $\rho_0$  är luftens densitet vid  $T_0 = 273 \text{ K}$

$c_p$  är luftens värmekapacitivitet

$\Delta\theta$  är temperaturdifferensen ( $T_v - T_L$ )

där  $T_v$  är väggtemperaturen och  $T_L$  är luftens temperatur före avkylning eller uppvärmning från väggen, se bild 2c.

Vid insättning av numeriska värden från bilderna 2a - 2b i ekvation (2.1) - (2.5) brukar man använda värden för den sk filmtemperaturen,  $T_K$ , vilken enligt Hofmann (1937) ansätts till

$$T_K = T_L - \frac{0,1 \text{ Pr} + 40}{72 + \text{Pr}} (T_L - T_v) \approx 0,45 T_L + 0,55 T_v \quad (2.6)$$

för luft.

Även andra medelvärdesbildningar för temperaturen har använts, vanligast är det aritmetiska medelvärdet mellan väggtemperaturen och gastemperaturen i den icke uppvärmda gasen, dvs

$$T = 0,5 (T_L + T_v) \quad (2.7)$$

Vid beräkningar i det följande skall denna senare medeltemperatur användas.

Att sambandet (2.1) skall gälla kan lätt visas från gränsskiktsekvationerna.<sup>1)</sup> Däremot har man ej - utan att lösa ekvationerna - sambandets form. Av flera skäl har man valt att använda enkla *potenssamband* för att uttrycka försöksdata i enlighet med sambandet (2.1);

1) Se t ex Gröber, Erk, Grigull. Die Grundgesetze der Wärmeübertragung. Berlin (1963).



de kan därför skrivas

$$Nu = C Gr^n Pr^m \quad (2.8)$$

Beroende på om friktionen mellan väggen och den strömmande gasen (jämför bild 2c) kan försummas eller ej kommer potenserna  $n$  och  $m$  att vara lika eller olika. Ytterligare förenklingar kan göras. Redan av bild 2d ser vi att Prandtl-talet praktiskt taget är konstant.<sup>1)</sup> Utan större fel kan man därför sätta

$$Nu = C_1 Gr^n \quad (2.9)$$

varför potensen  $m$  ej behöver bestämmas från försöksdata.

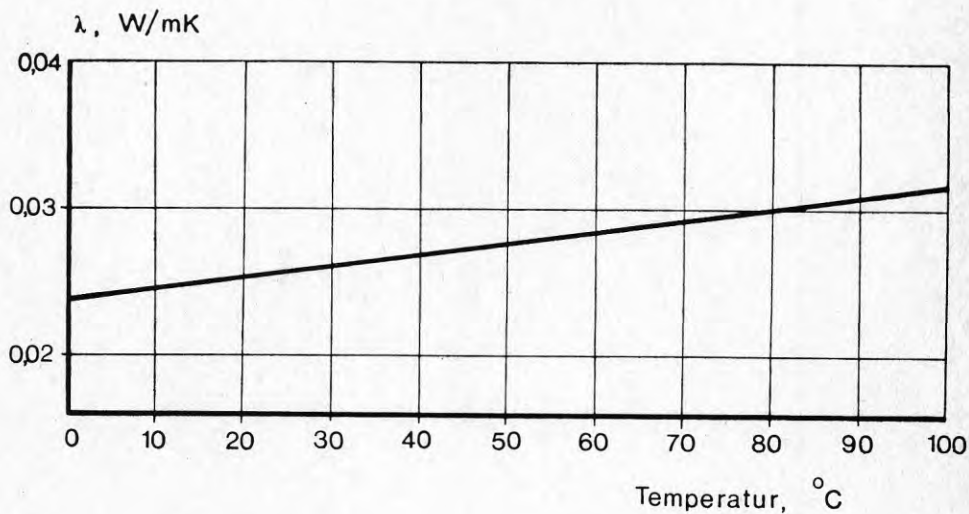


Bild 2a Luftens värmeledningsförmåga som funktion av lufttemperaturen.

1) Gäller *luft* (och vissa andra gaser).

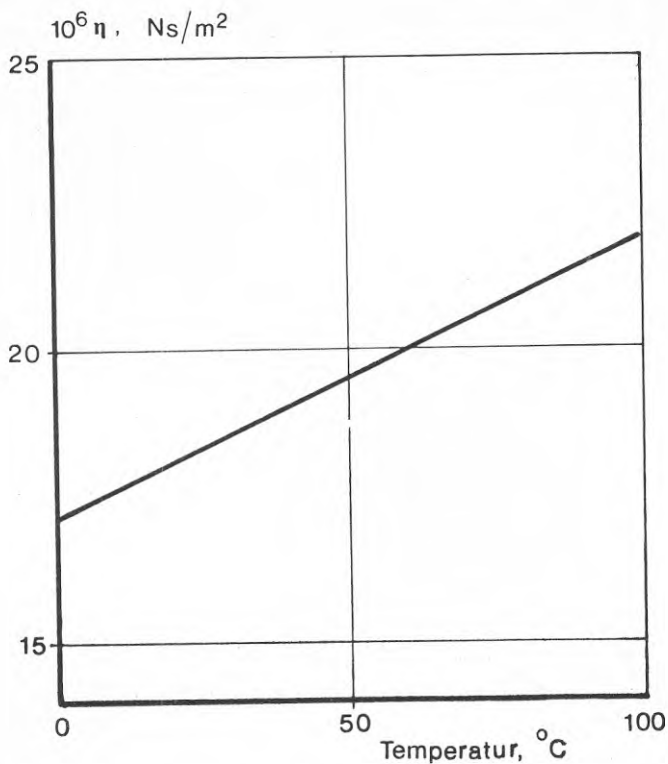


Bild 2b Luftens dynamiska viskositet som funktion av luft-temperaturen.

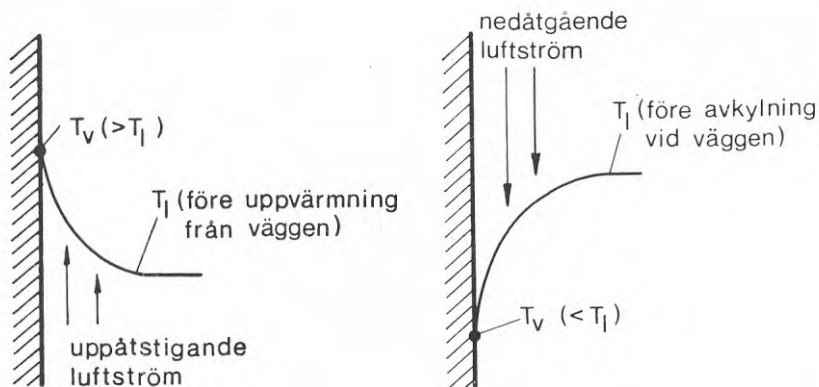


Bild 2c Luftströmning vid vertikal vägg.



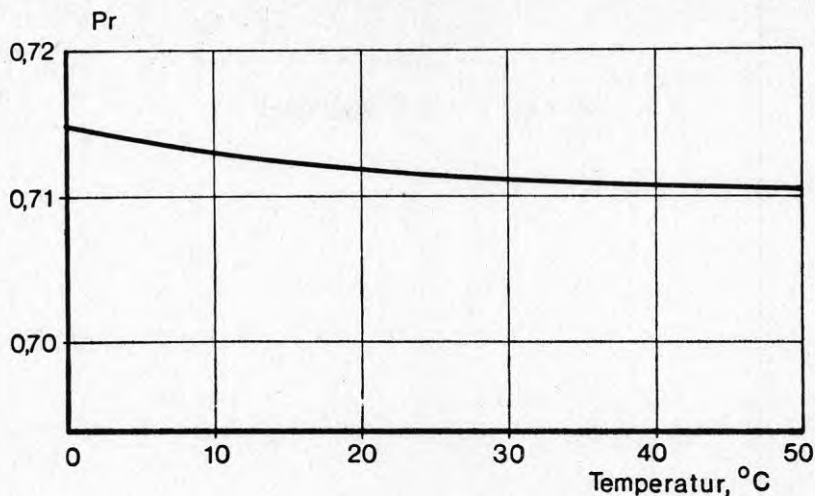


Bild 2d Pr-talet för luft som funktion av temperaturen.

Som tidigare antytts är ekvation (2.9) endast approximativ. Storleken av både koefficienten  $C_1$  och exponenten  $n$  varierar med Gr.

Koefficienten  $C_1$  varierar också med ytans orientering i förhållande till vertikalerna. För vertikala ytor får man således ett värde på  $C_1$ , för horisontella ett annat även vid ett och samma värde på Gr. Då det gäller horisontella ytor får man dessutom olika värden beroende på luftens temperatur i förhållande till ytans. Låt oss se närmare på de olika fallen.

## 2.2 Uppåtstigande eller fallande luftström, horisontell yta

Vid en horisontell yta får man en uppåtstigande luftström för det fall luften värms. Detta inträffar exempelvis vid varma golv, se bild 2e (räknat med golvet som jämförelsetemperatur).



Bild 2e Luftströmmar vid horisontella ytor. Kallt tak resp varmt golv.

Vid *kalla tak* får man en fallande luftrörelse och samma ekvationer för värmeöverföringen kan användas.

Man får i dessa fall enligt Weise (1935)

$$C = 0,137 \text{ Pr}^{1/3} \quad (2.10)$$

dvs

$$C_1 = 0,122 \quad (2.11)$$

då  $\text{Gr} > 2 \cdot 10^7$ , dvs vid turbulent strömning.

Ekvation (2.9) med insatt (2.11) ger

$$\text{Nu} = 0,122 \text{ Gr}^{1/3} \quad (2.12)$$

eller om vi inför

$d$  = rumsdimension  $\approx 4$  m

$\lambda$  = luftens värmeledningskoefficient bestämd från bild 2a till

$$\lambda = \lambda_0 (1 + \theta/320) \quad (2.13)^1$$

$\eta$  = luftens dynamiska viskositet bestämd från bild 2b till

$$\eta = \eta_0 (1 + \theta/313) \quad (2.14)^2$$

1)  $\lambda_0 = 0,024 \text{ W/m K}$

2)  $\eta_0 = 17,2 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$

samt värdet enligt (2.5) för densiteten,  $\rho$ , får vi

$$\alpha = 1,72 \cdot \left(1 - \frac{\bar{\theta}}{691}\right) \cdot \Delta\theta^{1/3} \quad (2.15)$$

där  $\bar{\theta}$  enligt (2.7) är

$$\bar{\theta} = T - 273 = (\theta_z + \theta_v)/2 \quad (2.16)^3$$

Ekvation (2.15) visas grafiskt i bild 2f

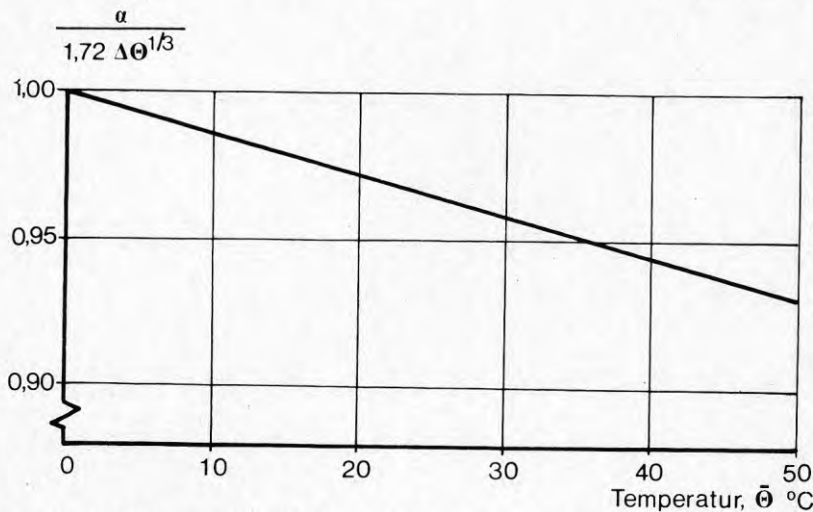


Bild 2f Ekvation (2.15) i grafisk form.

### 2.3 Stillastående luft, horisontell yta

Vid en "stabil" luftskiktning, se bild 2g kan motsvarande ekvationer som i föregående fall uppställas. Man får

$$C = 0,27 \cdot Pr^{0,25} \quad (2.17)$$

dvs

$$C_1 = 0,24 \quad (2.18)$$

då  $3 \cdot 10^5 < Gr < 3 \cdot 10^{10}$

Ekvation (2.9) blir således

$$Nu = 0,24 Gr^{1/4} \quad (2.19)$$

3)  $\theta_z$  resp.  $\theta_v$  är luft resp. väggtemperaturer i °C.

Inför vi de tidigare sambanden får vi här (laminär strömning)

$$\alpha = 0,48 \cdot \Delta\theta^{1/4} \cdot \left(1 - \frac{\bar{\theta}}{3290}\right) \quad (2.20)$$

se bild 2h

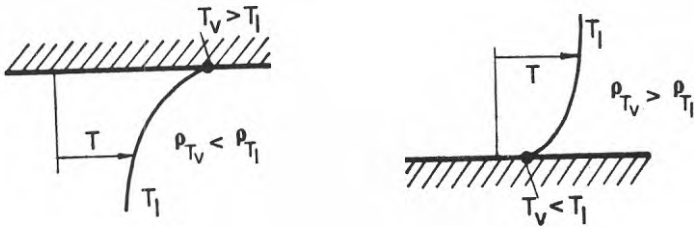


Bild 2g "Stabil" skiktning vid horisontella ytor.

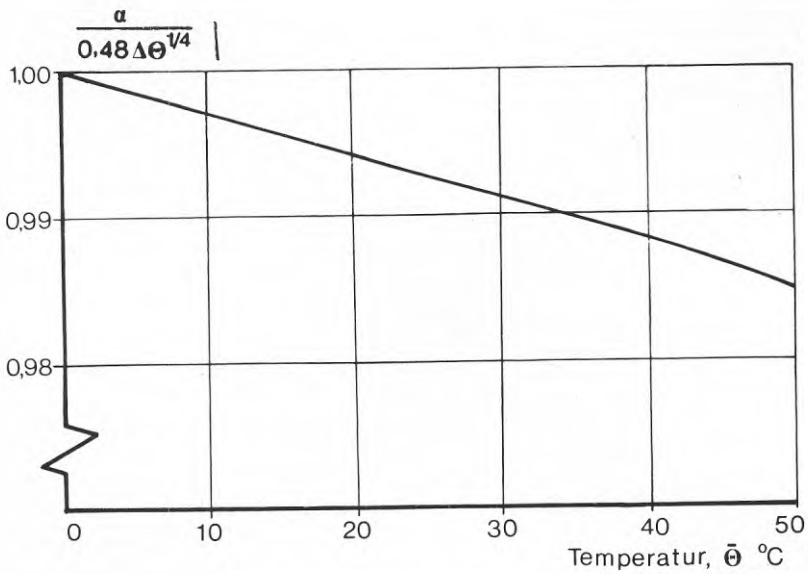


Bild 2h Ekvation (2.20) i grafisk form.

## 2.4 Vertikal yta

Vid en vertikal yta får man särskilja på olika fall, nämligen att luftströmningen är laminär eller turbulent. För de två fallen får man *laminär strömning* ( $Gr < 10^9$ )

$$Nu = 0,52 Gr^{1/4} Pr^{1/4} = 0,48 Gr^{1/4} \quad (2.21)$$

och vid *turbulent strömning* ( $Gr > 10^9$ )

$$Nu = 0,10 Gr^{1/3} Pr^{1/3} = 0,10 Gr^{1/3} \quad (2.22)$$

enligt Saunders (1939).

Insättning av uttrycket för Nu och Gr samt ämneskonstanter ger värmeövergångskoefficienterna

$$\alpha = 1,5 \Delta\theta^{1/4} / H^{1/4} \quad (2.23)^1$$

resp.

$$\alpha = 1,6 \Delta\theta^{1/3} \quad (2.24)^1$$

I det förra fallet får man således inverkan av ytans storlek, i det senare fallet bortfaller denna inverkan.

## 2.5 Inverkan av störningar

Redan uttrycken (2.23) och (2.24) visar på att man ibland får en inverkan av den värmeutbytande ytans storlek, ibland inte. Självfallet får man också en variation av värmeövergångskoefficienterna över ytan; där luftströmningen är intensivast blir värmeöverföringen störst och vice versa. Kraftig luftströmning inträffar vid ytans kanter. I rum gäller att man får *störningar* i hörn och kanter vid tak och golv. Man får därför en annan variation hos värmeövergångstalen hos rumsytorna än de man kan förvänta sig från försök med "fria" plattor.

Exempel på variationen visas i bild 2i efter försök av Eckert (1950). Uppgifterna avser en vertikal vägg, 1 m hög. Nära golv och tak varierar värmeövergångskoefficienten på ett oregelbundet sätt. Utmed ytan får man den ovan antydda variationen med större övergångskoefficient ju större lufthastighet som kan påräknas.

---

1) Värdet för luft vid rumstemperatur.

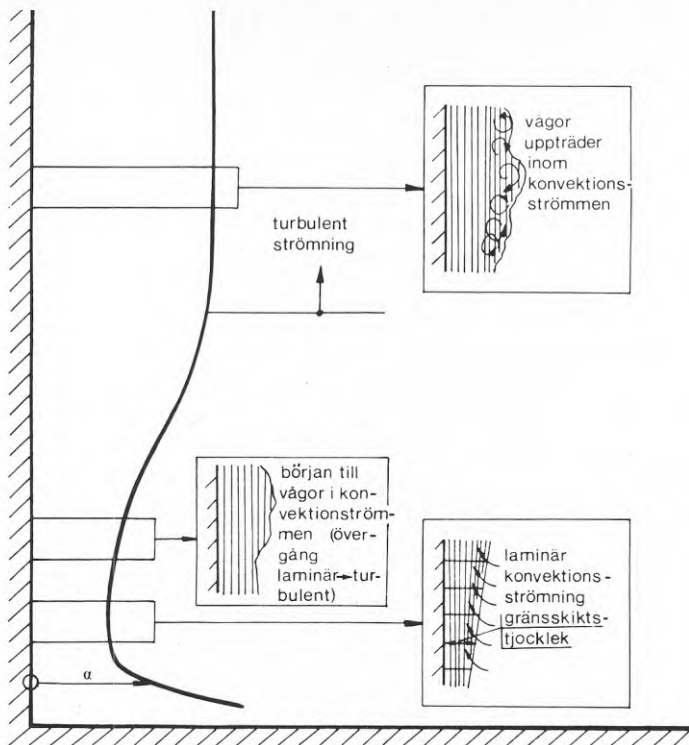


Bild 2i Störningar i luftström vid vertikala ytor enligt Eckert

## 2.6 Påtvingad strömning

Redan inledningsvis kunde vi konstatera att man vid vissa tillfällen kunde få sk påtvingad strömning. I sådana fall kan man för bestämning av värmeövergångskoefficienterna finna samband av typen<sup>1)</sup>

$$Nu = f(Re, Pr) \quad (2.25)$$

$$\text{där } Re = \frac{vL\rho}{\eta} \quad (2.26)$$

med beteckningarna

$v$  = lufthastigheten i den ostörda strömningen invid ytan  
se bild 2j

$L$  = längden av luftens strömningssträcka utmed ytan

För plana ytor finns en rad samband att tillgripa för bestämningen. Här skall åter användas ett potenssamband:<sup>2)</sup>

$$Nu = 0,0366 Pr^{1/3} Re^{0,8} \quad (2.27)$$

1) Nusselt (1909)

2) Johnson et al (1949)

Man får för luft

$$\text{Nu} = 0,0327 \text{ Re}^{0,8} \quad (2.28)$$

eller

$$\alpha = 6 \cdot \frac{v^{0,8}}{L^{0,2}} \quad (2.29)$$

Vid påtvingad strömning får man således räkna med en viss inverkan av ytans storlek.

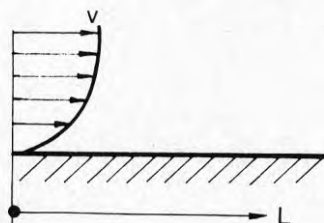


Bild 2j Hastighetsprofil vid påtvingad strömning.

## 2.7 Blandad konvektion

Som inledningsvis nämnades kommer man - i t ex ventilerade rum - att få en sammanlagd verkan av de luftrörelser vilka beror på egenkonvektion och de vilka påtvingats luften. Vid höga hastigheter - dvs stora värden på  $\text{Re}$  - kommer inverkan av egenkonvektionen att bli försumbar. Vid stora temperaturskillnader mellan luft och väggar blir analogt därmed egenkonvektionen avgörande för värmeöverföringen. I det senare fallet blir  $\text{Gr}$  stort och  $\text{Re}$  relativt litet. Avgörande för vilken av de båda strömningsfallen som skall bli bestämmande är kvoten

$$\text{Gr}/\text{Re}^2 \quad (2.30)$$

där såväl i  $\text{Gr}$  som i  $\text{Re}$  längden av strömningsvägen utmed ytan - t ex en vägg - skall användas som karakteristisk längd.

En approximation av Nu för det fall att *samverkande blandad konvektion* (bild 2k) uppträder vid en plan vägg,

$$\text{Nu}_{\text{Bl}}^q = \text{Nu}_{\text{Gr}}^q + \text{Nu}_{\text{Re}}^q \quad (2.31)$$

där  $\text{Nu}_{\text{Bl}}$  är Nu-talet vid blandad konvektion

$\text{Nu}_{\text{Gr}}$  är Nu-talet vid egenkonvektion

och  $\text{Nu}_{\text{Re}}$  är Nu-talet vid påtvingad strömning.

Ekvation (2.31) kan skrivas, se (2.2):

$$\left\{ \frac{\alpha_{\text{Bl}} \cdot L}{\lambda} \right\}^q = \left\{ \frac{\alpha_{\text{Gr}} \cdot L}{\lambda} \right\}^q + \left\{ \frac{\alpha_{\text{Re}} \cdot L}{\lambda} \right\}^q \quad (2.32)$$

eller

$$\alpha_{\text{Bl}}^q = \alpha_{\text{Gr}}^q + \alpha_{\text{Re}}^q \quad (2.33)$$

där  $\alpha_{\text{Bl}}$ ,  $\alpha_{\text{Gr}}$  och  $\alpha_{\text{Re}}$  är värmeövergångskoefficienterna vid blandad, egen- och påtvingad konvektion.

Exponenten  $q$  varierar för olika fall. För t ex fallet med en vertikal vägg kan man om egenkonvektionen och den påtvingade strömningen samverkar (bild 2k) sätta

$$q \approx 2 \quad (2.34)$$

som ger

$$\alpha_{\text{Bl}} = \sqrt{\alpha_{\text{Gr}}^2 + \alpha_{\text{Re}}^2} \quad (2.35)$$

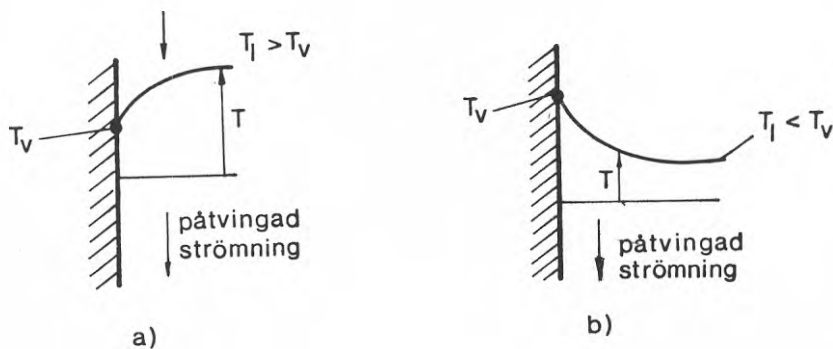


Bild 2k Samverkande blandad konvektion vid plan vägg.



Inför vi (för turbulent strömning)  $\alpha_{Gr}$  enligt ekv. (2.24) och  $\alpha_{Re}$  enligt ekv. (2.29) får vi

$$\alpha_{Bl} = \sqrt{2,5\Delta\theta^{2/3} + 36 \frac{v^{1.6}}{L^{0.4}}} \quad (2.36)$$

För att den påtvingade strömningen skall spela någon större roll skall vi anta att den ger en ändring av  $\alpha_{Bl}$  med 5 %, dvs att

$$\frac{36 \frac{v^{1.6}}{L^{0.4}}}{2,5 \Delta\theta^{2/3} + 36 \frac{v^{1.6}}{L^{0.4}}} > 0,1 \quad (2.37)$$

Detta inträffar för

$$v > \frac{L^{0,25} \cdot \Delta\theta^{0,4}}{20} \quad (2.38)$$

Som vi senare skall finna är  $\Delta\theta$  av storleksordningen 1 à 2°C (utom vid fönster, se även t ex Schutrum et al (1957)). Med det ovan använda värdet 4 m för rumsdimension får vi

$$v > 0,09 \text{ m/s} \quad (2.39)$$

För  $L = 2 \text{ m}$ ,  $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$  erhålls

$$v > 0,06 \text{ m/s} \quad (2.40)$$

I luftkonditionerade lokaler uppträder således vanligen blandad konvektion.

I bild 27 ges en bild av värmeövergångskoefficienten  $\alpha_{Bl}$  som funktion av  $\Delta\theta$  vid olika lufthastigheter. För längden  $L$  har värdet 1 m och 4 m använts. Hastigheten  $v$  hos luften i lokalen har antagits vara 0,15 till 0,25 m/s, ett område aktuellt för de flesta lokaler av typen kontor, ventilerade bostäder m m.

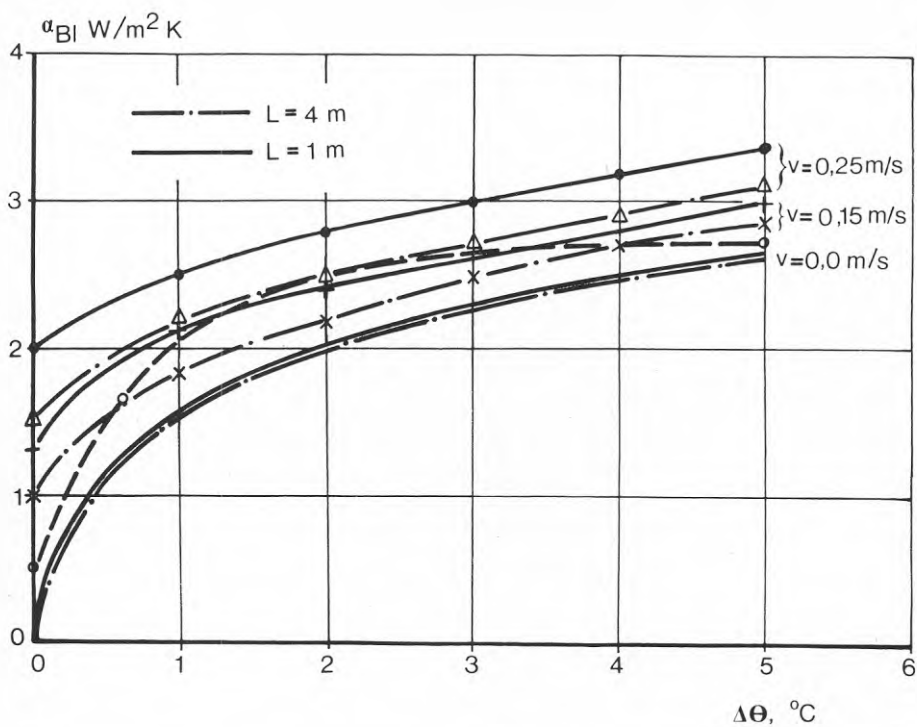


Bild 27 Värmeövergångskoefficienten  $\alpha_{B1}$  som funktion av  $\Delta\theta$  vid olika lufthastigheter.

I bilden visas värmeövergångskoefficienten vid *samverkande* strömning, jämför bild 2k.

Den streckade kurvan motsvarar värmeövergångskoefficienter använda vid efterföljande beräkningar, se avsnitt 2.8.

## 2.8 Värmeövergångskoefficienter i datorprogrammet BRIS

Programmet behandlar värmeöverföring uppdelat i dess grundformer: ledning, konvektion och strålning. Värmeöverföringen genom ledning beräknas på sedvanligt sätt med uttryck för värmemotstånd, se samband (1.2). Konvektiv värmeöverföring - värmeövergång - mellan vägg-yta och luft beräknas enligt samband (1.11). Värmeöverföring genom strålning redovisas i avsnitt 2.9.

Värmeövergångskoefficienten  $\alpha_k$  är, såsom nämnts i avsnitt 1, beroende av temperaturdifferensen mellan luft och vägg-yta. Programmet hämtar värden ur en tabell, inlagd i själva programmet. Aktuella värden redovisas i tabell 2.1. Tillämpligt  $\alpha_k$  fås genom linjär interpolation. Värdena är beräknade efter Min et al (1956), som redovisat en serie mätningar i provrum. Sambandet redovisas här kortfattat.

**Tabell 2.1  $\alpha_k$  inlagda i BRIS enligt sambanden (2.42) - (2.44).**

$\Delta\theta$ °C	$\alpha_k$ W/m <sup>2</sup> K	
	Fönster, väggar	Golv, tak
< 0	-	0,6
0	0,6	0,6
0,5	1,6	1,9
2	2,4	2,8
7	3,6	4,2
30	5,7	6,6
>30	6,4	7,7

Enligt avsnitt 2.1.1 gäller att

$$Nu = f(Gr, Pr)$$

Härmed kan man härleda - jämför avsnitt 2.6 och 2.7 -

$$\alpha_k = C \cdot \Delta\theta^n \cdot H^{-m} \quad (2.41)$$

där  $\alpha_k$  = värmeövergångskoefficienten för konvektion, W/m<sup>2</sup>K  
 $\Delta\theta$  = temperaturdifferens, K  
 $H$  = en karakteristisk längd, m  
 $C, n, m$  = konstanter

Mätningarna gav till resultat:

$$\text{Väggar} \quad \alpha_k = 1,88 \cdot \Delta\theta^{0,32} \cdot H^{-0,05} \quad (2.42)$$

$$\text{Varmt tak, kallt golv} \quad \alpha_k = 0,20 \cdot \Delta\theta^{0,25} \cdot H^{-0,25} \quad (2.43)$$

$$\text{Kallt tak, varmt golv} \quad \alpha_k = 2,41 \cdot \Delta\theta^{0,31} \cdot H^{-0,08} \quad (2.44)$$

I sambandet (2.42) är  $H$  = rumshöjden, i sambanden (2.43) och (2.44) är  $H$  takets "hydrauliska diameter", dvs 4 gånger takets yta dividerad med dess omkrets.

Värdena avser ostörda förhållanden. Som påpekats i avsnitt 2.5 erhålls vanligen störningar, varför  $\alpha_k$ -värdena kan bli högre i praktiken.

Värmeövergångskoefficienterna i tabell 2.1 är beräknade för normal rumshöjd, ca 2,6 m. För att erhålla bättre resultat vid linjär interpolation, har värdena höjts något. (Funktionssambanden enligt (2.42) - (2.44) har approximerats till polygoner). För andra värden på  $\alpha_k$  måste man ändra i programmets  $\alpha_k$ -tabell. Den temperaturskillnad som ingår i sambanden (2.42) - (2.44) uttrycks som (beteckningar enligt avsnitt 1):

$$\Delta\theta = |\theta_z - \theta_y| \quad (2.45)$$

för fönster och väggytor;

$$\Delta\theta = \theta_z - \theta_y \quad (2.46)$$

för takytor och

$$\Delta\theta = \theta_y - \theta_z \quad (2.47)$$

för golvytor.

Man lägger här märke till att programmet använder rumstemperaturen vid golv och tak. Enligt avsnitt 2.1.1 skall den sk filmtemperatur användas. Med hänvisning till avsnitt 2.2 och 2.3 bör programmet kompletteras med en bättre medelvärdesbildning. Värmeövergångskoefficienterna är dock fullt rimliga, se bild 27. Av bilden framgår, att vid små temperaturdifferenser blir avvikelser större från de  $\alpha$ -värden som givits i avsnitt 2.7. Att avvikelserna kan bli större med högre luftströmmar påpekas också av Brown (1964), som dock inte ger några anvisningar till korrektion.

Möjligheter finns att komplettera programmet på denna punkt, t ex med en valfri tabell för  $\alpha$ -värden.

## 2.9 Värmeöverföring vid strålning i datorprogrammet BRIS

Programmet särskiljer två olika strålningsformer: kortvågig och långvågig. Dessa är till sin natur helt olika och kan därför behandlas var och en för sig. Den *kortvågiga* strålningen ligger inom våglängdsområdet för synligt ljus. Den *långvågiga* strålningen (så kallad värmestrålning) ligger inom ett våglängdsområde som är upp mot 10-100 gånger det för kortvågig strålning. Vissa approximationer har införts i programmet, beroende på att alla sedvanliga byggnadsmaterial har nära nog samma strålningstekniska egenskaper för denna senare strålning.

### 2.9.1 Kortvågig strålning.

Den uppträdande strålningen antas komma från en eller flera av rummets ytor. En energiform är sol- och himmelsstrålning given som indata till programmet. Denna strålningseffekt transmitteras genom fönstren och fördelas över alla rumsytorna. En annan strålningsenergi svarar belysning, som också ges som indata, för. Belysningen antas tillhöra en av rummets ytor, vanligen taket (eller en del av ytan). I denna undersökning har belysning utelämnats. Varje yta *reflekterar* en del av strålningsenergin samtidigt som en del av energin *absorberas*. För att kunna beräkna strålningens fördelning används begreppet *fördelningskoefficient*,  $\psi$ . (Beteckning enligt Brown (1964)). Storheten  $\psi$  skall inte förväxlas med beteckningen i avsnitt 8.

$\psi_{ik}$  anger hur stor del av den från ytan  $A_i$  avgivna strålningen - direkt och reflekterad - som totalt upptas av ytan  $A_k$ . Koefficienten  $\psi_{ik}$  är beroende av absorptionsfaktorerna hos alla ytor samt av ytornas form, storlek och inbördes läge. I programmet har förutsatts, att sambandet mellan absorptionsfaktor  $a$  och reflektionsfaktor  $r$  är

$$a = 1 - r \quad (2.48)$$

vilket är fallet för en opak, dvs icke speglande eller transmittande kropp.

Reflexionsfaktorn  $r$  för varje rumsyta ges som indata till programmet. Som exempel sätts ljusa tak till  $r = 0,7$  och mörkare golv till  $r = 0,3$ .

Man kan observera, att en del av den från en yta reflekterande strålningen förs tillbaka till ytan. Ett ljust tak omges av mörkare ytor och får därför ett lägre  $\psi$  än vad ett mörkt golv får. Golvet mottar alltså mer reflekterad strålning än taket. (Detta kan kontrolleras i programmets

utskrift av fördelningskoefficienterna: i diagonalelementen i den utskrivna matrisen återfinns varje ytas eget  $\psi$ -värde).

Vid följande beräkningar har antagits ljust tak, mörkt golv och medeljusa väggar.

Den strålningseffekt som ytan  $A_n$  absorberar från ett fönster kan skrivas:

$$P_{n1} = \psi_f \cdot A_f \cdot I_T \quad (2.49)$$

där  $P_{n1}$  = absorberad strålningseffekt W

$A_f$  = fönstrets yta  $m^2$

$\psi_f$  = fönstrets fördelningskoefficient

$I_T$  = genom fönstret direkt transmitterad sol- och himmelsstrålning  $W/m^2$

Ett motsvarande uttryck kan sättas upp för belysning:

$$P_{n2} = \psi_{be} \cdot A_{be} \cdot I_{be} \quad (2.50)$$

där  $P_{n2}$  = absorberad strålningseffekt W

$A_{be}$  = belysningsytans storlek  $m^2$

$\psi_{be}$  = belysningsytans fördelningskoefficient

$I_{be}$  = strålningseffekten per ytenhet av  $A_{be}$   $W/m^2$

Den totala strålningseffekten blir

$$P_n = P_{n1} + P_{n2} \quad (2.51)$$



## 2.9.2 Långvågig strålning.

Vid långvågig strålning gäller för en ideal svart kropp:

$$P = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2.52)$$

där  $P$  = strålningseffekten W

$\sigma$  = Stefan-Boltzmanns konstant ( $5,7 \cdot 10^{-8}$  W/m<sup>2</sup>K)

$A$  = ytan från strålningskroppen m<sup>2</sup>

$T$  = absoluta temperaturen K.

För en icke ideal, grå, kropp (eller yta) gäller

$$P = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (2.53)$$

där  $\epsilon$  = emissionstalet.

Värdet på  $\epsilon$  vid långvågig strålning är för de flesta byggnadsmaterial, såväl ljusa som mörka, tämligen konstant vid normala rumtemperaturer:

$$\epsilon \approx 0,9 \quad (2.54)$$

Detta värde har använts nedan. Vidare har förutsatts att reflexionen,  $r$ , kan försummas. Fördelningskoefficienten  $\psi$  övergår då till vinkelkoefficienten<sup>1)</sup>  $\phi$ , som *enbart* beror av geometri.

Varje yta *emitterar* en viss strålningseffekt samtidigt som ytan *absorberar* en annan strålningseffekt. Om ytan  $A_1$  totalt emitterar effekten  $P_1$  W, absorberar ytan  $A_2$  effekten  $\phi_{12} \cdot P_1$  W (enligt definitionen av  $\phi$ ). Om ytan  $A_2$  emitterar  $P_2$  W, absorberar ytan  $A_1$  effekten  $\phi_{21} \cdot P_2$  W. Nettostrålningen som ytan  $A_2$  mottar från ytan  $A_1$  blir

$$P_{12} = \phi_{12} \cdot P_1 - \phi_{21} \cdot P_2 \quad (2.55)$$

$P_1$  och  $P_2$  fås ur sambandet (2.53), vilket ger

$$P_{12} = \epsilon \sigma (\phi_{12} \cdot A_1 \cdot T_1^4 - \phi_{21} \cdot A_2 \cdot T_2^4) \quad (2.56)$$

där  $\epsilon$  förutsätts lika för ytorna.

För vinkelkoefficienterna gäller

$$\phi_{12} \cdot A_1 = \phi_{21} \cdot A_2 \quad (2.57)$$

Detta ger

$$P_{12} = \epsilon \cdot \sigma \cdot \phi_{21} \cdot A_2 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.58)$$

1) Beteckningen  $\phi$  enligt Brown (1964). Detta  $\phi$  är helt skilt från det  $\phi$  som anges i avsnitt 5.

Detta beräknas av programmet för alla ytor i rummet på så sätt, att för varje yta  $A_i$  räknas bidraget från alla andra ytor, totalt  $k$  st:

$$P_i = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A_i \cdot \sum_k \phi_{ik} \cdot |T_k^4 - T_i^4| \quad (2.59)$$

Enligt sambandet (2.57) gäller generellt  $\phi_{ik} \cdot A_i = \phi_{ki} \cdot A_k$  och med specialfallet  $i = k$  blir nettostrålningen = 0 enligt (2.55) respektive (2.59). Vinkelkoefficienten anger att en yta bara kan ha strålningsutbyte med alla andra ytor. Av denna anledning har utskriften av vinkelkoefficienterna från BRIS-programmet en diagonal med alla värden = 0.

### 2.9.3 Möbleringens inverkan på rumsklimatet

Den nuvarande versionen av BRIS tar, som nämnts ovan, ej hänsyn till att rummen i en byggnad är möblerade, att gardiner används m.m. Man kan finna flera skäl till att för praktiskt bruk försumma inverkan av inventarier; bl.a. förbättras i de flesta fall strålningsförhållandena genom att kylda väggytor, t.ex. fönster, avskärmas. Avskärmningen av radiatorer ger givetvis en försämring av klimatet i ett rum med fönster. Radiatorns funktion att kompensera för strålningsutbytet mellan människan och den kalla rumsytan förhindras. Beräkningsmässigt kan detta beaktas i BRIS på två sätt.

Antingen kan radiatorns strålningsegenskaper ändras i enlighet med de aktuella förhållandena eller också kan man - vid "total" avskärmning av strålningen från en radiator - helt enkelt utelämnas densamma i beräkningen. Beräkningsfallet blir med detta senare betraktningssätt enahanda med det vid ren konvektiv uppvärmning<sup>1)</sup>. Med hänsyn till att man i många lägenheter, kontor m.m. har en avskärmning av radiatorer, har beräkningarna i avsnitt 5 gjorts för ett tänkt fall med enbart konvektiv värmetillförsel till rummen. De avvikelser vilka i praktiken uppträder visavi detta beräkningsfall ligger mellan de i avsnitt 5 och avsnitt 6 angivna fallen. I avsnitt 6 har nämligen motsvarande beräkningar som i avsnitt 5 genomförts men för det fall att man har icke avskärmade radiatorer i rummen.

Rumsklimatet kan dessutom påverkas av inredningens värmeackumulerande verkan. Detta har betydelse vid större lagerlokaler; vid normala bostadsrum är möblernas massa försumbar vid jämförelse med byggnadsstommens massa.

1) T.ex. den vid varmluftssystem.



### 3. EN ANALYTISK MODELL

Det problem som skisseras i avsnitt 1 kan angripas dels genom beräkningar utförda med dator - i avsnitt 5 skall vi återkomma till sådana - dels genom att man för ett enkelt fall uppställer en analytisk modell för värmeströmningen vid innerväggar. Inledningsvis gavs de grundläggande ekvationerna för en sådan modell. I detta avsnitt skall vi se närmare på hur modellen kan byggas upp och några konsekvenser av den.

#### 3.1 Tvårumsproblemet

Vi skall här studera en enkel tillämpning på det sagda, nämligen ett tvårumsproblem, vilket ansluter sig till förhållandena i bild 1b. Uppgiften är att fastlägga - på slutna form - värmeflödet genom mellanväggen vid en temperaturdifferens om  $\Delta\theta$  hos rumsluften i de båda rummen.

Innan vi löser uppgiften kan det vara av intresse att notera att lösningen i enlighet med förutsättningarna innebär vissa förenklingar i jämförelse med motsvarande verkliga fall. Således tas ingen hänsyn till inverkan från möbler, *instationära förhållanden* eller *olikheter* i såväl *yttemperatur* (fönster/vägg) som *lufttemperaturen* inom respektive rum.

Problemet löses genom att ett antal samband för värmeöverföringen vid ytterytorna och mellanväggen uppställs.

För *ytterytan* i rum 1<sup>1)</sup> får vi enligt tidigare resonemang

$$\frac{\theta_{y1} - \theta_u}{m_y} = \alpha_k (\theta_l - \theta_{y1}) + \alpha_s (\theta_{s1} - \theta_{y1}) \quad (3.1)$$

För *ytterytan* i rum 2

$$\frac{\theta_{y2} - \theta_u}{m_y} = \alpha_k (\theta_l + \Delta\theta - \theta_{y2}) + \alpha_s (\theta_{s2} - \theta_{y2}) \quad (3.2)$$

Båda ekvationerna har erhållits genom att värmeflödet från luften och innerväggen till ytterväggen satts lika med värmeflödet genom väggen till utomhusluften.

1) Se bild 1b. Definition av  $m_y$  enligt ekvation (1.3).

För innerväggen gäller att det värme som lagras i ett ytskikt (1 eller 2) vid stationära förhållanden är noll.

Detta ger för ytan 1 (i rum 1)

$$\alpha_{k1}(\theta_l - \theta_{s1}) - \phi\alpha_s(\theta_{s1} - \theta_{y1}) + \frac{P}{A} = 0 \quad (3.3)$$

Storheten  $P$  är här värmeflödet genom innerväggen. Detta kan bestämmas med hjälp av väggkonstruktionens värmemotstånd  $m$  ( $= \Sigma d/\lambda$ ) som

$$\frac{P}{A} = \frac{\theta_{s2} - \theta_{s1}}{m} \quad (3.4)$$

För ytan 2 (i rum 2)

$$\alpha_{k2}(\theta_l + \Delta\theta - \theta_{s2}) - \phi\alpha_s(\theta_{s2} - \theta_{y2}) - \frac{P}{A} = 0 \quad (3.5)$$

I ekvationerna (3.1) - (3.5) förekommer fyra obekanta yttemperaturer.

Dessa kan elimineras, vilket ger yttemperaturerna  $\theta_{s1}$  och  $\theta_{s2}$  till:

$$\theta_{s1} = \beta\theta_l + \nu\Delta\theta \quad (3.6)$$

samt

$$\theta_{s2} = \beta\theta_l + \mu\Delta\theta \quad (3.7)$$

där

$$\beta = 1 - \frac{\phi\alpha_s \frac{1}{m_y} \left\{ 1 - \frac{\theta_u}{\theta_l} \right\}}{\alpha_{k1} \left( \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right) + \phi\alpha_s \left( \frac{1}{m_y} + \alpha_k \right)} \quad (3.8)$$

$$\nu = - \frac{\left\{ \phi\alpha_s \alpha_k + \alpha_{k1} \left( \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right) \right\} \cdot \frac{1}{m} \left\{ \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right\}}{\left\{ \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right\}^2 \frac{1}{m^2} - \left\{ \phi\alpha_s^2 - (\phi\alpha_s + \alpha_{k1} + \frac{1}{m}) \left( \alpha_k + \alpha_s + \frac{1}{m_y} \right) \right\}^2} \quad (3.9)$$

$$\mu = \frac{\left\{ \phi\alpha_s^2 - (\phi\alpha_s + \alpha_{k1} + \frac{1}{m}) \left( \alpha_k + \alpha_s + \frac{1}{m_y} \right) \right\} \left\{ \phi\alpha_k \alpha_s + \alpha_{k1} \left( \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right) \right\}}{\left\{ \alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y} \right\}^2 \frac{1}{m^2} - \left\{ \phi\alpha_s^2 - (\phi\alpha_s + \alpha_{k1} + \frac{1}{m}) \left( \alpha_k + \alpha_s + \frac{1}{m_y} \right) \right\}^2} \quad (3.10)$$

och där  $\alpha_{k2}$  satts lika med  $\alpha_{k1}$ .

För  $\Delta\theta = 0$ , dvs. lika lufttemperatur, är  $\theta_{s1} = \theta_{s2}$  och värmeflödet,  $P$ , genom mellanväggen

$$P = 0 \quad (3.11)$$

För ändliga värden på  $\Delta\theta$  blir värmeflödet

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{m} (\theta_{s2} - \theta_{s1}) \quad (3.4)$$

Man får

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{m} \frac{\phi \alpha_k \alpha_s + \alpha_{k1} (\alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y})}{(\alpha_s + \alpha_k + \frac{1}{m_y}) (\phi \alpha_s + \alpha_{k1} + \frac{2}{m}) - \phi \alpha_s^2} \cdot \Delta\theta \quad (3.12)$$

### Exempel

För  $\phi = 0,22$   
 $\alpha_s = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $\alpha_k = 3 \text{ "}$   
 $\alpha_{k1} = 2,5 \text{ "}$   
 $m_y = 2 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$

får man

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{m} \frac{0,22 \cdot 3 \cdot 4,5 + 2,5 (4,5 + 3 + \frac{1}{2})}{(4,5 + 3 + \frac{1}{2}) (0,22 \cdot 4,5 + 2,5 + \frac{2}{m}) - 0,22 \cdot 4,5^2} \Delta\theta$$

dvs

$$\frac{P}{A} = \frac{23 \Delta\theta}{m(23,5 + \frac{16}{m})} \quad (A)$$

För  $m = 1 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  i parenteserna får vi

$$\frac{P}{A} = \frac{0,58 \Delta\theta}{m} \quad (B)$$

För  $m \ll 1 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  får vi att

$$\frac{P}{A} \text{ blir oberoende av } m$$

För  $m \gg 1$  får vi

$$\frac{P}{A} \approx \frac{\Delta\theta}{m} \quad (C)$$

Det kan vara av intresse att studera värdet på  $P/A$  vid exempelvis  $m = 1$  dels med den här visade modellen dels enligt den "konventionella" beräkningsmetoden med  $k$ -värde.

För  $m = 1$

erhålls

$$\frac{1}{k} = m + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} = 1,25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

och

$$\frac{P}{A} = 0,80 \Delta\theta$$

men har enligt (A)

$$\frac{P}{A} = 0,58 \Delta\theta$$

För  $m \ll 1$  erhålls

$$k = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

och

$$\frac{P}{A} = 4 \Delta\theta$$

mot - enligt (A) -

$$\frac{P}{A} = 1,4 \Delta\theta$$

Av intresse är också relationer mellan värmeflödet ( $P_t$ ) genom ytterväggen och  $P$  genom mellanväggarna. Med de tidigare värdena (och  $m=1$ ) får vi för en utomhustemperatur av  $0^\circ\text{C}$

$$P_t = \frac{1}{2 + \frac{1}{5}} \cdot A_y (20 - 0)$$

dvs

$$\frac{P_t}{A_y} \approx 9$$

Antar vi  $A = A_y$  och  $m = 1 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  får vi

$$\frac{P}{P_t} = \frac{0,8 \Delta\theta}{9} \approx 0,1 \Delta\theta$$

dvs effekten  $P$  utgör ca 10 % av totala effekten vid  $1^\circ\text{C}$  temperaturskillnad.<sup>1)</sup>

Man kan slutligen observera att variationer i  $m_y$  endast i ringa grad påverkar kvoten  $\frac{P}{A}$ .

1) Approximativt värde. Observera att rummen är fönsterlösa.

## 4. VAL AV FÖRUTSÄTTNINGAR: MODELLRUM, MATERIALKONSTANTER M.M.

Vid val av rum för en beräkningsmodell kan flera önskemål ställas upp. Rummet bör i storlek - bredd, djup och höjd - vara ett normalt bostads- eller kontorsrum. Material i väggarna kan givetvis varieras på många olika sätt. Tanken i denna utredning har varit, att använda ett rum med samma form som den som använts i tidigare utredningar, varvid man kan sammanställa erfarenheter från olika beräkningar.<sup>1)</sup> Som visas i denna utredning är strålningsutbytet mellan rumsytorna av stor betydelse. Eftersom strålningsutbytet (den långvågiga, värmestrålningen) minskar med avståndet, får denna typ av värmetransport mindre betydelse vid stora lokaler. Modellrummet måste alltså vara " normalt " i storlek. Det modellrum som använts av Isfält et al (1974) samt Rosenthal (1976) ansågs därför lämpligt.

För att få beräkningsmodellen så fullständig som möjligt valdes tre lika rum i fil, se bild 4a. I mittenrummet, betecknat *A*, varierades rumstemperatur och fönsterstorlek.

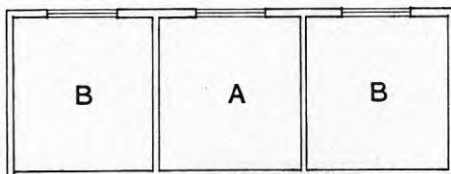


Bild 4a. Rumskombination *BAB*

I ett fall antogs mittenrummet ha dubbel bredd, då betecknat *C*, bild 4b. I de bägge omgivande rummen, betecknade *B*, förutsattes rumstemperaturen konstant. Som randvillkor antogs att lika rum omgav rummen både i plan och sektion, se bild 4c och 4d.

1) Se t ex Rosenthal (1976), Isfält et al (1974).

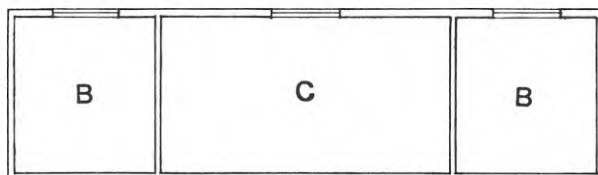


Bild 4b Rumskombination BCB

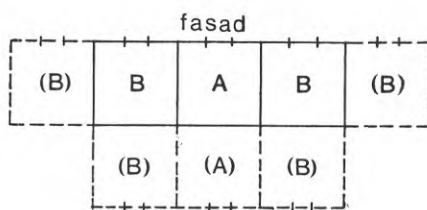


Bild 4c Randvillkor i planet

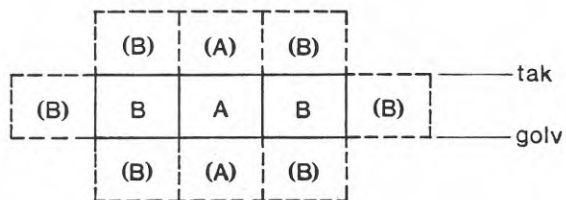


Bild 4d Randvillkor i sektion.

Modellrummets storlek framgår av bild 4e. Av bilden framgår hur datorprogrammet BRIS definierar rummets ytor. Ytornas nummer är fastställda. Mellan två ytor definieras en vägg. En vägg definierad av *en* yta benämnes fasad. Väggars och fasaders nummer och materialsammansättning ges som indata. (Numreringen av väggar framgår av bild 4f, som utgör underlag för tolkning av datautskriften).

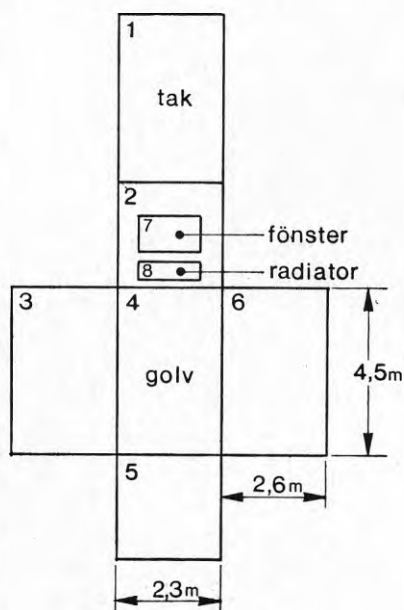


Bild 4e Ytindelning enligt BRIS samt typrummets mått.

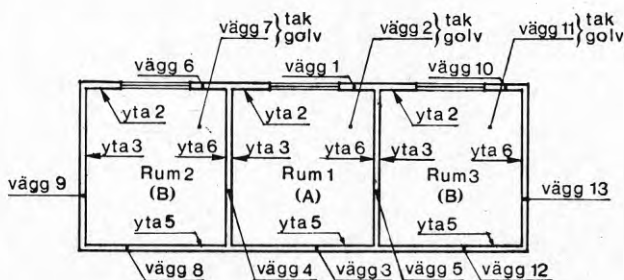


Bild 4f Samband mellan rumsnummer, ytnummer och väggnummer enligt indata till BRIS.



Några beräkningar har omfattat hörnrum. Två typer av hörnrum har förekommit, dels där fönstret i hörnrummet varit placerat på samma fasad som intilliggande rum (bild 4g), dels där fönstret placerats rakt framför den undersökta innerväggen (bild 4h).

Följande materialkonstanter har använts som grund:

Ytterfasad : mineralull 0,093 m  
 Bjälklag : betong 0,1 m  
 Innerväggar: betong 0,05 m  
 Luftväxling: 16 kg/h  
 Internt värmetillskott: 100 W  
 Värmeeffekt: erf. för rumstemp. 20 à 22°C  
 Utetemperatur : -20°C till 0°C

I den mån dessa grunddata har ändrats har detta redovisats för varje beräkningsfall.

Luftväxlingen har antagits vara den lägsta acceptabla, 0,5 omsättningar per timme, dvs 16 kg/h vid det mindre rummet. Samma omsättning har antagits vid det större rummet, bild 4b.

Genomgående har räknats med fortfarighetstillstånd. Detta förhållande uppträder egentligen inte i praktiken, snarare är temperaturförloppet cykliskt. Att fortfarighetstillstånd ändå valdes, kan motiveras med att temperaturändringar sker relativt långsamt under den kalla årstiden. Byggnadsstommen hinner alltså "svänga in sig" så att ett fortfarighetstillstånd uppkommer. I avsnitt 3 redovisas en handberäkningsmetod vilken ger ett enkelt analytiskt uttryck för värmeutbytet mellan rummen. Syftet med denna metod är att visa på olika storheters betydelse på ett åskådligt och enkelt sätt, medan syftet med den här redovisade beräkningsmodellen är att erhålla kvantitativa resultat för ett stort antal beräkningsfall.

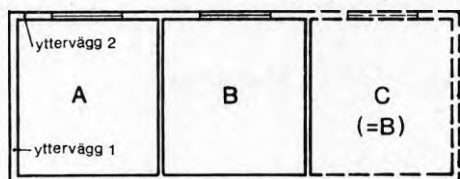


Bild 4g Fönstret i hörnrummet är placerat på samma fasad som intilliggande rum.

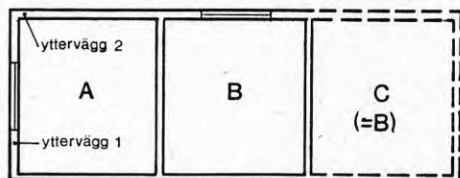


Bild 4h Fönstret i hörnrummet är placerat rakt framför den undersökta innerväggen.



## 5. NÅGRA STORHETERS INFLYTANDE PÅ VÄRMEGENOMGÅNGEN VID INNERVÄGGAR

Vid den enkla modell som presenterades i avsnitt 3 kunde vi konstatera att en rad olika faktorer spelar roll för värmeegenomgången vid innerväggar. Således var självfallet värmeegenomgångskoefficienten för ytterväggarna (inkl. tak, golv och fönster) av betydelse, eftersom dessa storheter bestämmer yttemperaturen och därmed strålningen till och från vissa av rumsytorna.

Av betydelse var också den konvektiva värmeövergångskoefficienten (och självfallet också värmeövergångskoefficienten till följd av strålning) vid de aktuella innerväggarna. Också arten av uppvärmningssystem kan ha betydelse i och med att vissa system är mer eller mindre utpräglade strålningsystem (tak- och golvvärme), medan andra är typiskt konvektiva värmesystem. Radiatorsystem befinner sig någonstans mellan dessa båda ytterligheter. Då det gäller att studera värmeegenomgången vid innerväggar i avsikt att studera "värme-stölden" mellan lägenheter, se avsnitt 1.3, bör man givetvis ställa denna i relation till den värme systemet avger respektive den värme som krävs för att hålla rummet vid en viss temperaturnivå. Härvid blir såväl fönsterstorlekar som fönsterplacering av betydelse. Att fönstrens  $k$ -värden också spelar roll har vi redan noterat ovan.

För frågan om värmestöld, men också för den inledningsvis berörda frågan om beräkningen av *riktad operativ temperatur*, spelar ytterväggsisoleringen som nämnts roll, men också de olika väggarnas funktion (flera ytterväggar, taket gränsar till omgivande atmosfär osv.) har betydelse. Slutligen skall här nämnas den roll transienta förlopp, t.ex. uppvärmning och avkylning av rum, kan spela.

I det föreliggande avsnittet skall inverkan av de enskilda faktorerna studeras. Den sammanlagda inverkan och dess betydelse för några av de inledningsvis omnämnda områdena - jämför avsnitt 1.3 - skall beröras i avsnitt 7. Samtliga beräkningar utförs med de rumsmodeller som beskrivits i avsnitt 4 med vissa avvikelser - här betraktade som "störningar". Beräkningarna avser stationära förhållanden.

### 5.1 Inverkan av utetemperatur

För värmegenomgången genom en yttervägg till ett rum är självfallet utetemperaturen (och inomhustemperaturen) av betydelse. En beräkningsserie i avsikt att studera denna inverkan har genomförts för rum A i kombination med rum B i enlighet med rumsmodellerna som beskrivits i 4.2.

Mellanväggarna består i detta fall av 5 cm betong - vilket motsvarar en *extremt dåligt isolerande vägg*. Värmemotståndet i väggmaterialet är

$$m = \frac{0,05}{1,5} = 0,0333 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1} \quad (5.1)$$

där 1,5 är värmeledningsförmågan (konduktiviteten) för betong.

Temperaturdifferensen  $\Delta\theta$  över väggytorna, se bild 4f, bestämmer tillsammans med  $m$ -värdet värmegenomgången  $P/A$  enligt

$$P/A = \Delta\theta/m = 30 \cdot \Delta\theta \quad (5.2)$$

I bild 5a visas värmeflödet  $P/A$  som funktion av utomhustemperaturen.

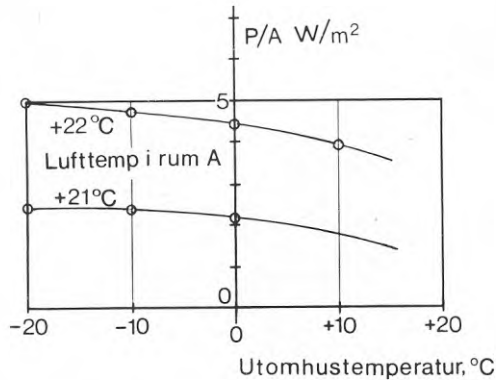


Bild 5a Värmeeffekten per ytenhet ( $P/A$ ) för mellanväggarna i rums-konfigurationen  $BAB$ , se bild 4a.

Man kan observera att inverkan är *relativt linjär*. Avvikelsen från linearitet beror bl a på att värmeövergångskoefficienterna ej är linjärt beroende av temperaturen, se t ex Peterson (1975) och avsnitt 2 ovan. Vid en lufttemperatur av 22°C är differensen mellan vägg- och lufttemperatur ca 2,5°C, se tabell 5.1, vilket motsvarar ett  $\alpha$ -värde av ca 1,8 vad gäller den konvektiva delen och 5 vad gäller den del som hänför sig till strålning. Sammanslagningen av värmeövergångstalen utförs enligt ekvation (1.9) som ger

$$\alpha = 1,8 + 5 \frac{1}{2,5} \approx 4 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Detta ger för "k-värdet" för mellanväggen, ekvation (1.2)

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{4} + \frac{1}{30} + \frac{1}{4}$$

dvs

$$k = 1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$$

och därmed - i "medeltal" för intervallet

$$P/A = 1,9 \cdot (22-20) = 3,8 \text{ W/m}^2$$

medan det noggrannare beräknade värdet är 4 W/m<sup>2</sup>, se bild 5a.

En "slentrianmässig" beräkning med  $\alpha = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  ger

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{8} + \frac{1}{30} + \frac{1}{8}$$

eller

$$k = 3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Detta ger värmeflödet genom väggen

$$\frac{P}{A} = 3,5 \cdot (22 - 20) = 7 \text{ W/m}^2$$

dvs nära dubbelt så stort som det korrekta. Av intresse är även att jämföra de beräknade värdena med de enligt avsnitt 3.1.

Som tidigare antyddes beror variationen i värmeegenomgång på att ytterväggarna och fönsterytorna får en temperatur vilken varierar med utomhustemperaturen (inomhustemperaturen är i samtliga beräknade fall 20°C). Härigenom kommer värmeövergången till följd av strålning mellan innervägg och yttervägg att variera.

Väggtemperaturerna har beräknats för det angivna fallet till värden enligt tabell 5.2. Observera att tabellvärdena har angivits med för praktiskt bruk orealistiskt hög noggrannhet.

Tabell 5.1 Beräknade yttemperaturer m m för fall enligt bild 4a

Uttemp. °C	Temperaturer °C i					
	rum A			rum B		
	luft	ytterv. innerv.	fönster	golv-tak-luft	luft	innerv.
-20	18,349	19,283	7,741	19,533	19,647	19,120
-10	18,996	19,601	10,858	19,885	19,979	19,444
	22					20
0	19,681	19,957	14,080	20,260	20,331	19,808
+10	20,399	20,367	17,310	20,682	20,732	20,235
-20	17,166	18,801	7,140	18,841	18,933	18,718
-10	18,265	19,103	10,273	19,178	19,250	19,023
	21					20
0	18,958	19,443	13,518	19,555	19,607	19,370

I tabellen anges värden för rumstemperaturerna 22 resp. 21°C för A-rummet (mittrum) och vid 20°C i de omgivande rummen.

Innan vi lämnar detta beräkningsfall kan det vara intressant att notera att man för en lufttemperatur av 21°C i rum A får en principiellt likartad variation av värmeflödet  $P/A$  genom mellanväggarna som vid det förra fallet med en högre lufttemperatur. Värmeflödet blir emellertid mindre, vilket självfallet beror på att den "drivande temperaturdifferensen" är lägre men också på att de uppträdande värmeövergångskoefficienterna är mindre. Medan temperaturdifferensen faller till ca hälften av de tidigare beräknade differenserna faller de konvektiva värmeövergångstalen med ca 20 % och den totala värmeövergångskoefficienten med < 10 %. Totalt kan man därför förvänta sig en minskning med ca 50 % vilket också innehålls (vid 0°C utomhus);

$$\frac{2,2}{4,5} = 1 - 0,51$$

## 5.2 Inverkan av inomhustemperaturen

Avslutningsvis berördes i föregående avsnitt den inverkan man kan förmodas få på värmeegenomgången genom mellanväggar i en byggnad vid varierande inomhustemperatur. Här skall frågan ytterligare belysas genom exempel beräknade för rumskombinationen BAB (bild 4a) och för



några olika utomhustemperaturer. Beräkningsvärden anges i tabell 5.2 och värmeegenomgången beräknad enligt ekvation (5.2) ges i bild 5b i grafisk form.

Tabell 5.2 Beräknade temperaturer för fall enligt bild 4a

Luft-temp. rum A °C	Temperaturer °C i						Ute-luft	
	rum A			rum B				
	innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft		innerv.
21	18,801	17,166	7,140	18,933	18,841			
22	19,283	18,349	7,741	19,647	19,533	20	19,120	-20
23	19,792	19,097	8,352	20,375	20,241		19,549	
21	19,103	18,265	10,273	19,250	19,178		19,023	
22	19,601	18,936	10,858	19,979	19,885	20	19,444	-10
23	20,118	19,736	11,448	20,708	20,593		19,884	
21	18,323	17,411	7,022	18,691	18,580		18,161	
						19		-20
23	19,388	18,927	8,244	20,324	20,176		19,072	

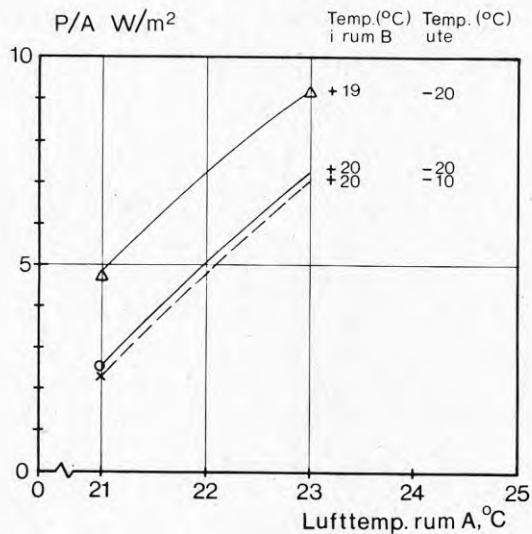


Bild 5b Värmeflödet genom mellanväggarna (vid rumskonfiguration BAB) som funktion av differens mellan rummens lufttemperaturer.

Av bilden framgår dels lufttemperaturens inverkan - liksom tidigare är den ej linjär - samt inverkan av utetemperaturen. Variationer i utetemperaturen spelar som framgår av bilden mindre roll, medan däremot variationer i temperaturdifferensen mellan rummen spelar en relativt stor roll. Vid en lufttemperatur i rum A av ca 22°C får man vid olika temperaturdifferenser  $\Delta\theta$  mellan rummen värden enligt tabell 5.3.

Tabell 5.3 Värmeflöden mellan rum A och B enligt bild 4a

$\Delta\theta$ °C	Värmeflöde		Temperatur (°C)	
	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup> K	i rum A	rum B
1	2,5	2,5	21	20
2	4,7	2,4	21	19
2	4,7	2,4	22	20
3	7,0	2,3	23	20
3	7,2	2,4	22	19
4	9,2	2,3	23	19

Medelvärde 2,4

Värmeflödet räknat per ytenhet och grad temperaturdifferens är således nära nog konstant och kan skattas till 2,4 W/m<sup>2</sup>K. Detta motsvarar ett  $k$ -värde av 2,4 W/m<sup>2</sup>K som vid det tidigare angivna  $m$ -värdet för väggkonstruktionen ger värmeövergångskoefficienterna (om de *antas* lika på båda sidor - skillnaderna är förhållandevis små) från uttrycket

$$\frac{1}{k} = m + \frac{2}{\alpha} \quad (5.3)$$

vilket ger

$$\alpha = \frac{2}{\frac{1}{k} - m} = \frac{2}{\frac{1}{2,4} - 0,033} = 5,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Man kan observera att värdet är lågt. Det innefattar en konvektiv värmeövergångskoefficient och en svarande för strålningsandelen.

Den konvektiva är av storleksordningen

$$\alpha_k = 1,6 \sqrt[3]{\Delta\theta} \quad (2.24)$$

dvs vid  $\theta_z = 21^\circ\text{C}$  i rum A

$$\alpha_k = 1,6 \sqrt[3]{21 - 18,8} = 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Det till följd av strålning är följaktligen i detta fall

$$5,2 - 2,0 = 3,2 \text{ W/m}^2\text{K}$$

räknat till lufttemperaturen!

### 5.3 Inverkan av fönsterstorlek och fönsterläge

Inverkan av fönsterstorlek och fönstrets placering på ytterväggen har studerats för rumsmodellen *BCB*, se bild 4b. Fyra fall har studerats för att konstatera inverkan av fönsterstorlek, nämligen <sup>1)</sup>

- o rum *C* saknar fönster ( $\phi = 0$ )
- o fönstret utgör  $\phi = 21,4$  % av ytterväggen (inkl. fönster)
- o fönstret utgör  $\phi = 28,1$  % av ytterväggen ( " " )

och

- o fönstret utgör  $\phi = 42,8$  % av ytterväggen ( " " )

Tabell 5.4 visar de erhållna luft- och väggtemperaturerna för de tre fallen och i bild 5c visas värmegenomgången *vid mellanväggen*.

Tabell 5.4 Beräknade yttemperaturer m m som funktion av fönsterstorlek. Rumskonfiguration *BCB*, bild 4b

Fönster- ute- storlek luft % i rum <i>C</i>	Temperaturer °C hos							
	i rum <i>C</i>						i rum <i>B</i>	
	innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft	luft	innerv.
0	19,241	18,008	-	19,694	19,632	21		19,084
21,4	18,959	17,740	7,222	19,150	19,061	21		18,849
	19,491	18,534	7,870	19,948	19,843	22		19,295
							20	
28,1	18,871	17,662	7,172	18,994	18,897	21		18,776
	19,397	18,452	7,816	19,780	19,667	22		19,215
42,8	18,667	17,493	7,063	18,650	18,536	21		18,607
	19,186	18,279	7,702	19,431	19,300	22		19,039

1) För rum *B* gäller att fönstret upptar 21,4 % av ytterväggen i samtliga fall.

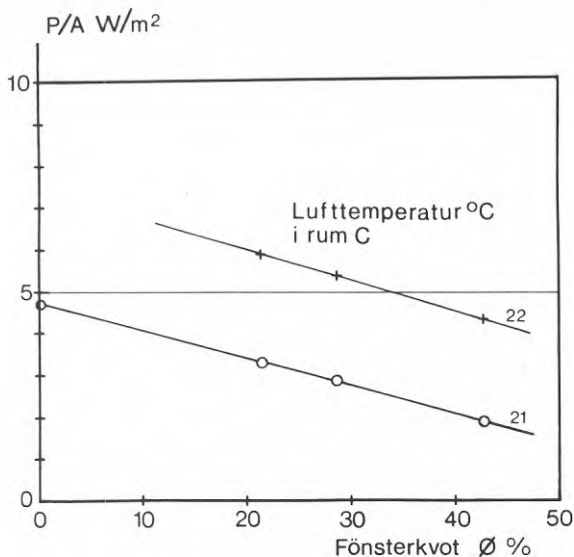


Bild 5c Värmeflödet  $P/A$  som funktion av fönsterstorleken vid rumskonfiguration BCB.

Som framgår av bilden varierar effekten genom väggen linjärt med fönsterandelen. Man kan konstatera att värmetransmissionen genom mellanväggen blir *lägst vid stora fönster* och vice versa. Skälet härtill har berörts i avsnitt 3.1. Vid stora fönster i rum C och små ( $\phi = 21,4\%$ ) i rummen B kommer värmeflödet till fönstret att bli så stort att *väggen kyls* mer av strålningen till fönstret än den värms av luften i rummet.

Det kan vara av intresse att konstatera att man vid ett än större fönster, jämför bild 5d får negativ värme genomströmning, dvs värme går från det "kallare" rummet (lufttemperaturen  $20^{\circ}\text{C}$ ) till det "varmare" (med lufttemperaturen  $21^{\circ}\text{C}$ ). Detta exempel illustrerar kanske bäst det *orimliga i att använda en "konventionell" transmissionsberäkning* (under användande av  $k$ -värdet) för värme genomströmningen genom mellanväggar!

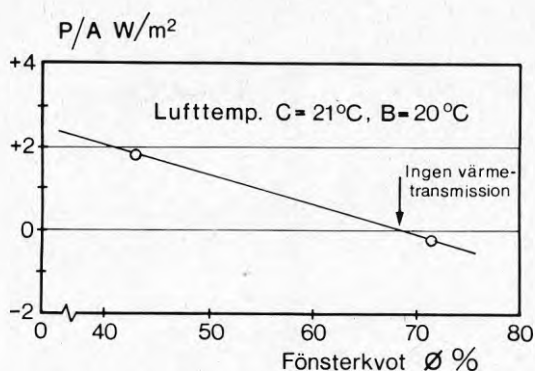


Bild 5d Värmetransmission genom mellanväggarna, rumskonfiguration BCB, vid stort fönster i rum C.

Man kan notera att vid  $\phi = 67\%$  blev värmeflödet genom väggen försumbart trots temperaturdifferensen. Strålningen till resp. från väggar och fönster uppväger då helt den konvektiva värmeöverföringen till väggen.

#### 5.4 Inverkan av fönsterplacering

I de fall som presenterades i föregående stycke var fönstren placerade centralt på ytterväggen. Man kan dock notera från den förenklade matematiska modellen - avsnitt 3 - att vinkelkoefficienterna för fönstren (och därmed påverkan på värmeströmningen genom mellanväggarna) beror på fönsterplaceringen på ytterväggen. I bild 5e visas två fall som skall läggas till grund för en uppskattning av värmeegenomgången genom mellanväggarna.

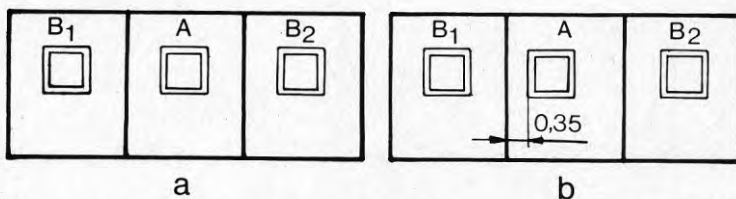


Bild 5e Fönsterplacering i rum A (fönstret i rum B är i alla fallen centralt placerat på väggen).

Värmeegenomgången anges i tabell 5.5 för de två fallen.

Tabell 5.5 Värmeegenomgång genom mellanväggar vid rumskonfiguration BAB vid olika fönsterplacering.

Fönsterplacering enl. bild 5e	Värmeegenomgång $W/m^2K$ från rum A till rum $B_1$ rum A till rum $B_2$		Beräknat för
	vid $1^\circ C$ övertemp. i rum A		
a	~ 2,0	~ 2,0	$1^\circ$ temp.diff.
b	~ 1,5	~ 2,3	
ändring från a till b medför	minskning med 0,5		ökning med 0,3

I samtliga fall är  $\phi = 0,43$ . Variationen med fönsterandel visas i bild 5g, avsnitt 5.5, varav även rumsstorlekens betydelse framgår. För fönsterandelens betydelse gäller bild 5c vilken ger

$$\Delta\left(\frac{P}{A}\right) = -6 \Delta\phi \quad (5.4)$$

Skulle således fönsterandelen varit 0,3 i stället för 0,43 får man

$$\Delta\phi = 0,43 - 0,3 = 0,13$$

$$\Delta\left(\frac{P}{A}\right) = -6 \cdot 0,13 = -0,8$$

och vid

$$\left(\frac{P}{A}\right)_0 = 2,5 \text{ W/m}^2$$

$$\frac{P}{A} = 2,5 - 0,8 = 1,7 \text{ W/m}^2$$

### 5.5 Inverkan av rumsstorlek

Man kan fråga sig vilken inverkan rumsutformningen och rumsmåtten har på värmeöverföringen från ett rum till ett annat. Redan den i avsnitt 3 givna förenklade teorin visar att vinkelkoefficienterna mellan rumsytorna är den nära nog enda storhet som påverkas i det rum som ligger till grund för modellen. Den vinkelkoefficient som är av störst betydelse är den för strålning från innerväggar till fönstret (eller koefficienten för ytterväggen räknad som vägt medelvärde).



I bild 5f visas hur vinkelkoefficienten för utbytet mellan mellanväggar och yttervägg varierar med rumsmåtten. Vid beräkningen har rumshöjden satts till 2,5 m medan rummets bredd och djup fått variera. Som framgår av bilden blir variationen i vinkelkoefficienten begränsad inom ett förhållandevis litet intervall.

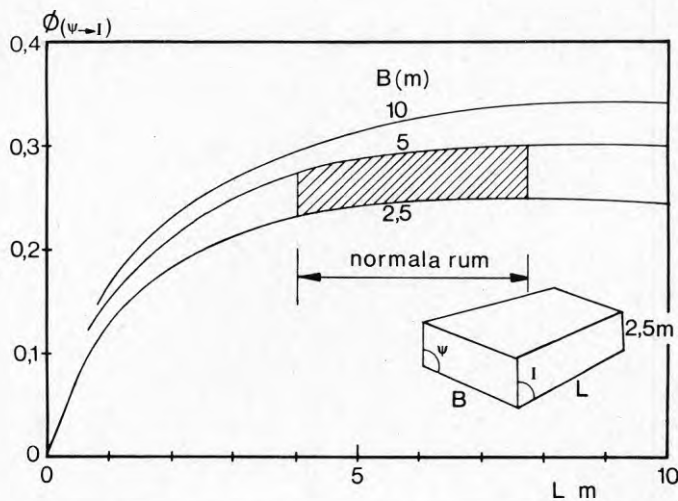


Bild 5f Vinkelkoefficienten mellan innervägg och yttervägg vid varierande rumstorlek.

För beräkning av värmeutbytet i modellerna med rumskonfigurationer enligt *BAB* och *BCB* erhålls de skillnader bild 5g visar.<sup>1)</sup> I bilden visas värmegenomgången vid innerväggarna som funktion av fönsterkvoten - jämför avsnitt 5.3 - vid ett och samma  $m$ -värde för mellanväggarna. Standardvärdet  $m = 0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  har valts, men som skall visas i avsnitt 5.5 spelar valet av värmemotstånd hos mellanväggen förhållandevis liten roll.

Man kan notera att (med stor noggrannhet) värmetransmissionen genom mellanväggarna blir oberoende av rumsutformningen vid frånvaron av fönster.

1) De data som ligger till grund för bilden redovisas i tabell 5.4 och 5.7.



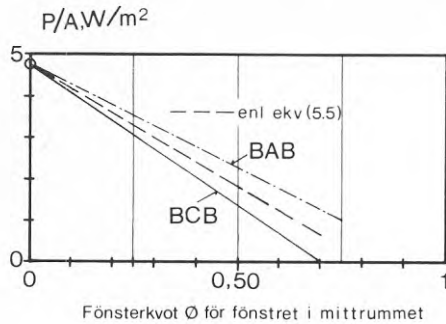


Bild 5g Värmeegenomgången från mittrum till sidorumen.

För de båda sidorumen är  $\phi = 0,43$  i de fall bild 5g visar.

Approximativt kan man sätta

$$\frac{P}{A} = \left(\frac{P}{A}\right)_x - 6 \phi \quad (5.5)$$

där  $\left(\frac{P}{A}\right)_x \approx 4,7 \text{ W/m}^2$  i de här aktuella fallen. Ekvationen kan också skrivas

$$\frac{P}{A} = \left(\frac{P}{A}\right)_x - 5 (\phi_A - \phi_B) \quad (5.6)$$

### 5.6 Inverkan av mellanväggarnas konstruktion

Att undersöka värmeflödet genom innerväggar i en byggnad och dess beroende av väggkonstruktionen - framför allt väggjockleken - är av flera skäl av intresse. Bl a har frågan betydelse då det gäller att bedöma värmeflödet i byggnader av *olika ålder* eftersom man använt sig av relativt olika väggkonstruktioner under olika byggnadsperioder. Denna fråga behandlas ytterligare i avsnitt 6.1. Vidare är en studie av mellanväggarnas värmemotstånd av betydelse för att kunna bedöma lämplig väggjocklek mellan rum vilka skall hållas vid olika temperatur och där värmeförseln till rummen är olika under olika tidsavsnitt, jämför bild 5h.

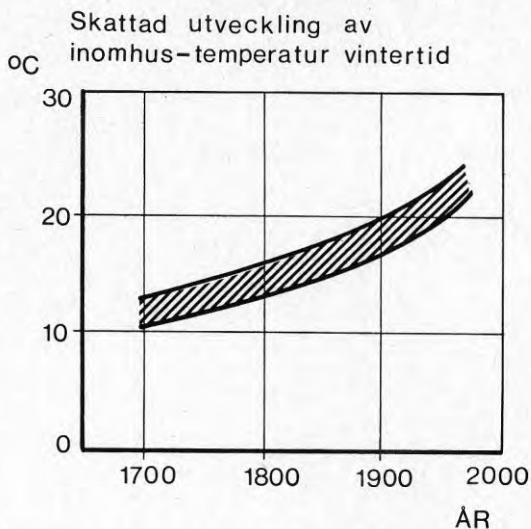


Bild 5h Ungefärligt område för lufttemperaturen i bostäder under olika tidsperioder.

Slutligen kan man vid användning av värmemätare eller vid värmemätning med hjälp av temperaturmätning vid olika väggkonstruktioner använda de i det följande beräknade värdena för korrektion av värmeanvändning i respektive rum.

I bild 5j redovisas resultat från körningar avseende rumskonfigurationen BAB i samtliga fall med ca 43 % fönster. Beräkningsvärdena redovisas i tabell 5.6.

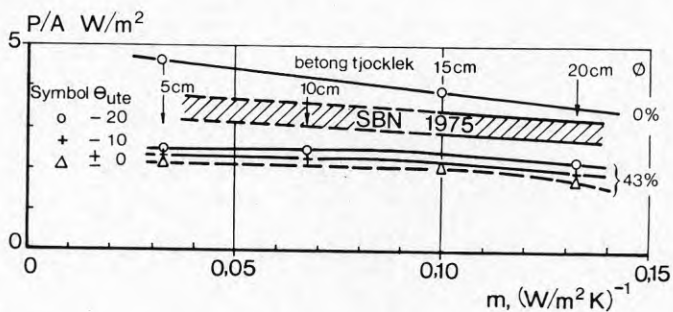


Bild 5j Värmeväxlingen genom mellanväggar (rumskonfiguration BAB) som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd  $m = \frac{\delta}{\lambda} (W/m^2 K)^{-1}$ .

Av bilden framgår att

- o värmeegenomgången genom mellanväggarna i en byggnad (rums-konfiguration BAB) är förhållandevis oberoende av mellanväggarnas värmemotstånd.
- o värmeegenomgången är - jämför avsnitt 5.1 - mycket litet beroende av utomhusklimatet ( $\theta_{ute}$ ) och kan sättas konstant till  $2 \text{ W/m}^2$  för rumskonfigurationen BAB vid 43 % fönsterarea. Vid 0 % fönsterarea blir motsvarande värde ca  $4 \text{ W/m}^2$  (vid temperaturen  $-20^\circ\text{C}$  utomhus).
- o beroendet av fönsterstorleken är linjärt, vilket tidigare berörts i avsnitt 5.3.

Tabell 5.6 Väggtemperaturerna m m för rumskonfiguration BAB som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd och utetemperatur.

Mellan- väggarnas värme- motstånd $m(\text{W/m}^2\text{K})^{-1}$	Ute- temp. $^\circ\text{C}$	Väggtemperatur ( $^\circ\text{C}$ ) i							
		rum A					rum B		
		innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft	luft	innerv.
0,033	-20	18,801	17,566	7,140	18,933	18,841	22	20	18,718
	-10	19,103	18,265	10,273	19,250	19,178			19,023
	$\pm 0$	19,443	18,958	13,518	19,607	19,555			19,370
0,067	-20	18,848	17,633	7,153	18,957	18,867	21	20	18,690
	-10	19,141	18,282	10,284	19,270	19,200			18,994
0,100	$\pm 0$	19,508	18,989	13,537	19,641	19,593	21	20	19,317
0,133	-20	18,909	17,659	7,169	18,989	18,902	21	20	18,642
	-10	19,199	18,307	10,301	19,298	19,231			18,943
	$\pm 0$	19,533	18,997	13,545	19,655	19,607			19,295

Man kan således notera det något överraskande resultatet att mellanväggarnas värmemotstånd spelar en mycket liten roll för transmissionen genom dem.

Räkningar rörande rumskonfigurationen BAB ger nära nog motsvarande resultat. I tabell 5.7 ges några räkneresultat vad gäller väggtempe-

raturer m m och i bild 5g ges i *övre kurvan* värmeflödet per ytenhet som funktion av fönsterkvoten.

Tabell 5.7 Väggtemperaturer m m för rumskonfiguration *BAB* som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd  $m$  och fönsterstorleken.  $\theta_{\mu} = -20^{\circ}\text{C}$ .

Mellanväggvärmemotstånd $m(\text{W/m}^2\text{K})^{-1}$	Fönsterandel $\phi$	Väggtemperaturer $^{\circ}\text{C}$ i							
		rum A				rum B			
		innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft	luft	innerv.
	0,43	18,801	17,166	7,140	18,933	18,841	21	20	18,718
0,033	0,215	19,012	17,775	7,241	19,277	19,199	21	20	18,893
	0,00	19,218	17,943	-	19,650	19,584	21	20	19,065
0,100	0,00	19,353	18,004	-	19,724	19,663	21	20	18,958

### 5.7 Ytterväggens $k$ -värde

Då det gäller ytterväggens konstruktion<sup>1)</sup> spelar såväl dess  $k$ -värde som isolerskiktens placering en viss roll för värmetransmissionen genom innerväggarna. Av dessa båda storheter skall  $k$ -värdet här bli föremål för en närmare studie. Beräkningarna hänför sig till rumskonfiguration *BAB* med mellanväggar av 5 cm betong. Som tidigare nämnts - se avsnitt 5.6 - spelar värmemotståndet i mellanväggarna en förhållandevis liten roll för värmegenomgången.

Beräknade värden avser förhållandena vid fortvarighet och vid en dimensionerande temperatur av  $-20^{\circ}\text{C}$ . Beroendet av utomhustemperaturen har tidigare demonstrerats - se bild 5a och bild 5j - varför beräkningar för andra fall än det dimensionerande anses överflödiga. En korrigering - vilken blir av storleksordningen  $0,025 \text{ W/m}^2\text{K}$  - kan lätt göras om värden för andra utomhustemperaturer än  $-20^{\circ}$  önskas. Denna korrektion ger t ex om värmegenomströmningen är  $2,50 \text{ W/m}^2$  vid  $-20^{\circ}\text{C}$  i utetemperatur (enligt bild 5j) att man vid  $-10^{\circ}\text{C}$  får

$$2,50 + 0,025 (-20 - \{-10\}) = 2,50 - 0,25 = 2,25 \text{ W/m}^2$$

De beräknade yttemperaturerna m m anges i tabell 5.8 och i bild 5k ges de beräknade värmeflödena.

1) I avsnitt 5.8 visas inverkan av fönsterandelen.

Tabell 5.8 Betydelse av ytterväggsisoleringen för värmeomgång vid innerväggar. Rumskonfiguration BAB.

Ytterväggar a) m-värde (W/m <sup>2</sup> K) <sup>-1</sup>	φ	Temperaturer °C i						b)	
		rum A			rum B				
		innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft	luft	innerv.
1,25		18,648	16,196	7,083	18,768	18,660	21	20	18,564
2,32	0,43	18,801	17,166	7,140	18,933	18,841	21	20	18,718
5,00		18,918	18,654	7,183	19,054	18,976	21	20	18,835
2,32	0,215	19,012	17,775	7,241	19,277	19,199	21	20	18,893
5,00		19,149	18,843	7,295	19,437	19,372	21	20	19,028

a) enbart väggkonstruktionen

b) fönsterkvot φ = 0,43 i samtliga fall

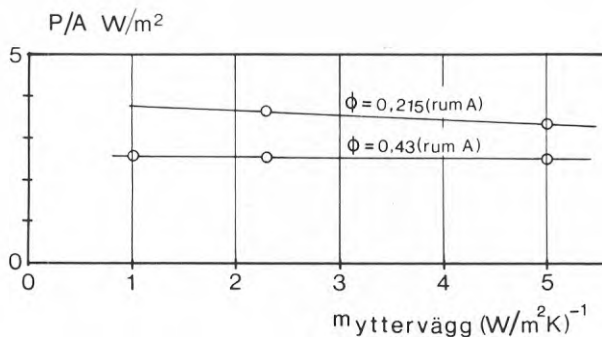


Bild 5k Värmeomgången som funktion av ytterväggens värmemotstånd.

### 5.8 Inverkan av fönsterkonstruktion

Fönsterkonstruktionen är av stor betydelse för klimatet i ett rum. För t ex englasfönster får man räkna med mycket låga yttertemperaturer på fönsterrutan. Sådana fönster accepteras därför endast till lokaler vilka är "icke uppvärmda", medan 2-glasfönster normalt används för bostadsrum, kontor m m. Enligt SBN 1975 skall fönstrens  $k$ -värde vara högst 2 W/m<sup>2</sup>K, vilket innebär att vissa fönsterkonstruktioner med 3 glas ej kan användas. Hit hör exempelvis fönster med metallramar m m. Yttertemperaturen vid fortfarighet varierar för olika fönsterkonstruktioner enligt bild 5l.

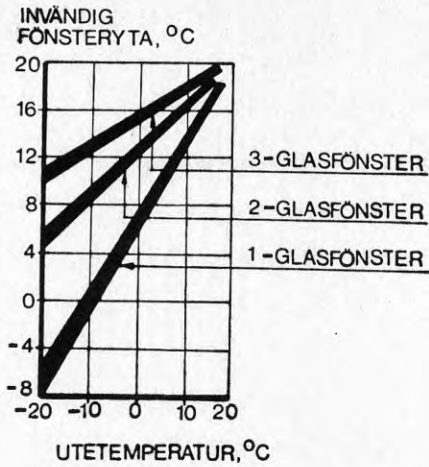


Bild 5L. Approximativt fönstertemperatur (insida) som funktion av utomhustemperaturen.

Genom att fönsterytans temperatur antar värden enligt bild 5L (eller motsvarande) påverkas värmeströmningen mellan rummen i en byggnad. I bild 5m visas som exempel härpå ett fall då man använder 2-glasfönster i två rum medan mellanliggande rum har 3-glasfönster. Fallet har knappast praktiskt intresse - i en byggnad används vanligen *antingen* 2- eller 3-glasfönster - men kan ha intresse för att belysa det sagda. Värmeegenomgången mellan rummen är vid lika fönster i alla rummen ca  $2,5 \text{ W/m}^2$  medan man vid 2- och 3-glas får en värmeegenomgång av  $3,2 \text{ W/m}^2$  vid bättre isolering i det varma rummet och  $1,7 \text{ W/m}^2$  vid bättre isolering i det kalla rummet. Det visade fallet ger upphov till förändringar i värmeströmningen påminnande om de vilka inträffar vid en ökning av fönsterstorleken i ett av rummen, se avsnitt 5.3, eller vid ändring av fönsterplaceringen, se avsnitt 5.4.

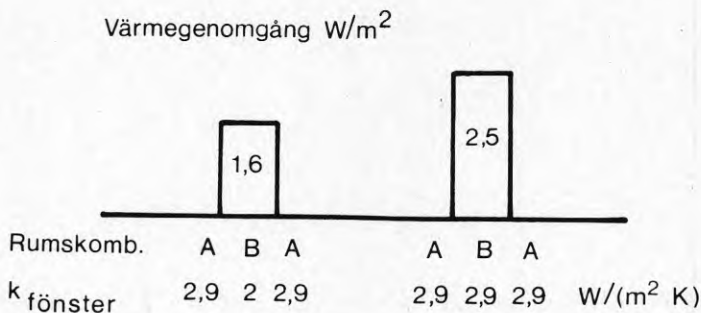


Bild 5m Värmeegenomgång vid mellanväggar då rummen har fönster med olika  $k$ -värden i.



Som nämnts används vanligen antingen 2-glas eller 3-glasfönster i en byggnad. Tabell 5.9 ger yttemperaturer för några fall<sup>1)</sup> där fönstrets  $k$ -värde varierar och i bild 5n ges motsvarande värmeeströmning mellan rummen. Fönstrens  $k$ -värden framgår av bilden.

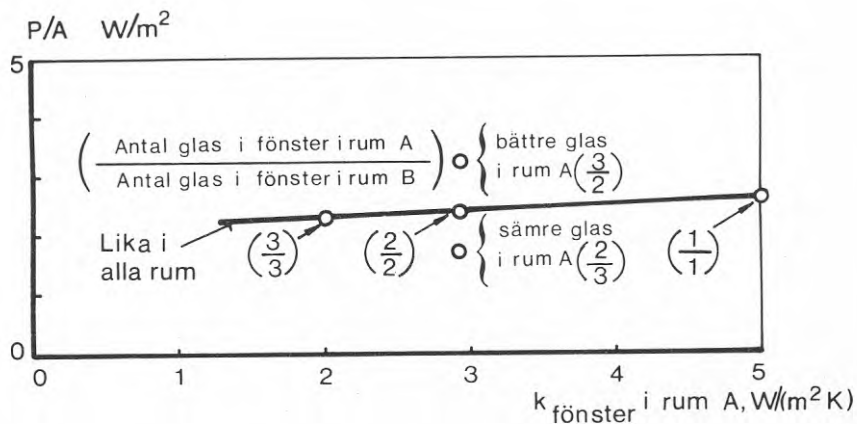


Bild 5n Värmeengång som funktion av fönstrens  $k$ -värde.

Tabell 5.9 Yttemperaturer m m för rumskonfiguration BAB som funktion av fönstrens  $k$ -värden.

Fönster i rum		Yttemperaturer (°C) i							
A	B	rum A				rum B			
		innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	luft	luft	innerv.
1-glas	1-glas	18,202	17,258	-1,862	18,263	18,140	21	20	18,119
2-glas	2-glas	18,801	17,166	7,140	18,933	18,841	21	20	18,718
3-glas	3-glas	19,102	17,793	10,990	19,252	19,177	21	20	19,021
3-glas	2-glas	18,943	17,725	10,939	19,173	19,021	21	20	18,836
2-glas	3-glas	18,961	17,685	7,183	19,015	18,929	21	20	18,904

1) Rumskombination BAB, väggens värmemotstånd  $m = 0,033$  (W/m<sup>2</sup>K)<sup>-1</sup>  
Utetemperatur -21°C.



Man kan konstatera att

- o värmeegenomgången är nära nog oberoende av fönstrens  $k$ -värde så länge detta är lika för alla rum
- o man får en minskad värmeegenomströmning från det sämre isolerade (men övertempererade)rummet vid minskad fönsterisolering i *detta rum*
- o överströmningen från ett rum till omkringliggande kan ökas genom att fönstren i de omkringliggande rummen ges fönster med sämre fönsterisolering

Tabellvärdena över yttemperaturer är här av speciellt intresse. Man finner nämligen att fönstrets  $k$ -värde har en förhållandevis kraftig inverkan på yttemperaturerna i rummen. Vid övergång från 2-glas till 3-glas får man en ökning av alla väggtemperaturer med  $0,3 - 0,5$  °C medan fönstertemperaturen ökar  $4$  °C. Detta har, som påvisas i avsnitt 7.1, stor betydelse för rumsklimatet och därmed för energibesparingen.

### 5.9 Sammanfattning

En rad enskilda storheters inflytande på värmeströmmen  $P/A$  - se bild 5o - i fortfarighet mellan rum i en byggnad har beräknats.

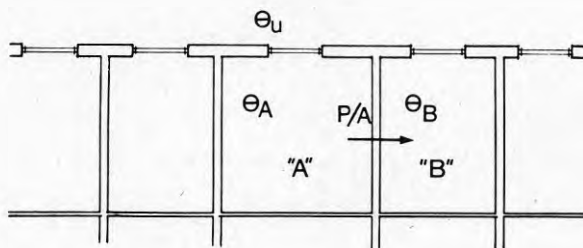


Bild 5o Rumskonfiguration och värmeström vid härledning av formlerna (5.7) - (5.11).

Värmeströmmens beroende kan skrivas

$$\frac{P}{A} = f(m, k_F, m_y, \theta_A, \theta_B, \theta_u, \phi)$$

där  $m$  är värmemotståndet i väggarna mellan rummen

$k_F$  är fönstrens  $k$ -värde

$m_y$  är ytterväggarnas värmemotstånd

$\theta$  är lufttemperaturer (index enligt bild 5o)

och

$\phi$  är fönsterandelen av ytterväggarna

Dessutom inverkar fönstersättningen.

Uttrycket kan skrivas som en total differential enligt

$$\begin{aligned} d\left(\frac{P}{A}\right) &= \frac{\partial(P/A)}{\partial m} \cdot dm + \frac{\partial(P/A)}{\partial k_F} \cdot dk_F + \frac{\partial(P/A)}{\partial m_y} \cdot dm_y + \frac{\partial(P/A)}{\partial \theta_A} \cdot d\theta_A + \\ &+ \frac{\partial(P/A)}{\partial \theta_B} \cdot d\theta_B + \frac{\partial(P/A)}{\partial \theta_u} \cdot d\theta_u + \frac{\partial(P/A)}{\partial \phi} \cdot d\phi \end{aligned} \quad (5.7)$$

Av de ovan redovisade beräkningarna framgår att man för de flesta av de uppträdande partiella derivatorna kan sätta konstanta värden.

För t ex

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial m}$$

kan man enligt bild 5j i stort sett sätta värdet 0 (utom för rum utan fönster).

För

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial k_F}$$

är enligt bild 5n värdet också 0 (vid lika fönster i alla rum).

För

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial m_y}$$

är likaledes värdet 0 acceptabelt, se bild 5k.

De partiella derivatorna med avseende på  $\theta_A$  och  $\theta_B$  fås enligt avsnitt 5.2 till

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial(\theta_A - \theta_B)} \approx 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

se tabell 5.3.

Värdet är acceptabelt för temperaturer i närheten av rumstemperaturen.

Utomhustemperaturens inverkan är liten. Här kan man, se avsnitt 5.1, bild 5a, sätta

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial\theta_u} = -\frac{1}{40} \text{ W/m}^2\text{K}$$

Slutligen fönsterandelen. Dess inflytande har redan visats vara

$$\frac{\partial(P/A)}{\partial(\phi_k - \phi_B)} = -5 \text{ W/m}^2$$

se ekv. (5.4).

Inflytande finnes även från fönstersättning och rumsstorlek (se avsnitt 5.4). Detta har försumrats vid överslagsberäkningar.

En enkel överslagsmodell ger således

$$d(P/A) = 2,5 d(\theta_A - \theta_B) - 0,025 d\theta_u - 5,5 d(\phi_A - \phi_B) \quad (5.8)$$

Integrering (medelvärdesbildning) ger

$$\left\{ \frac{P}{A} \right\}_0 \approx \left\{ \frac{P}{A} \right\} + 2,5 (\theta_A - \theta_B) - 0,025 \theta_u - 5,5 (\phi_A - \phi_B) \quad (5.9)$$

där  $\left\{ \frac{P}{A} \right\}_0$  är värmeflödet från rum A till rum B

då  $\theta_A = \theta_B$   
 $\theta_u = 0$  (approximativt årsmedeltemp.)

och (fönsterkvoten för rummen lika)

$$\phi_A - \phi_B = 0$$

$\left\{ \frac{P}{A} \right\}_0$  är enbart beroende av fönsterkvoten i rum B.<sup>1)</sup>

Uttrycket (5.9) gäller enbart för rum enligt bild 4a - se avsnitt 4. Det visar dock hur man förhållandevis enkelt kan uppskatta värmeflödets förändring med olika variabler.

Det bör observeras att den enkla modellen enligt avsnitt 3 ger motsvarande ekvation.

Vill man enligt konventionellt tänkande införa ett "k-värde"

$$k = \frac{P}{A \cdot \Delta\theta} \quad (5.10)$$

1) För den hittills använda rumsmodellen är  $\left\{ \frac{P}{A} \right\}_0 \approx 0 \text{ W/m}^2$ .

för mellanväggarna får detta storleksordningen<sup>1)</sup>

$$k \approx 2,5 - 5,5 \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta} \quad (5.11)$$

se tabell 5.10.

Tabell 5.10  $k$ -värden enligt ekv. (5.11)

Enl. (5.11)	$k$ W/m <sup>2</sup> K enl. "konventionell" beräkning	Anm.
$2,5 - 5,5 \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta}$ a)	$\frac{1}{m + \frac{2}{\alpha}}$	För $\Delta\theta = 0$ b) $\Delta\phi \neq 0$ kan värme gå från A→B eller B→A. c)
$(-\infty - 2,5)$	$(0,25-3,5)$	

a)  $\Delta\phi = \phi_A - \phi_B$

b)  $\Delta\theta = \theta_A - \theta_B$

c) se avsnitt 5.3

Värmeflödet blir *överslagsmässigt* 2,5 W/m<sup>2</sup> väggyta vid lika fönster ( $\Delta\phi = 0$ ) och  $\Delta\theta = 1$ .

Vid  $\Delta\theta = 2$  ger ekv. (5.11):

$$\frac{P}{A} = k \cdot \Delta\theta = 2,5 \Delta\theta - 5,5 \Delta\phi = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

medan man t ex för fallen avseende bild 5b får 5 och från bild 5c får 4,5 W/m<sup>2</sup>.

1) för  $\phi_A = \phi_B$

## 6. HÖRNRUM

I vissa fall har man att göra med hörnrum (eller med rum som gränsar till kalla utrymmen). Det kan vara av intresse att se närmare på förhållandena i några fall. Studien av förhållandena blir översiktlig av flera skäl. För t ex "värmestöld", se avsnitt 5, gäller att hörnrum ofta omges av rum tillhörande en och samma lägenhet. Problemet med "stölder" blir i sådana fall ointressant. Vidare är behovet av bedömningsunderlag för bestämning av operativtemperaturen  $\bar{\theta}_{op}$  i hög grad givet genom de beräknade tabellerna.

## 6.1 Inverkan av rumstemperaturen

De rum vilkas egenskaper skall undersökas har beskrivits i avsnitt 4. Värmetransmissionen genom innerväggen mellan rum A (hörnrummet) och rum B ges i bild 6a. Några data av intresse ges också i tabell 6.1. Såväl tabell som bild gäller för  $DUT = -20^{\circ}\text{C}$  och för  $\theta_B = 20^{\circ}\text{C}$ .

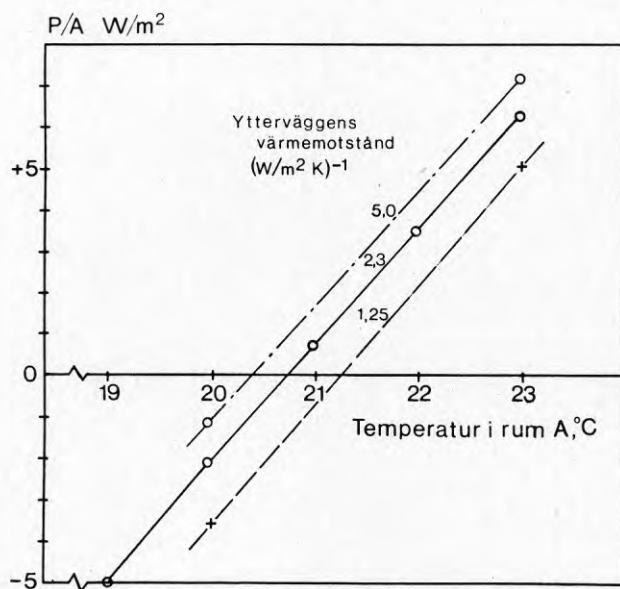


Bild 6a Värmeövergången från rum A till B (bild 4g) som funktion av temperaturen i rum A och  $m_y$ .

Tabell 6.1 Temperaturförhållanden i hörnrum och sidorum ,  
 Värmemotstånd  $0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  i mellanväggar (bild 4g)

Ytter- väggens värme- motstånd $m \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$	Temperatur i rum A					Temp. i rum B			Temp. i rum C		
	luft	innerv. mot B	ytterv. 1	ytterv. 2	fönster	golv	tak	luft	innerv. mot A	luft	innerv. från B
2.3	19	17,411	15,398	15,546	5,561	16,672	16,379	20	17,578	20	18,091
	20	17,940	16,198	16,358	6,207	17,466	17,566		18,012		18,227
	21	18,455	16,996	17,168	6,853	18,255	18,391		18,432		18,363
	22	18,996	17,804	17,983	7,506	19,054	19,205		18,879		18,512
	23	19,560	18,620	18,812	8,166	19,865	20,000		19,356		19,677
1.25	20	17,535	14,640	14,690	5,936	16,856	17,029	20	17,654	20	18,021
	23	19,146	17,031	17,111	7,890	19,251	19,473		18,977		18,442
5	20	18,238	17,375	17,631	6,414	17,936	18,019	20	18,274	20	18,384
	23	19,893	19,822	20,112	8,381	20,348	20,471		19,656		18,865

I tabell 6.2 ges värmeflödena mellan rummen per grads temperatur-differens, jämför tabell 5.3.

Tabell 6.2 Specifika värmetransmissionen  $W/m^2K$  genom hörnrummets innervägg (mot B)

Temperatur i °C i rum A	Värme genomgång $W/m^2K$	Anm.
20	-∞	jämför avsnitt 5.9
19	-5,0	negativ ≡ värme går från B → A
21	+0,7	
22	1,8	
23	1,8	

## 6.2 Inverkan av ytterväggskonstruktion

Bild 6a innehåller värden för olika ytterväggskonstruktioner. Väggens värmemotstånd varierar från 1,25 till 5  $(W/m^2K)^{-1}$  liksom tidigare (avsnitt 5.7). Man kan notera,

- o värmetransmissionen mellan rummen *varierar linjärt* men *ej proportionellt* med temperaturdifferensen vilket står i *samklang* med den förenklade teorin, se avsnitt 3.
- o inom ett intervall av 22 - 23°C i hörnrummet och 20°C i angränsande rum är värmeförlusten till detta senare 1 à 2  $W/m^2K$ . Självfallet - jämför tabell 6.2 - varierar värme-genomgången räknat per grad temperaturdifferens här mycket. Bild 6b ger en uppfattning om förhållandena.

Vid lufttemperaturen 20 - 21°C i rum A är värmeströmningen mellan rummen obetydlig och ändrar riktning: trots att rum A har högre lufttemperatur än rum B strömmar värme från B till A. Detta beror på de tidigare nämnda strålningsförhållandena, men nu spelar inte bara fönstrets strålning den avgörande rollen. Den extra tillkommande ytterväggen spelar även en stor roll.



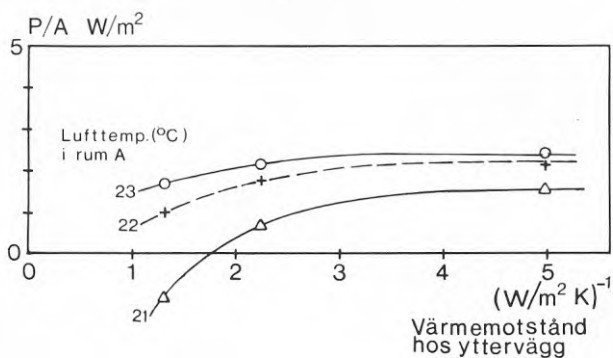


Bild 6b Specifika värmetransmissionen mellan hörnrum och angränsande rum vid olika rumstemperaturer som funktion av ytterväggens värmemotstånd  $m_y$ .

### 6.3 Inverkan av mellanväggskonstruktion.

Inverkan av mellanväggens konstruktion (värmemotstånd) har åskådliggjorts i tabell 6.3 och i bild 6c. Man ser av bilden att värmemotståndet i mellanväggen spelar en förhållandevis liten roll även om en viss inverkan finnes, speciellt vid stora differenser i lufttemperatur. I samtliga fall avtar förlusten från A till B med ökande värmemotstånd i mellanväggen.

Tabell 6.3 Väggtemperaturer m m i hörnrum och sidorum.  
Utetemperatur -20°C (bild 4g)

Mellan- väggens värme- motstånd $m(W/m^2K)^{-1}$	Temperatur i rum A						Temp. i rum B			Temp. i rum C	
	luft	innerv. mot B	ytterv. 1	ytterv. 2	fönster	golv	tak	luft	innerv. mot A	luft	innerv. från B
0,033	20	17,940	16,198	16,358	6,207	17,466	17,556	20	18,012	20	18,227
	21	18,455	16,996	17,168	6,853	18,255	18,391		18,432		18,363
	23	19,563	18,620	18,812	8,166	19,865	20,000		19,356		18,632
0,067	20	17,911	16,190	16,351	6,202	17,457	17,578	20	18,042	20	18,237
	21	18,466	17,000	17,170	6,858	18,260	18,395		18,424		18,361
	23	19,639	18,641	18,832	8,179	19,891	20,054		19,259		18,643
0,133	21	18,485	17,005	17,175	6,858	18,267	18,401	20	18,415	20	18,358

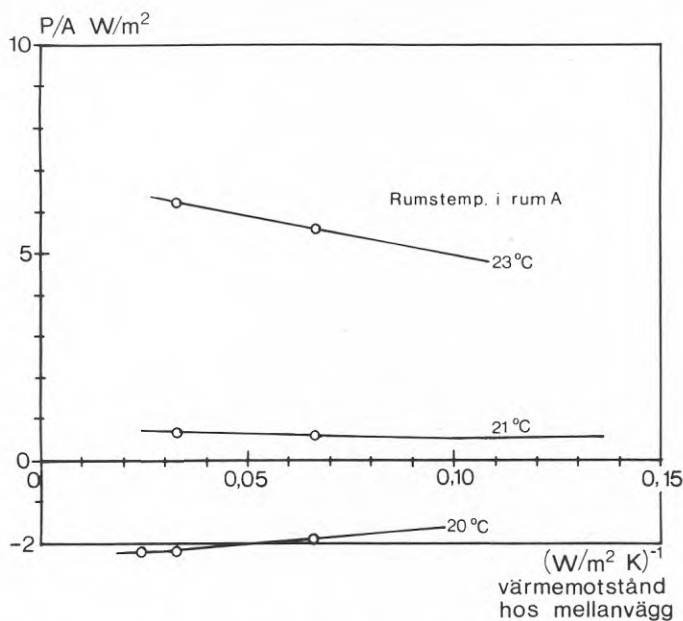


Bild 6c Värmeegenomgången genom mellanväggen vid olika rumstemperaturer som funktion av mellanväggens värmemotstånd.

#### 6.4 Inverkan av fönsterstorlek m m.

Även vid hörnrum spelar fönstrets storlek och läge en viktig roll för värmeegenomgången vid mellanväggarna. I tabell 6.4 och i bild 6d ges beräkningsresultat för det fall att fönsterkonfigurationen är den i bild 4g och 4h, se avsnitt 4.

Trots att man skenbart får en större direkt kylning genom fönstrets nya placering visar beräkningarna, se bilden, att så ej är fallet. För de två fallen blir fönstrets vinkelkoefficient med avseende på mellanväggen i rum A i stort sett lika. Detta förklarar de små skillnader de båda fallen uppvisar.

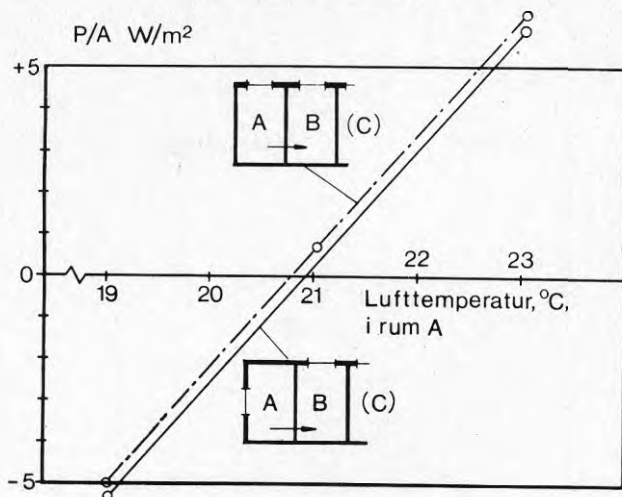


Bild 6d Värmeegenomgången som funktion av temperaturen i hörnrummet vid två fönsterplaceringar.

### 6.5 Slutsatser

För hörnråd gäller förhållanden motsvarande de vid fasadrum. Inverkan på värmeövergången mellan hörnrummet och sidorummen är nära nog oberoende av utomhustemperaturen, i viss mån beroende av rumstemperaturen ( $\theta_A - \theta_B$ ), se bild 6a, och av ytterväggens värmemotstånd  $m_y$  se bild 6b. Mellanväggarnas värmemotstånd spelar mindre roll, se bild 6c. Fönsterplacering spelar mindre roll, se bild 6d medan fönsterstorleken (liksom  $m_y$ ) ger ett linjärt beroende för ( $P/A$ ).

Den i avsnitt 5.9 angivna ekvationen (5.7) har sin motsvarighet för hörnråd.

$$\left(\frac{P}{A}\right) = \left(\frac{P}{A}\right)_0 + \frac{\partial(P/A)}{\partial\phi} d\phi + \frac{\partial(P/A)}{\partial\theta_u} \cdot d\theta_u + \frac{\partial(P/A)}{\partial(\theta_A - \theta_B)} d(\theta_A - \theta_B) \quad (6.1)$$

där beroendet av fönsterplacering,  $m$  och  $m_y$  försummas.

Som framgår av tabellerna över yttemperaturer  $m$   $m$  påverkar konstruktionen hos rum A i någon mån förhållandena i rum C. Påverkan är dock liten och torde i de flesta fall kunna försummas.

Tabell 6.4 Väggs temperaturer m m i hörnrum A och sidorum B och C.

Utomhustemperatur =  $-20^{\circ}\text{C}$ .  $m = 0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ 

Luft	Temperaturen i rum A				tak	Temp. i rum B		Temp. i rum C		
	innerv. mot B	ytterv. 1	ytterv. 2	fönster		golv	luft innerv. mot A	luft innerv. från B		
19	17,335	15,634	15,379	6,652	16,653	16,756	20	17,525	20	18,071
21	18,376	17,243	17,000	6,920	18,236	18,369		18,367		18,341
23	19,479	18,876	18,633	8,211	19,845	20,007		19,284		18,651

## 7. RADIATORVÄRMDA RUM

I detta avsnitt skall förhållandena vid radiatorvärme undersökas. Man bör observera att de strålningseffekter en radiator ger endast i speciella fall kommer att påverka strålningsförhållandena i ett rum till fullo. Radiatorer - liksom fönster - är i många fall skynda så att strålningsinflytandet på värmeöverföringen vid innerväggar, golv eller tak minskas. Skärmande är i lägenheter främst gardiner men kan också vara soffor och bord. I kontor får man i allmänhet räkna med att arbetsplatserna placerats vid fönster och att därmed radiatorerna skymmes av bord m m.

Trots detta är det av intresse att studera den inverkan som fås från en oskärmad radiator, inte minst för att skaffa en uppfattning om de "verkliga förhållandena" i rum av olika slag. Värmeöverföringen är nämligen i praktiska fall att betrakta som liggande *mellan* den för enbart konvektiv värmeöverföring - avsnitt 6 - och den vid ren strålningsvärme. Uppträdande avvikelser mellan dessa båda modellfall och verkliga förhållanden är givetvis beroende på graden av avskärmning av radiatorer m m.

Det bör tilläggas att även skärmning av fönster med hjälp av gardiner m m spelar en viss roll - jämför avsnitt 5.4 - för värmeöverföringen. Denna inverkan har ej beaktats.

### 7.1 Inverkan av utomhustemperatur och lufttemperatur.

Inverkan av utomhustemperatur och lufttemperatur i rummen har tidigare undersökts för det fall att rummen värmdes konvektivt. Här skall förhållandena från dessa tidigare beräkningsfall jämföras med dem som erhålls med radiatorvärmning av rummen - jämför avsnitt 5.1.

I tabell 7.1 ges beräknade värden för rumstemperaturerna. Man finner att dessa skiljer sig från de vid konvektiv värmeöverföring med (storledsordning)

innerväggar:	vid radiatorvärme	ca 0,7°C	högre än vid konvektiv värmn.				
fönster	:	"	"	0,3°C	"	"	"
yttervägg	:	"	"	0,5-1°C	"	"	"
tak	:	"	"	0,8-1°C	"	"	"
golv	:	"	"	0,8-1,2°C	"	"	"

Tabell 7.1 Beräknade yttemperaturer m m för fall enligt bild 4a.

Utetemp. °C	rum A		Temperaturer (°C) i					rum B	
	luft	ytterv.	innerv.	fönster	golv	tak	luft	innerv.	
-20	21	18,180	19,680	7,490	20,030	19,952	20	19,595	
-10	21	18,715	19,780	10,553	20,098	20,044	20	19,698	
-10	23	20,255	20,894	11,780	21,727	21,671	20	20,640	

I bild 7a visas värmetransmissionen genom mellanväggen ( $m = \frac{1}{30} (W/m^2K)^{-1}$ ).

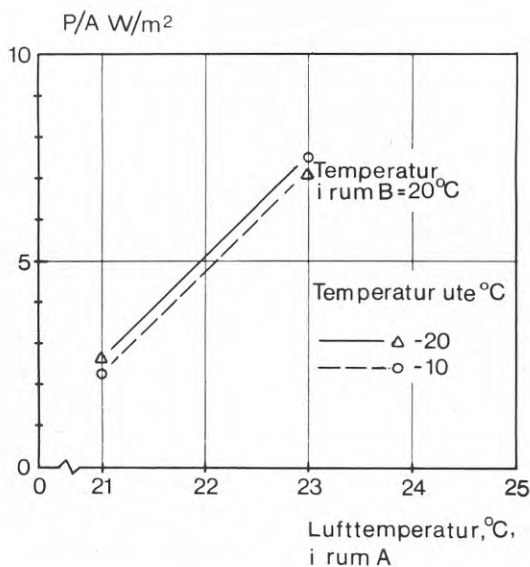


Bild 7a Värmetransmission genom mellanvägg som funktion av rumsluftens temperatur. Rumskonfiguration BAB.

Kurvorna härrör från beräkningarna avseende konvektiv värmeöverföring, punkterna ( $\circ$  och  $\Delta$ ) från beräkningarna avseende radiatorvärmda rum.

Som framgår av tabellerna finnes (vid temperaturen  $23^{\circ}C$  i rum A) en viss skillnad i värmegenomgången. I övriga fall är överensstämmelsen med de beräknade värdena för det konvektiva uppvärmningsfallet synnerligen god. Vid det radiatorvärmda rummet får man högre yttemperaturer, se ovanstående överslagsuppställning. Detta leder till ett bättre klimat, jämför avsnitt 8.2.



## 7.2 Inverkan av mellanväggens konstruktion.

I tabell 7.2 visas rumstemperaturer m m för rumskonfigurationen enligt bild 4a och med radiatorvärme. De beräknade värmeflödena genom mellanväggarna har angivits i bild 7b, vari även värden för konvektiv uppvärmning återges.

Temperaturen är i de visade fallen  $21^{\circ}\text{C}$  i rum A,  $20^{\circ}\text{C}$  i rum B och  $-10^{\circ}\text{C}$  utomhus.

Tabell 7.2 Beräknade yttemperaturer m m för fall enligt bild 4a

Mellan- väggars värme- motstånd $m(\text{W}/\text{m}^2\text{K})^{-1}$	Väggtemperaturer ( $^{\circ}\text{C}$ ) i					
	rum A					rum B
	innerv.	ytterv.	fönster	tak	golv	innerv.
0,033	19,780	18,715	10,553	20,044	20,098	19,698
0,133	19,874	18,766	10,578	20,085	20,139	19,612

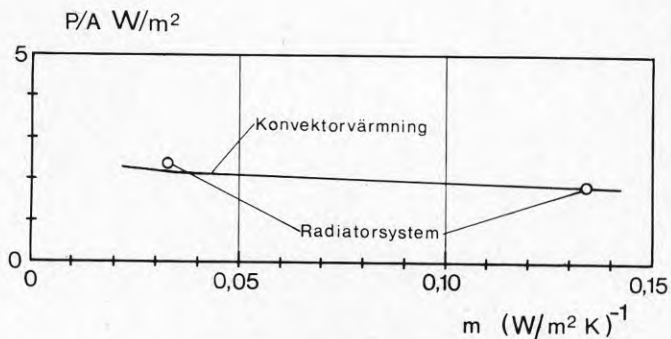


Bild 7b Värmetransmission genom mellanvägg som funktion av mellanväggens värmemotstånd. Rumskonfiguration BAB.

Vi kan konstatera att radiatorsystemet ger nära nog samma värmestöld som det konvektiva systemet.

Vad gäller yttemperaturerna får man även vid detta beräkningsfall högre yttemperaturer med radiatorvärme än med konvektivt värmesystem, jämför tabell 7.2 med tabell 5.6. Differenserna är av samma storleksordning som de i föregående avsnitt.

### 7.3 Inverkan av fönsterstorlek

Avslutningsvis skall här förhållandena vid olika stora fönster bedömas. Beräkningarna genomförs för två fönsterstorlekar, nämligen 21,4 % respektive 71,5 % fönster. Beräkningen har denna gång utförts för rums-kombinationen BCB och med mellanväggens värmemotstånd  $0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ .

Yttemperaturer  $m$  för detta fall har tabulerats - tabell 7.3 - och de beräknade värmeeffekterna via mellanväggarna angivits grafiskt i bild 7c. Värdena gäller vid rumstemperaturerna  $21^\circ\text{C}$  (rum C),  $20^\circ\text{C}$  (rummen B) och utetemperaturen  $-20^\circ\text{C}$ .

Tabell 7.3 Beräknade yttemperaturer  $m$  som funktion av fönsterstorlek. Rumskonfiguration BCB

Fönster- storlek % i rum C	Temperaturer ( $^\circ\text{C}$ ) i					
	rum C			rum B		
	innerv.	ytterv.	fönster tak	golv	innerv.	
21,4	19,722	18,232	7,531	20,011	20,034	19,600
71,5	19,333	17,937	7,337	19,419	19,476	19,307

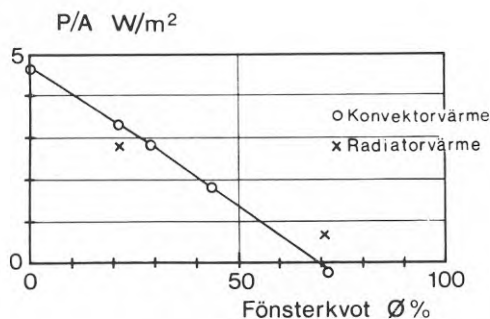


Bild 7c Värmetransmission genom mellanvägg som funktion av fönsterstorlek. Rumskonfiguration BAB.

En jämförelse med yttemperaturerna enligt tabell 5.4 ger differenser motsvarande de ovan angivna och enligt bild 7c är värmegenomgången även i detta fall likartad med den vid konvektiv uppvärmning. Man kan dock notera att strålningen från radiatoren i detta fall

(olika fönster och radiatorer i rum *B* och *C*) i viss mån kompensera väggens kylning till följd av fönstret.

#### 7.4 Sammanfattning

För de visade fallen har ej några väsentliga skillnader vad avser värmeegenomgången vid innerväggar kunnat konstateras mellan det fall att rummen i en byggnad är konvektivt värmda eller värmda med radiatorer. I de beräknade exemplen har samtliga rum ansetts ha samma uppvärmningssystem. Man kan notera att de ändringar i yttemperaturer som uppvisats indikerar att stora skillnader i värmeegenomgången kan uppstå om rummen har olika värmesystem eller olika skärmning av radiatorer respektive fönsterytor.

Inverkan av radiatorytans storlek har ej beaktats. Hithörande problem har undersökts av Mundt (1978) till vilket arbete hänvisas.



## 8. KONSEKVENSER OCH SLUTSATSER

I detta avsnitt skall studeras några av de konsekvenser och slutsatser de ovan angivna beräkningarna leder till. Sammanställningen gör knappast anspråk på någon fullständighet lika litet som beräkningarna i sig utgör en fullständig penetrering av ifrågavarande problem. Den torde trots detta kunna vara till nytta i flera sammanhang där nu gissningar eller dåligt underbyggda beräkningar fått spela en stor roll.

De områden vilka skall beröras är

- o värmemätning
- o komfortberäkningar byggande på yttemperaturer. Hit hör beräkningar rörande operativtemperatur, riktad operativ temperatur m fl. Också vid beräkningar av Fangers komfortkriterium blir yttemperaturen av intresse.

### 8.1 Värmemätning

Värmemätning, dvs uppmätning eller skattning av värmeanvändningen i en lokal eller en grupp av lokaler, har sedan länge ansetts ge relativt stora värmevinster. I bild 8a ges exempel på besparingens storlek. Exemplet är hämtat från Reuschel (1959) och visar på vinster av storleksordningen 30 %. Motsvarande vinster har uppgetts av Behrens (1941) också för tyska förhållanden. För Danmark och Norge har Mansa (1951) respektive Hagen (1953) uppgett vinster av storleksordningen 20 - 25 %. I Sverige har en försöksserie under 1950-talet givit vinster om ca 10 %. Ett problem vid värmemätningen - det finns flera! - är den "värmestöld" som kan uppträda mellan lägenheter. Värmestölden uppkommer genom att personerna håller lägenheterna vid radikalt olika temperaturer, varvid en kallare lägenhet "stjäl värme" från en varmare. Personer vilka kräver högre rumstemperatur - t ex gamla och småbarnsfamiljer - får därmed betala för dem som kan acceptera en lägre rumstemperatur.

Ett sätt att kringgå värmestölden är att injustera lägenheterna till en och samma temperatur före värmemätningens början. Härigenom blir de uppträdande temperaturdifferenserna små, se Hedlund (1974), ofta av storleksordningen 1°C eller mindre. "Värmestölden" blir därmed

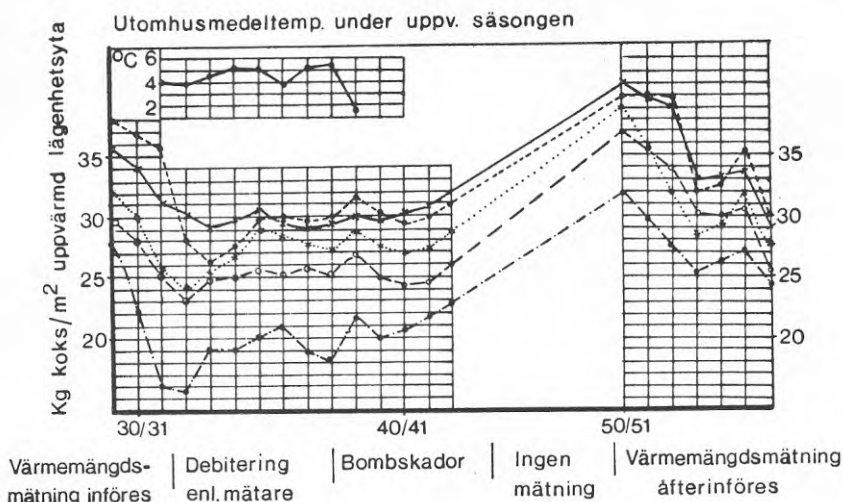


Bild 8a Bränsleförbrukning i 5 olika hyreshus.

mindre även om den, som vi skall se, fortfarande kan uppträda. Ett annat närliggande sätt är att öka isoleringen mellan lägenheterna. Denna metod är, som visats i avsnitt 5.6 icke praktiskt möjlig. Värmeöverströmningen mellan lägenheter avhänger av förhållandena i lägenheterna på ett mer komplicerat sätt.

#### 8.1.1 Uppskattning av värmegenomströmningen vid innerväggar.

Som visats i avsnitt 5 och 6 är värmegenomströmningen genom innerväggar oberoende av en rad faktorer, däribland innerväggarnas värmemotstånd. De faktorer vilka synes spela den största rollen anges i avsnitt 5.9. I detta avsnitt anges ett ekvivalent "k-värde", se tabell 5.10. Detta är framför allt beroende av temperaturdifferensen  $\Delta\theta$  mellan luftmassorna på ömse sidor om mellanväggen men beror också av fönsterstorlekar m m i rummen. Vid lika stora fönsterareor, lika fönster m m kan de i tabellen 5.10 angivna värdena användas. Detta innebär att man för överslagsberäkningar kan sätta

$$k = 2,5 - 5,5 \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta} \quad (8.1)$$

Värmeengömgången vid det fall bild 8b visar blir därmed

$$P_1 = k \cdot \Delta\theta \cdot A = 2,5 \cdot \Delta\theta \cdot 2,5 \cdot 4 = 25 \cdot \Delta\theta = 25 \text{ W}$$

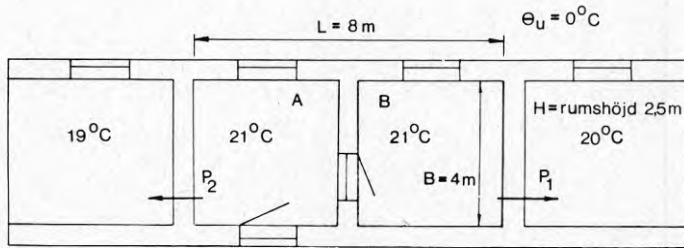


Bild 8b Rumsdimensioner och temperaturer för beräkning av de relativ. värmetransmissionerna  $\psi_t$ ,  $\psi_r$  och  $\psi_v$ .

För  $P_2$  får man

$$P_2 = 50 \text{ W}$$

enligt motsvarande överslagsberäkning. Är värmeförlusterna från rummen A och B

$$P = H \cdot L \cdot k \cdot \Delta\theta = 2,5 \cdot 8 \cdot 0,5 \cdot 21 = 210 \text{ W} \quad (8.2.a)$$

och ventilationsförlusten (självdragssystem)

$$P_L = L \cdot B \cdot H \cdot n \cdot c_p \cdot \rho \cdot \Delta\theta_L / 3600$$

där  $n$  är luftomsättningen = ant. ggr/h

$c_p$  är luftens värmekapacitet 1000 Ws/kg K

$\rho$  är luftens densitet = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta\theta_L$  är luftens temperaturhöjning = 21°C

får man

$$P_L = L \cdot B \cdot H \cdot n \cdot \frac{1}{3} \cdot \Delta\theta_L = 280 \text{ W} \quad (8.2.b)$$

Den relativa värmeengömgången  $\psi_t$  (räknat på totala värmebehovet) genom mellanväggarna blir alltså

$$\psi_t = \frac{25 + 50}{210 + 280} = 15 \%$$



Är byggnaden utrustad med FT-ventilation är luften förvärmad, säg till 17°C.  $\Delta\theta_z$  blir då  $21 - 17 = 4^\circ\text{C}$  vilket ger

$$P_z = 53 \text{ W}$$

och

$$\psi_r = \frac{25 + 50}{210 + 53} = 29 \%$$

räknat på värmeavgivningen i rummet. Tas en del av den senare från personer, belysning m m, säg 100 W i genomsnitt, blir den relativa värmeegenomgången genom väggarna ännu större

$$\psi_v = \frac{25 + 50}{210 + 53 - 100} = 46 \%$$

Exemplet vill belysa hur den relativa "värmestölden" beror på ventilationssättet, värmetillskott m m. I det följande anges  $\psi_z$ ,  $\psi_r$  och  $\psi_v$  för de tidigare beräknade fallen.

#### 8.1.2 Inverkan av olika faktorer.

Vi skall i följande avsnitt beräkna  $\psi$  för några rumskonfigurationer enligt bilderna 4a och 4b. De storheter vilka kan ha betydelse för storleken av  $\psi$  är förutom de i avsnitt 2 nämnda:

- o rumstemperaturerna
- o utomhustemperaturerna
- o  $m$  för mellanväggarna
- o  $k$  för fönster
- o fönstersättningen
- o  $m_y$  för ytterväggarna

Dessa storheters inverkan för  $P/A$  - värmetransmissionen mellan rummen - har berörts i avsnitt 5. Här skall vi se på den relativa inverkan.

### 8.1.3 Inverkan av utomhustemperaturen.

Inverkan av utomhustemperaturen kan beräknas från temperaturdata enligt tabell 5.1. Dessa data ger värmeförlusterna genom väggar och fönster. Storleken av ventilationen har angivits i avsnitt 4 och likaså storleken av det värmetillskott som rummen antas ha.

I bild 8c ges den relativa värmegenomgången för en lägenhet vars principiella uppbyggnad angivits i bild 4a. Den relativa förlusten anges med värdet  $\psi_t$ .

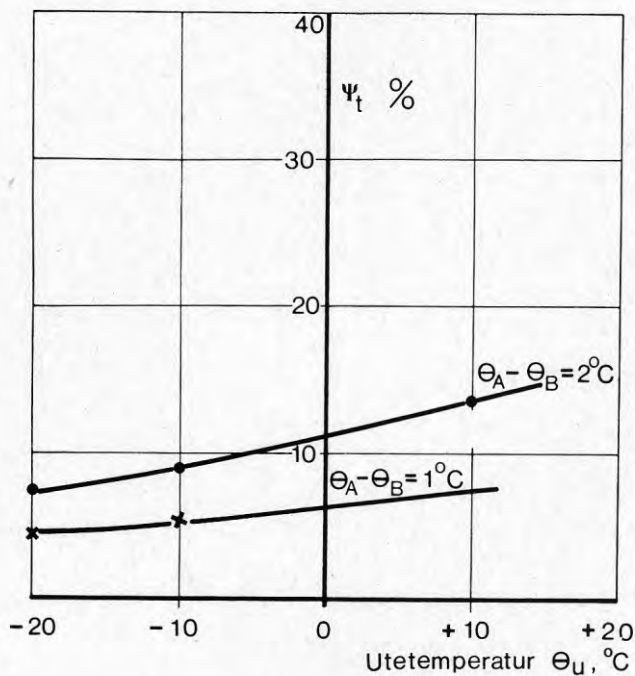


Bild 8c  $\psi_t$  som funktion av utomhustemperaturen  $\theta_u$  och differensen i inomhustemperatur  $\theta_A - \theta_B$ . Rumskonfiguration BAB. x avser radiatorvärmning, ● konvektivt värmesystem.

Observera att innerväggarnas värmemotstånd är  $0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$  och ytterväggarnas  $2,32 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ .

## 8.1.4 Inverkan av rumstemperaturen

För enkelhets skull skall här endast variationer hos  $\psi_t$  bestämmas, se bild 8d.

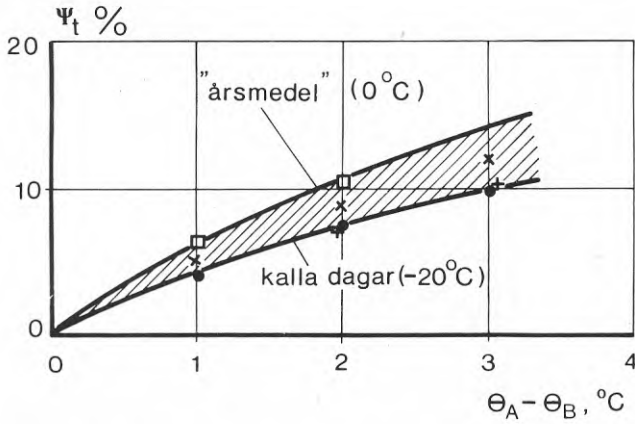


Bild 8d  $\psi_t$  för olika temperaturdifferenser  $\theta_A - \theta_B$ .

$$\left. \begin{array}{l} \theta_B = 20^\circ\text{C} \\ \theta_u = 0^\circ\text{C} \end{array} \right\} \square$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta_B = 20^\circ\text{C} \\ \theta_u = -10^\circ\text{C} \end{array} \right\} \times$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta_B = 20^\circ\text{C} \\ \theta_u = -20^\circ\text{C} \end{array} \right\} \bullet$$

$$\left. \begin{array}{l} \theta_B = 19^\circ\text{C} \\ \theta_u = -20^\circ\text{C} \end{array} \right\} +$$

Som framgår av bilden får man för en medeltemperatur under uppvärmningsperioden av  $-6^\circ\text{C}$

$$\psi_t \approx 4,5 \cdot \Delta\theta \quad (8.3)$$

och vid en medeltemperatur av  $0^{\circ}\text{C}$  under uppvärmningsperioden

$$\psi_t = 5 \cdot \Delta\theta \quad \% \quad (8.4.)$$

Dessa värden gäller vid

$$\Delta\theta = \theta_A - \theta_B = 2^{\circ}\text{C} \quad (8.5)$$

Vid

$$\Delta\theta > 2^{\circ}\text{C}$$

avtar  $\psi_t$  så att man vid t ex  $\Delta\theta = 4^{\circ}\text{C}$

och medeltemperaturen  $0^{\circ}\text{C}$  får

$$\psi_t = 4,5 \cdot \Delta\theta \quad \% \quad (8.4.a)$$

Vid

$$\Delta\theta < 2^{\circ}\text{C}$$

ökar  $\psi_t$  och blir för medeltemperaturen  $0^{\circ}\text{C}$

$$\psi_t = 6 \cdot \Delta\theta \quad \% \quad (8.4.b)$$

vid  $\Delta\theta = 1^{\circ}\text{C}$ .

### 8.1.5 Inverkan av fönsterstorlek och rumsstorlek

Fönsterstorlekens inverkan på  $\psi_t$  (och därmed på  $\psi_p$  och  $\psi_v$ ) kan beräknas med hjälp av tabell 5.4. Bild 8e ger grafiskt resultatet

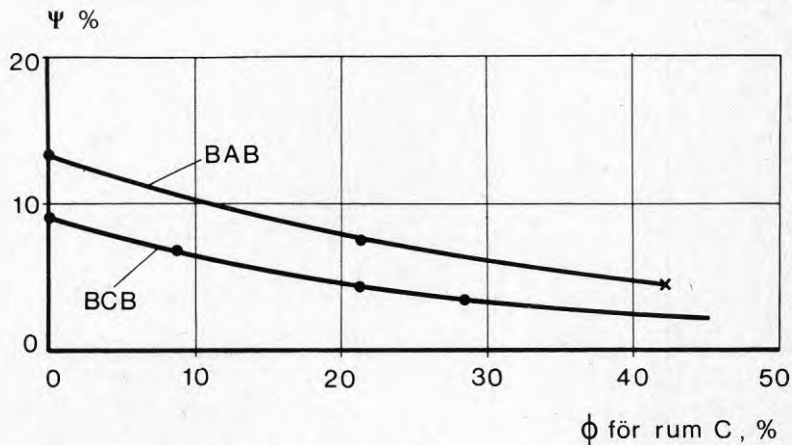


Bild 8e Fönsterstorlekens inverkan på  $\psi_t$ . Beteckningar som i bild 8c.

Värdena gäller för  $\theta_A = 21^\circ\text{C}$ ,  $\theta_B = 20^\circ\text{C}$  och  $\theta_u = -20^\circ\text{C}$ . Rumskonfigurationerna *BAB* och *BCB* har redovisats i samma diagram.  $\phi_B$  är i båda fallen 43 %.

I bilden avser  $x$  förhållandena vid radiatorsystem och heldragna kurvor de vid konvektivt värmesystem.

Av bilden framgår

- o med ökande differens i fönstersättning ändras  $\psi_t$  ganska kraftigt
- o  $\psi_t$  ligger mellan 2 och 13 % beroende på fönstersättningen
- o  $\psi_t$  minskar med ökande rumsstorlek vid bibehållen storlek hos mellanväggarna

#### 8.1.6 Inverkan av mellanväggarnas värmemotstånd

Mellanväggarnas värmemotstånd  $m$  inverkar som visats tidigare - se avsnitt 5.6 - endast obetydligt på  $P/A$  för mellanväggarna (bild 5j). Även om en viss påverkan på värmebehovet kan spåras - se tabell 8.1 - är dock inverkan på  $\psi_t$  försumbar.

Tabell 8.1 Värmeeffektbehovet för rum A (konfiguration *BAB*) vid  $\theta_u = -20^\circ\text{C}$ ,  $\theta_A = 21^\circ\text{C}$  och  $\theta_B = 20^\circ\text{C}$

Mellanväggarnas värmemotstånd ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ) <sup>-1</sup>	Värmeeffektbehovet	
	(inkl. ventilation)	relativt
0,033	592	1,00
0,067	587	0,99
0,100	585	0,99
0,133	580	0,98

#### 8.1.7 Inverkan av fönsterkonstruktion.

Genom fönstren går en stor del av värmebehovet för en lokal. Med välisolerade fönster sjunker således värmebehovet för lokalen, medan "värmestölden" - jämför bild 5n - är nära nog konstant. I tabell 8.2 ges värden på  $\psi_t$  för rumskonfiguration *BAB*.

Tabell 8.2  $\psi_t$  som funktion av fönsterisolering ( $\phi = 43 \%$ ,  $m = 0,033 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ ,  $m_y = 2,32 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ ,  $\theta_u = -20^\circ\text{C}$ ,  $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$  ( $\theta_A = 21^\circ\text{C}$ .)

Fönster	$\psi_t$ %
2-glas	4,2
3-glas	4,8

#### 8.1.8 Inverkan av ytterväggskonstruktion.

Inverkan av ytterväggskonstruktionen blir likartad - men mindre - än den av fönsterkonstruktionen. Den synes ointressant.

#### 8.1.9 Inverkan av planlösning

För de genomräknade fallen varierar  $\psi_t$  mellan 0,04 och 0,14, olika beroende på utomhustemperaturen, temperaturdifferens mellan rummen m m.

De beräknade värdena avser värmeförlusten mellan 2 rum och vid måttliga temperaturdifferenser, se bild 8c och 8d. Vid det fall att värme stjäls från samtliga omkringliggande rum, bild 8f,

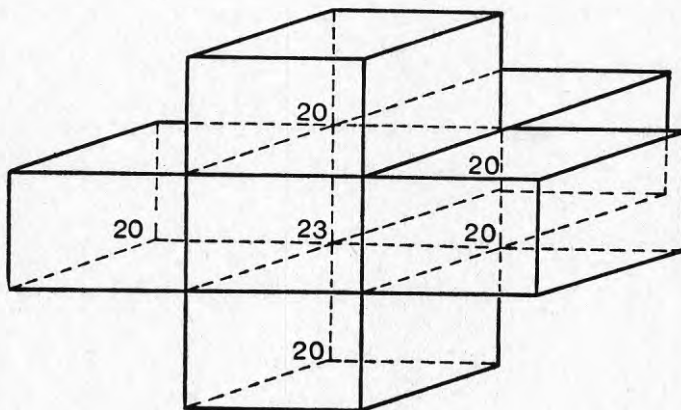


Bild 8f Konfiguration då samtliga omkringliggande rum stjäls värme från mittrummet.

kan värmestölden  $\psi_t$  stiga till ca 35 % av det totala värmebehovet.<sup>1)</sup>  
 Detta fall torde vara sällsynt och kräver att mittlägenheten i bilden endast har en yttervägg och samtliga omgivande rum har 3°C lägre lufttemperatur. Vanligen omfattar mittlägenheten flera rum (och ytterväggar) vilket minskar stöldens relativa betydelse.

Uppskattningsvis kan stölden sättas till

$$\psi_t = \frac{\Sigma B \cdot H (2,5 \cdot \Delta\theta - 5,5 \cdot \Delta\phi)}{\Sigma B \cdot H (2,5 \cdot \Delta\theta - 5,5 \cdot \Delta\phi) + \Sigma L \cdot B \cdot H \cdot n \cdot \frac{1}{3} \cdot \Delta\theta_L + \Sigma k_y \cdot (\theta_A - \theta_u) \cdot H \cdot L}$$

med de tidigare använda beteckningarna.

Uttrycket kan för  $\Delta\phi = 0$ ,  $\theta_A - \theta_u = 0$  och  $n = 0,5$  skrivas

$$\psi_t \approx \frac{2,5 \cdot \Delta\theta}{2,5 \cdot \Delta\theta + L \cdot \Delta\theta_L / 6}$$

se bild 8g.

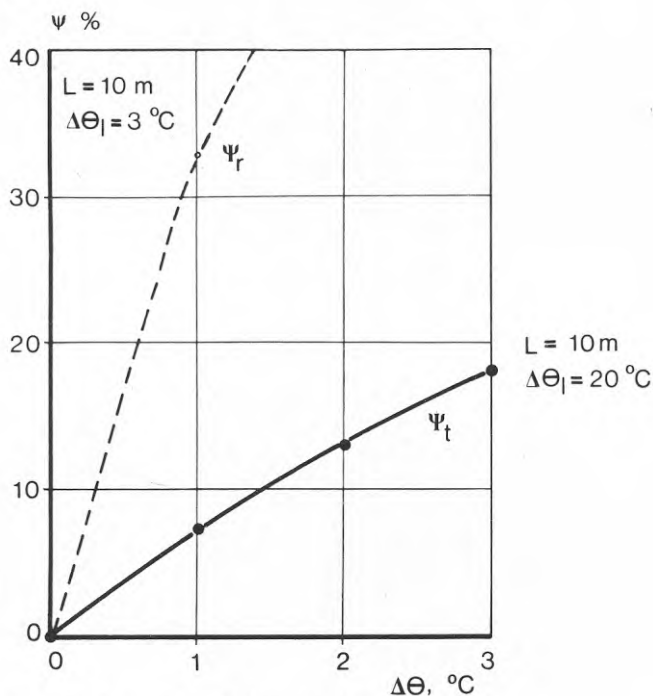


Bild 8g  $\psi_t$  och  $\psi_r$  som funktion av  $\Delta\theta$ .

För beräkning av  $\psi_r$  har  $\Delta\theta_L$  ändrats från 20°C (vilket använts vid  $\psi_t$ ) till 3°C i ovanstående formel. (Jämför det inledande exemplet, avsnitt 8.1.1).

1) Dvs man får "betala" för ca 1,5 gånger det verkliga behovet om ingen stöld finnes.



### 8.1.10 Inverkan av uppvärmningssystem.

I avsnitt 1 behandlades konvektiva värmesystem; i avsnitt 7 värmesystem med radiatorer. Som visades i avsnitt 7.1 - 7.3 spelar värmesystemet en förhållandevis underordnad roll för värmestölden i de fall de två rum mellan vilka utbytet studeras *båda* har antingen konvektiv värmning eller radiatorvärme. Däremot ger radiatorsystemen en annan värmeförlust, se Peterson & Isfält (1975) och Rosenthal (1976). Skillnaderna är dock relativt små och kan skattas till ca  $\pm 10\%$  mellan olika system. Ett  $\psi$ -värde av 0,1 vid ett system motsvaras följaktligen (approximativt) av 0,09 å 0,11 vid andra system.

### 8.2 Klimatberäkningar

Vid beräkning av rumsklimat, se t ex SBN 1975, Supplement 1, krävs kännedom om yttemperaturerna i rum. Ofta antas yttemperaturerna vara lika med lufttemperaturen vilket dock är felaktigt, se avsnitt 5. Yttemperaturerna i lokaler med ytterväggar och fönster ligger vintertid (om ytorna ej värms t ex med ingjutna slingor, strålning e d) under rumstemperaturen. Luften värmer således väggarna genom konvektion medan väggarna avger strålning till de kalla ytterväggytorna och fönstren.

En uppskattning av yttemperaturerna i lokalen kan erhållas från tabellerna i avsnitt 5.

I bild 8h visas temperaturen hos ytterväggens (i rum A) insida (rumskonfiguration BAB och värmemotstånden  $m = 0,033, m_y = 2,32 \text{ (W/m}^2\text{K)}^{-1}$ ) vid olika temperaturförhållanden. Som framgår av bilden inverkar temperaturen i rummet, men också angränsande rums temperatur.<sup>1)</sup>

Det senare beroendet härrör från strålningen mellan innerväggar och yttervägg. En minskning med  $1^\circ\text{C}$  hos angränsande rumsluft ger en minskning med 0,2 % hos ytterväggen.

Sambandet mellan förhållandena i angränsande rum och ytterväggens temperatur avhänger givetvis av mellanväggarnas temperaturer.

1) Självfallet inverkar  $m_y$ , se tabell 5.8

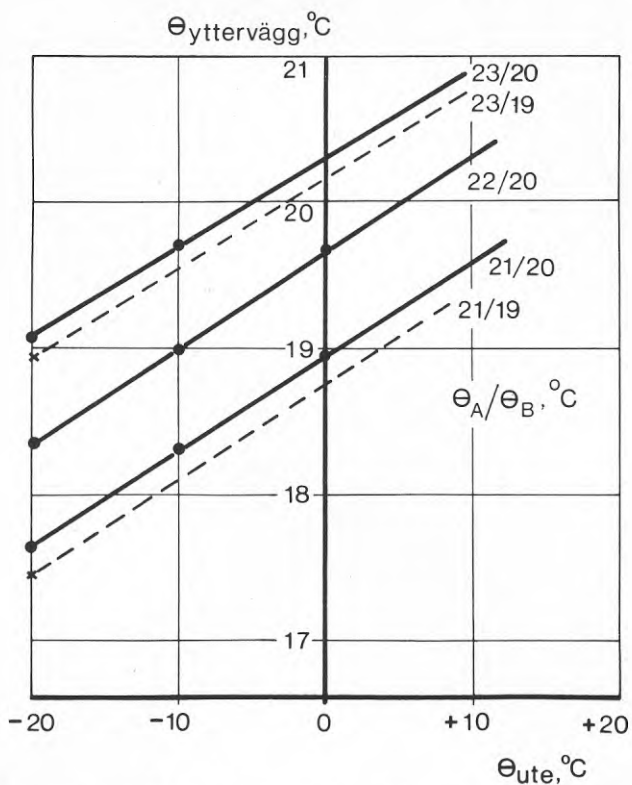


Bild 8h Temperaturen på ytterväggens insida som funktion av utomhustemperaturen.

I bild 8j visas data enligt tabell 5.6. Inflytandet är dock obetydligt.

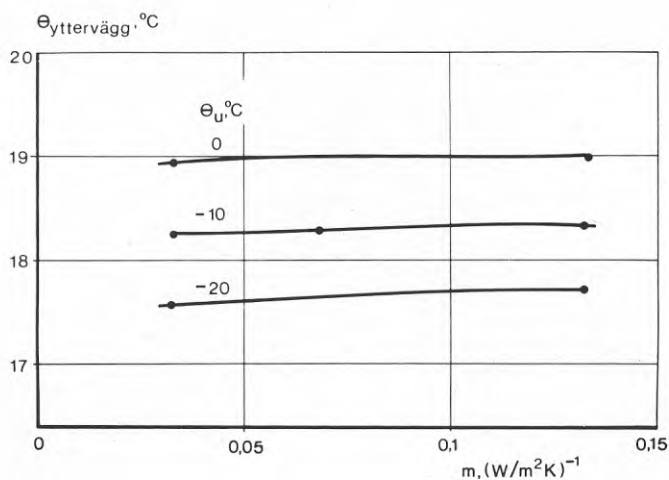


Bild 8j Väggtemperaturen vid olika utomhustemperaturer som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd (enligt tabell 5.6).

Fönstertemperaturen avhänger av utomhustemperaturen. För rum 4 gäller de värden tabell 5.6 anger för olika  $m$ -värden och vid 2-glasfönster. Värdena har angivits i diagram 8k.

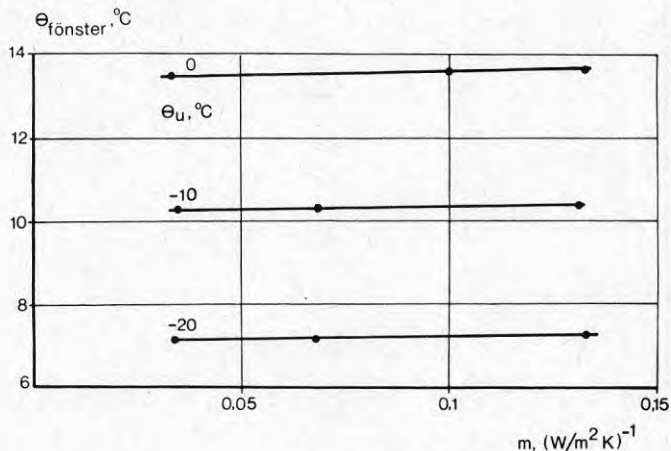


Bild 8k Fönstertemperatur (insida) vid olika utomhustemperaturer som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd (enligt tabell 5.6).

Tak- och golvtemperaturer ligger - med den använda beräkningsmodellen - relativt lika. Modellen tar nämligen ej hänsyn till temperaturgradienter, vilka - se Peterson (1975) - förekommer i verkliga fall.

Vid tillämpning för klimatberäkningar bör de ovan antydda variationerna beaktas. Inverkan av variationerna har skattats i Peterson (1975) och Mundt (1978). De visade temperaturerna  $m$  avser i samtliga fall de i avsnitt 6 redovisade fallen, nämligen konvektivt uppvärmda rum. Som redan påpekades i avsnitt 1 spelar värmestrålningen från radiatorer  $m$  en mindre roll i möblerade rum. Det kan därför i många fall vara lämpligt att endast beakta de ovan angivna fallen vid en klimatberäkning. För det fall radiatoruppvärmning används och radiatoren ej skall skymmas av möbler eller gardiner kan en rumsklimatberäkning baseras på de i avsnitt 7 visade temperaturerna eller också kan de ovan angivna yttemperaturerna korrigeras med hänsyn till strålningen och i enlighet med överslagsvärden i avsnitt 7. Den räkнемässiga behandlingen av frågorna har redovisats i Mundt (1978).

### 8.3 Värmeövergångskoefficienter till följd av konvektion

Inledningsvis - se avsnitt 2 - berördes storleken av de uppträdande värmeövergångskoefficienterna. Det kan vara av intresse att se något på storleken av dessa vid de studerade konstruktionerna och beräkningsfallen. I bild 87 visas som exempel på värmeövergångskoefficienter vid väggar de som används vid beräkning med BRIS (se avsnitt 2.8). Erhållna värden (för inner- och ytterväggar) faller inom det sektionerade området. En detaljerad analys av förhållandena skall ges av Peterson (1979).

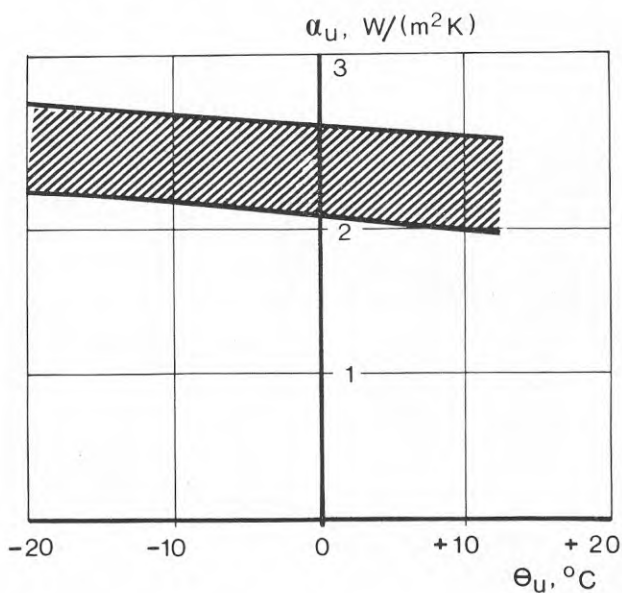


Bild 87  $\alpha$ -värden (p g a konvektion) som används vid beräkning med data-programmet BRIS.

## SAMMANFATTNING

Värmeegenomströmning vid innerväggar, dvs mellan rum i en byggnad, har aktualiserats genom diskussioner om individuell värmemätning i bostäder. Värmemätning, dvs uppmätning eller skattning av värmeanvändningen i en lokal eller en grupp av lokaler, har sedan länge ansetts ge relativt stora värmevinster. Olika undersökningar visar på besparingar mellan 10 - 30 %.

I sådana fall att lufttemperaturerna hos olika lokaler i en byggnad skiljer sig väsentligt från varandra kommer en mätning av värmeförbrukningen i en lokal ej att direkt visa denna lokals värmeförluster gentemot uteluften, utan också innefatta de "värmestölder" (positiva och negativa) vilka förekommer gentemot intilliggande lokaler.

En kallare lägenhet "stjäl värme" från en varmare. Personer vilka kräver högre rumstemperatur - t ex gamla och småbarnsfamiljer - får därmed betala för dem som kan acceptera en lägre rumstemperatur. Ett sätt att minska värmestölden i detta fall är att injustera lägenheterna till en och samma temperatur före värmemätningens början. Härigenom blir de uppträdande temperaturdifferenserna små. Ett annat närliggande sätt är att öka isoleringen mellan lägenheterna. Denna metod är, som visats i avsnitt 5.6, icke praktiskt möjlig. Värmeöverströmningen mellan lägenheterna avhänger av förhållandena i lägenheterna på ett mer komplicerat sätt.

Med utredningen som grund kan man vid användning av värmemätare eller vid värmemätning med hjälp av temperaturmätning använda de beräknade värdena för korrektion av värmeanvändning i respektive rum. Värmeflödena vid innerytor kan ej beräknas på samma sätt som vid värmeegenomgång vid byggnaders ytterytor. Strömningsförhållandena vid innerytor avviker väsentligt från de vid ytterytorna; dessutom är förhållandena olika för den del av värmetransporten som överförs via strålning.

Beräkningarna har utförts med datorprogrammet BRIS. Ett stort antal fall har genomräknats och redovisats i tabeller och diagram. Några enkla "tumregler" för ingenjörsmässiga överslagsberäkningar har uppställts.

### Värmeöverföring vid innerväggar

En granskning har gjorts av "konventionell" beräkning av värmeöverföring, som vid ingenjörsmässiga beräkningar behandlas på ett kraftigt förenklat sätt.

Vid denna typ av beräkning bestäms transmissionsförlusten,  $P$ , för t ex en yttervägg som

$$P = k \cdot A (\theta_l - \theta_u) \quad (1)$$

där  $k$  = väggens värmegenomgångskoefficient

$A$  = väggarean

$\theta_l$  = lufttemperaturen inomhus

$\theta_u$  = lufttemperaturen utomhus

Storleken av  $k$  beräknas vanligen från

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \quad (2)$$

Här är  $\alpha_i$  värmeövergångskoefficienten på väggens insida

$\alpha_u$  värmeövergångskoefficienten på väggens utsida

$d$  tjockleken av ett väggskikt

$\lambda$  värmeledningsförmågan hos samma skikt

Av intresse är här storheten  $\alpha_i$ . Denna varierar med bl a väggtemperaturen och luftrörelserna inomhus.

Storheten

$$m_y = \sum \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_u} \quad (3)$$

dvs de två sista termerna i uttrycket (2) betraktas som en konstant.

Storheten  $\alpha_i$  och därmed självfallet  $\frac{1}{\alpha_i}$  antas normalt också vara konstant och olika för väggar, golv och tak, se t ex SBN 75. Genom att betrakta värmetransporten i en vägg och uppställa värmebalansekvationer, kan man erhålla

$$\alpha_i = \alpha_k + \alpha_s \left\{ \frac{\theta_s - \theta_y}{\theta_l - \theta_y} \right\} \quad (4)$$

där  $\alpha_s$  = värmeövergångskoefficienten till följd av strålning

$\alpha_k$  = värmeövergångskoefficienten till följd av konvektion

$\theta_l$  = rumsluftens temperatur

$\theta_s$  = medeltemperaturen på de inre väggarna

$\theta_y$  = ytterväggens temperatur på insidan

Man kan således observera att det inre värmeövergångstalet *ej* är summan av det för strålning och det för konvektion. För  $\alpha_k$  kan man normalt sätta värden mellan 2 och 3 W/m<sup>2</sup>K. För  $\alpha_s$  är intervallet vid normala byggnads-konstruktioner väsentligt mindre och man kan i allmänhet sätta  $\alpha_s$  till 4,5 W/m<sup>2</sup>K.



Medelvärden  $\theta_y$  av inre väggtemperaturen hos en yttervägg med två-glasfönster och  $k$ -värdet  $1 \text{ W/m}^2\text{K}$  (äldre konstruktion) ligger vintertid i storleksordningen  $15^\circ\text{C}$ , medan innerväggarnas temperatur ligger ca  $2^\circ\text{C}$  under lufttemperaturen. För en lufttemperatur  $\theta_l = 20^\circ\text{C}$  kommer därför det sammansatta värmeövergångstalet att bli

$$\alpha_i = 3 + 4,5 \left\{ \frac{18-15}{20-15} \right\} = 3 + 2,7 = 6 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Detta skall jämföras med det ovägdade värdet

$$\alpha_i = \alpha_s + \alpha_k = 3 + 4,5 = 7,5 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Värmeövergången vid innerväggar studeras sällan i samband med projektering av ett värmesystem. Skälet härtill är att man normalt förutsätter att samtliga rum har en och samma temperatur och att man därmed drar (den oftast felaktiga) slutsatsen att någon värmetransport ej kommer till stånd mellan rummen.

Av intresse är här att värmeflödet från luften går *till väggen* till följd av att lufttemperaturen är högre än väggtemperaturen - vilket vanligen är fallet - medan värmeflödet till följd av strålning rör sig *från* innerväggen - innerväggen har högre temperatur än ytterväggen. Medan man alltså vid en yttervägg har *samma riktning* på värmeflödet genom konvektion och strålning från innerväggar och alltså *kan addera de båda värmeövergångskoefficienterna* enligt ekvation (4), är detta *ej möjligt för innerväggar*. Värmeflödena går här vanligen i olika riktning och problemet med att bestämma väggtemperaturen, och *värmeflödet genom väggen kan därför ej lösas med hjälp av ekvation (1)*.

#### Värmeövergångskoefficienter

Vad gäller de ovan anförda värmeövergångskoefficienterna vid innerväggar (och övriga rumsytor) har ett översiktligt resonemang om dessas storlek givits i avsnitt 2. I rum med påtvingad ventilation kan man med hjälp av lufthastigheten och temperaturskillnaden mellan vägg och luft bestämma värmeövergångskoefficienten,  $\alpha_{B1}$ , se bild 1.



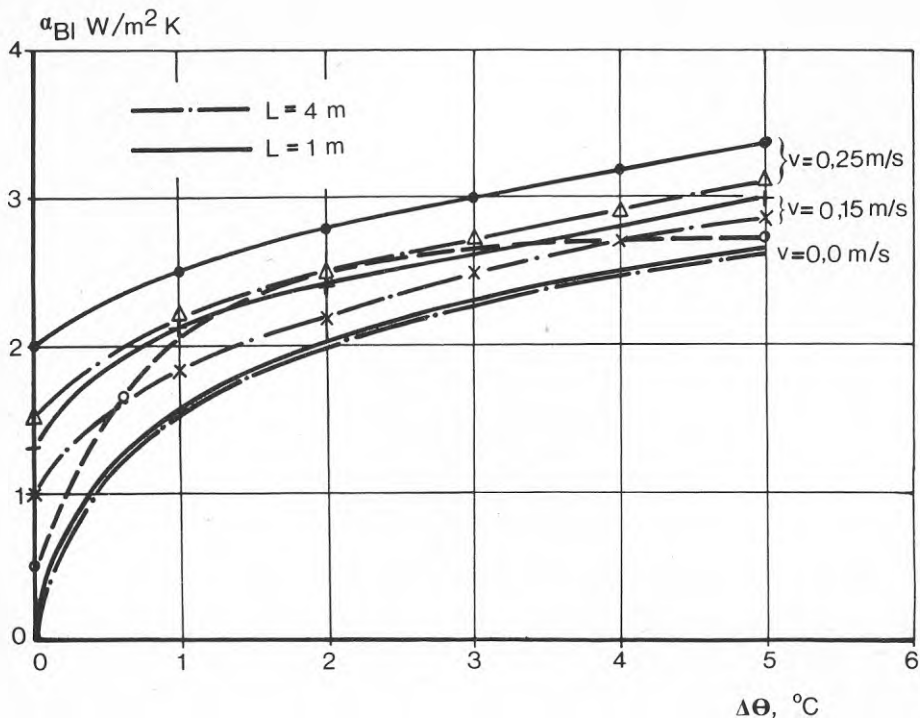


Bild 1. Värmeövergångskoefficienten  $\alpha_{B1}$  som funktion av  $\Delta\theta$  vid olika lufthastigheter.

#### Analytisk modell

En analytisk modell har ställts upp för handberäkning av värmeflödet genom en vägg mellan två rum. Syftet med detta är att visa olika storheters betydelse på ett enkelt sätt. Vid representativa värden på ingående materialkonstanter kan värmeflödet per ytenhet skrivas

$$P/A = 0,58 \Delta\theta \text{ W/m}^2$$

där  $\Delta\theta$  = skillnaden i rumstemperaturerna. Motsvarande "konventionell" beräkning ger

$$P/A = 0,80 \Delta\theta \text{ W/m}^2$$

Vid en mellanvägg med sämre isolering ( $m \ll 1$ ) blir värmeflödet

$$P/A = 1,4 \Delta\theta \text{ W/m}^2$$

medan däremot den "konventionella" metoden ger

$$P/A = 4 \Delta\theta \text{ W/m}^2$$

Variationer i ytterväggs isolering påverkar endast i ringa grad kvoten  $P/A$ .

### Gjorda förutsättningar

För datorberäkningarna valdes ett typrum som till storlek motsvarar ett ordinärt bostadsrum. Samma rumstyp har använts i några tidigare utredningar. Beräkningsmodellen bestod av tre olika rum i fil, betecknat *BAB*, varvid mittenrummets temperatur och fönsterstorlek varierades. I en speciell beräkningsserie studerades en kombination med hörnrum. Innerväggar-  
na bestod av 5 cm betong. Luftväxlingen antogs vara den lägsta acceptabla, 0,5 omsättningar per timme. Genomgående har räknats med fortfarighetstillstånd. I de beräknade exemplen har samtliga rum ansetts ha samma uppvärmningssystem. Man kan notera att de ändringar i ytemperaturer som uppvisas indikerar att stora skillnader i värmeomgången kan uppstå om rummen har olika värmesystem eller olika skärmning av radiatorer respektive fönster-  
tytor.

### Resultat av några storheters inverkan på värmeomgången.

Utetemperaturens inverkan på värmeomgången är nära nog linjär (bild 2).

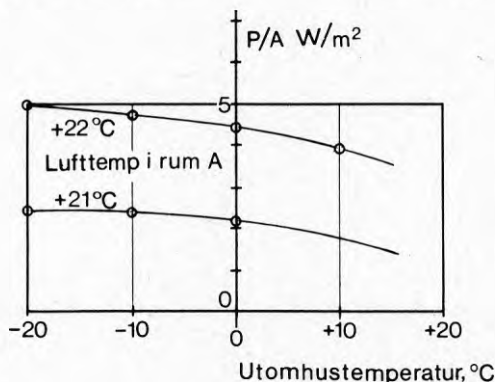


Bild 2. Värmeeffekten per ytenhet ( $P/A$ ) för mellanväggar i rumskonfigurationen *BAB*.

Avvikelsen från linearitet beror på att värmeövergången varierar till följd av att strålningen mellan innervägg och yttervägg (jämfte fönster) varierar med utetemperaturen.

Variationer i temperaturdifferensen mellan rummen spelar större roll än variationer i utetemperaturen. Värmeflödet, räknat per ytenhet och grad temperaturdifferens, är nära nog konstant och kan skattas till  $2,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Fönsterstorlek och läge testades på en beräkningsmodell där mittrummet var dubbelt så brett som omgivande rum (betecknat *BCB*). Vid stora fönster i mittrummet och små i omgivande rummen kommer värmeöverföringen att vara negativ, dvs värme går från det "kallare" rummet till det "varmare", se bild 3.

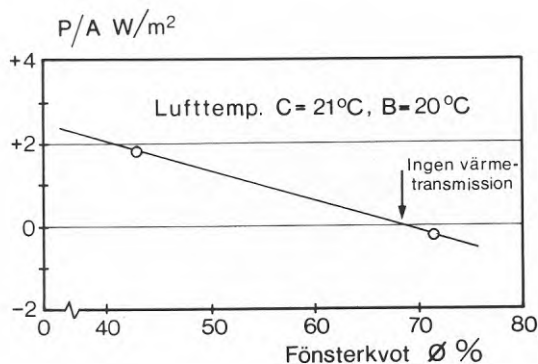


Bild 3. Värmetransmissionen genom mellanväggarna, rumskonfiguration *BCB*, vid stort fönster i rum *C*.

Detta exempel illustrerar kanske bäst det *orimliga* i att använda en "konventionell" transmissionsberäkning (under användande av *k*-värdet) för värmeöverföringen genom mellanväggar!

Fönsterandelen, betecknat  $\phi$ , dvs kvoten mellan fönsterarea och total fasadarea, har varierats och resultatet framgår av bild 4. Även rumsstorlekens betydelse framgår.

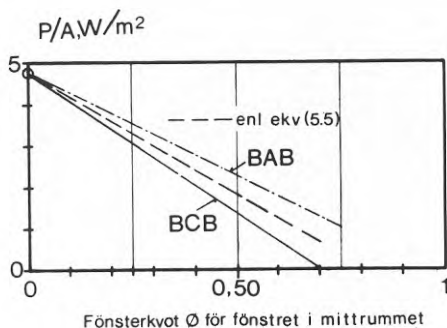


Bild 4. Värmeöverföringen från mittrum till sidorummen.

Inverkan av mellanväggarnas tjocklek har undersökts, vilket har betydelse då det gäller att bedöma värmeflödet i byggnader av olika ålder. I bild 5 redovisas resultatet.

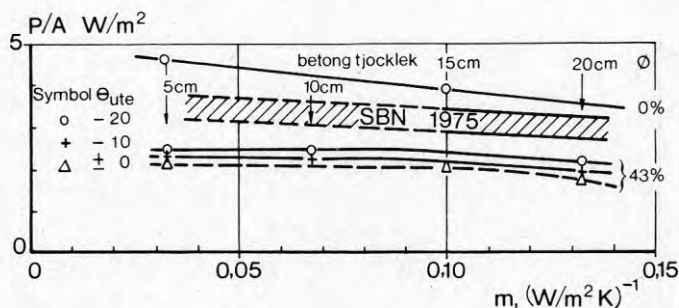


Bild 5. Värmeegenomgången genom mellanväggar (rumskonfiguration *BAB*) som funktion av mellanväggarnas värmemotstånd  $m = \frac{\delta}{\lambda}$  ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )<sup>-1</sup>.

Av bilden framgår att

- o värmeegenomgången genom mellanväggarna i en byggnad (rumskonfiguration *BAB*) är förhållandevis oberoende av mellanväggarnas värmemotstånd.
- o värmeegenomgången är mycket litet beroende av utomhusklimatet ( $\theta_{ute}$ ) och kan sättas konstant till  $2 \text{ W/m}^2$  för rumskonfigurationen *BAB* vid 43 % fönsterandel. Vid 9 % fönsterandel blir motsvarande värde ca  $4 \text{ W/m}^2$  (vid temperaturen  $-20^\circ\text{C}$  utomhus).
- o beroendet av fönsterstorleken är linjärt.

Fönstrets  $k$ -värde har en förhållandevis kraftig inverkan på yttemperaturerna i rummen. Vid övergång från 2-glas till 3-glas får man en ökning av alla väggtemperaturer med  $0,3 - 0,5^\circ\text{C}$  medan fönstertemperaturen ökar  $4^\circ\text{C}$ . Detta har, som påvisas i avsnitt 7.1, stor betydelse för rumsklimatet och därmed för energibesparingen.

### Ett nytt $k$ -värde för innerväggar

Ett ekvivalent " $k$ -värde" har framtagits för beräkning av värmegenomströmningen. Detta är framför allt beroende av temperaturdifferensen  $\Delta\theta$  mellan luftmassorna på ömse sidor om mellanväggen men beror också av fönsterstorlekar  $m$   $m$  i rummen. Vid ungefär lika stora fönsterareor, lika fönster  $m$   $m$  kan man för överslagsberäkningar sätta

$$k = 2,5 - 5,5 \frac{\Delta\phi}{\Delta\theta}$$

med

$$\Delta\phi = \phi_A - \phi_B$$

$$\Delta\theta = \theta_A - \theta_B$$

$\phi$  betecknar fönsterareans andel av totala arean för ytterväggen. Värmesystemet spelar en förhållandevis underordnad roll för värmestölden i de fall de två rum mellan vilka utbytet studeras *båda* har antingen konvektiv värmning eller radiatorvärmning.

### Hörnrum

För hörnrum gäller förhållanden motsvarande de vid fasadrum. Fönsterplaceringen i hörnrummet (antingen på samma fasad eller på sidofasaden) spelar mindre roll, medan fönsterstorleken ger ett linjärt beroende för  $P/A$ .

### Konsekvenser

Rapporten avslutas med några överslagsberäkningar som visar inverkan av olika faktorer (ventilationssätt, värmestillskott  $m$   $m$ ) på både den *absoluta* och den *relativa* värmegenomströmningen. Den *relativa* värmegenomströmningen kan bli mycket stor, vilket bör beaktas vid värmemätning om man tar hänsyn till värmestölden i proportion till värmeförbrukningen. Se bild 6, där

$\psi_t$  betecknar den relativa värmegenomgången genom mellanväggarna, räknat på *totala* värmebehovet,

$\psi_r$  betecknar den relativa värmegenomgången genom mellanväggarna, räknat på värmeavgivningen i *rummet*.

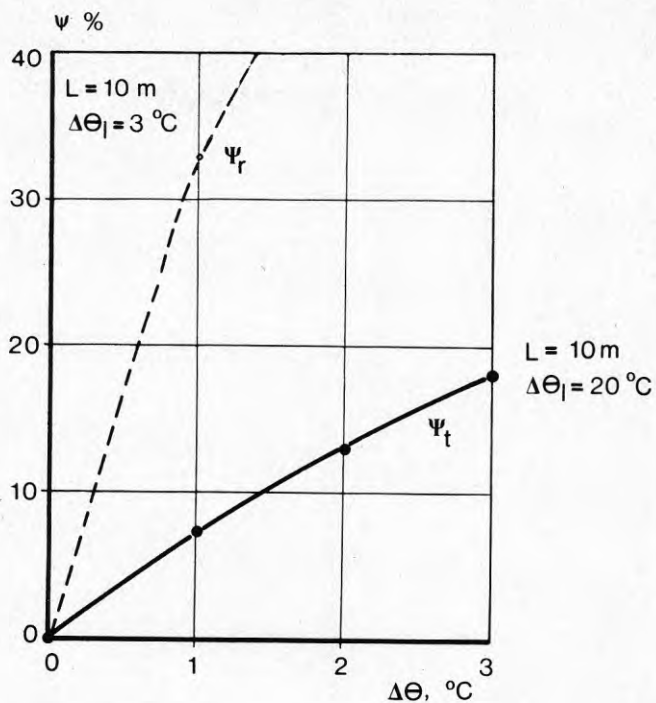


Bild 6.  $\psi_t$  och  $\psi_r$  som funktion av  $\Delta\theta$  mellan lokalerna.

Avslutningsvis kan dessutom nämnas att rapporten avhandlar värmeöverföring vid innerväggar i samband med

- o fönsterstorlek
- o fönsterplacering
- o fönsterkonstruktion
- o ytterväggens konstruktion
- o hörnrum
- o radiatorvärmesystem





## LITTERATUR

Behrens, H.: Die Wärmezählung bzw. Wärmemessungen für Zentralheizungen. Haustechn. Rundschau 46 (1941) p. 235.

Brown, G.: Metod för datamaskinberäkning av värme- och ljusstrålning i rum. Metod för datamaskinberäkning av kyl- och värmebehov. Byggnadsforskningen, särtryck 4:1964. Stockholm.

Eckert, E.: Introduction to the Transfer of heat and mass. New York, 1950.

Eckert, E. & Soehngen, E.: Interferometric studies on the stability and transition to turbulence of a free convection boundary layer. Proc. General Discussion Heat Transfer, London 1951.

Hagen, H.: Varmeforbrug i bolinger. Norges Byggeforskningsinstitut, Rapport 6, 1953.

Hedlund, A.: Några tekniska synpunkter på användandet av värmeflödesmätare. Tekn. Meddelanden nr 32 (1974) från Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

Hofmann, E.: Der Wärmeübergang bei der Strömung im Rohr. Zeitung ges. Kälteind. 44 (1937) p. 99, Zeitung VDI 82 (1938) p. 741.

Isfält, E. & Peterson, F.: Val av värmesystem - ett sätt att minska värmeförlusten från byggnader. Tekn. Meddelanden nr 29 (1974), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

Johnson, H.A. & Rubesin, M.W.: Transactions ASME 71 (1949) p. 447.

Min, T.C., Schutrum, L.F., Parmelee, G.V. & Vouris, J.D.: Natural convection and radiation in a panel-heated room. Trans. ASHRAE 62 (1956) p. 337.

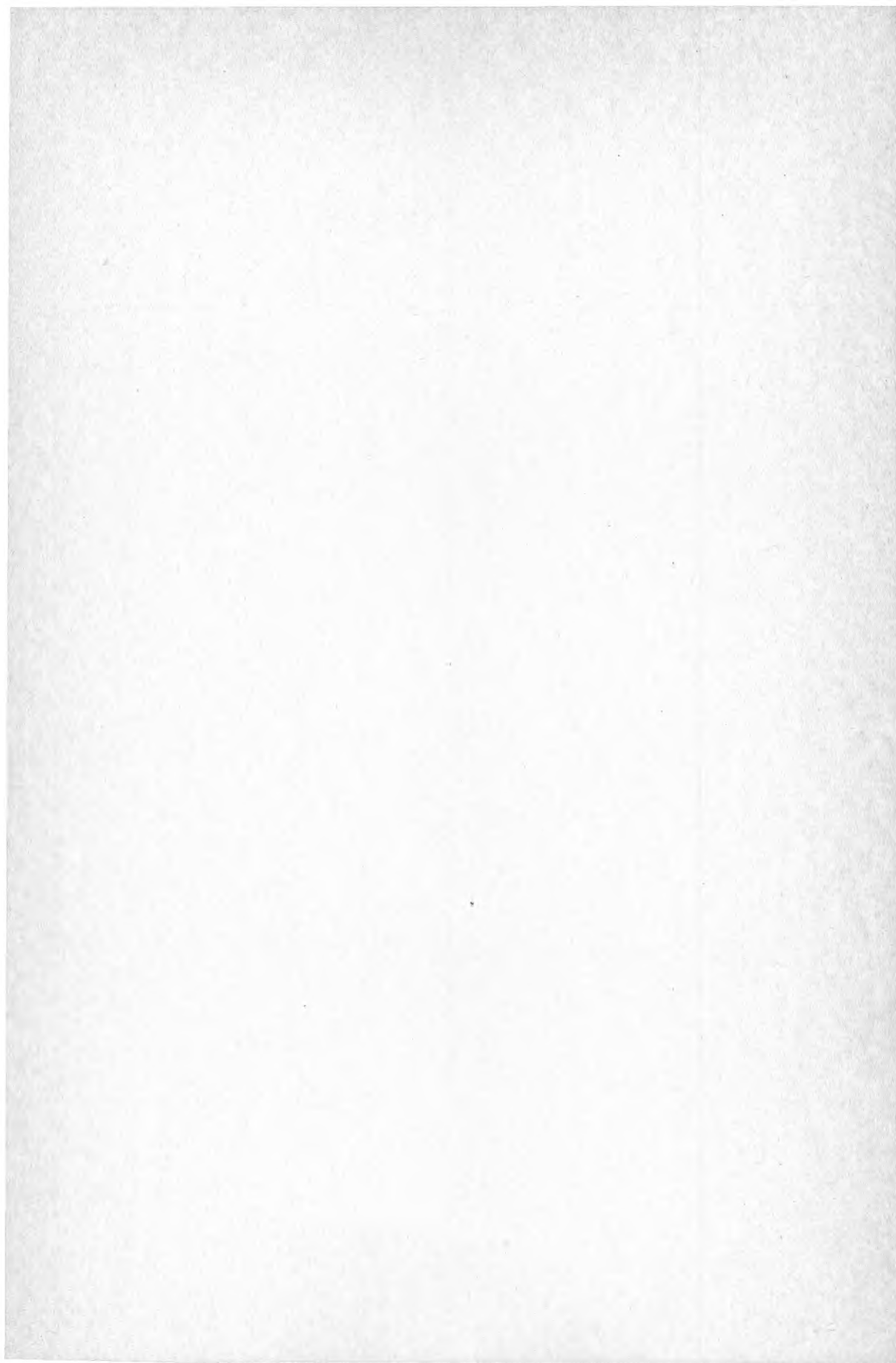
Mandorff, S.: Inreglering av värmesystem. BFR Informationsblad B12:1974. Stockholm.

Mandorff, S.: Inreglering av värmesystem. Tekn. Meddelanden nr 36 (1974), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.

- Mansa, J.: Värmemätning - tekniska och ekonomiska synpunkter. VVS 22 (1951) nr 12.
- Mundt, E.: Riktad operativ temperatur. A4-serien nr 21 (1978), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.
- Nusselt, W.: Der Wärmeübergang in Rohrleitungen. Zeitung VDI 43 (1909) p. 1750, p. 1808.
- Nyberg, U.: Värme- och klimatmätningar i lägenheter. BFR Rapport R 24:1976.
- Peterson, F.: Temperaturgradienter vid olika uppvärmningssystem. Tekn. Meddelanden nr 65 (1975), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.
- Peterson, F.: Beräkning av rumsytors temperatur. Tekn. Meddelanden nr 69 (1975), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.
- Peterson, F.: Om linealisering av ekvationer för konvektiv värmeöverföring. Tekn. Meddelanden nr 72 (1975), Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm.
- Peterson, F.: Värmeövergångstal vid innerväggar. Inst. för uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm (under publicering).
- Reuschel, P.: Die Einzelwärmezählung für Zentralheizungen. Carl Marhold Verlagsbuchhandlung, Berlin-Charlottenburg 1959.
- Rosenthal, T.: Effekt- och energiåtgång vid olika uppvärmningssystem - en förstudie. BFR Rapport, Stockholm 1976.
- Rydberg, J.: Bränslebesparing genom intermitterent uppvärmning av byggnader. VVS 13 (1942) nr 9.
- Saunders, O.A.: Natural convection in liquids. Proc. Royal Soc. (A) 172, p. 55. London 1939.
- Schutrum, L.F. & Min, T.C.: Cold wall effects in a ceiling-panel-heated room. Trans. ASHRAE 63 (1957) p. 187.
- Weise, R.: Wärmeübergang durch freie Konvektion an quadratischen Platten. Forsch. Ing.-Wes. 6 (1935) p. 281.













10

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 760929-0 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för  
Uppvärmnings- och ventilationsteknik, KTH, Stockholm**

**R70:1979**

**ISBN 91-540-3033-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600970**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 35 kr exkl moms**