



LOCAFI+

Temperaturberäkning av pelare utsatt för local brand

Anslagsnr. 754072

6. Beräkning av brandmotstånd

6. Beräkning av brandmotstånd

6.1. Övergripande metod

Steg 1 : Definera termisk last

Steg 2 : Temperaturanalys

Steg 3 : Mekanisk analys

Den övergripande metoden följer steg för steg (Steg 1 → Steg 2 → Steg 3) men, kopplingen kan även gå motsatt håll. Om denna återkoppling inte beaktas måste användaren vara medveten om antagandena!

- Böjning av strukturella element kan påverka brandens utveckling
- Böjning av strukturella element kan påverka termisk påverkan
- Ökningen av temperatur i element kan påverka uppvärmning av golv/väggar/tak
- Plasticitet och sprickbildning kan medföra värmeinträngning eller värmeläckage
- ...

6. Beräkning av brandmotstånd

6.2. Definera brandscenario

6.2.1. Rumsbrand

- Standardbrandkurvan (ISO-834, HC,...)
- Parametriska bränder (enligt bilaga A i EN 1991-1-2, OZone är baserat på EN 1991-1-2 bilagor D och E)

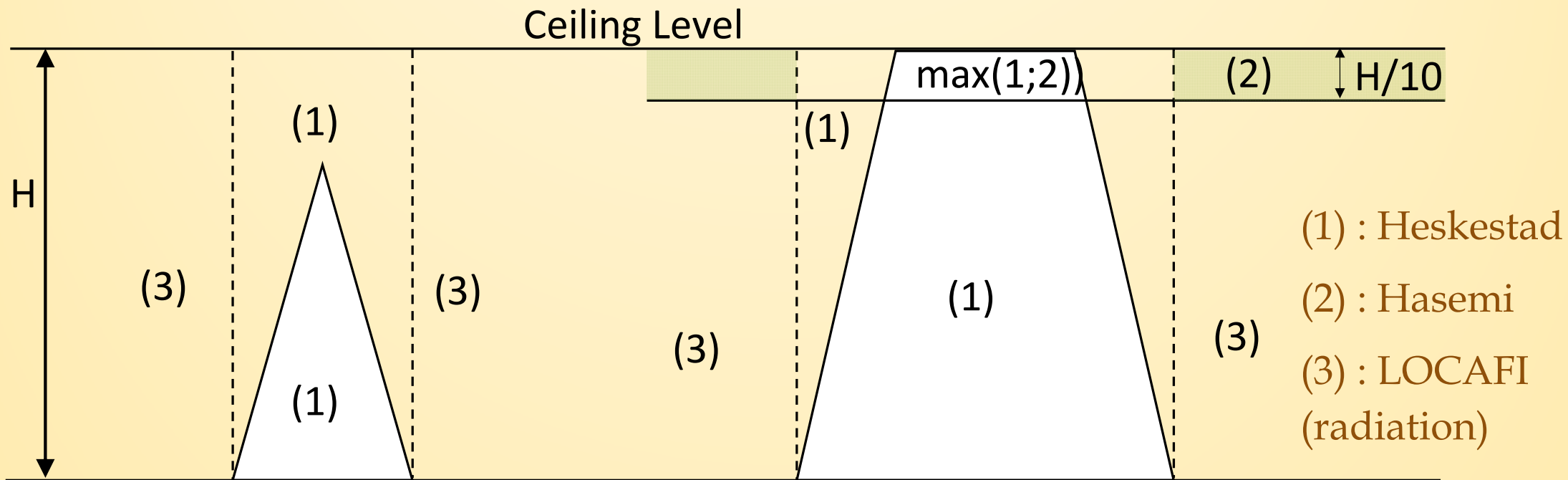
6.2.2. Lokal brand

- Brandscenario definieras av användare/myndigheter (diameter, RHR)

6. Beräkning av brandmotstånd

6.2. Definera brandscenario

6.2.2. Lokal brand



6. Beräkning av brandmotstånd

[W.m⁻²]

6.3. Temperaturberäkning

6.3.1. Stationär temperatur

Den stationära temperaturen, θ , definieras som temperaturen vid vilken nettoflödet vid pelarens yta är noll

$$0 = \underbrace{\alpha_c(\theta - 20)}_{\text{Kompenserad konvektion från kall yta}} + \underbrace{\sigma\varepsilon[(\theta + 273)^4 - (20 + 273)^4]}_{\text{Emitterad strålningsvärme}} - \underbrace{\varepsilon * \dot{h}_{m,r}}_{\text{Fiktivt flöde till en kall yta flux}}$$

Vid rumsbrand ska det fiktiva flödet till en kall yta ersättas med $\dot{h}_{m,tot}$, som inkluderar både strålning och konvektiv uppvärmning.

$$\dot{h}_{m,tot} = \min(\dot{h}_{m,r} + \dot{h}_{m,c}; 100000) \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

Denna förenklade metod försummar den pelarens termiska tröghet

6. Beräkning av brandmotstånd

6.3. Temperaturberäkning

6.3.2. Inkrementell metod (homogen uppvärmning)

Pelarens temperatur beräknas genom att energibalansen ställs

$$\rho C_p(T) \frac{dT}{dt} = \frac{A_m}{V} [\dot{h}_{m,r} + \alpha_c(20 - \theta) + \varepsilon(\sigma(293^4 - (\theta + 273)^4))]$$

ρ , C_p , och A_m/V är densitet [kg.m^{-3}], specifik värmekapacitet [$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$] och sektionsfaktor [m^{-1}] hos pelaren

EN 1993-1-2 kräver att tidssteget Δt inte är större än 5 sekunder

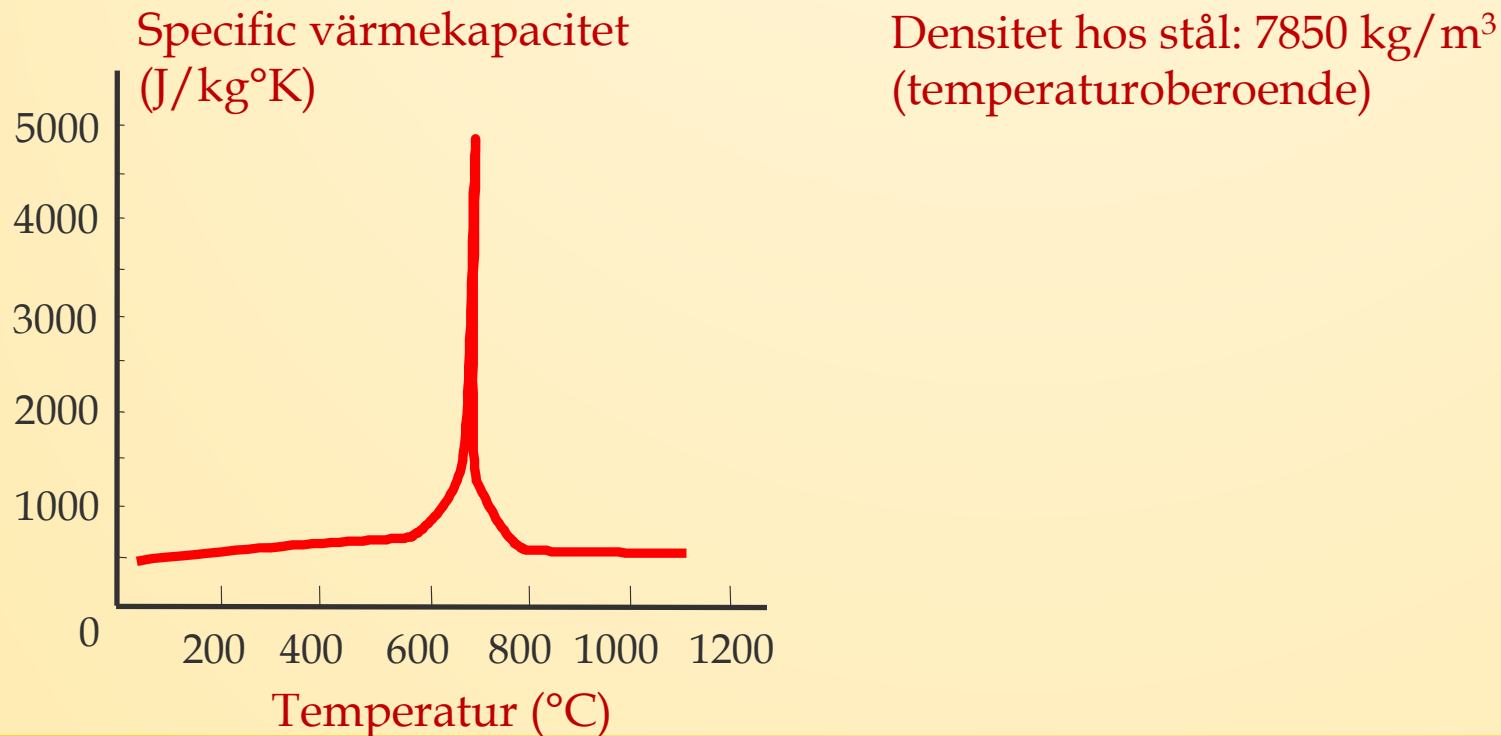
Vid rumsbrand ska $\dot{h}_{m,r}$ ersättas av \dot{h}_{tot} , som inkluderar både strålning och konvektiv uppvärmning.

$$\dot{h}_{m,tot} = \min(\dot{h}_{m,r} + \dot{h}_{m,c}; 100000) \quad [\text{W.m}^{-2}]$$

6. Beräkning av brandmotstånd

6.3. Temperaturberäkning

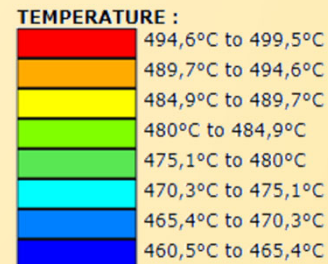
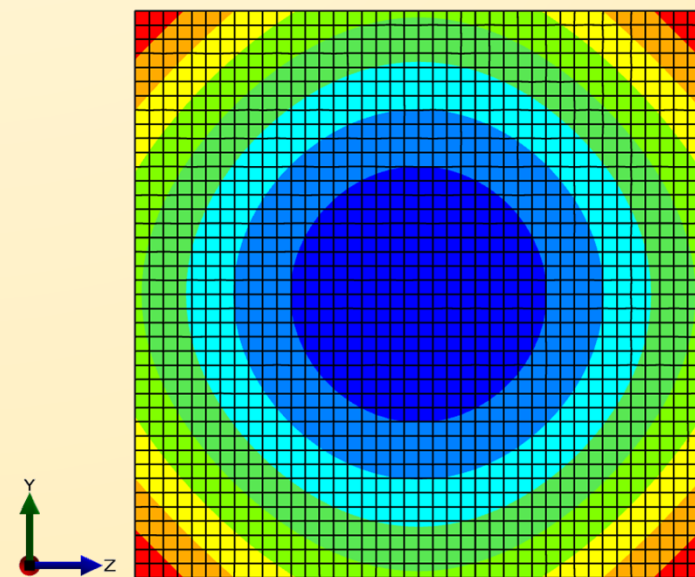
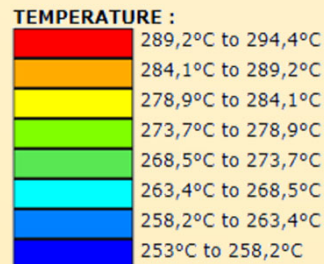
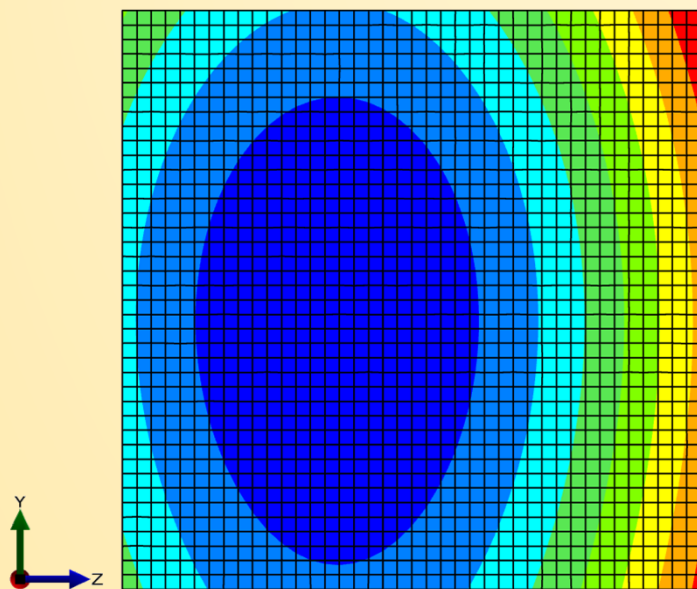
6.3.2. Inkrementell metod (homogen uppvärmning)



6. Beräkning av brandmotstånd

6.3. Temperaturberäkning

6.3.3. F.E. analysis (icke-homogen uppvärmning temperature)



Temperaturfördelning [°C] efter 33 minuter för en 3.36 [m] pelare med ett 130[mm]x130[mm] kvadratisk tvärsnitt omgiven av 3 bilar och 1 van vid a) höjden 0.94[m] ; b) höjden 3.1[m]

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Från EN 1993-1-2

Bara lastbärande förmåga R hos ett stålelement täcks av konstruktionsreglerna i brandavsnittet av Eurocode 3

Lastbärande förmåga R hos ett stålelement är uppfyllt bara om följande gäller under hela brandens förlopp t

$$E_{fi,d,t} \leq R_{fi,d,t}$$

där $E_{fi,d,t}$: dimensioneringsvärdet av kombinerade effekter (brottsgränstillståndet) (Eurokoder 0 och 1)
 $R_{fi,d,t}$: motsvarande dimensionerande bärförmåga vid tid t

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys


6.4.1. Från EN 1993-1-2

Brottgränstillstånd

$$E_d = 1.35 \cdot \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1.5 \cdot Q_{k,1} + 1.5 \cdot \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Dimensioneringslast

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

 *Rekommendation, hänvisning till de nationella valen*

Actions	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Category A : bostäder	0.7	0.5	0.3
Category B : kontor	0.7	0.5	0.3
Category C : samlingslokal	0.7	0.7	0.6
Category D : affärslokaler	0.7	0.7	0.6
Category E : lagerutrymmen	1	0.9	0.8
...

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Från EN 1993-1-2

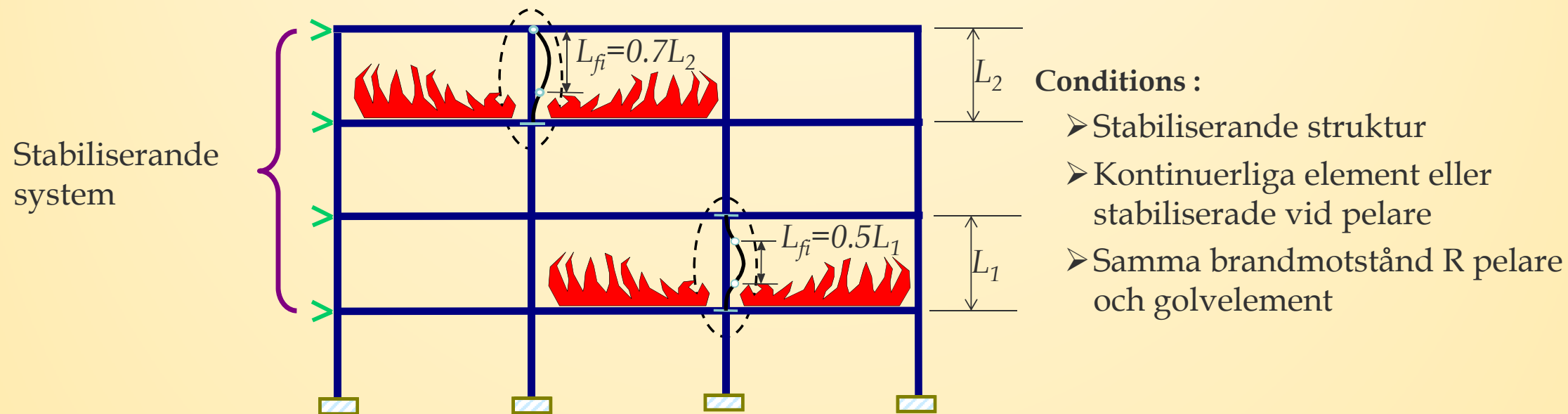
Partialkoefficient för stål vid höga temperaturer

konstruktionselement	Normal dimensionering	Brand- dimensionering
Cross ssection	$\gamma_{M0} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Members with instability	$\gamma_{M1} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Tension members to fracture	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$
Joints	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1.0$

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Från EN 1993-1-2



6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Från EN 1993-1-2

Verifiering av brandmotstånd enligt en av de tre följande metoderna:

Temperatur : $\theta_{cr,d} \geq \theta_d$

Dimensioneringsvärde:

$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$

Tid : $t_{fi,d} \geq t_{fi,required}$

Enklaste och vanligaste metoden,
bara för homogen temperatur T°

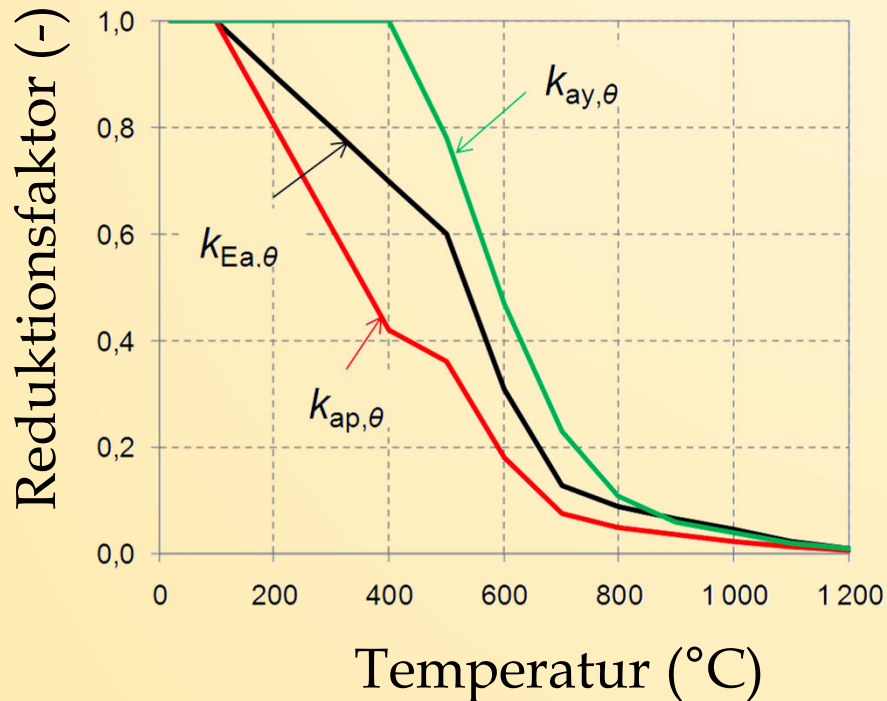
Löses med handberäkningar

Löses med avancerade metoder
såsom FEM

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2



Temperatur

$k_{y,\theta}$: reduktion av sträckgräns

$k_{E,\theta}$: redukt. av Young's modulus (linj. elastiskt)

$k_{p,\theta}$: reduktion av proportionalitetsgräns

**Nuvarande version av EN 1993-1-2
gäller för stål av sort S235 till S460**

6. Beräkning av brandmotstånd


6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

Temperatur

Kombinerad olyckslast

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

 Rekommendation, hänvisning till
de nationella valen

Reduktionsfaktor

$$\eta_{fi} = \frac{E_{fi,d,t}}{E_d}$$

$$E_d = 1.35 * \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + 1.5 * Q_{k,1} + 1.5 * \sum_{i \geq 2} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

Temperatur

Reduktionsfaktor

För branddimensionering (ACC)

γ_{GA} = 1.0 Permanenta laster;

$\psi_{2.1}$ = 0.3 Kombinationsfaktor; variabla laster, kontor

Normal dimensionering (ELU)

γ_G = 1.35 Permanent laster;

$\gamma_{Q.1}$ = 1.50 Kombinationsfaktor; variabla laster

$$\eta_{fi} = \frac{\gamma_{GA} G_k + \psi_{2.1} Q_{k.1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q.1} Q_{k.1}}$$

$Q_{k.1}/G_k$	η_{fi}
0	0.74
1	0.53
2	0.46
4	0.41

EN 1993-1-2 rekommenderar $\eta_{fi} = 0.65$ (utom för kategori E, $\eta_{fi} = 0.7$)

6. Beräkning av brandmotstånd


6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

Temperatur

Kombinerad olyckslast

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

 Rekommendation, hänvisning till
de nationella valen

Reduktionsfaktor

$$\eta_{fi,t} = \frac{E_{fi,d,t}}{R_d} < \eta_{fi}$$

Kapacitet vid normalfallet

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

Temperatur

Utnyttjandegrad

$$\mu_0 = \left(\frac{E_{d,fi}}{R_{d,fi,0}} \right) = \eta_{fi,t} \left(\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M0}} \right)$$

- Tar reduktionsfaktorer i beaktning vid rumtemperatur och högre temperatur (oftast är båda 1.0)
- Medger direkt beräkning av kritisk T°
- Om brottmekanismen har instabiliteter, behövs slankhetsparametern

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.1. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

Temperatur

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
μ_0											
0.04	1000	977	949	913	880	839	787	742	696	678	659
0.06	900	885	866	837	795	756	700	679	656	630	602
0.08	860	839	811	785	749	697	674	647	616	588	564
0.10	820	797	780	752	703	677	648	614	585	557	527
0.12	792	777	755	719	685	656	622	588	559	526	474
0.14	775	757	730	694	668	636	597	567	533	487	373
0.16	758	737	705	681	652	615	580	546	507	408	
0.18	742	717	691	668	636	596	563	524	453		
0.20	725	698	680	655	619	582	545	503	384		
0.22	708	689	669	641	603	568	528	457			
0.24	696	679	658	628	591	554	511	406			
0.26	688	670	647	615	579	540	485				
0.28	679	660	636	602	568	526	446				
...				

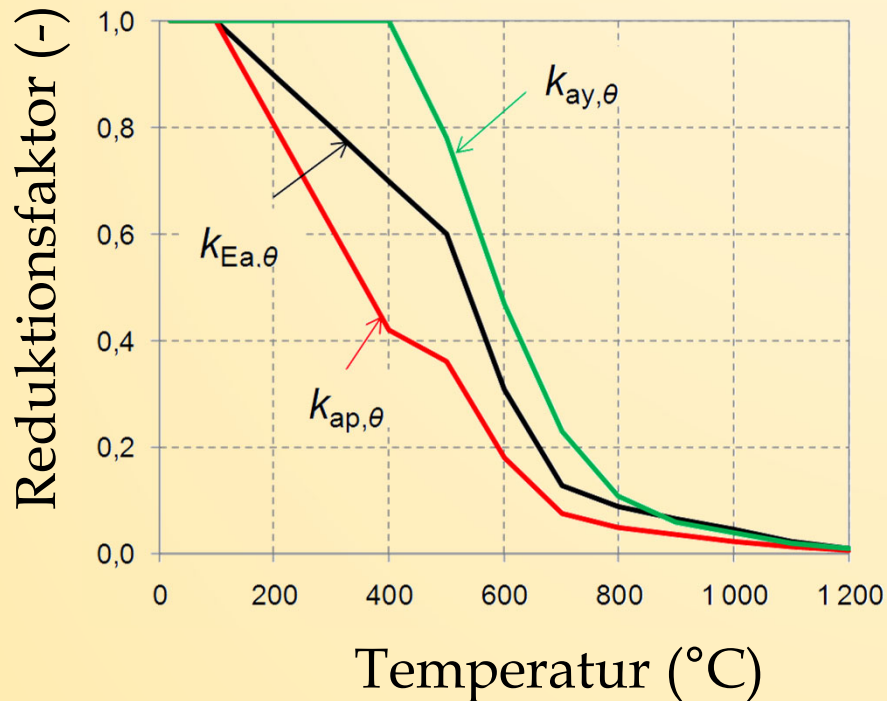
Kritisk temperatur hos tryckta instabila stålelement genom tabellerade värde baserade på:

- slankhetsparametern vid tid 0
- Och vid specific last
 $\mu_0 = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi,0}$
- Varje stålsort har sin egen tabell

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2



Temperatur

$k_{y,\theta}$: reduktion av sträckgräns

$k_{E,\theta}$: redukt. av Young's modulus (linj. elastiskt)

$k_{p,\theta}$: reduktion av proportionalitetsgräns

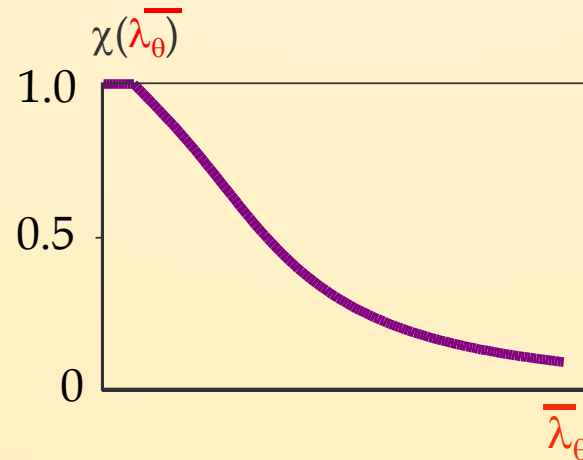
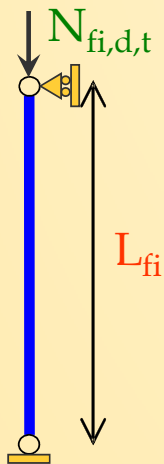
**Nuvarande version av EN 1993-1-2
gäller för stål av sort S235 till S460**

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2

bärförmåga



$$\alpha = 0.65 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad \bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + \bar{\lambda}_\theta^2 \right]$$

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_\theta^2}}$$

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$


6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.2. Analytisk verifiering av pelare enligt EN 1993-1-2 **bärförmåga**

Kombinerad olyckslast

$$E_{fi,d,t} = \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \Psi_{2,1} Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

 Rekommendation, hänvisning till
de nationella valen

Krav

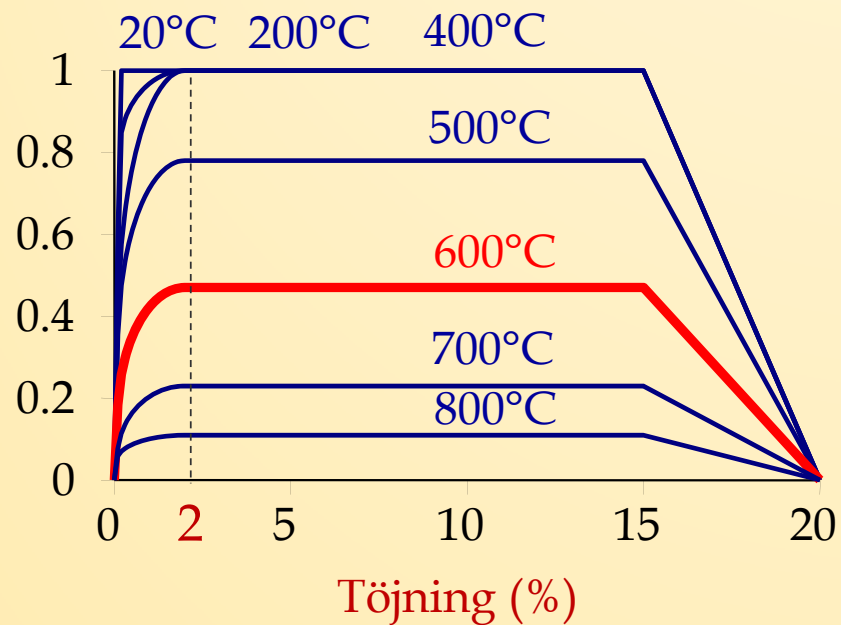
$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.3. FEM

Relativ spänning Tid

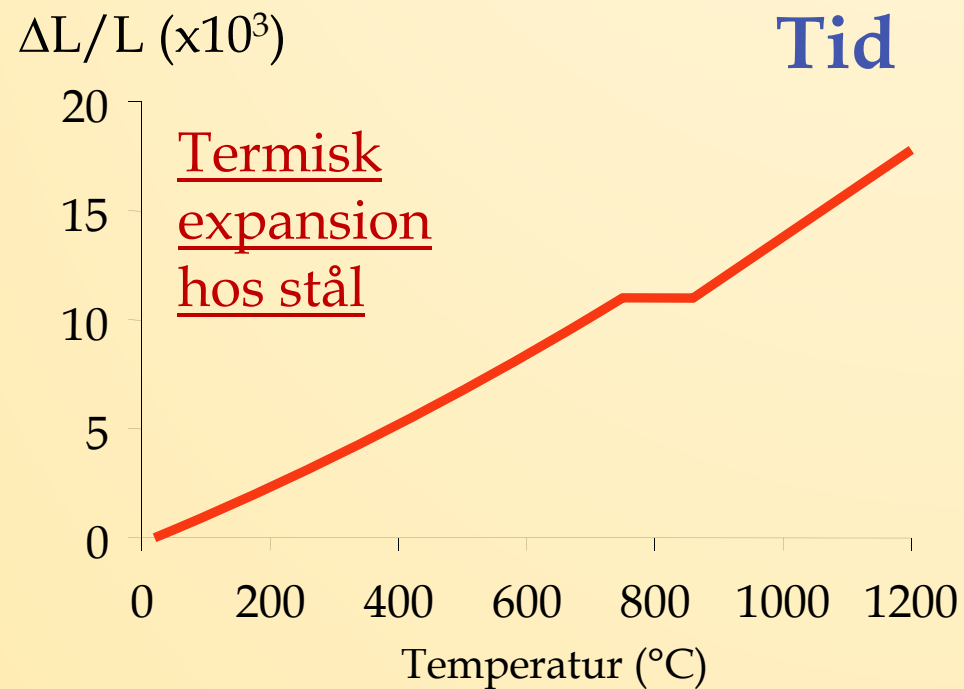


- ◆ Spännings-töjningssamband för stål är icke-linjärt
- ◆ Sträckgränsen vid 600°C är reducerad med över 50%

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.3. FEM



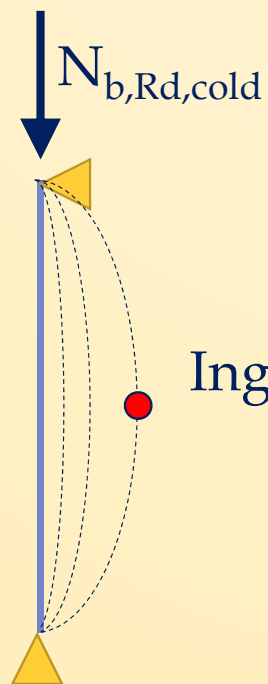
6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.3. FEM

Normal dimensionering

- Initial defekt
- Last ökar till kollaps

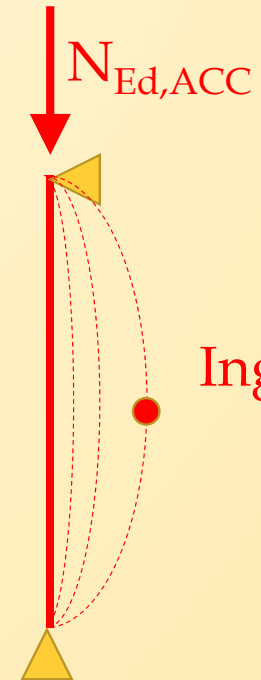


Tid

Ingen jämvikt

Dimensionering för höga temperaturer

- Initial defekt
- Initial last
- Temperatur ökar till kollaps



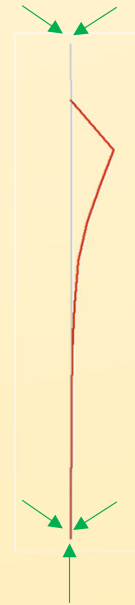
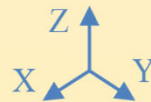
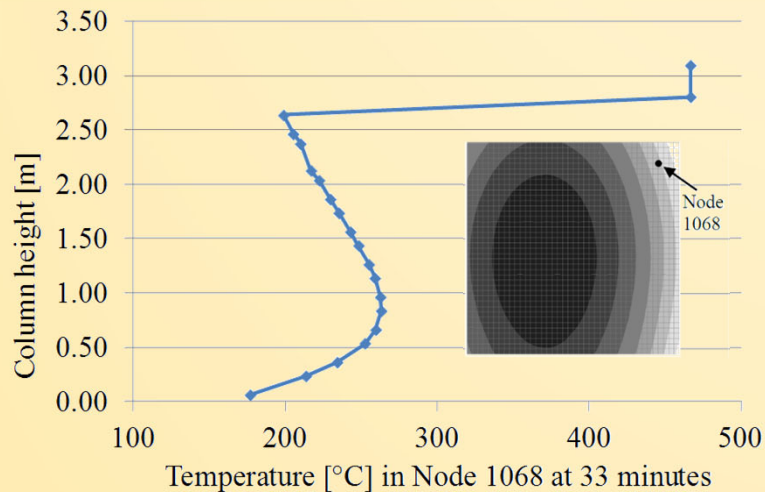
Ingen jämvikt

6. Beräkning av brandmotstånd

6.4. Mekanisk analys

6.4.3. FEM

Tid



Vänster : Temperaturfördelning vid Nod 1068 efter 33 minuter längs en 3.36 [m] pelare med ett fyrkatstvärsnitt (130[mm]x130[mm]) omgiven av 3 bilar och 1 van

höger : böjning vid kollaps samma pelare