



LOCAFI+

Temperatuur beoordeling van een verticaal lid onderworpen aan
LOCALised Fire
Informatie-verspreiding

Subsidieovereenkomst nr. 754072

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.1. Algemene procedure

Stap 1: Definitie van thermische belasting

Stap 2: Thermische analyse

Stap 3: Mechanische analyse

De algemene procedure is stap-voor-stap (Stap 1 → Stap 2 → Stap 3), maar voor een hogere nauwkeurigheid zou de werkwijze in beide richtingen moeten zijn. Indien deze dubbele werkwijze niet in aanmerking wordt genomen, moet de ingenieur zich bewust zijn van de bijbehorende aannames !

- De vervorming/verplaatsing van een constructie-element kan van invloed zijn op het ontstaan van de brand
- De vervormingen/verplaatsingen van een structureel element kunnen van invloed zijn op de thermische blootstelling
- De temperatuurstijging in de elementen kan van invloed zijn op de geabsorbeerde energie in wanden/vloeren
- Plasticiteit en barsten kunnen leiden tot warmte- of warmtelekkage
- ...

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.2. Definitie van een brandscenario

6.2.1. Compartementsbrand

- Standaard brandcurve (ISO-834, Koolwaterstof,...)
- Kromme voor natuurlijke branden (parametrische kromme volgens bijlage A van EN 1991-1-2, OZone-software gebaseerd op de bijlagen D en E van EN 1991-1-2)

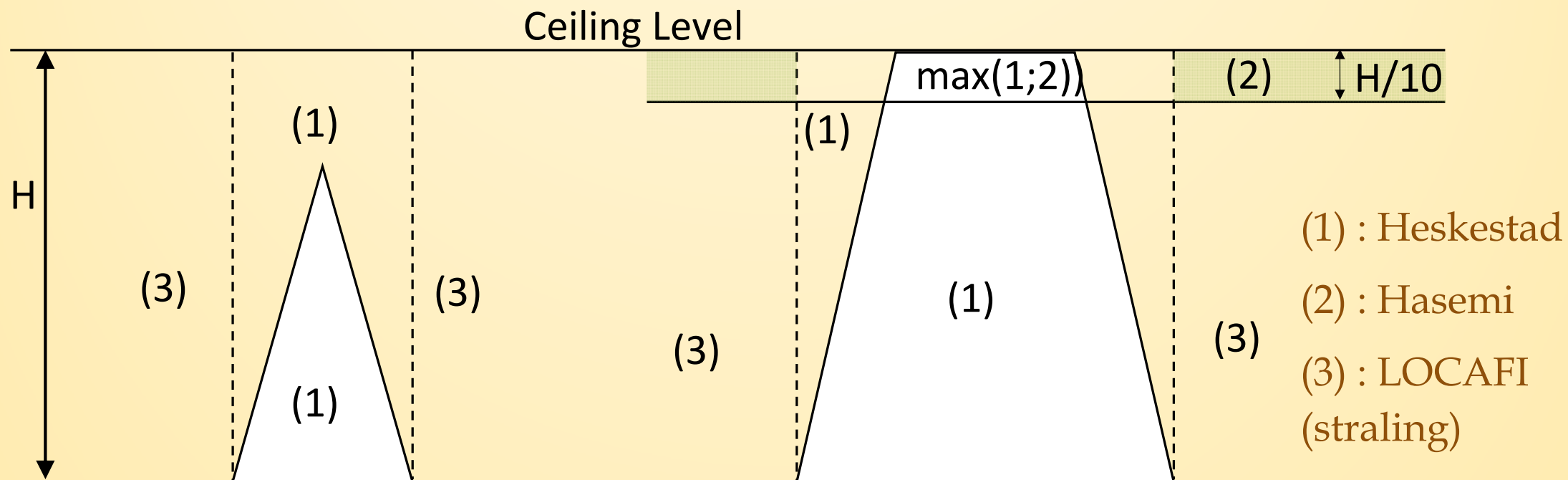
6.2.2. Plaatselijke brand

- Brandscenario gedefinieerd door ingenieurs/overheid (diameter, RHR)

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.2. Definitie van een brandscenario

6.2.2. Lokale brand



6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.3. Thermische analyse $[\text{W.m}^{-2}]$

6.3.1. Stationaire temperatuur

Stationaire temperatuur θ is de temperatuur waarbij de **geabsorbeerde flux** in evenwicht wordt gehouden door de **uitgestraalde (convectieve en radiatieve) fluxen**

$$0 = \underbrace{\alpha_c(\theta - 20)}_{\text{Uitgestraalde convectieve flux}} + \underbrace{\sigma\varepsilon[(\theta + 273)^4 - (20 + 273)^4]}_{\text{Uitgestraalde radiatieve flux}} - \underbrace{\varepsilon * \dot{h}_{m,r}}_{\text{geabsorbeerde flux}}$$

In geval van een plaatselijke brand dient de voornaamste invallende stralingsstroom $\dot{h}_{m,r}$ vervangen te worden door $\dot{h}_{m,tot}$, inclusief de convectieve stroom en de stralingsstroom.

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

Deze vereenvoudigde aanpak houdt geen rekening met de thermische inertie van het element

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.3. Thermische analyse

6.3.2. Incrementele procedure (uniforme temperatuur)

- De temperatuur van het element wordt berekend door de thermische balans van het element te bepalen

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

ρ_a , c_a , and A_m/V zijn dichtheid [kg.m⁻³], specifieke warmte [J.kg⁻¹.K⁻¹] en massa [m⁻¹] van het element

EN 1993-1-2 dicteert dat Δt nooit langer mag zijn dan 5 seconden

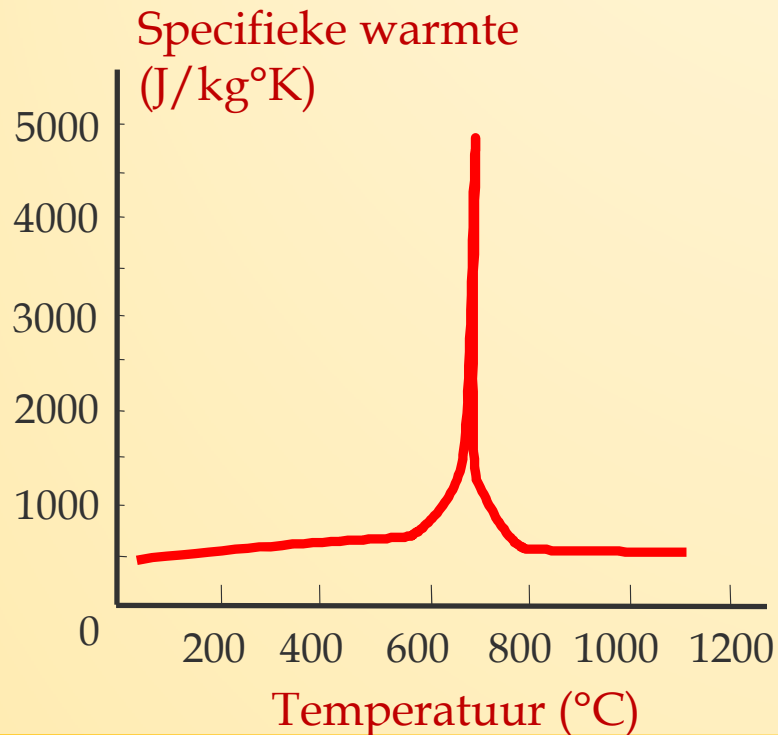
In geval van een plaatselijke brand dient de voornaamste invallende stralingsstroom $\dot{h}_{m,r}$ vervangen te worden door $\dot{h}_{m,tot}$, inclusief de convectieve stroom en de radiatieve stroom .

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

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.3. Thermische analyse

6.3.2. Incrementele procedure (uniforme temperatuur)



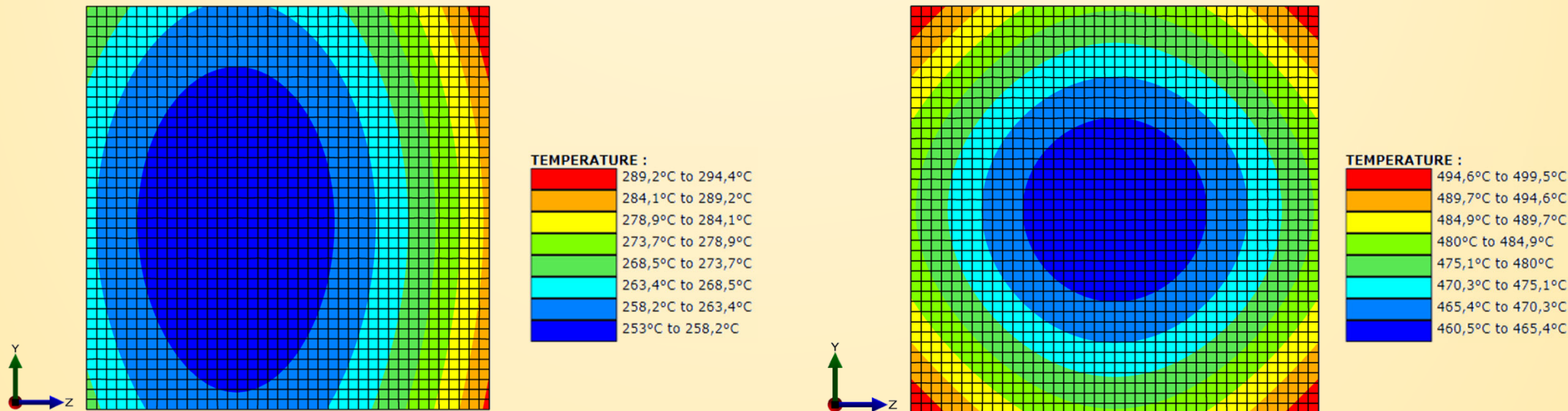
Volumemassa van staal : 7850 kg/m³

Onafhankelijk van temperatuur

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.3. Thermische analyse

6.3.3. E.E.-thermische analyse (niet-uniforme temperatuur)



Temperatuurverdeling [°C] na 33 minuten voor een kolom van 3,36 [m] met een vierkante doorsnede van 130[mm]x130[mm], omgeven door 3 wagens en 1 bestelwagen op a) een hoogte van 0,94[m] ; b) een hoogte van 3,1[m].

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Algemene regels van EN 1993-1-2

Alleen de dragende functie **R** van staalconstructies valt onder de ontwerpvoorschriften van het brandgedeelte van Eurocode 3.

Aan de dragende functie van een constructie wordt slechts voldaan indien gedurende de relevante duur van de brandblootstelling t

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

Waarbij :

- $E_{fi,d,t}$: ontwerpeffect van de acties (Eurocodes 0 en 1)
- $R_{fi,d,t}$: overeenkomstige ontwerpweerstand van de structuur op tijdstip t

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Algemene regels van EN 1993-1-2

UGT-Combinatie

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

ACC combinatie

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

Opmerking : Afhankelijk van het land moet men $\psi_{1,1}$ of $\psi_{2,1}$ gebruiken.

Acties	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Categorie A: woongebouwen	0.7	0.5	0.3
Categorie B: kantoorruimten	0.7	0.5	0.3
Categorie C : plaatsen voor erediensten	0.7	0.7	0.6
Categorie D : Winkelgebied	0.7	0.7	0.6
Categorie E : opslagruimten	1	0.9	0.8
...

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Algemene regels van EN 1993-1-2

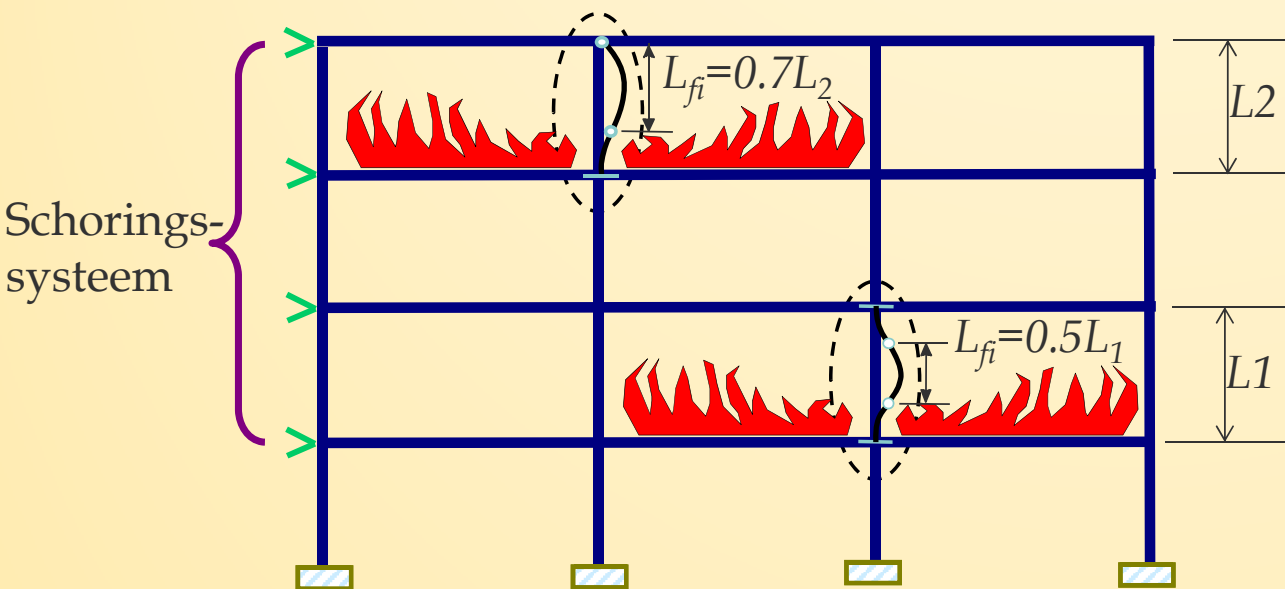
Partiële factoren van staal bij verhoogde temperaturen

Type elementen	Koud ontwerp	Ontwerp bij brand
Doorsneden	$\gamma_{M0} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1,0$
Elementen met instabiliteit	$\gamma_{M1} = 1.0$	$\gamma_{M,fi} = 1,0$
Trekstaven (bij breuk)	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1,0$
Verbindingen	$\gamma_{M2} = 1.25$	$\gamma_{M,fi} = 1,0$

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Algemene regels van EN 1993-1-2



Voorwaarden :

- Geschoorde structuren
- Doorgaande of ingeklemde kolommen
- Dezelfde brandwerendheid R voor kolommen en vloerelementen

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Algemene regels van EN 1993-1-2

Verificatie van de brandwerendheid volgens een van de 3 onderstaande methoden :

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

Meest eenvoudige en algemeen gebruikte methode, alleen geldig voor uniforme T°

Belastingsweerstand :

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

Berekening met de hand mogelijk (verminderde capaciteit op het vereiste tijdstip)

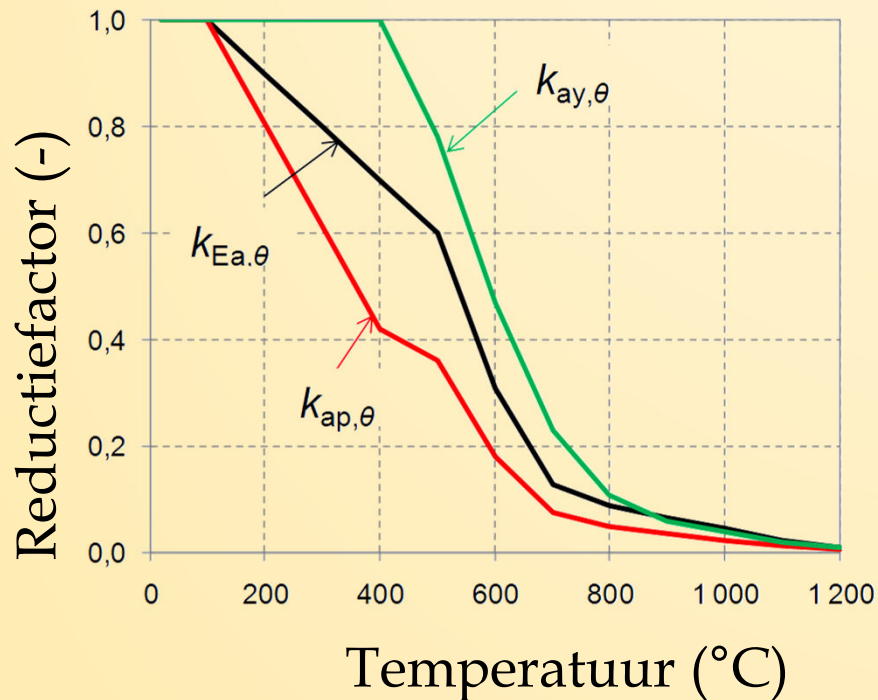
Tijd : $t_{fi,d} \geq t_{fi,vereist}$

Alleen mogelijk met geavanceerd hulpmiddelen, zoals Finite Element Models

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.2. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2



Temperatuur

$k_{y,\theta}$: verlaging van de vloeigrens

$k_{E,\theta}$: vermindering van elasticiteitsmodulus

$k_{p,\theta}$: verlaging van de proportionele grens

De huidige versie van EN 1993-1-2 is van toepassing op de staalsoorten S235 t.e.m. S460.

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.2. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Temperatuur

Accidentele belastingscombinatie

reductiefactor voor de belastingsgraad

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

Opmerking : Afhankelijk van het land moet men $\psi_{1,1}$ of $\psi_{2,1}$ gebruiken.

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

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

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Temperatuur

Reductiefactor voor de belastingsgraad

In structurele brandontwerpen ACC ontwerp

γ_{GA} = 1,0 Permanente belastingen;

$\psi_{2.1}$ = 0.3 Combinatiefactor; variabele belastingen, kantoren

Omgevingstemperatuur ELU-ontwerp

γ_G = 1,35 Permanente belasting;

$\gamma_{Q.1}$ = 1,50 Combinatiefactor; variabele belastingen

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

Opmerking : Afhankelijk van het land moet men $\psi_{1.1}$ of $\psi_{2.1}$ gebruiken.

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

EN 1993-1-2 beveelt $\eta_{fi} = 0,65$ aan (behalve voor categorie E : $\eta_{fi} = 0,7$)

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.2. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Temperatuur

Onopzettelijke belastingscombinatie

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

Opmerking : Afhankelijk van het land moet men $\psi_{1,1}$ of $\psi_{2,1}$ gebruiken.

Reductiefactor voor de belastingsgraad

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

De ontwerpweerstand bij omgevingstemperatuur

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Temperatuur

Benuttingsgraad

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

- Houdt rekening met partiële veiligheidsfactoren op normale en verhoogde T° (normaal zijn beide 1,0)
- Maakt een directe berekening van de kritische T° mogelijk.
- Als het falingsmodel instabiliteit omvat, is de verminderde niet-dimensionale slankheid vereist

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Temperatuur

$\bar{\lambda}_{fi,0}$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
□ 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				
...				

Kritische temperatuur van staal onder instabiliteit met behulp van specifieke getabelleerde gegevens gebaseerd op:

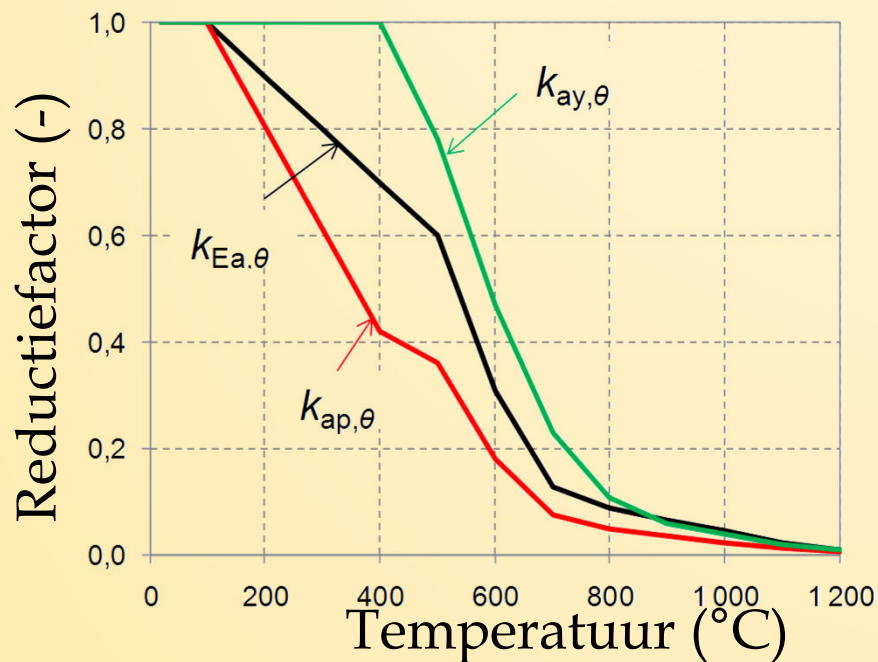
- niet-dimensionale slankheid op tijdstip 0
- en een specifiek belastingsniveau

$$\mu_0 = N_{fi,d,t} / N_{pl,fi,0}$$
- elke staalkwaliteit heeft zijn eigen gegevens in tabelvorm

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.2. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2



Belastingsweerstand

$k_{y,\theta}$: verlaging van de vloeigrens

$k_{E,\theta}$: vermindering van elasticiteitsmodulus

$k_{p,\theta}$: verlaging van de proportionele grens

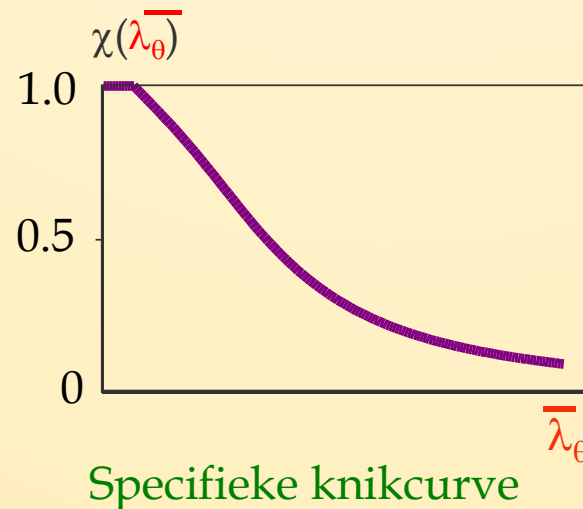
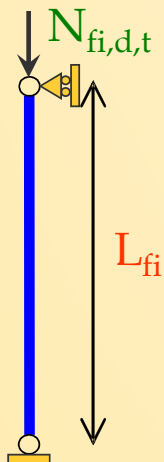
De huidige versie van EN 1993-1-2 is van toepassing op de staalsoorten S235 t.e.m. S460.

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.1. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Mechanische weerstand



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

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

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

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

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.2. Analytische controle van de kolom volgens EN 1993-1-2

Mechanische weerstand

Accidentele belastingscombinatie

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

Ontwerpcriteria

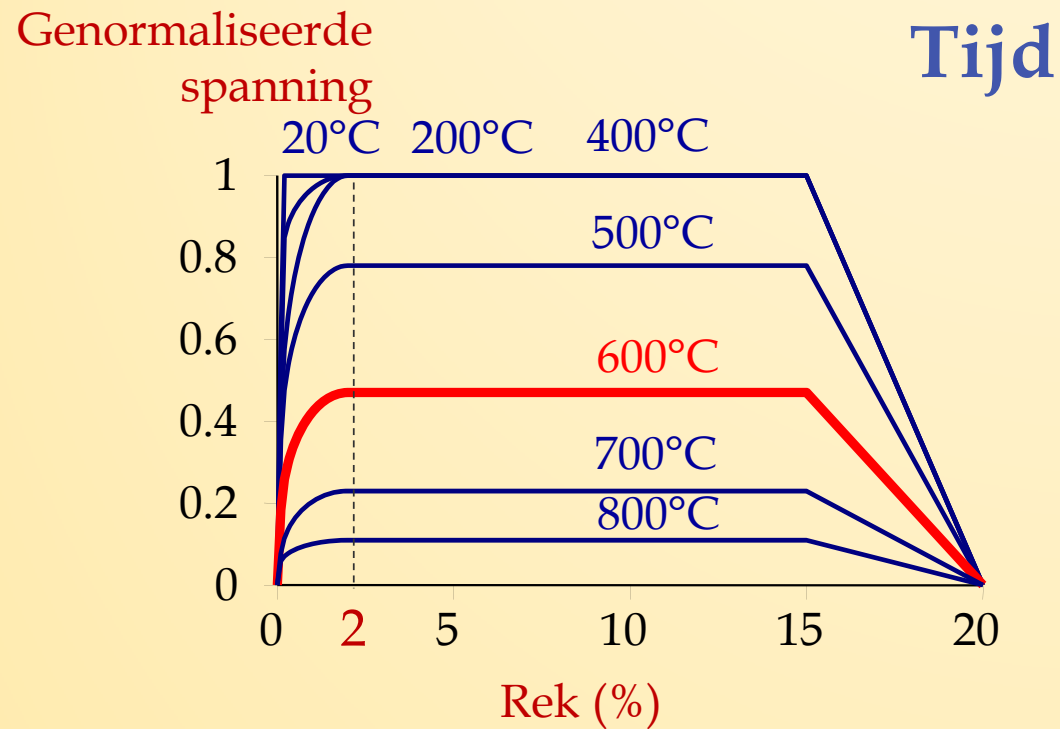
$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}$$

Opmerking : Afhankelijk van het land moet men $\psi_{1,1}$ of $\psi_{2,1}$ gebruiken.

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.3. Eindige Elementen Analyse

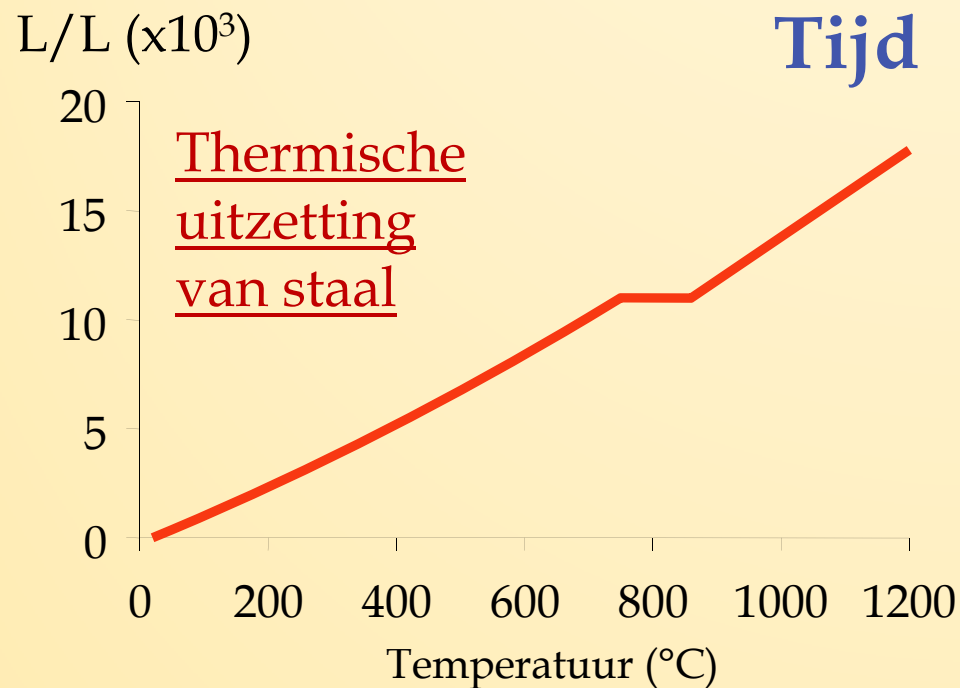


- ◆ Spanning-rek diagram van staal is niet-lineair (elastisch, parabolisch, plateau, dalende tak)
- ◆ Vloeigrens bij 600°C met meer dan 50% verlaagd

6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.3. Eindige Elementen Analyse



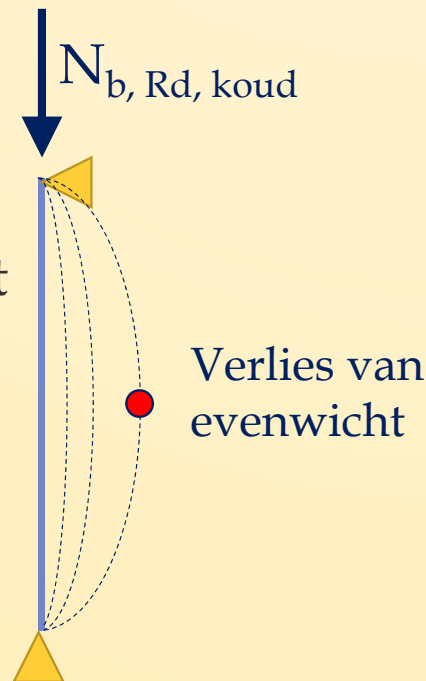
6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.3. Eindige Elementen Analyse

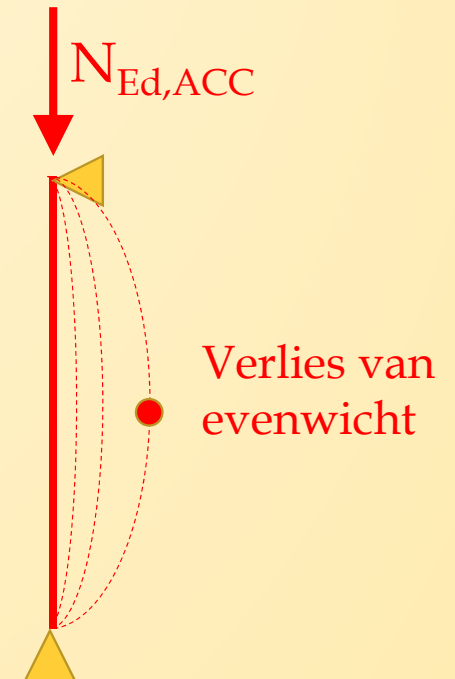
Koud ontwerp

- Initiële imperfectie
- Belasting neemt toe tot falen



Warm ontwerp

- Initiële imperfectie
- Initiële belasting
- Temperatuur neemt toe tot falen

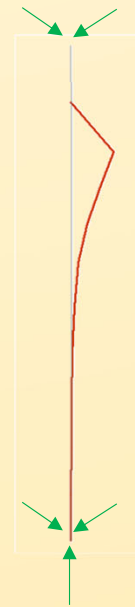
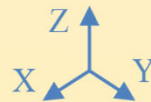
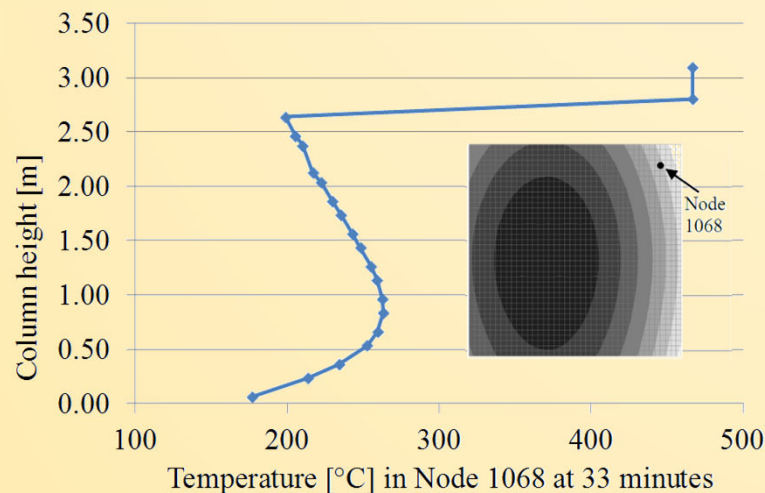


6. Synthese Brandwerendheid (brandweerstand)

6.4. Mechanische analyse

6.4.3. Eindige Elementen Analyse

Tijd



Links: Temperatuurverdeling in knooppunt 1068 na 33 minuten langs een kolom van 3,36 [m] met een vierkante doorsnede van 130[mm]x130[mm] omringd door 3 auto's en 1 bestelwagen

Rechts: Verplaatsingsvorm in breuk (schaalfactor 1) van een 3.36[m] kolom met een vierkante doorsnede van 130[mm]x130[mm] omringd door 3 auto's en 1 bestelwagen