



LUND UNIVERSITY

Strålningspåverkan på oisolerade eller undertaksisolerade stålkonstruktioner vid brand

Thor, Jörgen

1972

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Thor, J. (1972). *Strålningspåverkan på oisolerade eller undertaksisolerade stålkonstruktioner vid brand*. (Bulletin of Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 29; Vol. Bulletin 29). Lund Institute of Technology.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

JÖRGEN THOR

STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ OISOLERADE ELLER
UNDERTAKSISOLERADE STÅLKONSTRUKTIONER
VID BRAND

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

| | | <u>Sid</u> |
|---|---|------------|
| | BETECKNINGAR | |
| 1 | INLEDNING | 1 |
| 2 | VÄRMESTRÅLNINGENS TEMPERATURBEROENDE | 4 |
| | 21 Strålning från en absolut svart kropp | 4 |
| | 22 Grå strålning | 5 |
| 3 | VÄRMEÖVERFÖRING GENOM STRÅLNING MELLAN TVÅ "GRÅ" OÄNDLIGT STORA PARALLELLA YTOR | 7 |
| | 31 Ytor åtskilda av ett icke absorberande medium | 7 |
| | 32 Ytor åtskilda av ett absorberande medium | 8 |
| 4 | STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATTA OISOLERADE STÅLPELARE | 12 |
| | 41 Pelare placerade i brandrum | 12 |
| | 42 Pelare placerade utanför fasad | 16 |
| 5 | BEGREPPET VINKELKOEFFICIENT | 24 |
| | 51 Allmänt | 24 |
| | 52 Vinkelkoefficienten vid två parallella ytor där den ena ytan har oändlig utsträckning i en riktning | 26 |
| | 53 Vinkelkoefficienten vid två vinkelräta ytor där den ena ytan har oändlig ut- sträckning i en riktning | 27 |
| 6 | STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATTA BJÄLKLAGS- BALKAR AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT FLAMMORNA BEFINNER SIG HELT UNDER BALKARNA ELLER ATT BALKARNA ÄR AVSKILDA FRÅN BRANDEN MED UNDERTAK | 29 |
| | 61 Vinkelkoefficienten | 29 |

| | | | |
|---|----|---|----|
| | 62 | Nettostrålningsutbytet mellan flammor eller undertak och vissa delar av bjälklagsbalkar | 32 |
| | 63 | Nettostrålningsutbytet mellan flammor eller undertak och hela bjälklagsbalkar | 38 |
| | 64 | Jämförelse mellan vid försök bestämda och beräknade emissionstal och temperaturförlopp | 42 |
| 7 | | STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATT BJÄLKLAGSBALKAR AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT FLAMMORNA NÅR UPP TILL BJÄLKLAGET | 46 |
| | 71 | Beräkning av värmeövergångstalets strål- ningsandel | 46 |
| | 72 | Jämförelse mellan vid försök uppmätta och beräknade ståltemperaturförlopp | 50 |
| 8 | | STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATT BJÄLKLAGSBALKAR AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT ENDAST UNDERFLÄNSENS UNDERYTA ÄR DIREKT EXPONERAD FÖR BRAND | 54 |
| | 81 | Allmänt | 54 |
| | 82 | Beräkning av underflänsens temperatur med approximativt beaktande av effekten av borttransporterad värme | 55 |
| 9 | | SAMMANFATTANDE REKOMMENDATIONER | 58 |
| | | TILLKÄNNAGIVANDE | 60 |
| | | REFERENSER | 61 |

BETECKNINGAR

| | |
|-----------------|---|
| A | = yta |
| A_i | = medelmantelyta av brandisolering |
| B | = balkbredd |
| C | = centrumavstånd mellan balkar |
| E | = total emission per tids- och ytenhet från en godtycklig kropp |
| E_s | = total emission per tids- och ytenhet från en absolut svart kropp |
| F | = vinkelkoefficient |
| \mathcal{F} | = vinkelkoefficient som beaktar upprepad reflektion |
| F_s | = mot branden exponerad yta av en stålprofil |
| G | = förhållandetal enligt ekv (32:2) |
| H | = balkhöjd |
| J | = emitterad strålning med viss våglängd per tids- och ytenhet från en godtycklig kropp |
| J_s | = emitterad strålning med viss våglängd per tids- och ytenhet från en absolut svart kropp |
| K_1, K_2, K_s | = konstanter |
| i_k^R | = från yta i emitterad strålning som reflekteras från yta k |
| T | = absolut temperatur |
| V_s | = stålprofilsvolym |
| a | = absorptionstal |
| c_{ps} | = stålets specifika värme |
| d | = livtjocklek av stålprofil |
| f | = reflektionstal |
| q | = emitterad strålningsenergi per tidsenhet |
| r | = avstånd mellan två ytor |
| s | = transmissionstal |
| t | = tid |
| Δt | = tidsintervall |
| x, y, z | = koordinataxlar, koordinater |
| α | = värmeövergångstal |
| α_k | = värmeövergångstalets konvektionsandel |
| α_s | = värmeövergångstalets strålningsandel |
| γ_s | = volymvikt för stål |
| δ_i | = brandisoleringstjocklek |

| | |
|---------------------|--|
| e | = emissionstal |
| e_s | = emissionstal för stålprofil |
| e_t | = emissionstal för flammor |
| e_r | = resulterande emissionstal |
| η | = koordinataxel, koordinat |
| ϑ_s | = ståltemperatur |
| $\Delta\vartheta_s$ | = ståltemperaturökning |
| ϑ_t | = flammors temperatur |
| λ | = våglängd |
| λ_i | = värmeledningstal för brandisolering |
| ξ | = koordinataxel, koordinat |
| ρ | = $1 - e$ |
| φ | = vinkel mellan en ytas normal och sammanbindningslinjen till en annan yta |

1. INLEDNING

En brandcells gastemperaturförlopp vid brand kan beräknas ur värmebalanssamband då storleken av brandcellens brandbelastning och öppningsfaktor samt de termiska egenskaperna för brandcellens omslutande konstruktioner är kända. I {1} finns systematiskt redovisade med dator beräknade gastemperaturförlopp för olika brandceller vid varierande brandbelastning och öppningsfaktor. Dessa gastemperaturförlopp kan användas för beräkning av temperaturförloppet i en brandpåverkad stålkonstruktion varefter en bedömning av konstruktionens bärförmåga kan göras med ledning av stålmaterialiets hållfasthets- och deformationsegenskaper vid förhöjda temperaturer.

Med utgångspunkt från brandcellens gastemperaturförlopp beräknas en stålkonstruktions temperaturförlopp relativt enkelt med en värmebalans ekvation. Om brandisoleringens värmekapacitet försummas, vilket är en approximation på säkra sidan, kan värmebalans ekvationen för en isolerad stålkonstruktion skrivas

$$\Delta \vartheta_s = \frac{1}{\frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{A_i}{V_s \gamma_s c_{ps}} (\vartheta_t - \vartheta_s) \Delta t \quad (1:1)$$

För en oisolerad eller endast med undertak isolerad stålkonstruktion kan värmebalans ekvationen skrivas

$$\Delta \vartheta_s = \alpha \cdot \frac{F_s}{V_s \gamma_s c_{ps}} (\vartheta_t - \vartheta_s) \Delta t \quad (1:2)$$

där $\Delta \vartheta_s$ = stålprofilens temperaturökning under ett tidsintervall

Δt av branden ($^{\circ}\text{C}$)

Δt = tidsintervall (h)

A_i = isoleringens medelmantelyta per längdenhet av bärverket (m^2/m)

F_s = mot branden exponerad yta av stålprofilen per längdenhet av profilen (m^2/m)

δ_i = isoleringsmaterialiets tjocklek (m)

V_s = stålprofilens volym per längdenhet av profilen (m^3/m)

γ_s = stålmaterialiets volymvikt (kg/m^3)

c_{ps} = stålmaterialiets specifika värme ($kcal/kg^{\circ}C$)

ϑ_t = flammornas temperatur vid tiden t ($^{\circ}C$)

(vid undertaksskyddad konstruktion temperaturen på undertaketets överyta)

ϑ_s = stålprofilens temperatur vid tiden t ($^{\circ}C$)

α = värmeövergångstal i gränsskiktet mellan brandgas och isolering vid isolerad konstruktion respektive mellan brandgas eller luft och stålkonstruktion vid oisolerad eller undertaksskyddad konstruktion ($kcal/m^2 \text{ } ^{\circ}Ch$)

λ_i = isoleringens värmeledningstal ($kcal/m^2 \text{ } ^{\circ}Ch$)

Värdet på värmeövergångstalet α är starkt temperaturberoende och vid för brand aktuella temperaturer kan faktorn $1/\alpha$ i ekv (1:1) försummas i jämförelse med faktorn δ_i/λ_i .

För en isolerad stålkonstruktion saknar således värmeövergångstalet α praktisk betydelse för konstruktionens uppvärmning vid brand. För en oisolerad eller endast med undertak skyddad stålkonstruktion har däremot värdet på α mycket stor betydelse för konstruktionens uppvärmning vid brandpåverkan. Som framgår av ekv (1:2) är temperaturökningen $\Delta\vartheta_s$ under tidsintervallet Δt direkt proportionell mot värdet på α .

Värmeövergångstalet α kan enligt nedanstående samband anses sammansatt av en konvektionsandel α_k och en strålningsandel α_s .

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s \quad (1:3)$$

Deltermerna α_k och α_s är båda beroende av temperaturen. Temperaturberoendet för α_s är dock betydligt större än för α_k och vid för brand aktuella temperaturer är α_s den helt dominerande termen. Detta förhållande gör att man med i brandsammanhang tillräcklig noggrannhet kan sätta α_k i ekv (1:3) konstant. För ytor som är direkt utsatta för brand rekommenderas i {2} värdet $25 \text{ } kcal/m^2 \text{ } ^{\circ}Ch$ på α_k .

Ekv (1:3) kan således skrivas

$$\alpha = 25 + \alpha_s \quad (1:3)$$

För ytor som ej är direkt exponerade för brand, exempelvis vid bjälklagsbalkar skyddade med undertak, föreslås värdet $7,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C h}$ på α_k . (Se bl { 1}) Detta ger

$$\alpha = 7,5 + \alpha_s \quad (1:5)$$

Värmeövergångstalets strålningsandel α_s är beroende av flammornas eller undertakets och stålkonstruktionens temperatur, flammornas eller undertakets och stålkonstruktionens s k emissionstal samt flammornas eller undertakets och stålytornas storlek och orientering i förhållande till varandra. I efterföljande avsnitt diskuteras dessa faktorerers inverkan på storleken av α_s .

2 VÄRMESTRÅLNINGENS TEMPERATURBEROENDE

21 Strålning från en absolut svart kropp

Om en kropp utsätts för strålning gäller att en del f av denna strålning reflekteras; en del s transmitteras och en del a absorberas. Därvid gäller att

$$f + s + a = 1 \quad (21:1)$$

En kropp där $a = 1$, dvs en kropp där all infallande strålning absorberas benämns en absolut svart kropp. Den absorberade strålningen omvandlas till värme. Om temperaturjämvikt råder i kroppen måste kroppen därför utsända, emittera, lika mycket strålning som den absorberar. Därav följer att en absolut svart kropp är den kropp som även har den största emissionsförmågan.

En svart kropps strålningsintensitet, definierad som emitterad energi per tids- och ytenhet, J_s , är ojämnt fördelad över olika våglängder av strålningspektrumet. Enligt Plancks lag är strålningsintensiteten beroende förutom av våglängden av kroppens absoluta temperatur. En absolut svart kropps strålningsintensitet J_s vid våglängden λ och absoluta temperaturen T kan skrivas

$$J_s(\lambda, T) = \frac{K_1}{\lambda^5 (e^{K_2/\lambda T} - 1)} \quad (21:2)$$

där K_1 och K_2 är konstanter med värdena $0,321 \cdot 10^{-15}$ kcal m^2/h respektive $1,438$ m^oK.

Den absolut svarta kroppens totala emission vid temperaturen T , $E_s(T)$ fås genom summering av strålningsintensiteten enligt ekv (21:2) över alla våglängder, dvs

$$E_s(T) = \int_0^{\infty} J_s(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{K_1 d\lambda}{\lambda^5 (e^{K_2/\lambda T} - 1)} = K_s \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (21:3)$$

där $K_s = 4,96$ kcal/ $m^2 h(^{\circ}K)^4$ är den svarta kroppens sk strålningsstal.

22 Grå strålning

Förhållandet mellan en godtycklig kropps strålningsintensitet J vid våglängden λ och en svart kropps strålningsintensitet J_s vid samma våglängd kan skrivas

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{J}{J_s} \quad (22:1)$$

Genom integration av ekv (22:1) över alla våglängder fås emissionsfaktorn eller emissionstalet ϵ

$$\epsilon = \frac{E(T)}{E_s(T)} \quad (22:2)$$

som anger förhållandet mellan en godtycklig kropps och en absolut svart kropps emission. Emission för en godtycklig kropp $E(T)$ kan då skrivas

$$E(T) = \epsilon \cdot K_s \left(\frac{T}{100}\right)^4 = \epsilon \cdot 4,96 \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (22:3)$$

Med en s k grå strålare menas en strålare vars strålningsintensitet vid olika våglängder är fördelad på samma sätt över våglängd-spektrumet som strålningsintensiteten för en absolut svart kropp. Intensiteten vid varje våglängd och därmed den totala emissionen är i jämförelse med den svarta kroppens endast förminskad med faktorn ϵ . Vissa strålningslagar, bl a avseende strålningens riktningsberoende, vilka exakt endast gäller för absolut svarta strålare, kan även tillämpas på grå strålare. Blanka metall- ytor kan ej betraktas som grå strålare, vilket däremot bl a oxidbelagda eller målade metallytor kan { 3}. Stålkonstruktioner kan därför i strålningsavseende anses grå.

Emissionstalet ϵ för olika material varierar vanligen med temperaturen. Litteraturuppgifter på emissionstalets storlek för olika material visar dock att det för stålkonstruktioner med i brandsammanhang tillräcklig noggrannhet vanligen torde vara tillfyllest att använda värdet 0,8 på emissionstalet oberoende av temperaturen. I {4} anges sålunda att emissionstalets storlek för oxiderat gjutjärn varierar mellan 0,64-0,78 inom temperaturområdet 200-600°C. För oxiderat stål anges inom motsvarande temperaturområde det konstanta värdet 0,79. Vidare framgår i {5} att emissionstalets storlek för oxiderat stål

kan förutsättas vara 0,74 vid 100°C och 0,79 mellan 200-600°C. I {6} anges att emissionstalets storlek för svartoxiderad kopparplåt och starkt rostad järnplåt är 0,80 inom temperaturområdet 0-100°C. I {3} framgår att emissionstalets storlek för valshud kan förutsättas vara 0,77 vid 25°C samt för gjuthud 0,80 vid 100°C. För rostet järn anges värdet 0,61 vid 25°C samt för starkt rostet järn värdet 0,85 vid 20°C. Emissionstalets storlek för rent metalliska ytor är däremot avsevärt mindre än ovanstående värden.

- 3 VÄRMEÖVERFÖRING GENOM STRÅLNING MELLAN TVÅ "GRÅ"
OÄNDLIGT STORA PARALLELLA YTOR
- 31 Ytor åtskilda av ett icke absorberande medium

Om två oändligt stora parallella ytor A_1 och A_2 är åtskilda av ett icke absorberande medium kommer all strålning från yta A_1 att träffa yta A_2 . Omvänt gäller att all strålning från yta A_2 kommer att träffa yta A_1 . Om yta A_1 med absoluta temperaturen T_1 har emissionstalet ϵ_1 emitterar denna yta per tidsenhet i enlighet

med ekv (22:3) energin $\epsilon_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1$. Absorptionstalet för en grå strålar är lika stort som emissionstalet. Om emissionstalet för yta A_2 är ϵ_2 kommer denna yta således att absorbera delen ϵ_2 av den från yta A_1 emitterade strålningsenergin, dvs yta

A_2 absorberar energin $\epsilon_2 \cdot \epsilon_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1$. Under förutsättning av att ingen transmission sker kan den från yta A_1 emitterade energi som yta A_2 reflekterar tillbaka till yta A_1 skrivas

$(1-\epsilon_2)\epsilon_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1$. Av denna energi absorberar i sin tur yta A_1 delen ϵ_1 och reflekterar delen $(1-\epsilon_1)$ osv. Den från yta A_1 emitterade energin $q_{1 \rightarrow 2}$ som absorberas av yta A_2 , med beaktande av den upprepade reflektionen och absorptionen, kan tecknas

$$q_{1 \rightarrow 2} = \epsilon_2 \cdot \epsilon_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1 + \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1 (1 - \epsilon_2) (1 - \epsilon_1) + \dots + \quad (31:1)$$

Uttrycket till höger om likhetstecknet utgör summan av en oändlig geometrisk serie. Utförs summeringen erhålls

$$q_{1 \rightarrow 2} = A_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{1 - (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2)} = A_1 \cdot 4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad (31:2)$$

Den från yta A_2 med temperaturen T_2 emitterade energin $q_{2 \rightarrow 1}$ som absorberas av yta A_1 , med hänsyn tagen till den upprepade reflektionen och absorptionen kan analogt skrivas

$$q_{2 \rightarrow 1} = A_2 \cdot 4,96 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \cdot \frac{\epsilon_1 \epsilon_2}{1 - (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2)} = A_2 \cdot 4,96 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \cdot \frac{1}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \quad (31:3)$$

Nettostrålningsutbytet mellan yta A_1 och yta A_2 fås som skillnaden mellan $q_{1 \rightarrow 2}$ och $q_{2 \rightarrow 1}$. Då yta A_2 är lika stor som yta A_1 kan nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet mellan de bägge ytorna q_{12}/A_1 skrivas

$$\frac{q_{12}}{A_1} = \frac{4,96 \cdot \epsilon_1 \epsilon_2}{1 - (1 - \epsilon_1)(1 - \epsilon_2)} \left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \right] = \frac{4,96}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} \cdot \left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \right] \quad (31:4)$$

32 Ytor åtskilda av ett absorberande medium

Ekv (31:4) som ger nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet mellan två parallella oändligt stora ytor förutsätter att ytorna är åtskilda av ett icke absorberande medium. Luft samt många andra gaser kan betraktas som icke absorberande. Vattenånga och koldioxid däremot emitterar och absorberar strålning. Dessa gaser bildas också vid förbränning, varför det är av intresse att studera hur strålningsutbytet mellan två ytor påverkas av en absorberande gasmassa mellan ytorna.

Om en sådan gasmassas absorptionstal förutsätts vara a gäller, att delen a av den mot gasmassan infallande strålningen absorberas. Om reflektionen samtidigt försummas, vilket enligt {3} är en förutsättning som approximativt kan anses gälla, kommer delen $(1-a)$ att transmitteras.

Studeras strålningsutbytet mellan de parallella oändligt stora ytorna A_1 och A_2 med hänsyn tagen till den upprepade reflektionen mellan dessa ytor och den upprepade transmissionen och absorptionen

i en mellanliggande absorberande gasmassa fås nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet q_{12}/A_1 mellan ytorna A_1 och A_2

$$\frac{q_{12}}{A_1} = \frac{4,96 \cdot \epsilon_1 \epsilon_2 (1-a)}{1 - (1-a)^2 (1-\epsilon_1)(1-\epsilon_2)} \left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \right] \quad (32:1)$$

där T_1, T_2 = absoluta temperaturen för yta A_1 respektive yta A_2
 ϵ_1, ϵ_2 = emissionstalet för yta A_1 respektive yta A_2
 a = absorptionstalet för gasmassan
 mellan yta A_1 och yta A_2

En jämförelse mellan ekv (31:4) och (32:1) visar att nettostrålningsutbytet mellan två parallella ytor minskar om en absorberande gas införs i mellanrummet mellan ytorna. Om absorptionstalet är 1 framgår av ekv (32:1) att inget strålningsutbyte sker mellan de båda parallella ytorna. Om absorptionstalet är 0 övergår ekv (32:1) i ekv (31:4).

En absorberande gasmassa mellan två parallella ytor A_1 och A_2 minskar således nettostrålningsutbytet mellan dessa ytor men i gengäld sker, eftersom den absorberande gasmassan även emitterar strålning, ett direkt strålningsutbyte också mellan gasmassan och vardera av ytorna A_1 och A_2 . Om gasmassans emissionstal förutsätts vara lika stort som dess absorptionstal och gasmassans temperatur förutsätts vara lika med yta A_1 's temperatur blir totala strålningen på yta A_2 , inklusive strålningen från gasmassan, större än när ingen absorberande gasmassa finns mellan de parallella ytorna.

Förhållandet G mellan strålningsutbytet mellan de parallella ytorna beräknat under förutsättning av en absorberande och därmed emitterande gasmassa mellan ytorna och strålningsutbytet beräknat under förutsättning av ett icke absorberande medium mellan ytorna framgår av ekv (32:2). För fallet med en absorberande gasmassa har därmed förutsätts att gasmassans temperatur är lika med yta A_1 's temperatur samt att gasmassans emissionstal är lika stort som dess absorptionstal a . Vidare har förutsätts att yta A_1 's och yta A_2 's emissionstal är lika stora.

$$G = \frac{1 - (1 - \epsilon_2)^2}{\epsilon_2} \left[\frac{\epsilon_2(1 - a)}{1 - (1 - a)(1 - \epsilon_2)^2} + \frac{a}{1 - (1 - a)(1 - \epsilon_2)} \right] \quad (32:2)$$

där a = gasmassans absorptionstal

ϵ_2 = yta A_2 :s och yta A_1 :s emissionstal

Yta A_1 kan exempelvis motsvara flammorna vid en brand och yta A_2 en stålkonstruktion, varvid mellanliggande gasmassa består av i huvudsak koldioxid, vattenånga och luft. Förutsättningen att gasmassan har samma temperatur som flammorna (yta A_1) och att flammorna och stålkonstruktionen (yta A_2) har samma emissionstal kan i varje fall approximativt anses vara uppfylld vid brand. I fig 32:1 visas sambandet mellan G , a och ϵ_2 enligt ekv (32:2).

Strålningen från koldioxid och vattenånga är beroende av gasernas koncentration och gasskiktens tjocklek. Med ledning av bl a uppgifter i {7} förefaller det troligt att förhållandet mellan gasstrålningen och strålningen från en svart kropp med samma temperatur som gasmassan ej överstiger värdet 0,2 vid de gaskoncentrationer som kan bli aktuella vid en brand med i huvudsak träbränsle. Gasmassans emissionstal är således mindre än 0,2. Detta värde kan jämföras med emissionstalet för lysande flammor som med ledning av uppgifter i {7} och {8} kan bedömas ligga mellan 0,6 och 0,9. Fig 32:1 visar att närvaron av en absorberande och därmed emitterande gasmassa mellan flammor och en stålkonstruktion torde ha relativt liten betydelse för strålningsutbytet mellan flammorna och stålkonstruktionen vid ovan angivna storleksordning på gasmassans respektive flammornas emissionstal.

Vidare emitterar gaser strålning endast inom vissa begränsade våglängdsintervaller. Detta medför att emissionen för en gasmassa inte alltid är lika stor som dess absorption. I {7} framgår att emissionen för koldioxid oftast är mindre än absorptionen. Hur mycket mindre emissionen är beror bl a på förhållandet mellan gastemperatur och omgivande strålningsytors temperaturer. Är en gasmassas emission mindre än dess absorption innebär närvaron av en sådan gasmassa mellan två ytor att totala strålningsutbytet mellan ytorna kan bli mindre än om ytorna är åtskilda av ett icke absorberande och emitterande medium.

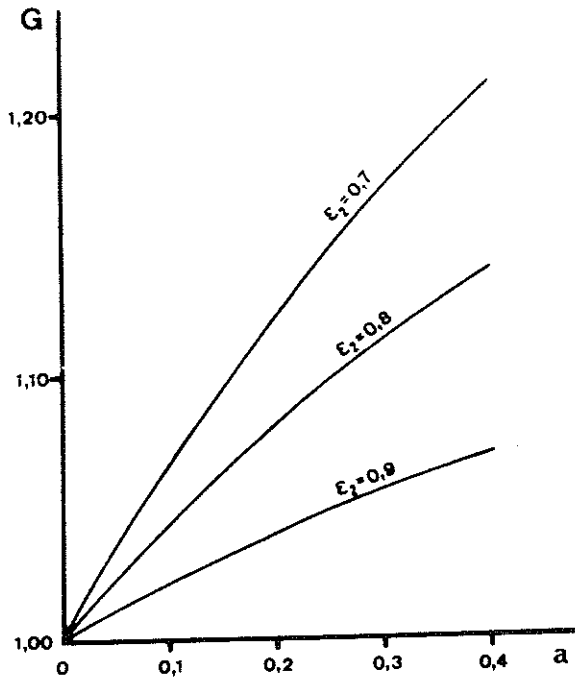


Fig 32:1 Sambandet mellan G,a och ϵ_2 enligt ekv (32:2)

Det är svårt att med någon större noggrannhet bedöma absorptions- och emissionstalets storlek för de gasblandningar som bildas vid brand. Emissionstalet kan dock enligt ovan bedömas vara avsevärt mindre än emissionstalet för lysande flammor, vilket resulterar i att gasmassans inverkan på strålningsutbytet blir relativt liten. Som nämnts kan också närvaron av en gasmassa i många fall innebära en minskning av det totala strålningsutbytet. Ovan nämnda förhållanden gör det motiverat att helt bortse från närvaron av en absorberande och emitterande gasmassa vid en teoretisk bedömning av strålningspåverkan på brandutsatta stålkonstruktioner.

När man har anledning förmoda att en gasmassas strålning skulle innebära ett ej försumbart tillskott i strålningsutbytet mellan flammor och stålkonstruktion, kan detta tillskott approximativt beaktas genom att man väljer ett i jämförelse med normalfallet högre värde på flammornas emissionstal.

4 STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATTA OISOLERADE STÅLPELARE

41 Pelare placerade i brandrum

I avsnitt 3 förutsattes att de strålande ytorna var parallella och oändligt stora. Under denna förutsättning träffar all strålning från den ena ytan den andra ytan och omvänt, varvid nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet mellan ytorna kan beräknas med ledning av ekv (31:4).

För två parallella lika stora ytor som ej har oändlig utsträckning men som befinner sig nära varandra i förhållande till sin utsträckning gäller ekv (31:4) approximativt eftersom den övervägande delen av strålningen från den ena ytan träffar den andra ytan och omvänt. Ju närmare varandra ytorna befinner sig i förhållande till sin utsträckning ju noggrannare ger ekv (31:4) nettostrålningsutbytet mellan ytorna.

Ekv (31:4) kan därför användas för beräkning av strålningen mellan flammor och pelare som enligt fig 41:1 antas vara helt omslutna av flammor. Nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet q/F_s mellan flammor och pelare kan således tecknas

$$q/F_s = \frac{4,96}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} \left[\left(\frac{T_t}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4 \right] \quad (41:1)$$

Där q = nettostrålningsutbytet per tidsenhet

F_s = den mot branden exponerade ytan av stålpelaren per längdenhet av pelaren (m^2/m). Se fig (41:1)

ϵ_t = flammornas emissionstal

ϵ_s = stålpelarens emissionstal

T_t = flammornas absoluta temperatur ($^{\circ}K$)

T_s = stålpelarens absoluta temperatur ($^{\circ}K$)

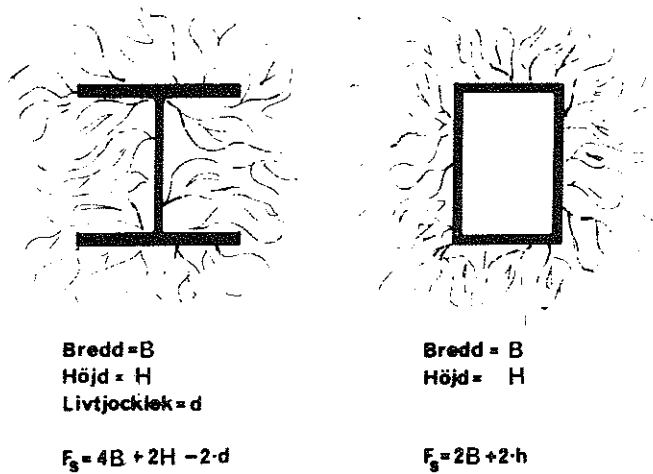


Fig 41:1 Beräkning av mot branden exponerad yta F_s för i brandrum placerad pelare.

Ekv (41:1) kan skrivas i formen

$$\frac{q}{F_s} = \alpha_s (\vartheta_t - \vartheta_s) \quad (41:2)$$

där ϑ_t = flammornas temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 ϑ_s = stålpelarens temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
 α_s = värmeövergångstalet genom strålning ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ h}$)

Ekv (41:2) i kombination med ekv (41:1) ger

$$\alpha_s = \frac{4,96 \epsilon_r}{(\vartheta_t - \vartheta_s)} \left[\left(\frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (41:3)$$

där ϵ_r = resulterande emissionstal bestämt genom sambandet

$$\epsilon_r = \frac{1}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} \quad (41:4)$$

Ekv (41:3) och (41:4) överensstämmer med i {9} angivna samband för beräkning av värmeövergångstalets strålningsandel vid brandutsatta stålkonstruktioner. Om emissionstalet för stålpelaren ϵ_s förutsätts vara 0,8 (jfr avsnitt 22) och emissionstalet för flammorna ϵ_t samtidigt förutsätts vara 0,85 (jfr avsnitt 32) ger

ekv (41:4) ett resulterande emissionstal ϵ_r av 0,7. Detta värde rekommenderas också i {9} vid beräkning av temperaturen för i brandrum placerade pelare.

Staltemperaturförloppet för en brandpåverkad oisolerad stålpelare kan beräknas med ekv. (1:2). I denna ekvation ingående värmeövergångstal α fås ur ekv (1:4). Värmeövergångstalets strålningsdel α_s i ekv (1:4) beräknas med ekv (41:3) varvid ϵ_r i denna ekvation förutsätts vara 0,7 enligt ovan.

Några i litteraturen redovisade temperaturförlopp uppmätta vid brandprovningar med oisolerade stålpelare {10}, {11} jämförs i fig 41:2, fig 41:3 och fig 41:4 med motsvarande, med ledning av ovan nämnda samband teoretiskt bestämda temperaturförlopp. Jämförelsen styrker att värdet 0,7 på det resulterande emissionstalet är lämpligt att använda vid beräkning av temperatur-tidförloppet för brandutsatta i brandrum placerade stålpelare. Av fig 41:4 framgår visserligen att en beräkning av staltemperaturförloppet med ett ϵ_r -värde av 0,5 i detta fall ger bättre överensstämmelse med motsvarande uppmätta förlopp än en beräkning med det rekommenderade värdet 0,7. Detta kan förklaras av att en oljeeldad ugn troligen använts vid detta försök vilket resulterat i ett lägre emissionstal för flammorna än vad som vanligen gäller vid naturliga bränder.

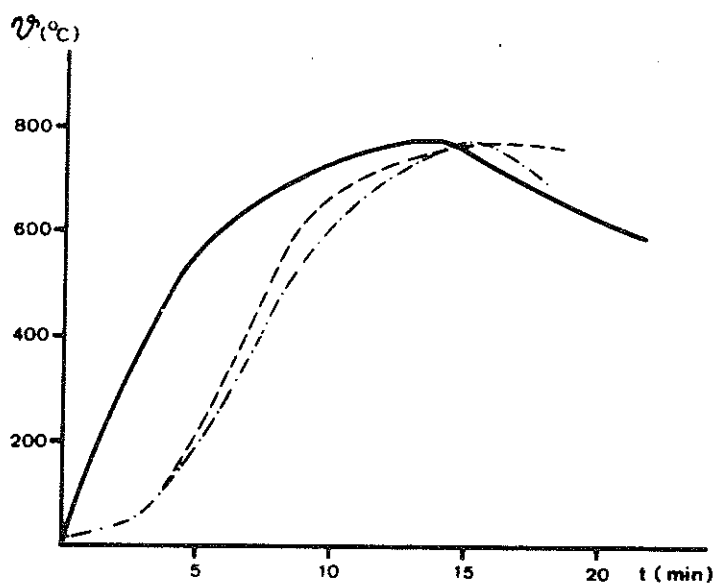


Fig 41:2

Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och uppmätt temperatur-tidförlopp (ϑ -t) för brandpåverkad oisolerad stålpelare

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet (medeltemperaturer)
- - - I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för stålpelaren (medeltemperaturer)
- . - . Beräknat temperaturtidförlopp för stålpelaren

Brandrummets storlek var 7,7x3,7x2,9 m och brandbelastningen 30 kg trä per m² golvyta. Halva ytan av den ena 7,7x2,9 m väggen var öppen. Pelaren hade I-tvårsnitt med tvärsnittsmått ca 20x20 cm samt en vikt av 52 kg/m. Pelarens F_s/V_s -förhållande var ca 180.

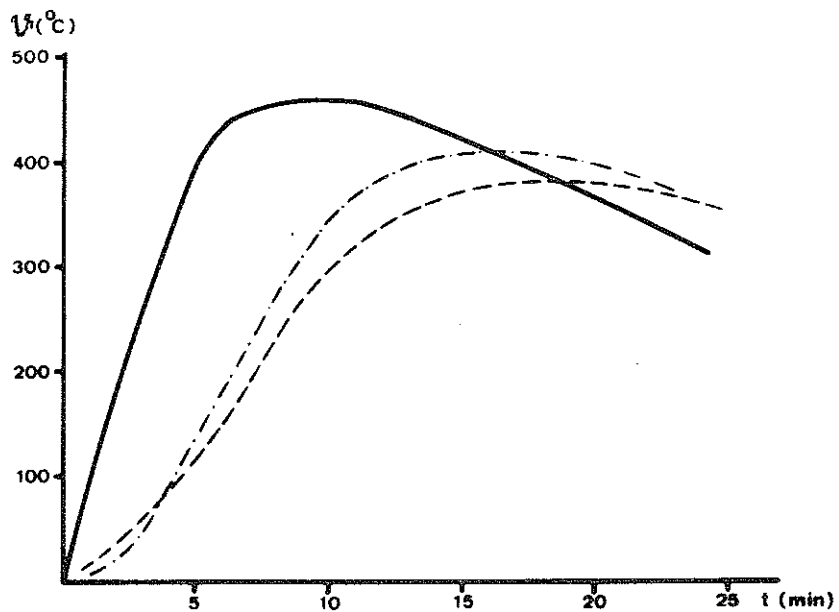


Fig 41:3 Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och uppmätt temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för brandpåverkad oisolerad stålpelare

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet (medeltemperaturer)
- - - I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för stålpelaren (medeltemperaturer)
- . - . Beräknat temperaturtidförlopp för stålpelaren

Samma förutsättningar som vid försöket redovisat i fig 41:2 gäller med undantag av brandbelastningen som var 15 kg trä per m^2 golvyta.

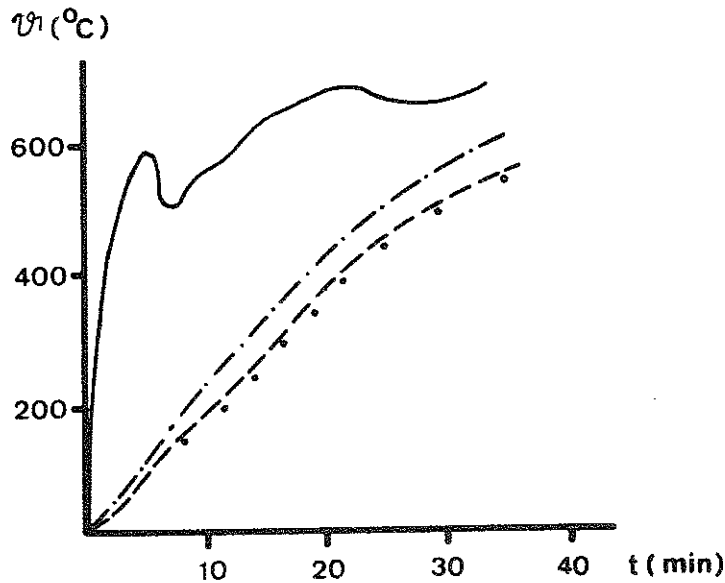


Fig 41:4 Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och uppmätt temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för brandpåverkad oisolerad stålpelare

- I {11} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet
- o I {11} redovisade uppmätta temperaturer för stålpelaren
- .-.- Beräknat temperaturtidförlopp för stålpelaren med ϵ_r i ekv (41:3) lika med 0,7
- Beräknat temperaturtidförlopp för stålpelaren med ϵ_r i ekv (41:3) lika med 0,5

Pelaren utgjordes av en rörprofil med ytterdiametern 21,9 cm och godstjockleken 1,8 cm, vilket innebär ett F_s/V_s -förhållande av ca 56.

42 Pelare placerade utanför fasad

Ekv (41:3) som med ϵ_r lika med 0,7 kan användas för beräkning av strålningsutbytet mellan flammor och i brandrum placerade pelare förutsätter att all strålning från flammorna runt en pelare träffar pelaren och omvänt. Detta är ej fallet vid en utanför en fasad belägen pelare vid brand inne i byggnaden. Strålningsutbytet mellan flammor och pelare är i hög grad beroende av bl a pelarens avstånd från fasaden och dess avstånd i sidled från fönsteröppningar i fasaden. Vidare är temperaturökningen i en pelare belägen utanför

en byggnads fasad beroende av ytterluftstemperaturen omkring pelaren. Den svalare ytterluften kan avsevärt dämpa temperaturökningen i pelaren. Utförda brandförsök har visat {10}, {12} att temperaturen i en utanför en fasad belägen oisolerad stålpelare vid brand inne i byggnaden kan hållas på en mycket begränsad nivå vid lämplig placering av pelaren.

Genom att kunskapsunderlaget beträffande temperaturfördelningen omkring en utanför en fasad belägen pelare vid brand inne i byggnaden i dag är mycket bristfälligt omöjliggörs en generell teoretisk behandling av strålningspåverkan i sådana fall. Detta blir möjligt först när systematiska kartläggningar har genomförts av hur temperaturfälten omkring en utanför en fasad belägen pelare varierar med tiden för brand inne i byggnaden vid olika brandbelastningar och ventilationsförhållanden för brandrummet.

Trots att det i dag torde vara omöjligt att genomföra någon noggrannare teoretisk bedömning av strålningsutbytet mellan flammor och pelare belägna utanför en fasad vore det värdefullt att åtminstone approximativt kunna bedöma temperaturen vid brand för sådana pelare. En möjlighet synes därvid vara att använda samma ekvationer som vid beräkningen av temperaturen i en i ett brandrum placerad pelare men i stället för värdet 0,7 på det resulterande emissionstalet ϵ_r använda ett betydligt lägre värde som därvid approximativt inkluderar den temperaturbegränsande inverkan som en placering utanför en fasad medför. I {9} rekommenderas också värdet 0,3 på det resulterande emissionstalet ϵ_r vid beräkning av temperaturstegringen i utanför en fasad belägna pelare vid brand inne i byggnaden.

För att närmare studera möjligheten att på ovan beskrivet sätt approximativt bedöma temperaturen i en utanför en fasad placerad pelare har två i litteraturen {10} redovisade brandförsök med oisolerade stålpelare placerade utanför en fasad använts för jämförelse mellan teoretiskt beräknade och motsvarande uppmätta temperaturförlopp. Vid beräkningen av värmeövergångstalets strålningsandel α_s har därvid ekv (41:3) använts med värdet 0,3 på det resulterande emissionstalet ϵ_r . Som brandutsatt yta F_s har betraktats pelarens hela mantelyta per längdenhet pelare. I fig 42:1 och fig 42:2 redovisas uppmätta och beräknade temperaturförlopp

för de två pelarna. Pelarna var placerade omedelbart utanför en fönsteröppning. Av figurerna framgår att temperaturen i pelarnas övre delar var avsevärt högre än i deras nedre. Liknande resultat har även framkommit vid andra brandförsök med utvändiga pelare { 12}. Förklaringen till denna ojämna temperaturfördelning i pelarna är, att den svala ytterluften strömmar in genom fönsteröppningarnas nedre delar medan de varma brandgaserna strömmar ut genom deras övre. Vid de teoretiska beräkningarna förutsattes pelarna över hela längden vara utsatta för samma värmepåverkan representerad genom vid respektive försök uppmätt temperaturtidförlopp inne i brandrummet. Beräknade ståltemperaturer är avsevärt högre än de i pelarna maximalt uppmätta temperaturerna. Detta kan delvis förklaras av att den ojämna temperaturfördelningen i pelarnas längsled resulterar i en värmetransport i pelarna genom ledning som gör att temperaturen i pelarnas varmaste delar blir lägre än om denna värmetransport ej skedde.

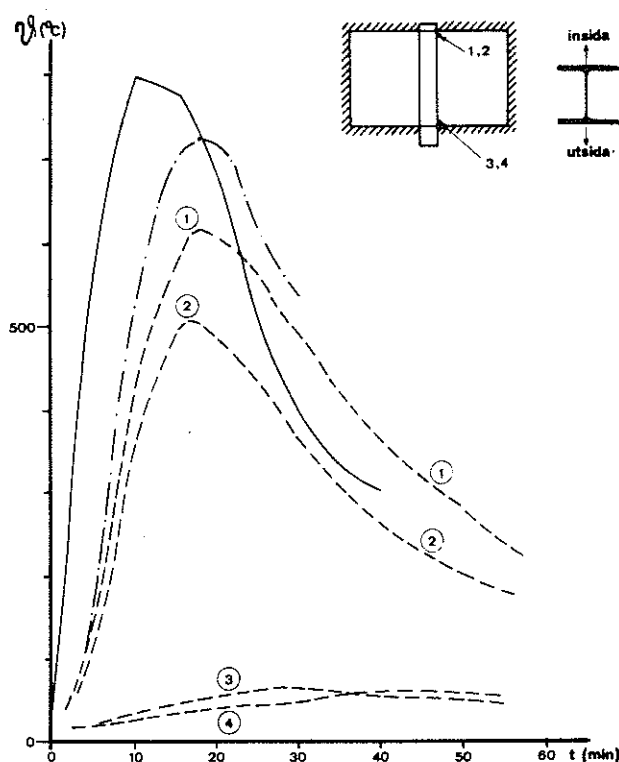


Fig 42:1

Uppmätta och teoretiskt bestämda temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för utanför fasaden placerad oisolerad stålpelare vid brand inne i byggnaden

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet
- - - I {10} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp för pelaren med mätställen enligt figur
- . . . Teoretiskt bestämt temperaturtidförlopp för pelaren. Som brandutsatt yta F_s har förutsatts hela stålpelarens mantelyta per längdenhet pelare. Resultande emissionstal ϵ_r har förutsatts vara 0,3.

Brandrummets storlek var 7,7x3,7x2,9 m och brandbelastningen 30 kg trä per m² golvyta. Halva ytan av den ena 7,7x2,9 m väggen var öppen. I figuren visad öppning var 3,05 m bred och 1,83 m hög. Pelaren som hade I-tvårsnitt med tvärsnittsmått ca 20x20 cm samt en vikt av 52 kg/m var placerad omedelbart utanför öppningen.

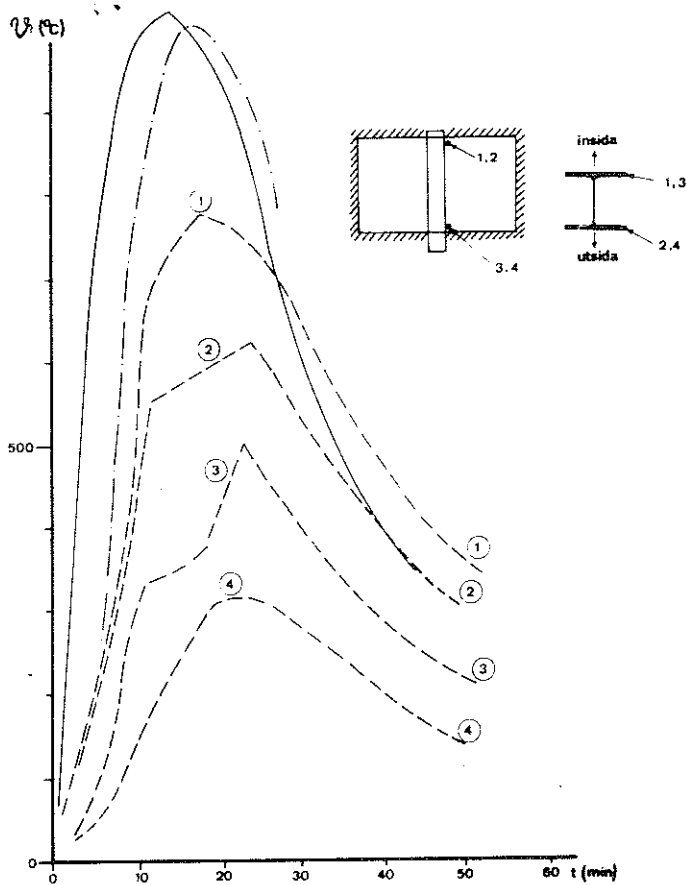


Fig 42:2 Uppmätta och teoretiskt bestämda temperaturtidförlopp (Θ -t) för utanför fasaden placerad oisolerad stålpelare vid brand inne i byggnaden

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet
- - - I {10} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp för pelaren med mätställen enligt figur
- . - . - Teoretiskt bestämt temperaturtidförlopp för pelaren. Som brandutsatt yta F_s har förutsatts hela stålpelarens mantelyta per längdenhet pelare. Resultterande emissions-tal ϵ_r har förutsatts vara 0,3.

Samma förutsättningar gäller som vid försöket redovisat i fig 42:1 med undantag av att öppningsarean endast motsvarade en fjärdedel av den ena 7,7x2,9 m väggens area.

Såsom tidigare nämnts har vid beräkningen av ståltemperaturen pelarens hela mantelyta per längdenhet pelare förutsatts som brandutsatt yta i enlighet med fall a) i fig 42:3. Det är dock osannolikt att hela pelarens mantelyta utsätts för direkt strålningspåverkan från flammorna. En beräkning av ståltemperaturförloppen har därför även gjorts med en antagen brandutsatt yta lika med den mot brandrummet vända pelarflänsen plus ytan av de bägge livsidorna allt räknat per längdenhet pelare i enlighet med fall b) i fig 42:3

Värdet på det resulterande emissionstalet har som tidigare förutsatts vara 0,3. En jämförelse mellan uppmätta och beräknade temperaturtidförlopp redovisas i fig 42:4 och fig 42:5.

Vid jämförelse mellan figurerna 41:1, 41:2 och 41,4, 41:5 framgår att ståltemperaturförloppen beräknade under förutsättning av en mindre brandutsatt yta enligt fig 42:3 alternativ b ger bättre överensstämmelse med i pelarnas varmaste delar uppmätta temperaturförlopp. Det förefaller således rimligt att en grov uppskattning av maximal temperatur i en brandpåverkad omedelbart utanför en fönsteröppning placerad pelare baseras på temperaturförloppet inne i brandrummet samt på ett resulterande emissionstal ϵ_r lika med 0,3 och en brandutsatt yta F_s enligt alternativ b i fig 42:3.

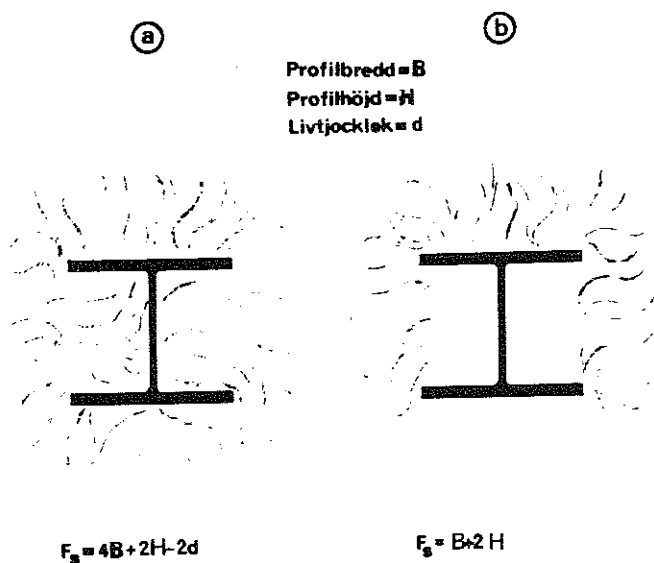


Fig 42:3 Alternativa beräkningar av brandutsatt yta F_s vid utvändiga oisolerade stålpelare

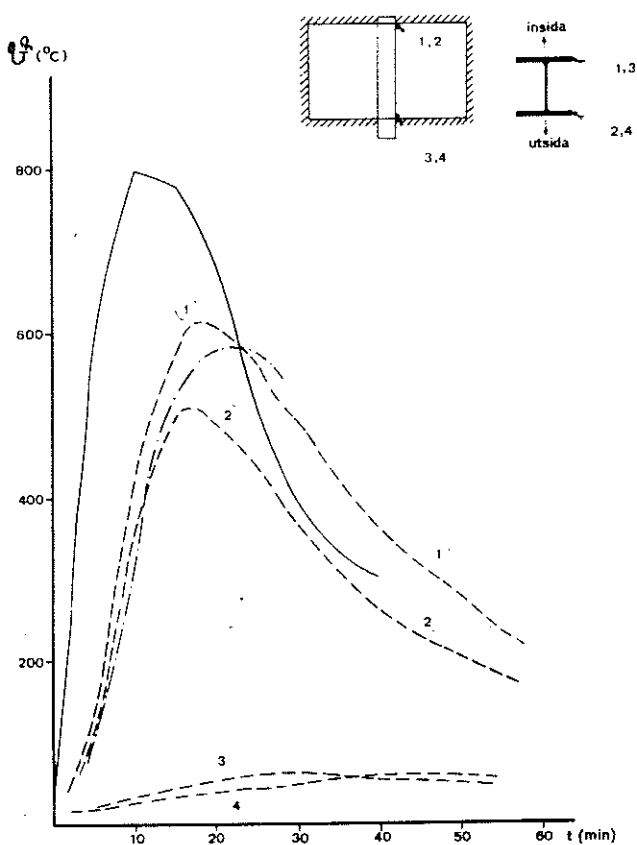


Fig 42:4

Uppmätta och teoretiskt bestämda temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för utanför fasaden placerad oisolerad stålpelare vid brand inne i byggnaden

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet
- - - I {10} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp för pelaren med mätställen enligt figur
- . - . Teoretiskt bestämt temperaturtidförlopp för pelaren. Brandutsatt yta F_s har beräknats enligt fig 42:3 alternativ b. Resultande emissionstal ϵ_r har förutsatts vara 0,3

Övriga förutsättningar överensstämmer med de i fig 42:1 angivna.

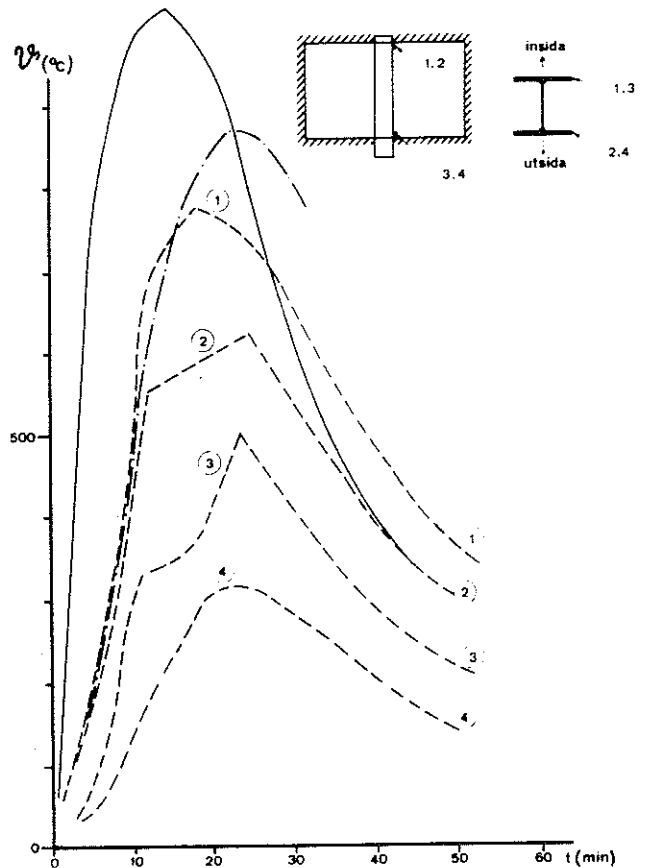


Fig 42:5

Uppmätta och teoretiskt bestämda temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för utanför fasaden placerad oisolerad stålpelare vid brand inne i byggnaden

- I {10} redovisat uppmätt temperaturtidförlopp för brandrummet
- - - I {10} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp för pelaren med mätställen enligt figur
- . - . Teoretiskt bestämt temperaturtidförlopp för pelaren. Brandutsatt yta F_s har beräknats enligt fig 42:3 alternativ b. Resultande emissionstal ϵ_r har förutsatts vara 0,3

Övriga förutsättningar överensstämmer med de i fig 42:2 angivna.

För utvändiga pelare belägna på större avstånd från fönsteröppningar samt för pelare försedda med någon form av strålningskydd ger ovan nämnda förutsättningar beräknade temperaturer, som i regel avsevärt överstiger uppmätta temperaturer. Vill man vid en brandteknisk dimensionering ta vara på de möjligheter till temperaturbegränsning som en lämplig placering eller ett lämpligt strålningskydd kan erbjuda torde man med dagens begränsade kunskapsunderlag, bl a avseende temperaturtidfälten omkring utvändiga pelare vid brand inne i byggnaden, bli hänvisad till en dimensionering i huvudsak baserad på direkta jämförelser med försöksresultat från brandprovningar. I fig 42:6 ges en sammanställning av vissa försöksresultat redovisade i {12}. Där belyses inverkan på ståltemperaturförloppet av ett strålningskydd på den mot brandrummet vända pelarflänsen samt inverkan av pelaravståndet från fasaden. Samtliga i figuren visade temperaturförlopp ligger avsevärt under de som erhålls vid en teoretisk beräkning av motsvarande temperaturförlopp med ett resulterande emissionstal ϵ_r av 0,3 och med en brandutsatt yta F_s enligt alternativ b i fig 42:3. Strålningskyddets storlek och pelarens avstånd från fasaden vid de olika försöken framgår av tabell 42:1.

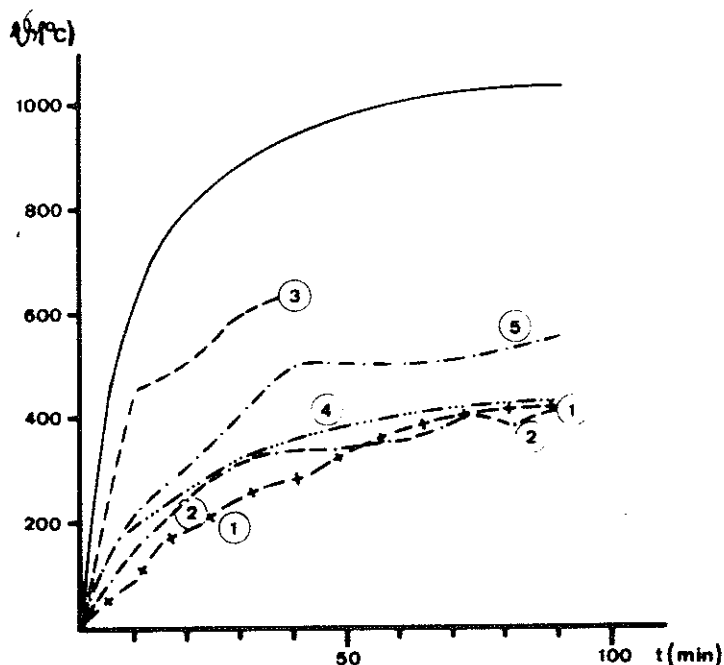







Fig 42:6

I {12} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för stålpelare placerad utanför en fasad vid brand inne i byggnaden. Heldragen kurva representerar brandrummets temperatur och motsvarar standardbrandkurvan enligt DIN 4102. Övriga kurvor representerar vid respektive försök uppmätta maximala ståltemperaturer som funktion av tiden. Pelarna var placerade framför en fönsteröppning och i fyra av försöken ((1) - (4)) försedda med ett strålningskydd på den fläns som vette mot brandrummet. Strålningskyddets storlek samt pelaravstånd från fasad framgår av tabell 42:1.

Tabell 42:1 Försöksdata vid brandprovning av utvändiga stålpelare [12]

| Försök | Utformning | Profil | Avstånd från fasad (cm) | Strålningsskydd | | |
|--------|--|---------|-------------------------------|--------------------|----------|---------------------|
| | | | | typ | tjocklek | utkragning = a (cm) |
| 1 |  | IPB 240 | 23 | vermiculit-platta | 2,5 | 10 |
| 2 |  | IPB 240 | 23 | vermiculite-platta | 2,5 | 8 |
| 3 |  | IPB 240 | 23 | vermiculite-platta | 2,5 | 0 |
| 4 |  | IPB 240 | 73 | vermiculite-platta | 2,5 | 0 |
| 5 |  | IPB 240 | 73 | - | - | - |

5 BEGREPPET VINKELKOEFFICIENT

51 Allmänt

Vid två parallella oändligt stora ytor träffar all strålning från den ena ytan den andra ytan och omvänt. Genom ekv (31:4) kan nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet mellan ytorna beräknas. Denna ekvation kan även läggas till grund för beräkning av strålningspåverkan på i brandrum placerade pelare (avsnitt 41). Genom modifiering av värdena på resulterande emissionstal ϵ_r och brandutsatt yta F_s kan ekvationen även användas för en grov uppskattning av maximal ståltemperatur i en utanför fasad placerad pelare (avsnitt 42). I andra fall av strålningspåverkan mellan två ytor kan det däremot förekomma att endast en viss del av den från respektive yta totalt emitterade strålningen träffar den andra ytan, och att sådana förutsättningar föreligger att det matematiskt går att bestämma hur stor denna del är, med ledning av den s k vinkelkoefficienten.

Vinkelkoefficienten F_{12} är ett tal mindre än 1 som anger hur stor del av från en yta (A_1) totalt emitterad strålning som träffar en i omgivningen belägen annan yta (A_2).

Strålningen $dq_{1 \rightarrow 2}$ från en liten yta dA_1 mot en annan liten yta dA_2 är proportionell mot den del av yta dA_1 som "ses" från yta dA_2 dvs $dA_1 \cdot \cos \varphi_1$ samt proportionell mot den del av yta dA_2 som "ses" från yta dA_1 dvs $dA_2 \cdot \cos \varphi_2$ och φ_1 och φ_2 är vinklarna mellan respektive ytas normal och sammanbindningslinjen mellan ytorna (se fig 51:1). Vidare är strålningen $dq_{1 \rightarrow 2}$ omvänt proportionell mot kvadraten på ytornas avstånd r från varandra. Om proportionalitetskonstanten sätts lika med E kan strålningen $dq_{1 \rightarrow 2}$ tecknas

$$dq_{1 \rightarrow 2} = \frac{E \cdot dA_1 \cos \varphi_1 \cdot dA_2 \cos \varphi_2}{r^2} \quad (51:1)$$

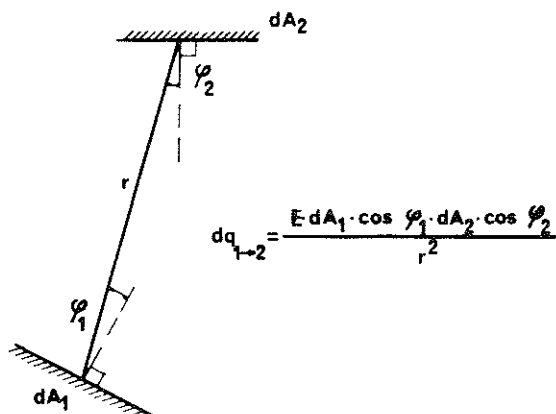


Fig 51:1 Avstånds- och riktningsberoendet för strålningen $dq_{1 \rightarrow 2}$ mellan ytorna dA_1 och dA_2

Den totalt emitterade strålningen dq från yta dA_1 fås genom att integrera uttrycket (51:1) över hela halvsfären över yta dA_1 . Detta ger

$$dq = \pi \cdot E \, dA_1 \quad (51:2)$$

Förhållandet mellan $dq_{1 \rightarrow 2}$ och dq anger hur stor del av den från yta dA_1 emitterade strålningen som träffar yta dA_2 och är således enligt definitionen ovan lika med vinkelkoefficienten för strålning från yta dA_1 mot yta dA_2 . Om denna vinkelkoefficient betecknas dF_{12} fås

$$dF_{12} = \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot r^2} \quad (51:3)$$

På analogt sätt fås vinkelkoefficienten dF_{21} för strålning från yta dA_2 mot yta dA_1 .

$$dF_{21} = \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_1}{\pi \cdot r^2} \quad (51:4)$$

Ekv (51:3) och (51:4) ger

$$dF_{12} \cdot dA_1 = dF_{21} \cdot dA_2 \quad (51:5)$$

Generellt gäller att den del av totala strålningen från en yta som träffar en annan yta multiplicerat med den första ytans storlek är lika med den del av totala strålningen från den andra ytan som träffar den första ytan multiplicerat med storleken av den andra ytan.

52 Vinkelkoefficienten vid två parallella ytor
där den ena ytan har oändlig utsträckning i en riktning

Vinkelkoefficienten dF_{12} för strålning från yta dA_1 mot
yta dA_2 enligt fig 52:1 kan enligt ekv (51:3) tecknas

$$dF_{12} = \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot r^2} \quad (52:1)$$

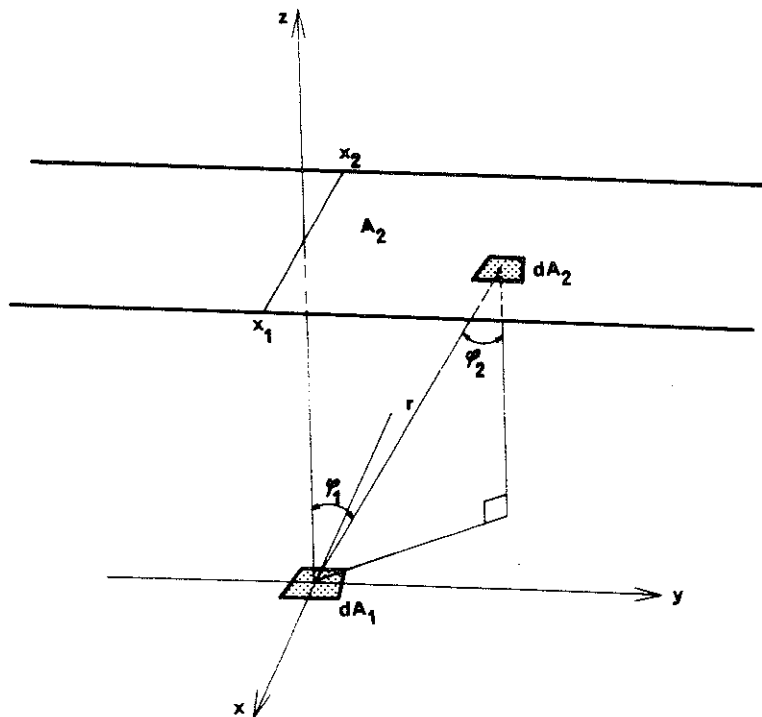


Fig 52:1 Koordinatsystemets orientering för beräkning av vinkelkoefficienten för strålning mellan yta dA_1 och yta dA_2

Vinkelkoefficienten F_{12} från yta dA_1 mot yta A_2 fås genom att integrera ekv (52:1) över hela ytan A_2 , dvs

$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{A_2} \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_2}{r^2} \quad (52:2)$$

Vidare gäller med beteckningar enligt fig 52:1

$$r^2 = z^2 + x^2 + y^2 \quad (52:3)$$

$$\cos \varphi_1 = z/r \quad (52:4)$$

$$\cos \varphi_2 = z/r \quad (52:5)$$

Dessa värden insatta i ekv (52:2) ger

$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{x_2}^{x_1} \frac{z^2 \cdot dx \cdot dy}{(z^2 + x^2 + y^2)^2} \quad (52:6)$$

Utförs integrationen erhålles

$$F_{12} = \frac{1}{2} \left[\frac{x_1/z}{\sqrt{1+(x_1/z)^2}} - \frac{x_2/z}{\sqrt{1+(x_2/z)^2}} \right] \quad (52:7)$$

- 53 Vinkelkoefficienten vid två vinkelräta ytor där den ena ytan har oändlig utsträckning i en riktning

Vinkelkoefficienten dF_{12} för strålning från yta dA_1 mot yta dA_2 enligt fig 53:1 kan enligt ekv (51:3) tecknas

$$dF_{12} = \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_2}{\pi \cdot r^2} \quad (53:1)$$

Vinkelkoefficienten F_{12} från yta dA_1 mot yta A_2 fås genom att integrera ekv (53:1) över hela ytan A_2 , dvs

$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{A_2} \frac{\cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot dA_2}{r^2} \quad (53:2)$$

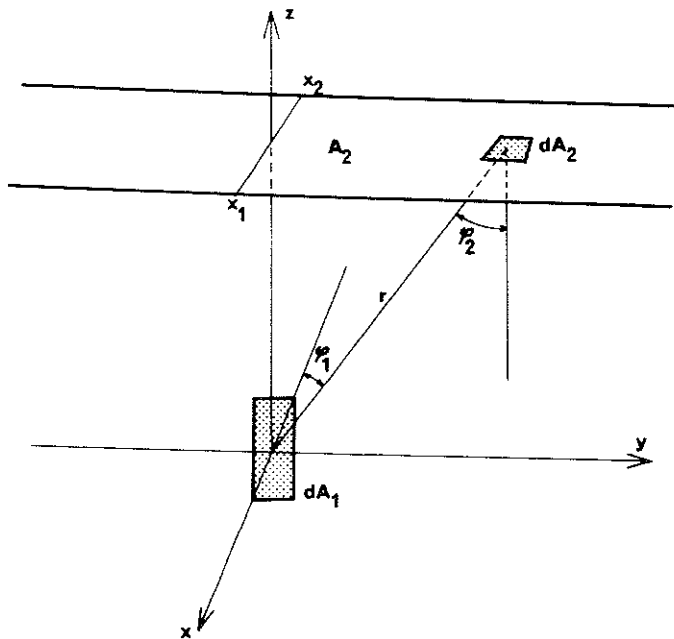


Fig 53:1 Koordinatsystemets orientering för beräkning av vinkelkoefficienten för strålning mellan yta dA_1 och yta A_2 när ytornas plan är vinkelräta

Vidare gäller med beteckningar enligt fig 53:1

$$r^2 = z^2 + x^2 + y^2 \quad (53:3)$$

$$\cos \varphi_1 = x/r \quad (53:4)$$

$$\cos \varphi_2 = z/r \quad (53:5)$$

Dessa värden insatta i ekv (53:2) ger

$$F_{12} = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{x_2}^{x_1} \frac{z \cdot x dx \cdot dy}{(z^2 + x^2 + y^2)^2} \quad (53:6)$$

Utförs integrationen erhålles

$$F_{12} = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + (x_2/z)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + (x_1/z)^2}} \right] \quad (53:7)$$

6 STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATTA BJÄLKLAGSBALKAR
AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT FLAMMORNA BEFINNER
SIG HELT UNDER BALKARNA ELLER ATT BALKARNA ÄR AVSKILDA
FRÅN BRANDEN MED UNDERTAK

61 Vinkelkoefficienten

Vid tillräckligt höga rumshöjder eller om bjälklagsbalkarna skyddas av undertak befinner sig den värmeavgivande ytan, flammornas respektive undertakets översida helt under balkarna (se fig 61:1).

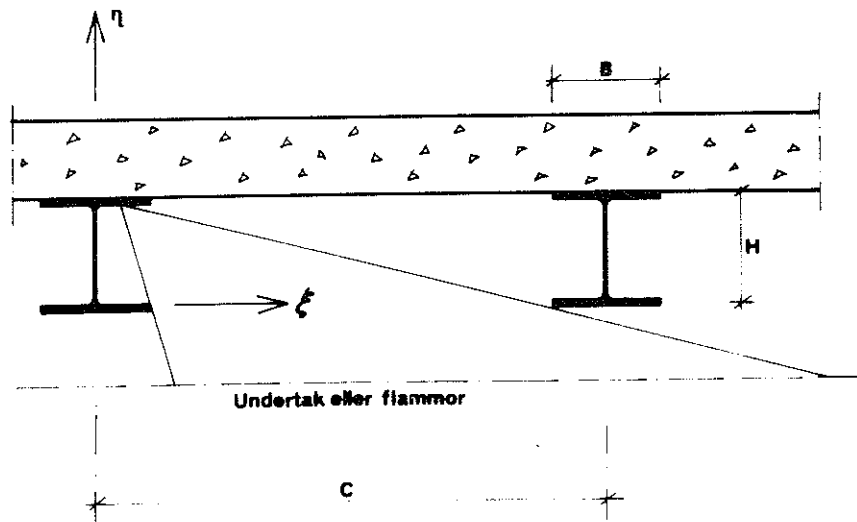


Fig 61:1 Orientering av koordinatsystemet $\xi-\eta$ för beräkning av vinkelkoefficienten för strålning vid bjälklagsbalkar där flammor eller undertak befinner sig helt under balkarna

Vinkelkoefficienten för strålning från en liten yta $dA_{fö}$ på överflänsens underyta mot flammor eller undertak betecknas $dF_{fö}^F$. Om den per yt- och tidsenhet av balken totalt emitterade strålningen betecknas E , och den från yta $dA_{fö}$ emitterade strålningen per tidsenhet som träffar flammor eller undertak betecknas $dq_{fö}$ gäller

$$dq_{fö} = E \cdot dA_{fö} \cdot dF_{fö}^F \quad (61:1)$$

Motsvarande gäller för den strålning dq_1 , som per tidsenhet träffar flammor eller undertak från en liten yta dA_1 på livet med vinkelkoefficienten dF_1 för strålning från yta dA_1 mot flammor eller undertak.

$$dq_1 = E \cdot dA_1 \cdot dF_1 \quad (61:2)$$

Av figur 61:1 framgår att någon strålning från underflänsens överyta dq_{fu} ej sker mot flammor eller undertak, dvs

$$dq_{fu} = 0 \quad (61:3)$$

Genom att integrera ekv (61:1) över halva överflänsens bredd, ekv (61:2) över livhöjden samt ekv (61:3) över halva underflänsens bredd samt summera dessa tre resultat erhålls den strålning per tidsenhet q , från halva överflänsens underyta plus ena livsidan plus halva underflänsens överyta, som träffar flammor eller undertak.

$$q = \int E dA_{fö} dF_{fö} + \int E dA_1 dF_1 + \int 0 \quad (61:4)$$

Den från samma ytor per tidsenhet totalt emitterade strålningen q_{tot} kan tecknas

$$q_{tot} = E(B/2 + H + B/2) \quad (61:5)$$

där E = per tids- och ytenhet totalt emitterad strålning

B = balkbredd

H = balkhöjd

Ekv (61:5) gäller under förutsättning av att balkdelarnas godstjocklekar försummas i förhållande till balkbredd B och balkhöjd H .

Förhållandet mellan q och q_{tot} representerar vinkelkoefficienten F_{bf} för strålning från halva överflänsens underyta, ena livsidan samt halva underflänsens överyta mot flammor eller undertak

$$F_{bf} = \frac{\int_{\text{överfläns}} dF_{fö} \cdot dA_{fö} + \int_{\text{liv}} dF_1 \cdot dA_1 + \int_{\text{underfläns}} 0}{B/2 + H + B/2} \quad (61:6)$$

Med ledning av ekv (52:7) och beteckningar enligt fig 61:1 kan $dF_{fö}$ tecknas

$$dF_{fö} = \frac{1}{2} \left[\frac{(C - B/2 - \xi)/H}{\sqrt{1 + [(C - B/2 - \xi)/H]^2}} - \frac{(B/2 - \xi)/H}{\sqrt{1 + [(B/2 - \xi)/H]^2}} \right] \quad (61:7)$$

Vinkelkoefficienten dF_1 kan tecknas på motsvarande sätt med ledning av ekv (53:7)

$$dF_1 = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + [(B/2)/\eta]^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + [(C - B/2)/\eta]^2}} \right] \quad (61:8)$$

Ekv (61:7) med integrationsgränserna 0 och B/2 för ξ och ekv (61:8) med integrationsgränserna 0 och H för η insatta i ekv (61:6) ger

$$F_{bf} = \frac{1 + (C/H) - (B/H) - \sqrt{1 + (C/H - B/H)^2}}{2 + 2B/H} \quad (61:9)$$

För bjälklagsbalkar med lådtvärsnitt, i stället för som ovan med I-tvärsnitt, ger analoga beräkningar vinkelkoefficienten $F_{bf}^{\text{låd}}$ för strålning från lådbalkens livsidor mot flammor eller undertak

$$F_{bf}^{\text{låd}} = \frac{1 + (C/H) - (B/H) - \sqrt{1 + (C/H - B/H)^2}}{2} \quad (61:10)$$

I fig 61:2 redovisas F_{bf} och $F_{bf}^{\text{låd}}$ enligt ekv (61:9) respektive ekv (61:10) som funktion av balkarnas breddhöjdförhållande B/H vid olika värden på förhållandet C/H mellan balkarnas centrumavstånd och höjd.

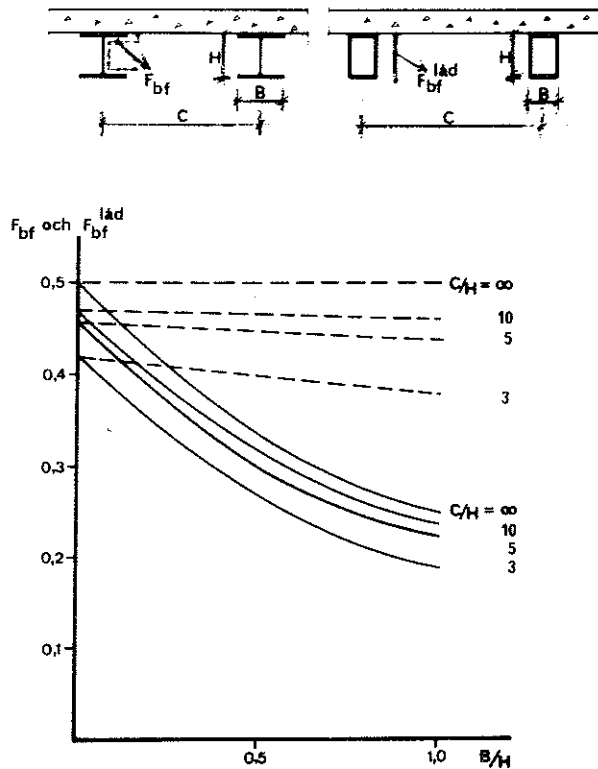


Fig 61:2

Vinkelkoefficienten F_{bf} (heldragna linjer) för strålning från överflänsens underyta, livet och underflänsens överyta av balk med I-tvårsnitt mot flammor eller undertak samt vinkelkoefficienten $F_{bf}^{låd}$ (streckade linjer) för strålning från livet av balk med lådtvårsnitt till flammor eller undertak. I båda fallen förutsätts att flammor eller undertak befinner sig helt under balkarna

62 Nettostrålningsutbytet mellan flammor eller undertak och vissa delar av bjälklagsbalkar

Ett bjälklagssystem enligt fig 62:1 studeras. På balkarnas översida vilar ett betongbjälklag. Det förutsätts att flammorna antingen befinner sig helt under balkarna eller att balkarna är avskilda från branden med undertak.

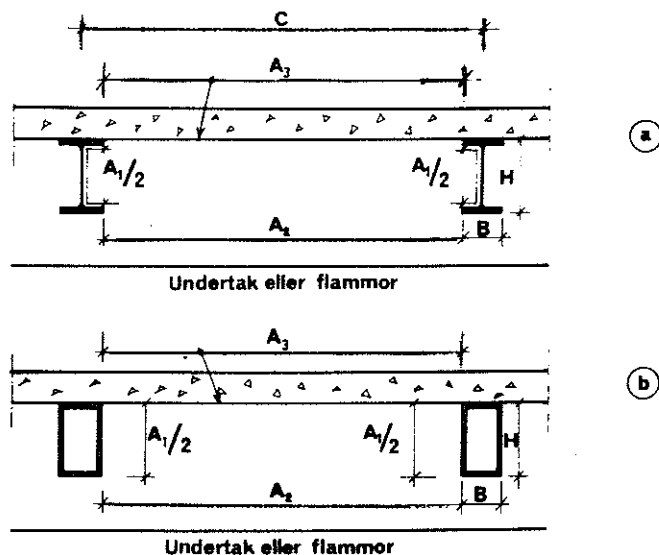


Fig 62:1

Bjälklagsbalkar där flammor eller undertak befinner sig under balkarna

Av den totala strålning som emitteras från yta A_1 träffar en del, bestämd genom vinkelkoefficienten F_{11} , andra delar av A_1 . Av resterande del av strålningen från yta A_1 träffar en del yta A_2 och en del yta A_3 . Dessa strålningsdelars storlek uttrycks genom vinkelkoefficienterna F_{12} respektive F_{13} .

Strålningsdelarna från yta A_2 och yta A_3 mot ytorna A_1 , A_2 och A_3 uttrycks genom vinkelkoefficienterna F_{21} , F_{22} , F_{23} respektive F_{31} , F_{32} , F_{33} . Eftersom summan av samtliga vinkelkoefficienter för en yta måste vara lika med 1 gäller

$$F_{11} + F_{12} + F_{13} = 1$$

$$F_{21} + F_{22} + F_{23} = 1 \quad (62:1)$$

$$F_{31} + F_{32} + F_{33} = 1$$

Av symmetriskäl gäller vidare

$$F_{31} = F_{21}$$

$$F_{32} = F_{23} \quad (62:2)$$

$$F_{13} = F_{12}$$

Dessutom gäller för yta A_2 och yta A_3 att ingen del av dessa ytor kan "ses" från någon annan del av samma yta, vilket innebär att

$$F_{22} = F_{33} = 0 \quad (62:3)$$

Av ekv (63:1), (62:2) och (62:3) följer

$$F_{11} = 1 - 2F_{12} \quad (62:4)$$

samt eftersom $A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$ (jfr ekv. (51:5))

$$F_{32} = F_{23} = 1 - F_{21} = 1 - \frac{A_1}{A_2} \cdot F_{12} \quad (62:5)$$

Samtliga vinkelkoefficienter kan således uttryckas i vinkelkoefficienten F_{12} vilken är identisk med vinkelkoefficienten F_{bf} respektive $F_{bf}^{\text{Iåd}}$ i fig 61:2.

Totala strålningsutbytet mellan flammor eller undertak, dvs yta A_2 , och balkar, dvs yta A_1 inkluderar upprepad reflektion av strålningen i bjälklagsytan, dvs yta A_3 . Enligt {4} kan nettostrålningsutbytet q_{12} per tidsenhet mellan yta A_1 och A_2 inklusive reflektionen skrivas i formen

$$q_{12} = A_1 \mathcal{F}_{12} \cdot 4,96 \left[(T_2/100)^4 - (T_1/100)^4 \right] \quad (62:6)$$

T_1 och T_2 är yta A_1 's respektive yta A_2 's absoluta temperatur. För att kunna beräkna nettostrålningsutbytet måste således faktorn $A_1 \mathcal{F}_{12}$ bestämmas. Denna faktor anger hur stor del av den från yta A_1 emitterade strålningen som absorberas av yta A_2 inklusive upprepad reflektion mellan alla ytor som ingår i strålningsystemet. Med ${}_1R_1$, ${}_1R_2$, ${}_1R_3$ menas den del av från yta A_1 emitterad strålning, som inklusive upprepad reflektion inom systemet, reflekteras från yta A_1 , A_2 respektive yta A_3 . Om yta A_2 och yta A_3 antas ha temperaturen 0°K sker i enlighet med ekv (22:3) ingen emission från dessa ytor. Om dessutom yta A_1 antas ha den temperatur vid vilken en absolut svart kropp har emissionen 1 blir den totala strålningen från yta A_1 inklusive reflektionen $\epsilon_1 + {}_1R_1$, där ϵ_1 är lika med yta A_1 's emissionstal.

Av den mot yta A_2 med emissionstalet ϵ_2 infallande strålningen inklusive reflektionen inom systemet absorberas delen ϵ_2 . Delen $(1-\epsilon_2)$ reflekteras. Eftersom yta A_2 's temperatur antagits vara 0°K är nettostrålningen från denna yta lika med $A_2 \cdot {}_1R_2$. Absorptionen av strålning mot yta A_2 blir då $A_2 \cdot {}_1R_2 \cdot \epsilon_2 / (1-\epsilon_2)$. Denna absorption är under ovan angivna förutsättningar ett resultat av emissionen från enbart yta A_1 . Således gäller

$$A_1 \mathcal{F}_{12} = {}_1R_2 \cdot A_2 \cdot \frac{\epsilon_2}{1-\epsilon_2} \quad (62:7)$$

eller allmänt för en godtycklig yta n

$$A_1 \mathcal{F}_{1n} = {}_1R_n \cdot A_n \cdot \frac{\epsilon_n}{1-\epsilon_n} \quad (62:8)$$

Om ${}_1R_2$ kan bestämmas kan vid kända värden på yta A_2 's emissionsstal ϵ_2 , faktorn $A_1 \mathcal{F}_{12}$ beräknas med ekv (62:7). Därmed kan nettostrålningsutbytet per tidsenhet q_{12} mellan flammor eller undertak och bjälklagsbalkarnas yta A_1 beräknas med ekv (62:6). Storheten ${}_1R_2$ kan bestämmas ur ett ekvationssystem, som innehåller lika många ekvationer som ytor inom strålningssystemet. Varje sådan ekvation uppställs med ledning av samband för strålningsbalansen för respektive yta. För ett system av tre ytor A_1 , A_2 och A_3 enligt fig 62:1 gäller.

$$[A_1 F_{11} (\epsilon_1 + {}_1R_1) + A_2 F_{21} \cdot {}_1R_2 + A_3 F_{31} \cdot {}_1R_3] (1-\epsilon_1) = A_1 \cdot {}_1R_1$$

$$[A_1 F_{12} (\epsilon_1 + {}_1R_1) + A_2 F_{22} \cdot {}_1R_2 + A_3 F_{32} \cdot {}_1R_3] (1-\epsilon_2) = A_2 \cdot {}_1R_2 \quad (62:9)$$

$$[A_1 F_{13} (\epsilon_1 + {}_1R_1) + A_2 F_{23} \cdot {}_1R_2 + A_3 F_{33} \cdot {}_1R_3] (1-\epsilon_3) = A_3 \cdot {}_1R_3$$

Löses ${}_1R_2$ ur ekv (62:9) och insätts i ekv (62:7) samtidigt som samtliga vinkelkoefficienter med ledning av ekvationerna (62:1) - (62:5) uttrycks i vinkelkoefficienten F_{12} fås om emissionstalet

för balkar och bjälklag ϵ_1 och ϵ_3 förutsätts vara 0,8 samt $(1-\epsilon_2)$ betecknas ρ_2

$$\mathcal{F}_{12} = \frac{4 \cdot \epsilon_2 \cdot F_{12} \left(6 - \frac{A_1}{A_2} \cdot F_{12}\right)}{\rho_2 \left[2(2+F_{12}) \left(\frac{5}{\rho_2} - \left(1 - \frac{A_1}{A_2} F_{12}\right)^2\right) - \frac{A_1}{A_2} F_{12} \left(5F_{12} + \frac{F_{12}}{\rho_2} + 2F_{12} \left(1 - \frac{A_1}{A_2} F_{12}\right)\right) \right]} \quad (62:10)$$

där F_{12} vid ett bjälklagssystem och med beteckningar enligt fig 62:1 motsvarar vinkelkoefficienten F_{bf} respektive $F_{bf}^{låd}$ i fig 61:2.

I fig 62:2 visas \mathcal{F}_{12} som funktion av balkarnas bredd-höjdförhållande B/H vid olika centrumavstånd i förhållande till balkhöjd C/H samt vid olika värden på flammornas eller undertaketets emissionstal ϵ_2 . Emissionstalet för balkar och bjälklag, ϵ_1 respektive ϵ_3 , har därvid förutsatts vara lika med 0,8. Heldragna linjer gäller för balkar av I-profil, streckade linjer för balkar av lådprofil.

Med faktorn \mathcal{F}_{12} bestämd ur fig 62:2 kan nettostrålningsutbytet q_{12}/A_1 per tids- och ytenhet mellan överflänsens underyta, livet och underflänsens underyta (vid lådprofiler endast livsidorna) och flammor eller undertak inklusive reflektion mellan alla ytor i strålningsystemet, beräknas ur ekv (62:6)

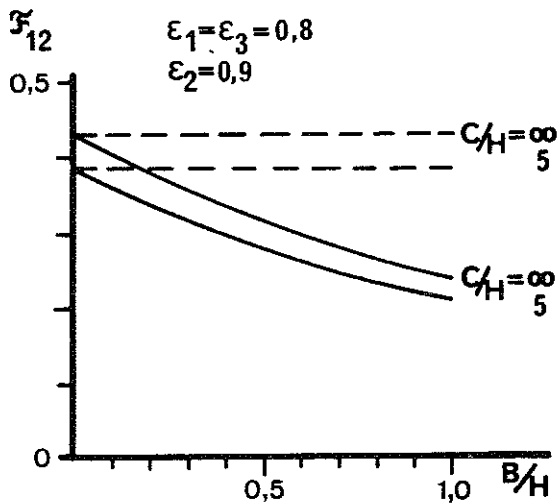
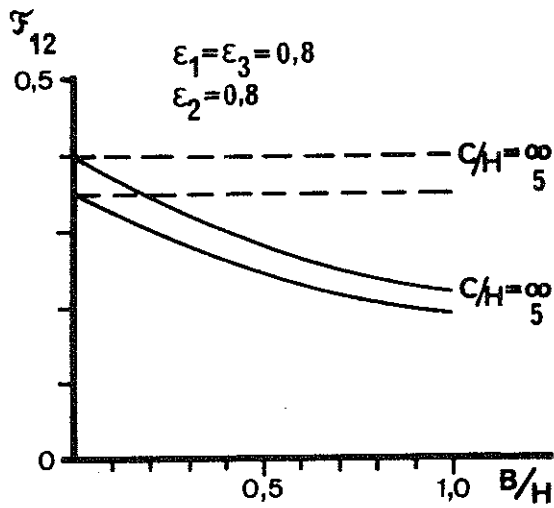
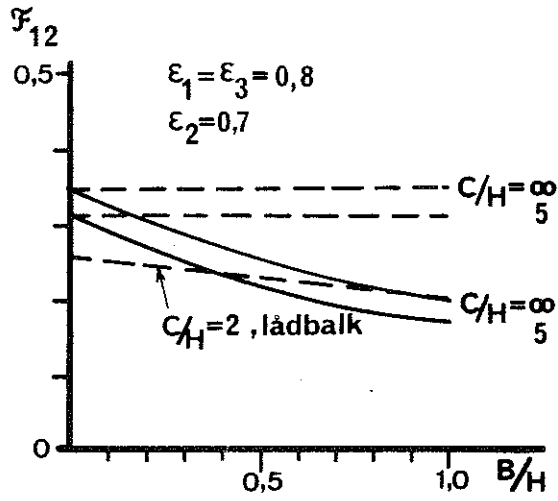


Fig 62:2

Faktorn \mathcal{F}_{12} (ekv 62:6) för strålning mellan flammor eller undertak och bjälklagsbalkar, inklusive upprepad reflektion inom hela strålnings-systemet, som funktion av balkarnas bredd-höjdförhållande B/H vid olika centrumavstånd i förhållande till balkhöjd C/H och vid olika värden på flammornas (undertakets) emissionstal ϵ_2 . Emissionstalet för balkar och bjälklag ϵ_1 respektive ϵ_3 har förutsatts vara 0,8

- I-profiler (\mathcal{F}_{12} -uttrycket beräknat för strålning mellan överflänsens underyta, livet och underflänsens överyta och flammor eller undertak)
- Lådprofiler (\mathcal{F}_{12} -uttrycket beräknat för strålning mellan livsidor och flammor eller undertak)

63 Nettostrålningsutbytet mellan flammor eller undertak och hela bjälklagsbalkar

Förutom strålningsutbytet mellan överflänsens underyta, livet, underflänsens överyta och flammor eller undertak, som studerats i föregående avsnitt, sker också ett strålningsutbyte mellan underflänsens undersida och flammor eller undertak. Storleken av detta strålningsutbyte är beroende bl a av underflänsens avstånd från flammorna eller undertaket. Ju mindre avståndet är ju större blir strålningsutbytet. Samma ekvation som använts för beräkning av strålningsutbytet vid pelare, ekv (41:1), kan dock användas oberoende av avståndet. Detta innebär visserligen att en viss överskattning av strålningsutbytet sker vid större avstånd mellan fläns och flammor eller undertak. Jämfört med hela balkens strålningsutbyte med flammorna eller undertaket torde dock i ordinära fall denna överskattning av strålningsutbytet mellan underfläns och flammor eller undertak bli ringa.

Nettostrålningsutbytet q_{42}/A_4 per tids- och ytenhet mellan underflänsens undersida och flammorna eller undertaket kan således enligt ekv (41:1) skrivas

$$\frac{q_{42}}{A_4} = \frac{4,96}{1/\epsilon_4 + 1/\epsilon_2 - 1} \left((T_2/100)^4 - (T_4/100)^4 \right) \quad (63:1)$$

där ϵ_2, ϵ_4 = flammornas eller undertakets respektive underflänsens emissionstal

T_2, T_4 = flammornas eller undertakets respektive underflänsens absoluta temperatur ($^{\circ}\text{K}$)

A_4 = underflänsens area per längdenhet av balken (m^2)

q_{12} enligt ekv (62:6) och q_{42} enligt ekv (63:1) ger tillsammans totala strålningsutbytet per tidsenhet mellan balk och flammor eller undertak. Förutsätts att hela balken har samma temperatur T_s , dvs att $T_1 = T_4 = T_s$, samt att hela balken har samma emissionstal ϵ_s , dvs att $\epsilon_1 = \epsilon_4 = \epsilon_s$ fås, om flammornas eller undertakets temperatur och emissionstal betecknas T_t respektive ϵ_t , totala nettostrålningen q/F_s per tids- och ytenhet mellan balk och flammor

eller undertak

$$\frac{q}{F_s} = 4,96 \cdot \frac{[A_4/(1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1) + \alpha_{12} \cdot A_1]}{F_s} \left(\left(\frac{T_t}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_s}{100}\right)^4 \right) \quad (63:2)$$

där $A_4 = 1 \cdot B$ (B = balkbredd)
 $A_1 = \begin{cases} 2B+2H & \text{(H = balkhöjd) vid I-profil} \\ 2H & \text{vid lådprofil} \end{cases}$
 $F_s = A_1 + A_4$

Ekv (63:2) kan skrivas i formen

$$\frac{q}{F_s} = \alpha_s (\vartheta_t - \vartheta_s) \quad (63:3)$$

där α_s = värmeövergångstalet genom strålning (kcal/m² °Ch)
 ϑ_t = flammornas eller undertakets temperatur (°C)
 ϑ_s = balkens temperatur (°C)

Ekv (63:2) och (63:3) ger α_s

$$\alpha_s = \frac{4,96 \cdot \epsilon_r}{(\vartheta_t - \vartheta_s)} \left[\left(\frac{\vartheta_t + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{\vartheta_s + 273}{100}\right)^4 \right] \quad (63:4)$$

där

$$\epsilon_r = \left(\frac{A_4}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} + \alpha_{12} \cdot A_1 \right) / F_s \quad (63:5)$$

Uttrycket (63:4) för beräkning av α_s för balkar överensstämmer med motsvarande uttryck för beräkning av α_s för brandutsatta pelare enligt ekv (41:3). Uttrycket för det resulterande emissionstalet ϵ_r enligt ekv (63:5) för balkar och enligt ekv (41:4) för pelare skiljer sig däremot från varandra.

Fig 63:1 visar ϵ_r enligt ekv (63:5) som funktion av balkarnas breddhöjdförhållande B/H vid olika värden på förhållandet C/H mellan balkavstånd och balkhöjd samt vid olika värden på flammornas eller undertakets emissionstal, ϵ_t . Stålbalkarnas samt betongbjälklagets emissionstal förutsätts vara 0,8. Hel- dragna linjer gäller för balkarmed I-tvårsnitt, streckade linjer för balkarmed lådtvårsnitt.

För i ett brandrum placerade pelare av profil HE 200 B fås ett resulterande emissionstal på 0,7 om emissionstalet för flammorna förutsätts vara 0,85 och för pelarna 0,8 (ekv(41:4)). För ett bjälklagssystem med motsvarande balkprofiler erhålls ur fig 63:1, under samma förutsättningar beträffande balkarnas och flammornas eller undertakets emissionstal, ett resulterande emissionstal av ca 0,3. För balkarna gäller att brandutsatt yta F_s är ca $5 \cdot 0,2 = 1 \text{ m}^2$ medan för pelarna brandutsatt yta F_s är ca $6 \cdot 0,2 = 1,2 \text{ m}^2$. Förhållandet mellan produkten av brandutsatt yta och resulterande emissionstal för balk och pelare blir ca 0,37. Detta visar att värmepåverkan genom strålning vid brand är betydligt mindre för bjälklagsbalkarna än för pelarna. Värdet 0,37 innebär dock inte att nettostrålningsutbytet mellan en balk av profil HE 200 B och flammor eller undertak är 37 % av nettostrålningsutbytet mellan en pelare av profil HE 200 B och flammor. På grund av olika värmepåverkan skiljer sig ståltemperaturen i de båda fallen, vilket också påverkar värdet på värmeövergångstalet α_s (ekv (41:3) respektive ekv (63:4)).

I {8} rekommenderas värdet 0,5 för det resulterande emissionsstalet vid beräkning av temperaturförloppet för i taknivå placerade brandpåverkade stålbalkar. Som framgår av fig 63:1 torde detta värde i flertalet fall ge beräknade ståltemperaturer som ligger på säkra sidan. Endast vid balkar av lådprofil med ett breddhöjdförhållande B/H som överstiger 1 kan värdet 0,5 på det resulterande emissionstalet innebära en underskattning av strålningsutbytet.

Vid beräkning av strålningsutbytet med ekv (63:4) och ekv (63:5) beaktas reflektion av strålning via bl a bjälklaget. Däremot beaktas inte något direkt strålningsutbyte mellan balkar och bjälklag. Förutsättningen för att ett direkt strålningsutbyte

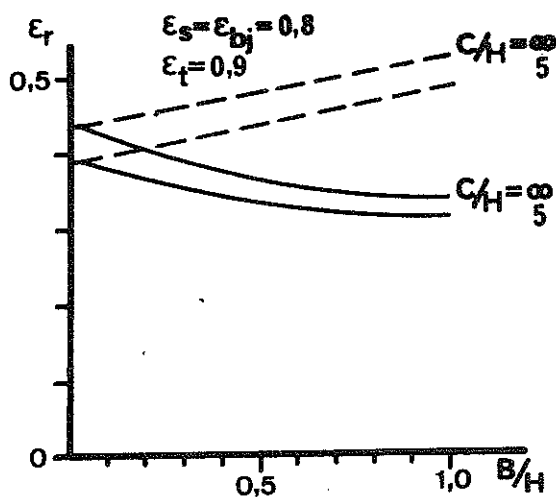
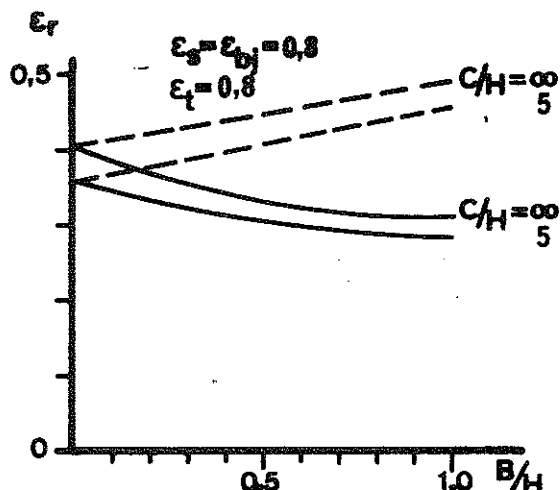
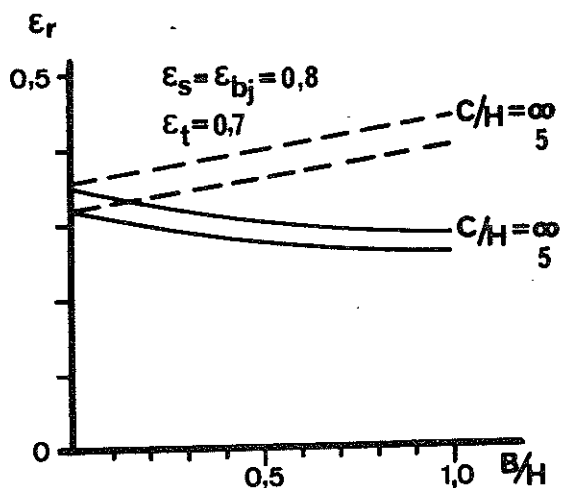


Fig 63:1

Resultande emissionstal ϵ_r vid brandutsatta bjälklagsbalkar av stål när flammor eller undertak befinner sig under balkarna.

ϵ = stål balkarnas emissionstal.

ϵ^s = bjälklagets emissionstal.

ϵ^{bj} = flammornas eller undertakets emissionstal.

B/H = balkarnas bredd-höjdförhållande.

C/H = förhållandet mellan balkarnas centrumavstånd och balkhöjd.

— I-profiler
 - - - Lådprofiler

ej ska ske mellan balk och bjälklag är att balk och bjälklag har samma temperatur. Denna förutsättning är säkerligen ej alltid uppfylld. Temperaturdifferensen mellan balk och bjälklag är dock avsevärt mindre än mellan balk och flammor samtidigt som den balkyta som utsätts för strålning från bjälklaget är mindre än den balkyta som utsätts för strålning från flammor eller undertak. I många fall torde också bjälklagets temperatur vara lägre än balkens, vilket innebär en värmeangivning från balken. Nämda förhållande gör att det med i brandsammanhang tillräcklig noggrannhet bör vara acceptabelt att helt bortse från nettostrålningsutbytet mellan balk och bjälklag.

Från överflänsens överyta till bjälklaget sker en värmetransport genom ledning, som dämpar temperaturstegringen i överflänsen. Denna effekt har ej beaktats eftersom temperaturen har antagits vara lika i hela balken. Att överflänsen antar en lägre temperatur än balken i övrigt torde inte alls eller endast obetydligt påverka dessa övriga delars temperaturförlopp.

64 Jämförelse mellan vid försök bestämda och beräknade emissionstal och temperaturförlopp

I {13} redovisas en teoretisk och experimentell undersökning avseende brandmotstånd hos prefabricerade betongkassetter. Kassetterna uppvärmdes i en brandprovningssugn vars gastemperaturförlopp under försöken motsvarade den sk standardbrandkurvan. Temperaturen registrerades på ett flertal ställen i kassetterna. Teoretiska bestämningar av temperaturförloppet i betongkassetterna genomfördes och resultaten jämfördes med de uppmätta temperaturförloppen. Värmeövergångstalets strålningsandel α_s beräknades därvid med hjälp av ekvationen

$$\alpha_s = \frac{4,96 \cdot \epsilon_r}{\vartheta_t - \vartheta_s} \left[\left(\frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (64:1)$$

där ϵ_r = resulterande emissionstal

ϑ_t = flammornas temperatur

ϑ_s = betongkassetternas yttemperatur

Ekv (64:1) överensstämmer med ekv (41:3) och ekv (63:4).

Vid brandpåverkade betongkonstruktioner kan man ej, i motsats till vad fallet är för brandpåverkade stålkonstruktioner, räkna med en likformig temperaturfördelning i konstruktionen. Vid den teoretiska behandlingen i {13} uppdelades därför betongtvärsnittet i ett antal delelement i vilka temperaturförloppet beräknades. Bästa möjliga överensstämmelse mellan uppmätta och beräknade temperaturer i betongtvärsnittet erhöles därvid om ϵ_r i ekv (64:1) sattes lika med 0,6 för underytan av betongbalkarna ((1) i fig 64:1) och lika med 0,2 för livsidorna ((2) i fig 64:1).

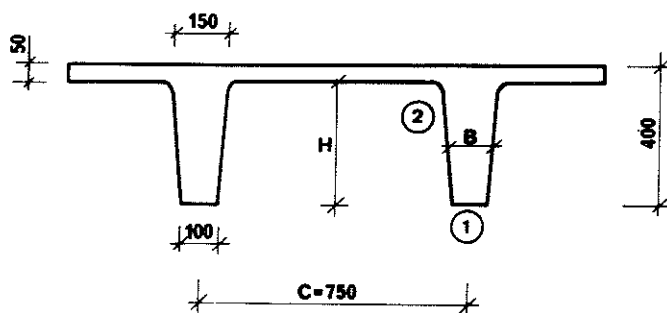


Fig 64:1 Dimensioner på i {13} redovisad brandprovad betongkassett

Om strålningspåverkan mellan flammorna och balkarnas undersidor beräknas under förutsättning av att flammorna och balkarnas undersidor befinner sig intill varandra, kan följande samband användas för beräkning av det resulterande emissionstalet ϵ_r (jmf avsnitt 41)

$$\epsilon_r = \frac{1}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} \quad (64:2)$$

där ϵ_t = flammornas emissionstal

ϵ_s = betongytans emissionstal

Ett rimligt värde på betongytornas emissionstal torde vara 0,8. Flammornas emissionstal måste då vara lika med 0,7 för att det resulterande emissionstalet vid balkundersidorna ska bli 0,6, vilket enligt ovan gav bästa överensstämmelsen mellan beräknade och uppmätta temperaturförlopp.

För beräkning av strålningen mellan flammor och livsidor (2) i fig 64:1) kan ekv (62:6) användas. Faktorn \mathcal{F}_{12} i denna ekvation motsvarar ϵ_r i ekv (64:1). Av fig 64:1 framgår att C/H är ungefär 2 samt B/H ungefär 0,35. Ur fig 62:2 erhålls med dessa värden på B/H respektive C/H och med ϵ_1 lika med 0,8 (betongytornas emissionstal) och med ϵ_2 lika med 0,7 (flammornas emissionstal), värdet 0,24 på faktorn \mathcal{F}_{12} . Detta värde kan jämföras med det i {13} redovisade värdet på ϵ_r för balkarnas livsidor som var 0,2.

I fig 64:2, fig 64:3 och fig 64:4 jämförs teoretiskt bestämda temperaturtidförlopp för bjälklagsbalkar av stål isolerade med undertak av gips med i litteraturen redovisade uppmätta temperaturtidförlopp {14}. Ekv (63:4) har använts för beräkning av

värmeövergångstalets strålningsandel α_s varvid ϵ_r bestämts ur fig 63:1. Därvid har gipsundertakets emissionstal ϵ_t antagits vara 0,7 och betongbjälklagets och stål balkarnas emissionstal ϵ_{bj} respektive ϵ_s 0,8. Stålbalkarnas breddhöjdförhållande B/H är 0,5. Med dessa värden blir det resulterande emissionstalet ϵ_r enligt fig 63:1 ca 0,27. Värmeövergångstalet konvektionsandel α_k har vid beräkningen av ståltemperaturförloppen förutsatts vara $7,5 \text{ kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{Ch}$ (jfr avsnitt 1).

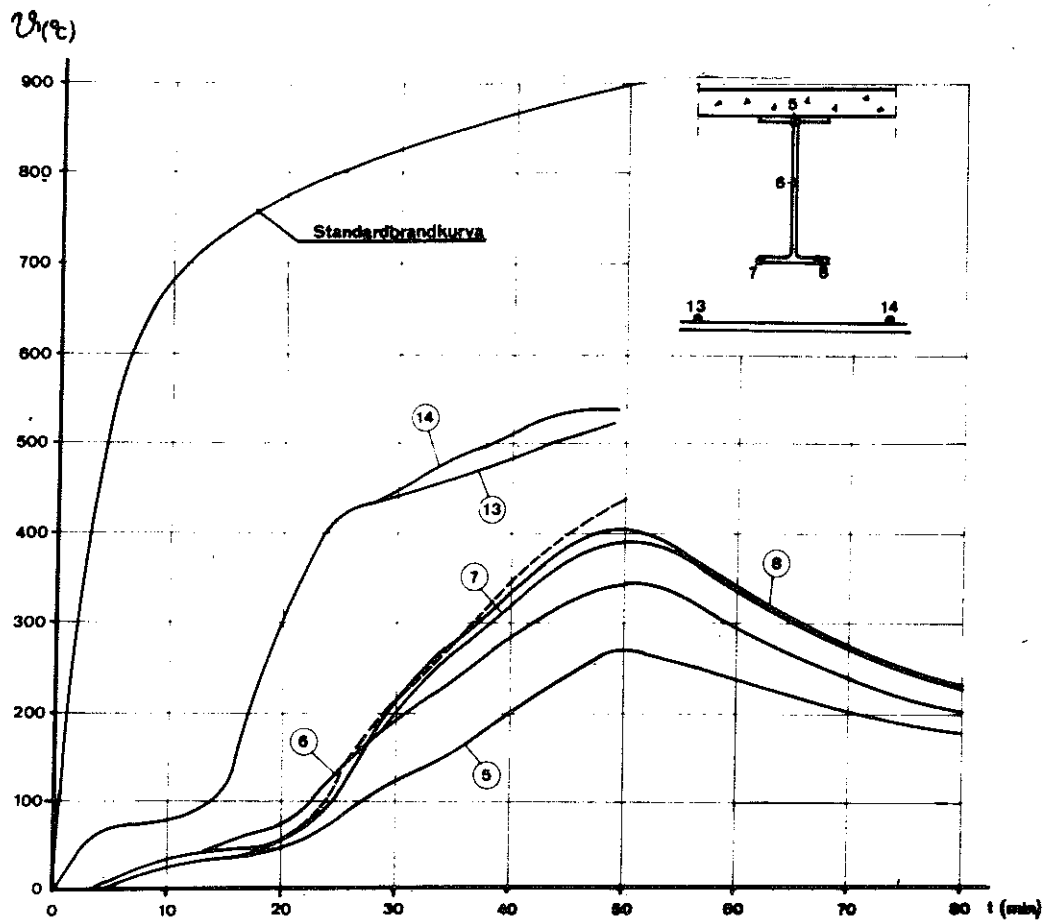


Fig 64:2

Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och i {14} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för undertaksisolerad bjälklagsbalk av stål av profil IPE 270

- Uppmätta temperaturtidförlopp
- Beräknat ståltemperaturförlopp

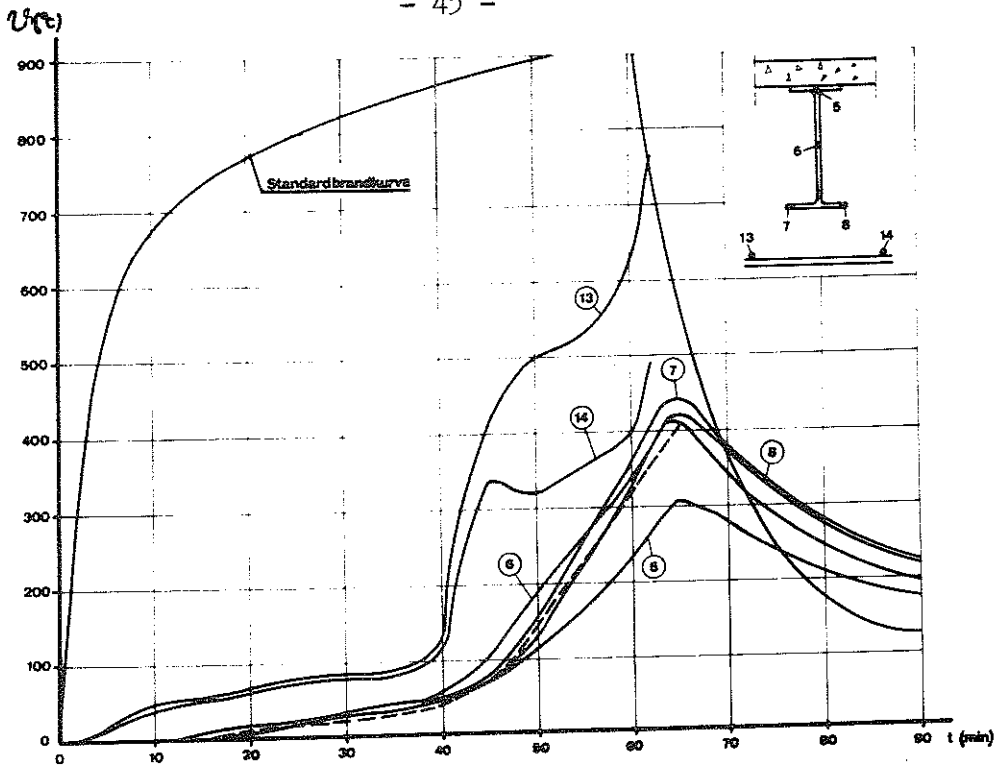


Fig 64:3

Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och i {14} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för undertaksisolerad bjälklagsbalk av stål av profil IPE 270

———— Uppmätta temperaturtidförlopp
 - - - - - Beräknat ståltemperaturförlopp

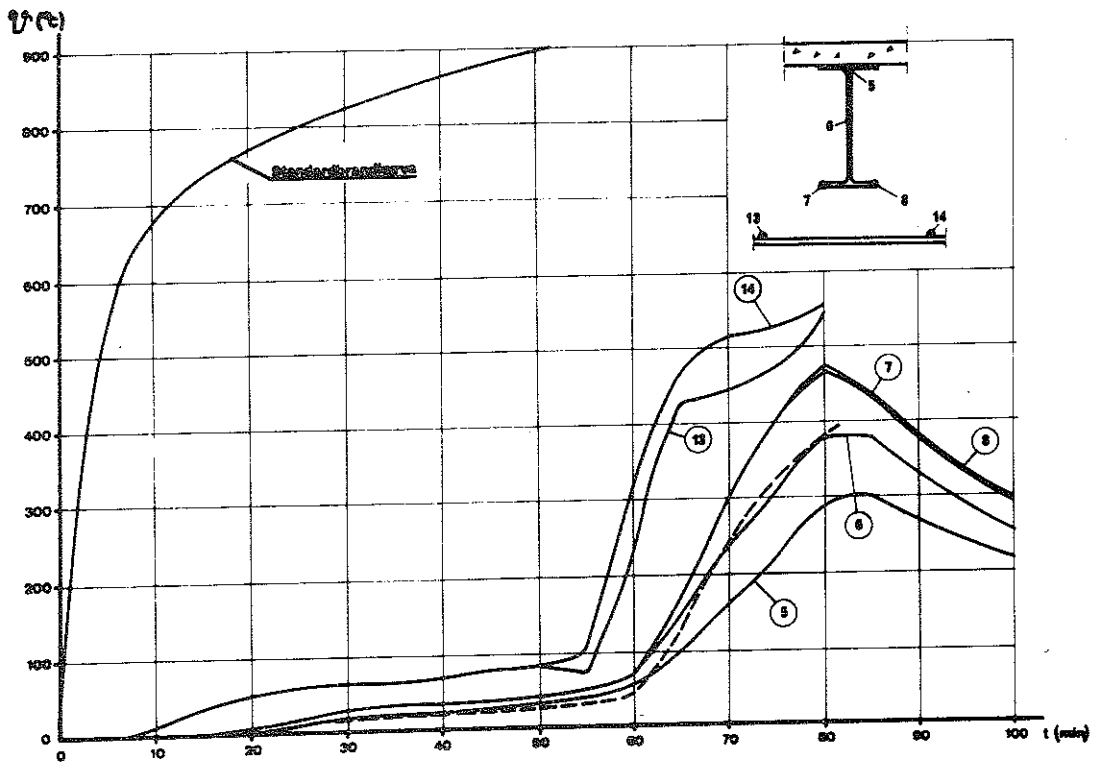


Fig 64:4

Jämförelse mellan teoretiskt bestämt och i {14} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för undertaksisolerad bjälklagsbalk av stål av profil IPE 270

———— Uppmätta temperaturtidförlopp
 - - - - - Beräknat ståltemperaturförlopp

7 STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATTA BJÄLKLAGSBALKAR AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT FLAMMORNA NÅR UPP TILL BJÄLKLAGET

71 Beräkning av värmeövergångstalets strålningsandel

En bjälklagsbalk med I-tvärsnitt enligt fig 71:1 studeras.

Som framgår av ekv (51:5) gäller

$$F_{12} \cdot A_1 = F_{21} \cdot A_2 \quad (71:1)$$

där F_{12} = vinkelkoefficienten för strålning från yta A_1 mot A_2

F_{21} = vinkelkoefficienten för strålning från yta A_2 mot A_1

$$A_1 \approx B + H$$

$$A_2 \approx H$$

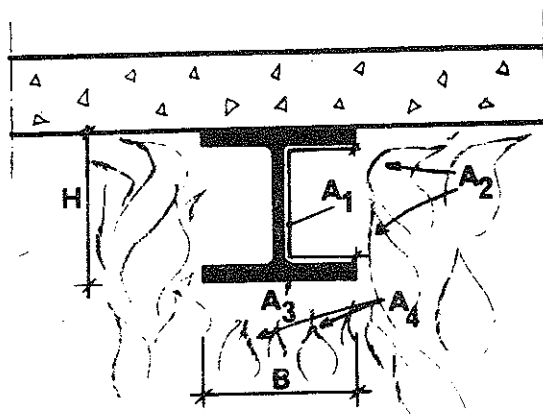


Fig 71:1

Brandutsatt bjälklagsbalk där flammorna omger balken

Vinkelkoefficienten F_{21} är ungefär lika med 1, eftersom praktiskt taget all strålning från yta A_2 träffar yta A_1 . Av den från yta A_1 emitterade strålningen träffar en del, bestämd genom vinkelkoefficienten F_{11} , andra delar av yta A_1 , samt resten, bestämd genom F_{12} , yta A_2 . Härvid gäller

$$F_{11} + F_{12} = 1 \quad (71:2)$$

Strålningen $q_{1 \rightarrow 2}$ från yta A_1 , med absoluta temperaturen T_1 och emissionstalet ϵ_1 mot yta A_2 med emissionstalet ϵ_2 kan

med hänsyn tagen till den upprepade reflektionen skrivs

$$q_{1 \rightarrow 2} = \frac{4,96 \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \cdot A_1 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot F_{12}}{1 - (1 - \epsilon_1) [F_{11} + (1 - \epsilon_2) F_{12}]} \quad (71:3)$$

Strålningen $q_{2 \rightarrow 1}$ från yta A_2 , med absoluta temperaturen T_2 , mot yta A_1 kan analogt skrivas

$$q_{2 \rightarrow 1} = \frac{4,96 \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \cdot A_2 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot F_{21}}{1 - (1 - \epsilon_1) [F_{11} + (1 - \epsilon_2) F_{12}]} \quad (71:4)$$

Med ledning av ekv (71:1), ekv (71:2), ekv (71:3) och ekv (71:4) fås nettostrålningsutbytet per tids- och ytenhet q_{12}/A_1 mellan de bägge ytorna

$$\frac{q_{12}}{A_1} = \frac{4,96 \cdot \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 (A_2/A_1)}{1 - (1 - \epsilon_1) [1 - (A_2/A_1) \epsilon_2]} \left[\left(\frac{T_2}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \right] \quad (71:5)$$

För strålningsutbytet q_{34}/A_3 per tids- och ytenhet mellan underflänsens undersida och flammorna gäller approximativt

$$\frac{q_{34}}{A_3} = \frac{4,96}{1/\epsilon_3 + 1/\epsilon_4 - 1} \left[\left(\frac{T_4}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_3}{100}\right)^4 \right] \quad (71:6)$$

där T_4 , T_3 = flammornas respektive underflänsens absoluta temperatur
 ϵ_4 , ϵ_3 = flammornas respektive underflänsens emissionstal

För det totala strålningsutbytet per tidsenhet q mellan flammor och bjälklagsbalk gäller

$$q = 2q_{12} + q_{34} \quad (71:7)$$

Under förutsättning av att hela balken har samma temperatur T_s , dvs att $T_1 = T_3 = T_s$, samt att hela balken har samma emissionstal ϵ_s , dvs att $\epsilon_1 = \epsilon_3 = \epsilon_s$ fås, om flammornas temperatur och emissionstal betecknas T_t respektive ϵ_t , totala nettostrålningen per tids- och ytenhet q/F_s mellan balk och flammor

$$q/F_s = \frac{4,96 \cdot \left[\frac{A_3}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} + \frac{2 \cdot \epsilon_t \epsilon_s A_2}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - [A_2/A_1] \epsilon_t)} \right]}{F_s} \left(\left(\frac{T_t}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_s}{100} \right)^4 \right) \quad (71:8)$$

där $A_3 = B$ (B=balkbredden)
 $A_1 = B + H$ (H=balkhöjden)
 $F_s = 2A_1 + B$

Ekv (71:8) kan skrivas i formen

$$q/F_s = \alpha_s (\vartheta_t - \vartheta_s) \quad (71:9)$$

där α_s = värmeöverfångstalet genom strålning ($\text{kcal/m}^2 \text{ } ^\circ\text{Ch}$)

ϑ_t = flammornas temperatur ($^\circ\text{C}$)

ϑ_s = balkens temperatur ($^\circ\text{C}$)

Ekv (71:8) och ekv (71:9) ger α_s

$$\alpha_s = \frac{4,96 \cdot \epsilon_r}{(\vartheta_t - \vartheta_s)} \cdot \left[\left(\frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (71:10)$$

med

$$\epsilon_r = \left(\frac{A_3}{1/\epsilon_t + 1/\epsilon_s - 1} + \frac{2 \cdot \epsilon_t \epsilon_s A_2}{1 - (1 - \epsilon_s)(1 - [A_2/A_1] \epsilon_t)} \right) / F_s \quad (71:11)$$

Uttrycket (71:10) för beräkning av α_s vid brandutsatta bjälklagsbalkar där flammorna omsluter balkarna överensstämmer med motsvarande uttryck för beräkning av α_s vid bjälklagsbalkar där flammorna befinner sig under balkarna (ekv (63:4)) och uttrycket för beräkning av α_s vid brandutsatta pelare (ekv(41:3)). Uttrycken för ϵ_r skiljer sig däremot från varandra i de olika fallen.

I fig 71:2 redovisas ϵ_r enligt ekv (71:11) som funktion av balkarnas breddhöjdförhållande B/H vid olika emissionstal ϵ_t för flammorna. Balkarnas emissionstal förutsätts vara 0,8.

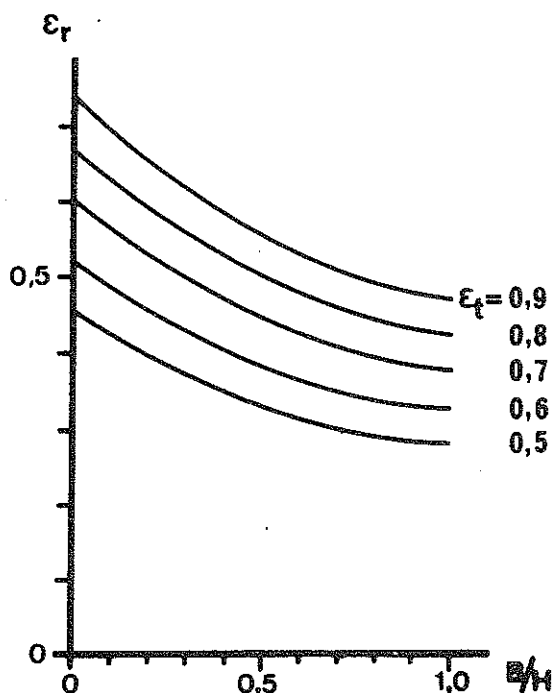


Fig 71:2

Resultande emissionstal ϵ_r för brandutsatta bjälklagsbalkar av I-profil när flammorna når upp till bjälklaget. ϵ_t =flammornas emissionstal. Balkarnas emissionstal förutsätts vara 0,8. B/H =balkarnas breddhöjdförhållande

I {9} rekommenderas värdet 0,5 på ϵ_r vid beräkning av värmeövergångstalets strålningsandel α_s för brandutsatta i taknivå placerade balkar. Av fig 71:2 framgår också att detta värde kan anses representativt för vanliga valsade I-profiler.

För en brandutsatt bjälklagsbalk av lådprofil, där flammorna omsluter balken enligt fig 71:3, antas att strålningspåverkan sker på såväl livsidor som underfläns under förutsättning av att

dessa ytor och flammorna befinner sig intill varandra. Det resulterande emissionstalet ϵ_r kan i detta fall beräknas ur ekv (41:4). Om flammornas och balkens emissionstal förutsätts vara 0,85 respektive 0,8 ger ekv (41:4) ett resulterande emissionstal ϵ_r av 0,7. Samma värde erhålls ur fig 71:2 om B/H sätts lika med noll.

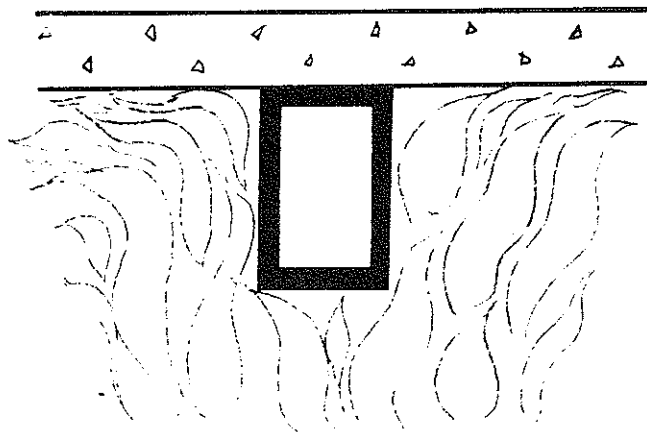


Fig 71:3

Brandutsatt bjälklagsbalk av lådprofil

Vid härledningen av ϵ_r enligt ekv (71:11) har förutsatts att temperaturen är lika i hela balken. Någon hänsyn har således ej tagits till den värmeledning som sker från överflänsens översida till bjälklaget och som dämpar temperaturökningen i överflänsen. Detta förhållande torde dock, vilket påpekats i avsnitt 63, inte alls eller endast obetydligt påverka temperaturförloppet i balkens övriga delar.

72 Jämförelse mellan vid försök uppmätta och beräknade ståltemperaturförlopp

I fig 72:1, fig 72:2, fig 72:3 och fig 72:4 jämförs teoretiskt bestämda temperaturförlopp för oisolerade stålbeams av profil HE 220 B med i {15} redovisade uppmätta temperaturförlopp. För HE 220 B gäller att B/H är 1. Med ett emissionstal för flammorna ϵ_t av 0,85 och ett B/H -värde av 1 erhålls ur fig 71:2 ett resulterande emissionstal ϵ_r av 0,45. Detta värde på ϵ_r har använts

för beräkning av värmeövergångstalets strålningsandel α_s enligt ekv (71:10).

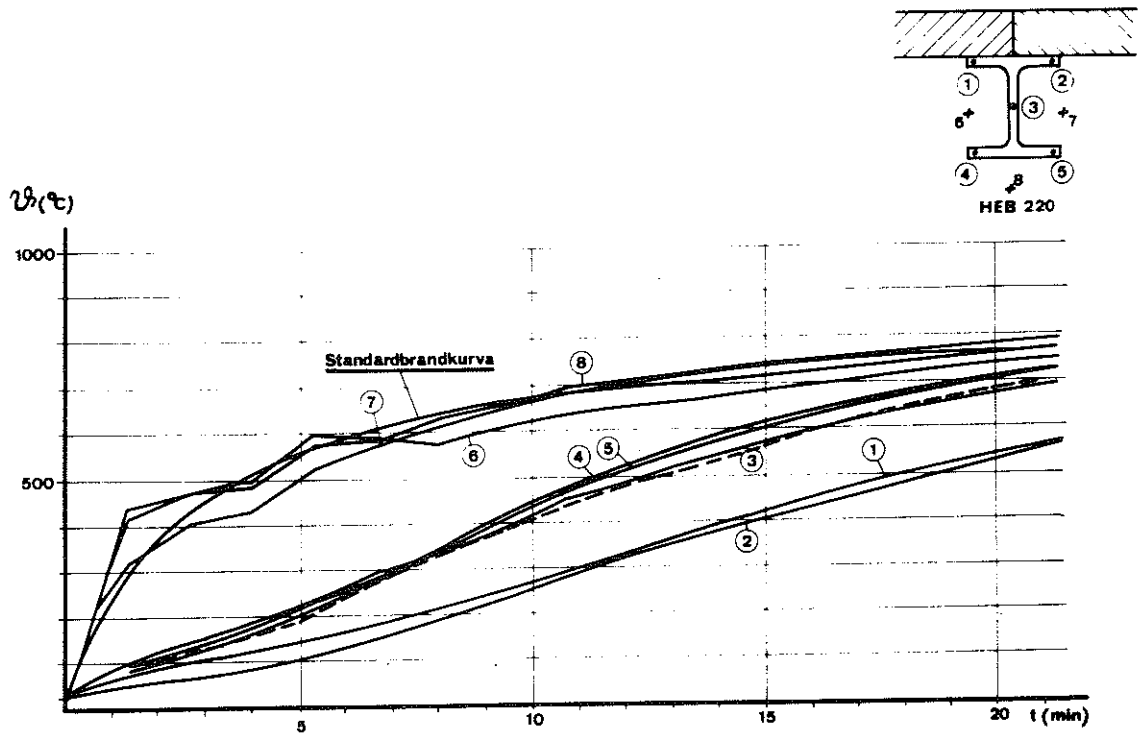


Fig 72:1

Jämförelse mellan beräknat temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för oisolerad stål balk HE 220 B och i {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp

- I {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp
- Beräknat ståltemperaturförlopp

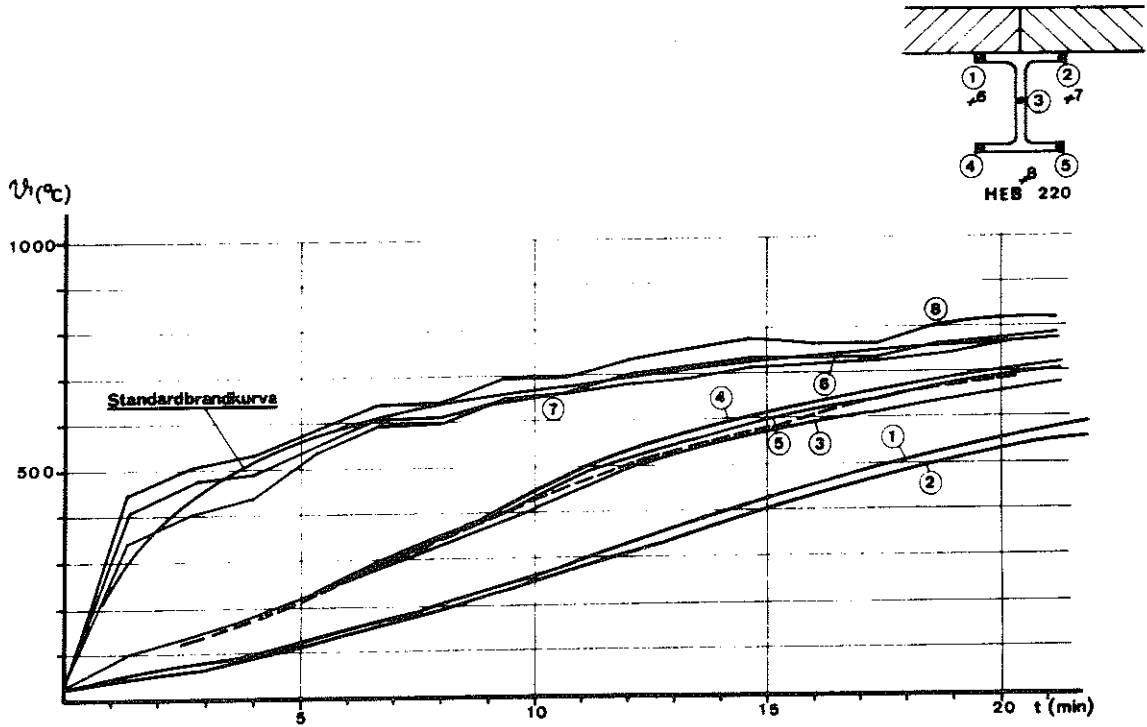


Fig 72:2
Jämförelse mellan beräknat temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för oisolerad stålbalk HE 220 B och i {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp

- I {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp
- Beräknat ståltemperaturförlopp

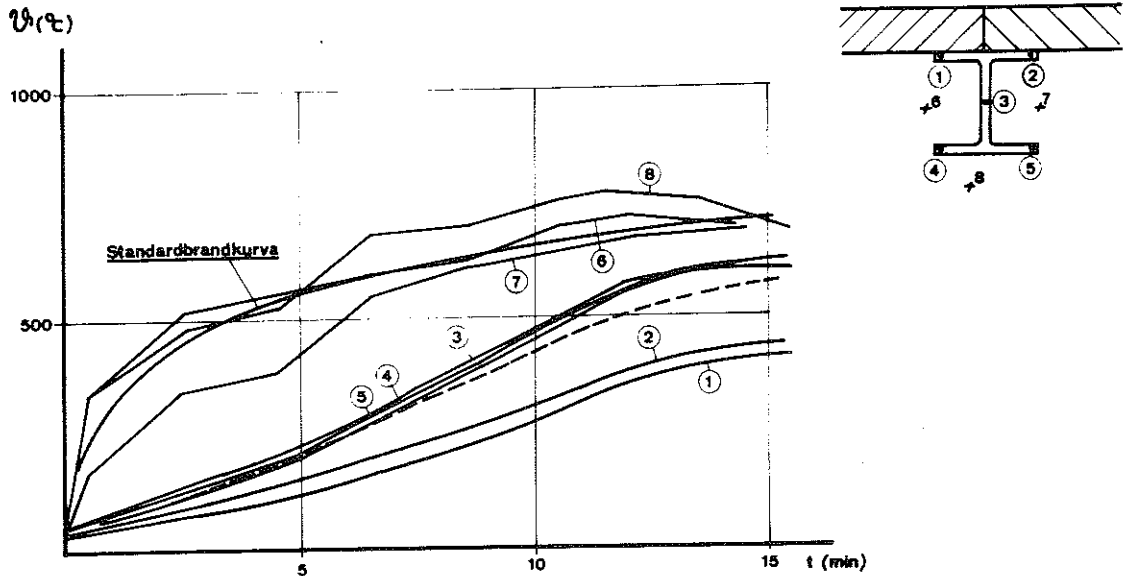


Fig 72:3
Jämförelse mellan beräknat temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för oisolerad stålbalk HE 220 B och i {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp

- I {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp
- Beräknat ståltemperaturförlopp

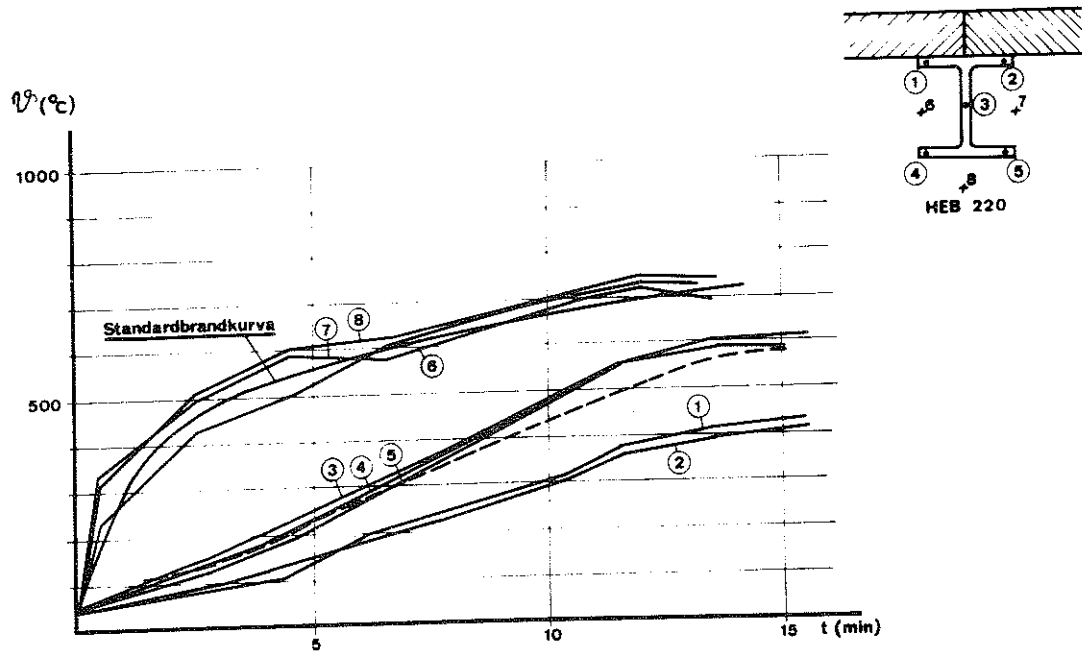


Fig 72:4

Jämförelse mellan beräknat temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för oisolerad stål balk HE 220 B och i {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp

- I {15} redovisade uppmätta temperaturtidförlopp
- Beräknat ståltemperaturförlopp

8 STRÅLNINGSPÅVERKAN PÅ BRANDUTSATT BJÄLKLAGSBALKAR AV STÅL UNDER FÖRUTSÄTTNING AV ATT ENDAST UNDERFLÄNSENS UNDERRYTA ÄR DIREKT EXPONERAD FÖR BRAND

81 Allmänt

För bjälklagsbalkar enligt fig 81:1, där endast underflänsen är utsatt för direkt brandpåverkan, kommer temperaturstegringen i balken att koncentreras till underflänsen. Strålningsutbytet mellan underflänsens undersida och flammorna kan approximativt beräknas som strålningsutbytet mellan två parallella oändligt stora ytor, varvid samma uttryck används för beräkning av det resulterande emissionstalet som för brandpåverkade pelare (ekv(41:4)). Med ett emissionstal på flammorna lika med 0,85 och med ett emissionstal på balken lika med 0,8 blir det resulterande emissionstalet ϵ_r 0,7, dvs samma värde som rekommenderats vid beräkning av temperaturförloppet i brandpåverkade i brandrum placerade pelare.

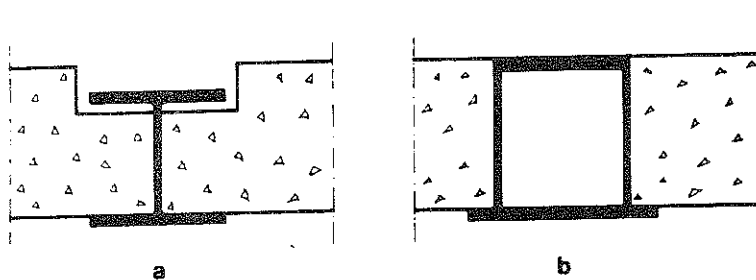


Fig 81:1

Brandutsatta bjälklagsbalkar där endast underflänsens undersida är direkt exponerad för brand

Samtidigt som en värmeförsörjning till balken sker genom konvektion och strålning mellan flammorna och underflänsens underyta sker en borttransport av värme från underflänsens överyta i fall a) i fig 81:1 genom värmeledning till bjälklaget och i fall b) huvudsakligen genom strålning till de svalare inre delarna av balken. Denna borttransport av värme från underflänsen dämpar temperaturstegringen i denna. Att vid beräkning av underflänsens temperatur ej ta hänsyn till denna effekt kan innebära en relativt kraftig överskattning av temperaturen i underflänsen. Å andra sidan innebär ett exakt beaktande av den värmeavledande effekten en

relativt komplicerad beräkning. Det vore därför önskvärt att på ett enklare sätt approximativt kunna ta hänsyn till effekten av borttransporterad värme.

82 Beräkning av underflänsens temperatur med approximativt beaktande av effekten av borttransporterad värme

Ett sätt att approximativt ta hänsyn till effekten av borttransporterad värme från underflänsens överyta är att vid beräkningen av strålningsutbytet mellan underflänsens underyta och flammor räkna med ett lägre värde på det resulterande emissionstalet än det från rent strålningsgeometrisk synpunkt lämpligaste värdet 0,7. En beräkning av temperaturförloppet i en 20 mm tjock fläns har därför genomförts med det på försök valda värdet 0,5 på resulterande emissionstal. Beräkningen har genomförts för två olika fall av brandpåverkan med dels ett snabbt dels ett relativt långsamt temperaturförlopp. Någon beräkning av borttransporterad värme har härvid ej gjorts eftersom denna värmetransport förutsätts inkluderad i det lägre värdet på det resulterande emissionstalet. De på detta sätt beräknade temperaturförloppen jämförs i fig 82:1 och 82:2 med mer noggrant bestämda temperaturförlopp. Dessa senare har beräknats med det från strålningsgeometrisk synpunkt riktigare värdet 0,7 på det resulterande emissionstalet, samtidigt som den från underflänsens överyta borttransporterade värmemängden beräknats och subtraherats från den genom strålning och konvektion till underflänsens underyta tillförda värmemängden. För bjälklagsbalk enligt fall a) i fig 81:1 har den borttransporterade värmen beräknats genom att bjälklaget ovanför underflänsen indelats i 1 cm tjocka horisontella strimlor. För varje strimla har en värmebalans ekvation kunnat uppställas genom att skillnaden mellan den under ett tidssteg av branden tillförda och borttransporterade värmemängden måste åtgå till att uppvärma strimlan ett antal grader. Värmeledningstalet för betongbjälklaget har därvid förutsatts vara $1,0 \text{ kcal/m}^{\circ}\text{C}$ och produkten av volymvikt och specifikt värme $530 \text{ kcal/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Dessa värden kan enligt {16} anses representativa för betong för vid brand aktuella temperaturer. Vid beräkningen av temperaturfälten i betongbjälklaget har förutsatts endimensionell värmetransport, vilket är en approximation. Temperaturpåverkan i bjälklaget ovanför och vid sidan av balkflänsen är olika vilket innebär att en viss värmetransport även måste komma att ske i horisontell riktning i bjälklaget.

För en approximativ bedömning av från balken borttransporterad värmemängd torde det dock vara tillfyllest att förutsätta endimensionell värmeeströmning i bjälklaget. Vid bjälklagsbalk enligt fall b) i fig 81:1 har den borttransporterade värmen approximativt bedömts genom att strålningen från översidan av underflänsen till de svalare delarna av balkens inre sidor beräknats under förutsättning av att dessa balksidors temperatur är konstant 50°C . I fig 82:1 och 82:2 har även inlagts de temperaturförlopp, som erhålls vid en beräkning utan hänsyn till borttransporterad värme och med ett resulterande emissionsstal av 0,7.

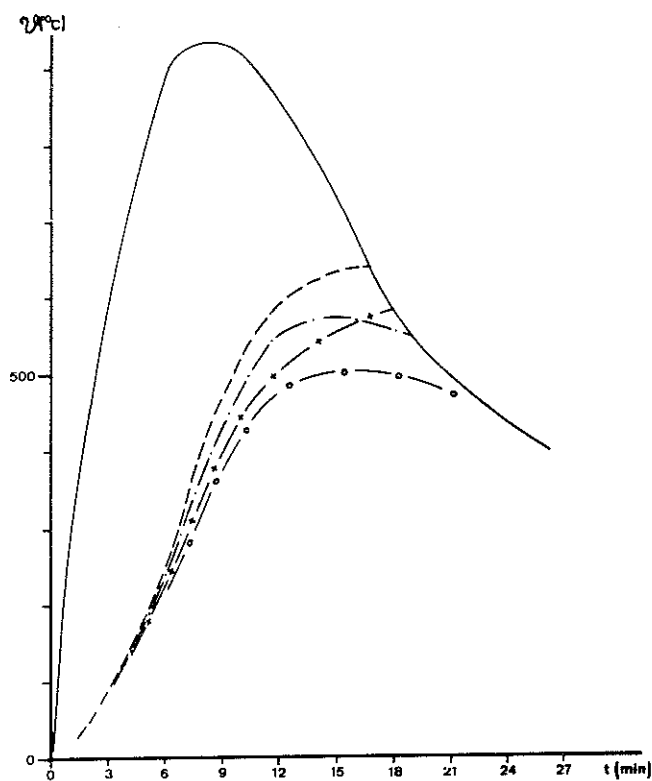


Fig 82:1

Beräknade temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för brandpåverkad bjälklagsbalk där endast underflänsens undersida utsätts för direkt brandpåverkan. Flänstjocklek 20 mm

- Brandrummets temperaturförlopp
- - - Beräknad ståltemperatur utan hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionsstal har förutsatts vara 0,7
- x-x- Beräknad ståltemperatur utan hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionsstal har förutsatts vara 0,5
- o-o- För bjälklagsbalk typ a i fig 81:1 beräknad ståltemperatur med hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionsstal har förutsatts vara 0,7
- .-.- För bjälklagsbalk typ b i fig 81:1 beräknad ståltemperatur med hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionsstal har förutsatts vara 0,7

Av kurvorna i fig 82:1 och fig 82:2 framgår att en beräkning av underflänsens temperatur, utan ett direkt beaktande av borttransporterad värme, men baserad på ett resulterande emissionstal lika med 0,5, ger beräknade maximala ståltemperaturer som överstiger de som fås vid en beräkning med beaktande av borttransporterad värme och baserad på det från strålningssynpunkt riktigare värdet 0,7 på resulterande emissionstalet. Detta förhållande tyder på att man vid bjälklagsbalkar för betongbjälklag där endast underflänsens underyta är direkt exponerad för brand enligt fig 81:1 kan använda värdet 0,5 på det resulterande emissionstalet för en approximativ och på säkra sidan liggande bedömning av maximal ståltemperatur.

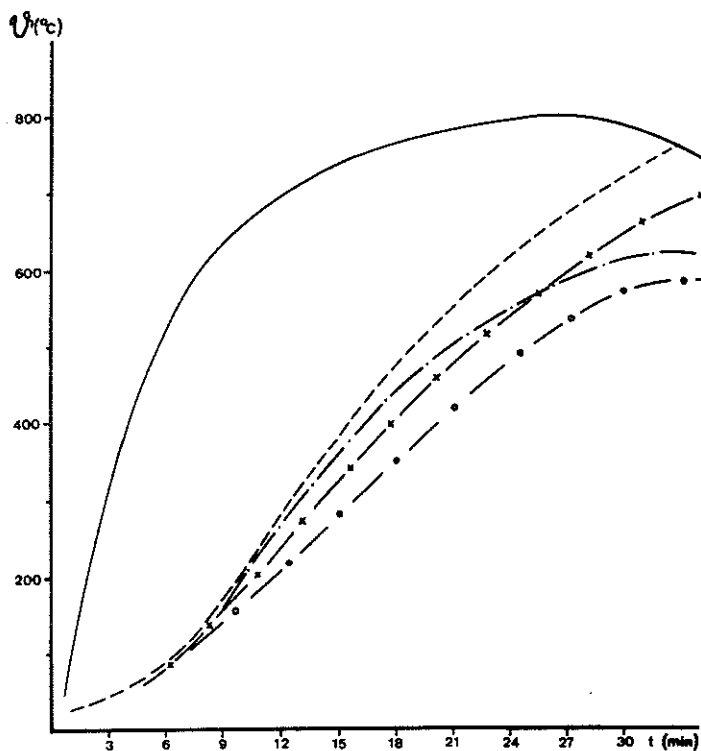


Fig 82:2

Beräknade temperaturtidförlopp ($\vartheta-t$) för brandpåverkad bjälklagsbalk där endast underflänsens underyta utsatts för direkt brandpåverkan. Flänstjocklek 20 mm

- Brandrummets temperaturförlopp
- - - - Beräknad ståltemperatur utan hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionstal har förutsatts vara 0,7
- x-x-x- Beräknad ståltemperatur utan hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionstal har förutsatts vara 0,5
- o-o-o- För bjälklagsbalk typ a i fig 81:1 beräknad ståltemperatur med hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionstal har förutsatts vara 0,7
- .-.-.- För bjälklagsbalk typ b i fig 81:1 beräknad ståltemperatur med hänsyn tagen till borttransporterad värme. Resulterande emissionstal har förutsatts vara 0,7

9 SAMMANFATTANDE REKOMMENDATIONER

En beräkning av ståltemperaturförloppet för en brandutsatt oisolerad eller endast med undertak isolerad stålkonstruktion kan enligt avsnitt 1 göras genom sambandet

$$\Delta \vartheta_s = \alpha \frac{F_s}{V_s \gamma_s c_{ps}} (\vartheta_t - \vartheta_s) \Delta t \quad (9:1)$$

där $\Delta \vartheta_s$ = stålprofilens temperaturökning under ett tidsintervall Δt av branden ($^{\circ}\text{C}$)

Δt = tidsintervall (h)

F_s = mot branden exponerad yta av stålprofilen per längdenhet av profilen (m^2/m)

V_s = stålprofilens volym per längdenhet av profilen (m^3/m)

γ_s = stålmaterialiets volymvikt (kg/m^3)

c_{ps} = stålmaterialiets specifika värme ($\text{kcal}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$)

ϑ_t = flammornas temperatur vid tiden t ($^{\circ}\text{C}$) (vid undertaks-skyddad konstruktion temperaturen på undertaketets överyta)

ϑ_s = stålprofilens temperatur vid tiden t ($^{\circ}\text{C}$)

α = värmeövergångstal i gränsskiktet mellan brandgas eller luft och konstruktion ($\text{kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C h}$)

Värmeövergångstalet α kan anses sammansatt av en konvektionsandel α_k och en strålningsandel α_s

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s \quad (9:2)$$

Med i brandsammanhang tillräcklig noggrannhet kan konvektionsandelen α_k förutsättas vara konstant lika med $25 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C h}$ vid direkt brandpåverkade ytor och lika med $7,5 \text{ kcal}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C h}$ vid ytor som ej är direkt exponerade för brand, exempelvis vid bjälklagsbalkar skyddade genom undertak. För strålningsandelen α_s gäller

$$\alpha_s = \frac{4,96 \cdot \epsilon_r}{(\vartheta_t - \vartheta_s)} \left[\left(\frac{\vartheta_t + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{\vartheta_s + 273}{100} \right)^4 \right] \quad (9:3)$$

där ϵ_r = resulterande emissionstal

Det resulterande emissionstalet ϵ_r varierar med flammornas eller undertakets och stålprofilens sk emissionstal samt med typ av stålkonstruktion. Där annat ej kan bedömas vara riktigare förutsätts flammornas emissionstal vara 0,85 och stålprofilens emissionstal 0,8.

För i brandrum placerade pelare (avsnitt 41) blir resulterande emissionstalet ϵ_r lika med 0,7 med ovanstående värden på emissionstalen för flammor respektive stålprofil. Som brandutsatt yta F_g i ekv (9:1) räknas vid allsidig brandpåverkan pelarens mantelyta per längdenhet pelare.

För utanför fasad placerade pelare (avsnitt 42) rekommenderas värdet 0,3 för det resulterande emissionstalet ϵ_r . Som brandutsatt yta F_g i ekv (9:1) räknas ytan av den mot brandrummet vända flänsen plus de bägge livsidorna, allt räknat per längdenhet pelare

För bjälklagsbalkar där flammor eller undertak befinner sig helt under balkarna (avsnitt 6) erhålls ur fig 63:1 det resulterande emissionstalet ϵ_r som funktion av balkens breddhöjdförhållande B/H vid olika förhållande C/H mellan balkarnas centrumavstånd och höjd och vid olika värden på flammornas eller undertakets emissionstal ϵ_t . För flammornas emissionstal rekommenderas enligt ovan värdet 0,85. För undertakets emissionstal rekommenderas värdet 0,8 om närmare uppgifter härom saknas. Som framgår av fig 63:1 medför värdet 0,5 på det resulterande emissionstalet alltid en på säkra sidan liggande bedömning av ståltemperaturförloppet vid balkar med I-tvårsnitt samt vid balkar med lådtvårsnitt med normalt bredd till höjdförhållande. Som brandutsatt yta F_g i ekv (9:1) räknas balkens mantelyta per längdenhet av balken minskad med den yta som täcks in av bjälklaget.

För bjälklagsbalkar där flammorna når upp till bjälklaget (avsnitt 7) erhålls ur fig 71:2 det resulterande emissionstalet ϵ_r för balkar av I-profil som funktion av balkarnas breddhöjdförhållande B/H och flammornas emissionstal ϵ_t . För ϵ_t rekommenderas enligt ovan värdet 0,85. Av fig 71:2 framgår ett värde lika med 0,5 på det resulterande emissionstalet kan anses representativt för vanliga valsade I-profiler. Vid bjälklagsbalk av lådprofil rekommenderas

värdet 0,7 på det resulterande emissionstalet ϵ_r . Som brandutsatt yta F_s i ekv (9:1) räknas balkens mantelyta per längdenhet balk minskad med den yta som täcks in av bjälklaget.

För bjälklagsbalkar för betongbjälklag där endast underflänsens underyta är direkt exponerad för brand (avsnitt 8) rekommenderas värdet 0,5 på det resulterande emissionstalet. Med detta värde beaktas approximativt den borttransport av värme som sker från underflänsens överyta upp i betongbjälklaget. Som brandutsatt yta F_s i ekv (9:1) räknas ytan av underflänsens underyta per längdenhet av balken.

TILLKÄNNAGIVANDE

Författaren vill framför ett varmt tack till professor Ove Petterson, chef för Institutionen för Byggnadsstatik vid Lunds Tekniska Högskola, för hans stöd, uppmuntran och värdefulla synpunkter i samband med detta arbetes tillkomst.

REFERENSER

- 1 Magnusson, S E och Thelandersson, S: Temperatur-Time Curves of Complete Process of Fire Development. Lund Institute of Technology. Division of Structural Mechanics and Concrete Construction, Bulletin 16, Lund 1970
- 2 Pettersson, O: Principer för en kvalificerad brandteknisk dimensionering av stålbärverk. Konferenskompendium från stålbyggnadsdagen 1968. Stålbyggnadsinstitutet 1969
- 3 Baehr, H D: Wärmestrahlung, ingår i Plank, R: Handbuch der Kältetechnik. Berlin 1959
- 4 Hottel, H C, Radiant heat transmission, ingår i Mc Adams, W H: Heat transmission. New York 1954
- 5 Kompendium i värme- och ugnsteknik. Allmän kurs, Institutionen för värme- och ugnsteknik, KTH, Stockholm 1969
- 6 Handboken Bygg, Band I, tredje upplagan. Stockholm 1961
- 7 Schack, A: Der industrielle Wärmeübergang für Praxis und Studium mit grundlegenden Zahlenbeispielen, Düsseldorf 1969
- 8 Schack, A: Strahlung von leuchtenden Flammen. Zeitschrift für technische Physik Nr 10 1925
- 9 Magnusson, S E och Pettersson, O: Kvalificerad brandteknisk dimensionering av stålbärverk. Byggmästaren nr 9, 1969
- 10 Butcher, E G och Chitty, T B och Ashton, L A: The temperature attained by steel in building fires. Fire research technical paper No 15. HM Stationery office, London 1966

- 11 Rudolphi, R och Knublauch, E: Berechnung der Feuerwiderstandsdauer von Stahlbauteilen - Normbrand und natürlicher Brand. Materialprüf 12 (1970) Nr 9
- 12 Bongard, W: Brandversuche mit Aussenstützen aus Stahl. Der Stahlbau, heft 5, 1963
- 13 Ödeen, K: Fire Resistance of Prestressed Concrete Double T Units. Acta Polytechnica Scandinavica. Civil Engineering and Building Construction. Series No 48. Stockholm 1968
- 14 Magnusson, S E och Pettersson, O: Brandteknisk dimensionering av isolerad stålkonstruktion i bärande eller avskiljande funktion. Väg- och vattenbyggaren nr 4, 1969
- 15 Brandversuche an statisch bestimmt gelagerten Trägern mit und ohne Ummantelung. Dok C.E.C.M - 3.1/71-1. Europäische Konvention der Stahlbauverbände, Unterkommision 3.1
- 16 Ödeen, K: Teoretisk bestämning av temperaturförloppet i några av brand påverkade konstruktioner, Byggmästaren nr 4, 1963

Några grundläggande verk rörande värmestrålning:

- a) Schack, A: Der industrielle Wärmeübergang für Praxis und Studium mit grundlegenden Zahlenbeispielen, Düsseldorf 1969
- b) Hottel, H C och Sarofim, A F: Radiative transfer. New York 1967
- c) Gebhart, B: Heat transfer. New York 1961
- d) Bird, R B och Stewart, W E och Lightfoot, E: Transport phenomena. New York 1961
- e) Pepperhoff, W: Temperaturstrahlung. Darmstadt 1956
- f) Mc Adams, W H: Heat transmission. New York 1954