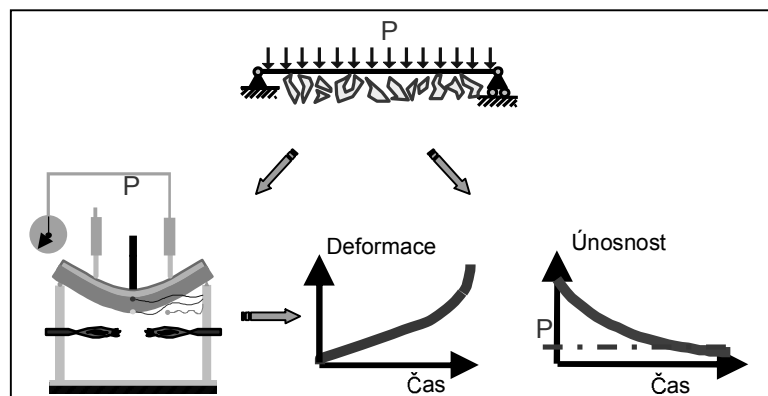




DIFISEK⁺

NÁVRH OCELOVÝCH A OCELOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ
VYSTAVENÝCH POŽÁRU



Praha, červen 2008

České vysoké učení technické v Praze

DIFISEK⁺

NÁVRH OCELOVÝCH A OCELOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ
VYSTAVENÝCH POŽÁRU



Textové materiály projektu DIFISEK⁺

Ed.: F. Wald
Praha, červen 2008

České vysoké učení technické v Praze
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek



DIFISEK⁺ Návrh ocelových a ocelobetonových konstrukcí vystavených požáru

Ed.: Wald F.

ISBN 978-80-01-04099-7

Tisk Česká technika, ČVUT v Praze

Leden 2008

250 výtisků, 102 stran, 21 tabulek, 254 obrázků

OBSAH

Úvod	4
Prezentace	
1 Tepelná a mechanická zatížení	6
<i>O. Vassart, L.G. Cajot, M. Brasseur, M. Strejček</i>	
2 Teplotní odezva	14
<i>O. Vassart, J. Chlouba</i>	
3 Analýza konstrukce	21
<i>B. Zhao, Z. Sokol</i>	
4 Programy pro požární návrh	29
<i>J.J. Martínez de Aragón, F. Rey, J.A. Chica, F. Wald</i>	
Řešené příklady	
<i>P. Schaumann, T. Trautmann, J. Žižka</i>	
5.1 Prostorový požár	38
5.2 Lokalizovaný požár	44
5.3 Spřažená ocelobetonová deska	50
5.4 Tlačený a ohýbaný nosník	56
5.5 Sloup zatížený osovou silou	61
5.6 Svařovaný nosník uzavřeného průřezu	64
5.7 Částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový nosník	68
5.8 Částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový sloup	75
5.9 Spřažený požárně chráněný ocelobetonový nosník	83
Prezentace k řešeným příkladům	
<i>J. Chlouba, P. Kallerová, M. Strejček, Z. Sokol</i>	
6.1 Výpočet teploty plynu zónovým modelem	89
6.2 Spřažený ocelobetonový sloup	92
6.3 Částečně obetonovaný spřažený nosník	95
6.4 Konstrukce vně požárního úseku	99
Internet	
7.1 Materiály pro požární návrh konstrukcí na internetu	102
<i>F. Wald</i>	

ÚVOD

Požární bezpečnost staveb je jedním ze šesti základních požadavků Směrnice Rady 89/106/EHS ze dne 21. 12. 1988 o sblížení právních a správních předpisů členských států, které je zaměřeno na stavební výrobky. V nárocích na požární bezpečnost staveb jsou zahrnuty dílčí části: zachování nosnosti a stability konstrukce, omezení rozvoje a šíření ohně a kouře v objektu, omezení šíření požáru na sousední objekty, umožnění bezpečné evakuace osob a umožnění účinného a bezpečného zásahu jednotkám hasičského záchranného sboru. K dispozici je pasivní požární ochrana, aktivní požární ochrana a požárně inženýrská řešení. Pasivní požární ochrana je založena na tepelné izolaci prvků konstrukce, které jsou vystaveny požáru. Lze ji využít pouze zachování nosnosti a stability konstrukce. Aktivní požární ochrana je řádově účinnější, protože brání vzniku/rozvoji požáru v jeho samém počátku. Požárně inženýrská řešení vhodně kombinují oba přístupy a zajišťuje nejvyšší ochranu osob a majetku při požáru. Zachování nosnosti a stability konstrukce za požáru se v Evropě posuzuje jako první mimořádná kombinace zatížení, které popsáno v ČSN EN 1991-1-2: 2003. Požární spolehlivost je řešena v částech 1-2 norem, tj. ČSN EN 199x-1-2, samostatně pro betonové, ocelové, ocelobetonové, dřevěné, zděné a hliníkové konstrukce, viz tab. 1.

Tato publikace navazuje na monografii Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT v Praze 2005, ISBN 80-0103157-8. Jsou zde shrnuty prezentace a řešené příklady projektu DIFISEK č. RFS-C2-03048 (Dissemination of structural Fire Safety Engineering Knowledge), které byly připraveny pro výpočet podle předběžných textů evropských norem. V rámci projektu DIFISEK⁺ (Dissemination of Structural Fire Safety Engineering Knowledge throughout Europe), byly materiály aktualizovány a s využitím Národních příloh lokalizovány pro použití v jednotlivých zemích CEN. V roce 2008 budou na URL: www.difisek.eu národní verze k dispozici v angličtině a v příslušném národním jazyku, tj. v angličtině, češtině, estonštině, finštině, francouzštině, holandštině, italštině, litevštině, maďarštině, němčině, polštině, portugalštině, rumunštině, řečtině, slovinštině, španělštině a švédštině. Výstupem projektu jsou pdf soubory s výkladem a cvičebními texty:

- 1 Tepelná a mechanická zatížení,
- 2 Teplotní odezva,
- 3 Analýza konstrukce,
- 4 Programy pro požární návrh a
- 5 Řešené příklady z problematiky modelování požáru a návrhu konstrukcí.

Příprava a vydání textových materiálů byly podpořeny evropským projektem RFSC (Research Fund for Coal and Steel) DIFISEK⁺ (Dissemination of Structural Fire Safety Engineering Knowledge throughout Europe) č. RFS-P2-06065. Část prezentovaných výsledků byla získána při práci ve výzkumném centru CIDEAS č. 1M0579.

František Wald, v Praze 17. 6. 2008

Tab. 1 Program zavedení evropských návrhových norem, podle ČNI, Aldabaghová Z., leden 2008

Označení	Zkrácený název			Třídící znak
EN 1990	Zásady navrhování			73 0002
EN 1990	Zásady navrhování – příloha mosty			73 0002
EUROKÓD 1 – Zatížení				
EN 1991-1-1	Zatížení – Vlastní tíhou			73 0035
EN 1991-1-2	Zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru			73 0035
EN 1991-1-3	Zatížení – Sněhem			73 0035
EN 1991-1-4	Zatížení – Větrém			73 0035
EN 1991-1-5	Zatížení – Teplotou			73 0035
EN 1991-1-6	Zatížení – Při provádění			73 0035
EN 1991-1-7	Zatížení – Mimořádná zatížení			73 0035
EN 1991-2	Zatížení – Mostů dopravou			73 0035
EN 1991-3	Zatížení – Zatížení od jeřábů a strojního vybavení			73 0035
EN 1991-4	Zatížení – Zatížení zásobníků a nádrží			73 0035
EUROKÓD 2 – Betonové konstrukce				
EN 1992-1-1	Betonové konstrukce – Obecná pravidla			73 1201
EN 1992-1-2	Betonové konstrukce – Navrhování konstrukcí na účinky požáru			73 1201
EN 1992-2	Betonové konstrukce – Mosty			73 1201
EN 1992-3	Betonové konstrukce – Nádrže			73 1201
EUROKÓD 3 – Ocelové konstrukce				
EN 1993-1-1	Ocelové konstrukce – Obecná pravidla			73 1401
EN 1993-1-2	Ocelové konstrukce – Navrhování konstrukcí na účinky požáru			73 1401
EN 1993-1-3	Ocelové konstrukce – Doplnující pravidla pro tenkost. za studena tvar. prvky ...	02/08		73 1402
EN 1993-1-4	Ocelové konstrukce – Korozivzdorné oceli			73 1401
EN 1993-1-5	Ocelové konstrukce – Boulení stěn			73 1401
EN 1993-1-6	Ocelové konstrukce – Pevnost a stabilita ocelových skořepin			73 1401
EN 1993-1-7	Ocelové konstrukce – Příčné zatížené deskostěnové konstrukce			73 1401
EN 1993-1-8	Ocelové konstrukce – Spoje			73 1401
EN 1993-1-9	Ocelové konstrukce – Únava			73 1401
EN 1993-1-10	Ocelové konstrukce – Křehký lom			73 1401
EN 1993-1-11	Ocelové konstrukce – Navrhování ocelových tažených prvků			73 1401
EN 1993-1-12	Ocelové konstrukce – Doplnující pravidla pro oceli vysoké pevnosti do třídy S700	09/07		73 1401
EN 1993-2	Ocelové konstrukce – Mosty			
EN 1993-3-1	Ocelové konstrukce – Stožáry			73 0605
EN 1993-3-2	Ocelové konstrukce – Komíny			73 1431
EN 1993-4-1	Ocelové konstrukce – Zásobníky			73 1432
EN 1993-4-2	Ocelové konstrukce – Nádrže			
EN 1993-4-3	Ocelové konstrukce – Potrubí			
EN 1993-5	Ocelové konstrukce – Piloty a štětové stěny			
EN 1993-6	Ocelové konstrukce – Jeřábové dráhy			
EUROKÓD 4 – Ocelobetonové konstrukce				
EN 1994-1-1	Ocelobetonové konstrukce – Obecná pravidla			73 1470
EN 1994-1-2	Ocelobetonové konstrukce – Navrh. konstr. na účinky požáru			73 1470
EN 1994-2	Ocelobetonové konstrukce – Mosty			73 6210
EUROKÓD 5 – Dřevěné konstrukce				
EN 1995-1-1	Dřevěné konstrukce – Obecná pravidla			73 1701
EN 1995-1-2	Dřevěné konstrukce – Navrhování konstrukcí na účinky požáru			73 1701
EN 1995-2	Dřevěné konstrukce – Mosty			73 6212
EUROKÓD 6 – Zděné konstrukce				
EN 1996-1-1	Zděné konstrukce – Obecná pravidla			73 1101
EN 1996-1-2	Zděné konstrukce – Navrhování konstrukcí na účinky požáru			73 1101
EN 1996-1-3	Zděné konstrukce – Boční zatížení			73 1101
EN 1996-3	Zděné konstrukce – Zjednodušené metody výpočtu nevytuz. zděných konstrukcí	11/07		73 1101
EUROKÓD 7 – Zakládání				
EN 1997-1	Zakládání – Obecná pravidla			73 1000
EN 1997-2	Zakládání – Průzkum a zkoušení základové půdy			
EUROKÓD 8 – Zemětřesení				
EN 1998-1	Zemětřesení – Obecná pravidla			73 0036
EN 1998-2	Zemětřesení – Mosty			73 0036
EN 1998-3	Zemětřesení – Zesilování			73 0036
EN 1998-4	Zemětřesení – Nádrže, zásobníky a potrubí,			73 0036
EN 1998-5	Zemětřesení – Zakládání			73 0036
EN 1998-6	Zemětřesení – Věže			73 0036
EUROKÓD 9 – Hliníkové konstrukce				
EN 1999-1-1	Hliníkové konstrukce – Obecná pravidla			73 1401
EN 1999-1-2	Hliníkové konstrukce – Navrhování konstr. na účinky požáru			73 1401
EN 1999-1-3	Hliníkové konstrukce – Únava konstrukcí			73 1401
EN 1999-1-4	Hliníkové konstrukce – Za studena tvarované plošné profily			73 1401
EN 1999-1-5	Hliníkové konstrukce – Skořepinové konstrukce	09/07	09/08	73 1401



ČÁST 1
TEPELNÁ A MECHANICKÁ ZATÍŽENÍ

Vývoj RFCS projektu DIFISEK+

This project is funded by the Research Fund of the University of Hannover in the framework of the Research Fund of the University of Hannover.

The aim of DIFISEK+ is to develop a design method for fire-resistant steel structures that deal with fire engineering and which results have to be verified according to the EN 1991-1-2.

The partnership of:

- ArcelorMittal
- labein technalia
- dtcm
- University of Hannover
- Institute for Steel Construction



1 / 46

Témata

- Část 1: Tepelná & mechanická zatížení
- Část 2: Teplotní odezva
- Část 3: Mechanická odezva konstrukcí při požáru
- Část 4: Software pro požární návrh
- Část 5a: Řešené příklady
- Část 5b: Ukázky dokončených projektů



2 / 46

Odolnost proti požáru - souvislosti

Zatížení

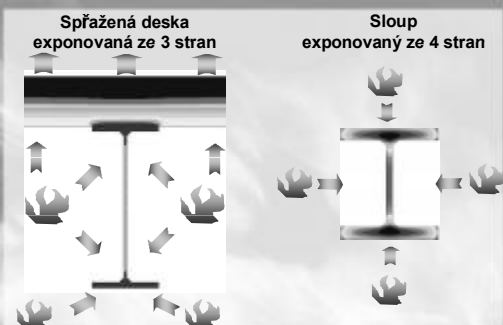
1: Vzplanutí 2: Tepelná zatížení 3: Mechanická zatížení

4: Teplotní odezva 5: Mechanická odezva 6: Případný kolaps



3 / 46

Tepelné zatížení na konstrukci



4 / 46

Přestup tepla do konstrukce přes povrch

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

Čistý tepelný tok vlivem sálání

Čistý tepelný tok vlivem proudění




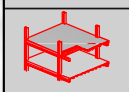
Celkový čistý tepelný tok

- Exponovaná strana
- Neexponovaná strana

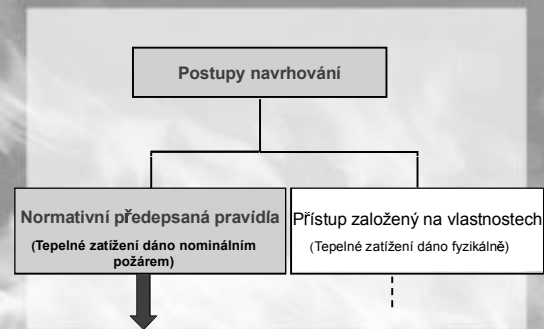


5 / 46

Požární návrh konstrukcí a jejich klasifikace

	Normativní pravidla	Přístup založený na vlastnostech
	normový požár 	přirozený požár 
	klasifikace	požární návrh konstrukce
	požární návrh konstrukce	požární návrh konstrukce

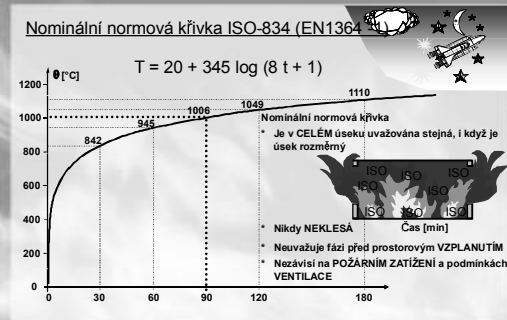
Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru ČSN EN 1991-1-2 – Normativní předepsaná pravidla



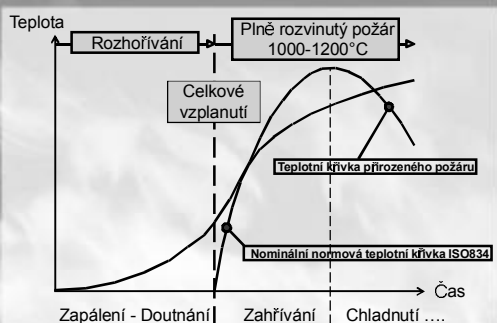
Nominální teplotní křivka

*) Nominální teplotní křivka Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlíková křivka		Nepotřebné údaje
*) Zjednodušené modely požáru		Rychlost uvolňování tepla
Lokalizovaný požár - HESKESTADT - HASEMI $\theta(x, y, z, t)$ 	Prostorový požár - Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek 	Povrch odhořívání
*) Pokročilé modely požáru - Dvouzónový model - Kombinace Dvou a Jednozónového modelu požáru - CFD		Vlastnosti ohraničujících konstrukcí
		Plocha otvorů
		Výška stropu +
		Přesná geometrie

Normová pravidla pro definici nominální normové křivky



Fáze přirozeného požáru a nominální normové požární křivky



Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru ČSN EN 1991-1-2 – Normativní předepsaná pravidla



Model přirozeného požáru

***) Nominální teplotní křivka**
Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlodíková křivka

***) Zjednodušené modely požáru**

Lokalizovaný požár - HESKSTADT - HASEMI $\theta(x, y, z, t)$	Prostorový požár - Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek
--	---

***) Pokročilé modely požáru**

- Dvouzónový model	- Jednozónový model
- Kombinace Dvou and Jednozónového modelu požáru	- CFD

Nepotřebné údaje

Rychlost uvolňování tepla

Povrch odhořívání

Vlastnosti ohraničujících konstrukcí

Plocha otvorů

Výška stropu

Přesná geometrie



12 / 46

Přehled potřebných fyzikálních parametrů pro model přirozeného požáru

- Vlastnosti ohraničujících konstrukcí
 - Výška stropu
 - Plocha otvorů
 - Povrch odhořívání
 - Rychlost uvolňování tepla
- Geometrické parametry**
- Parametry požáru**



13 / 46

Charakteristiky požárního úseku

Požární úsek je obklopen protipožárními konstrukcemi, které jsou definovány v normě

Materiálové vlastnosti požárně dělících konstrukcí: c, ρ, λ

Plocha okenních otvorů



14 / 46

Charakteristické hodnoty požáru pro různé provozy

Provoz	Rychlost rozvoje požáru	RHR ₀ [kW/m ²]	Hustota požárního zatížení q _{f,k} 80% kvantil [MJ/m ²]
Byty	Střední	250	948
Nemocnice (pokoje)	Střední	250	280
Hotely (pokoje)	Střední	250	377
Knihovny	Velká	500	1824
Kanceláře	Střední	250	511
Školní třídy	Střední	250	347
Nákupní centra	Velká	250	730
Divadla (kina)	Velká	500	365
Doprava (veřejné prostory)	Nízká	250	122



15 / 46

Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení

Compartiment floor area A _c [m ²]	Danger of fire activation δ _{q1}	Danger of fire activation δ _{q2}	Examples of Occupancies
25	1,10	1,78	Art gallery, museum, swimming pool
420	1,20	1,99	Public office, school, cinema
500	1,00	1,44	Church, school, hospital
1000	1,13	1,66	Main factor of fire works or public

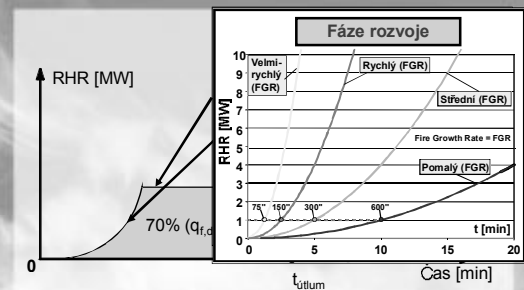
$$q_{f,d} = \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \prod \delta_{ni} \cdot m \cdot q_{f,k}$$

Automatic	In open	Automatic fire	Automatic fire	Work	Off site	Safe	Fire	Smoke
δ _{n1}	δ _{n2}	δ _{n3}	δ _{n4}	δ _{n5}	δ _{n6}	δ _{n7}	δ _{n8}	δ _{n9}
1,0	1,0	0,87	0,7	1,87	0,87	0,7	1,0	1,0





16 / 46

Křivka rychlosti uvolňování tepla: ustálený stav a fáze útlumu hoření



17 / 46

Zjednodušené modely přirozeného požáru

*) Nominální teplotní křivka Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlodíková křivka		Nepotřebné údaje
*) Zjednodušené modely požáru		Rychlost uvolňování tepla
Lokalizovaný požár - HESKESTADT - HASEMI $\theta(x, y, z, t)$	Prostorový požár - Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek	Povrch odhořívání
		Vlastnosti ohraničujících konstrukcí
*) Pokročilé modely požáru - Dvouzónový model - Kombinace Dvou and Jednozónového modelu požáru - CFD		Plocha otvorů
		Výška stropu
		+
		Přesná geometrie



18 / 46

Zjednodušené modely požárů: Lokalizovaný požár



19 / 46

Experiment: Skutečný lokalizovaný požár



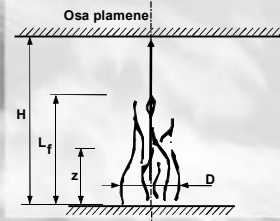
20 / 46

Lokalizovaný požár: Metoda HESKESTAD

Příloha C v ČSN EN 1991-1-2:

- Plamen nezasahuje strop požárního úseku ($L_f < H$)
- Požáry ve volném prostoru

$$\theta_{(z)} = 20 + 0,25 (0,8 Q_c)^{2/3} (z - z_0)^{-5/3} \leq 900^\circ\text{C}$$



Délka plamene L_f lokálního požáru je dána vztahem:

$$L_f = -1,02 D + 0,0148 Q^{2/5}$$



21 / 46

Lokalizovaný požár: Metoda HASEMI

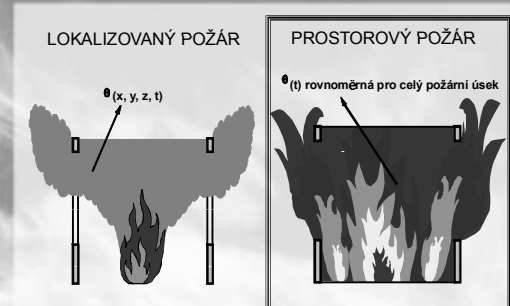
Příloha C v ČSN EN 1991-1-2:

- Plamen zasahuje strop požárního úseku ($L_f > H$)



22 / 46

Zjednodušené modely požárů: Prostorový požár



23 / 46

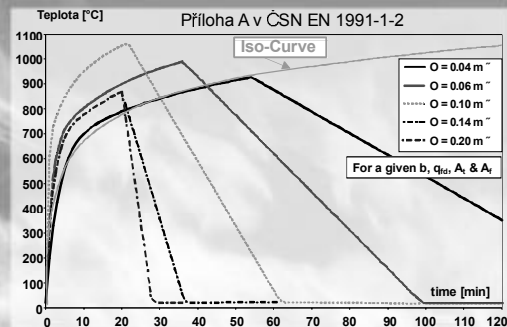
Experiment: Skutečný požár administrativní budovy

Prostorový požár v požárním úseku



24 / 46

Prostorový požár v požárním úseku Parametrická teplotní křivka



25 / 46

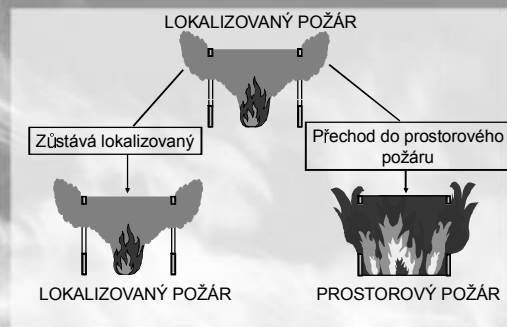
Pokročilé modely přirozeného požáru

<p>*) Nominální teplotní křivka Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlíková křivka</p>		Nepotřebné údaje
<p>*) Zjednodušené modely požáru</p>		Rychlost uvolňování tepla
<p>Lokalizovaný požár</p> <p>- HESKESTADT - HASEMI $\theta(x, y, z, t)$</p>	<p>Prostorový požár</p> <p>- Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek</p>	<p>Povrch odhořívání</p> <p>Vlastnosti ohraničujících konstrukcí</p> <p>Plocha otvorů</p> <p>Výška stropu</p>
<p>*) Pokročilé modely požáru</p> <p>- Dvouzónový model - Jednozónový model - Kombinace Dvou and Jednozónového modelu požáru - CFD</p>		<p>Přesná geometrie</p>



26 / 46

Pokročilé modely požáru



27 / 46

Experiment: Požární zatížení v požárním úseku



28 / 46

Experiment: Plameny šlehající z otvorů požárního úseku



29 / 46

**Experiment:
Požární úsek po požáru**



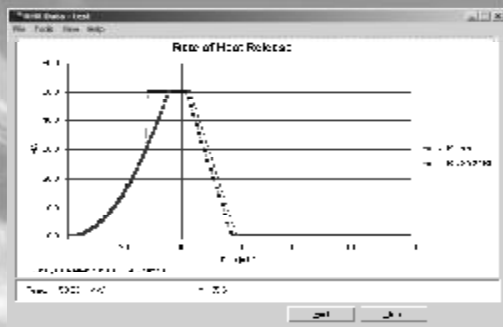
30 / 46

**Dvouzónový model počítaný programem -
"Ozone v2.2"**



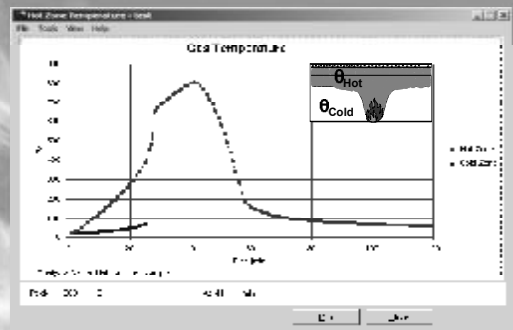
31 / 46

Ozone výsledky: Rychlost uvolňování tepla



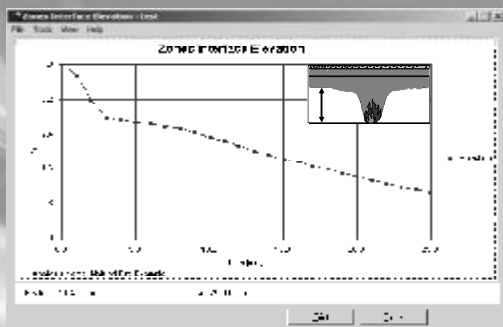
32 / 46

Ozone výsledky: Teploty plynu



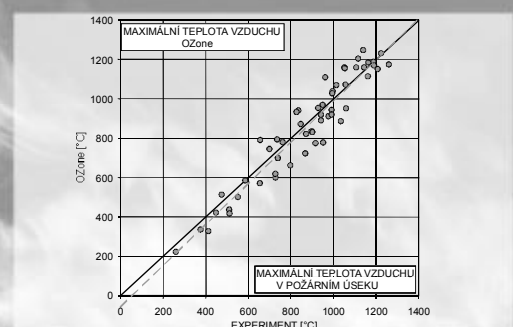
33 / 46

Ozone výsledky: Výška části nezasážené kouřem



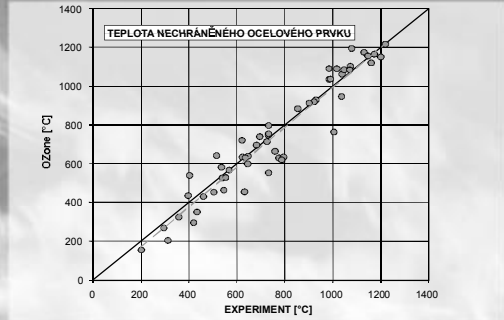
34 / 46

Kalibrace programu Ozone: Teplota plynu



35 / 46

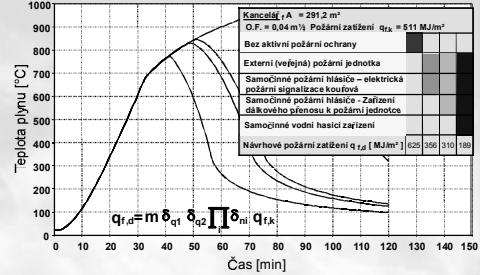
Kalibrace programu OZone: Teplota oceli



36 / 46

OZone: Příklad

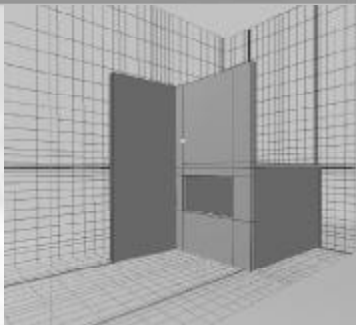
Vliv aktivních požárně bezpečnostních zařízení



37 / 46

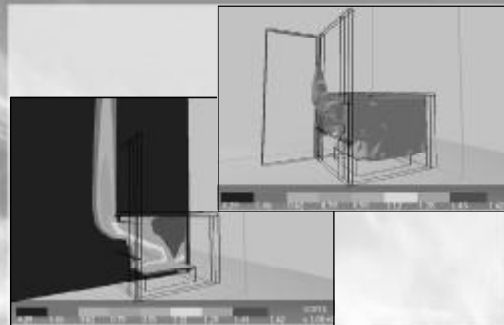
Dynamická analýza plynů: Program Sofie

Sít' prvků



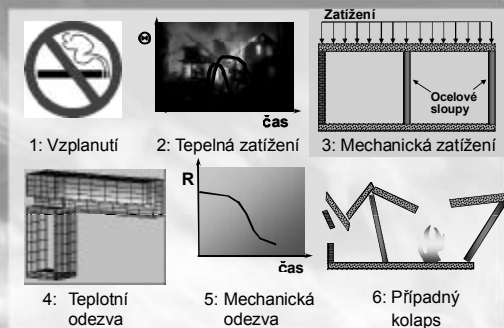
38 / 46

Sofie výsledky: Teploty plynů



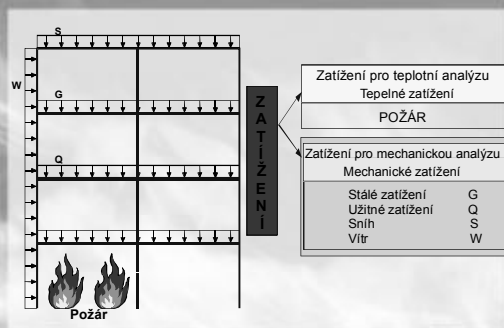
39 / 46

Odolnost proti požáru - Souvislosti



40 / 46

Základy návrhu a zatížení konstrukcí



41 / 46

Kombinační pravidla pro mechanická zatížení ČSN EN 1990: Zásady navrhování

Při pokojové teplotě

$$E_d = \gamma_G G + \gamma_{Q,1} Q_1 + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \gamma_{Q,i} Q_i$$

f.i. : Kancelářské plochy s užitným zatížením Q,
hlavní proměnné zatížení

$$E_d = 1,35 G + 1,5 Q + 0,6 \cdot 1,5 W + 0,5 \cdot 1,5 S$$



42 / 46

Kombinační pravidla pro mechanická zatížení ČSN EN 1990: Zásady navrhování

Požární situace \equiv Mimořádná situace

$$E_{fi,d} = G + \psi_{1or2,1} Q_1 + \sum_{i>1} \psi_{1or2,i} Q_i$$

f.i. : Kancelářské plochy s užitným zatížením Q,
hlavní proměnné zatížení

$$E_{fi,d} = G + 0,5 Q$$

Kancelářské plochy při zatížení budovy větrem W,
hlavní proměnné zatížení

$$E_{fi,d} = G + 0,2 W + 0,3 Q$$



43 / 46

Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

Zatížení	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby, (ČSN EN 1991-1-1)			
Kategorie A : obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B : kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C : stromazřívací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D : obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E : skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F : dopravní plochy tíha vozidla ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G : dopravní plochy 30kN < tíha vozidla ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H : střechy	0	0	0
Zatížení sněhem, (ČSN EN 1991-1-3)			
Finsko, Island, Norsko, Švédsko	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce H > 1000 m n.m.	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce H \leq 1000 m n.m.	0,50	0,20	0
Zatížení větrem, (ČSN EN 1991-1-4)			
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby, (ČSN EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

(Odkaz : EN1990 - Únor 2002)

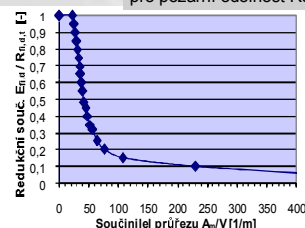


44 / 46

Redukční součinitel

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,i}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,i} Q_{k,i}}$$

Maximální úroveň zatížení
pro požární odolnost R30



45 / 46

Národní příloha k ČSN EN 1991-1-2

- Normativní pro stavby umístěné na území ČR
- Umožňuje volbu parametrů v 10 odstavcích
 - V devíti odstavcích přejímá hodnoty v EN 1993-1-2 beze změny
 - V odstavci NA 2.10 se při kombinaci větru a požárního zatížení doporučuje pro zatížení sněhem a větrem během působení požáru uplatnit použití časté hodnoty $\psi_{1,1} \cdot Q_1$ zejména u halových objektů



Část 1: Tepelná a mechanická zatížení

46 / 46

Děkuji za pozornost

michal.strejcek@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek

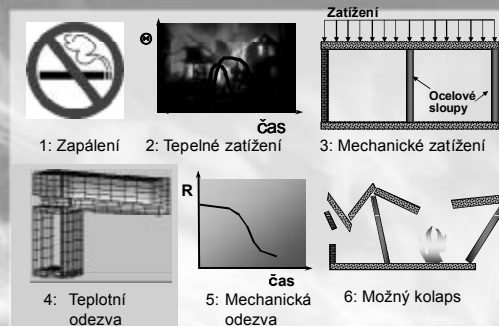


Část 1: Tepelná a mechanická zatížení

DIFISEK

ČÁST 2 TEPLOTNÍ ODEZVA

Stanovení požární odolnosti



DIFISEK

Část 2: Teplotní odezva

1 / 40

Obsah

- 1. Úvod
- 2. Základní vztahy a názorné příklady
- 3. Pravidla výpočtu pro ocelové prvky
- 4. Pravidla výpočtu pro ocelobetonové prvky

DIFISEK

Část 2: Teplotní odezva

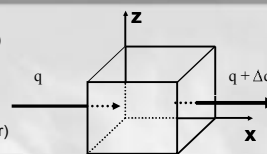
2 / 40

Teplotní odezva Základy

- Tepelná vodivost ($= \lambda$)
- Tepelná kapacita ($= \rho c_p$)

DR: (pouze pro jeden směr)

$$\frac{\partial(\rho c_p \Theta)}{\partial t} + \frac{\partial(\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial x})}{\partial x} = 0$$



tepelná rovnováha
 $\Delta q / \Delta x + \Delta(\rho c_p \Theta) / \Delta t = 0$

okrajové podmínky: přidané/odebrané teplo na povrchu : $h_{\text{net,tot}}$
počáteční podmínky: počáteční teplota

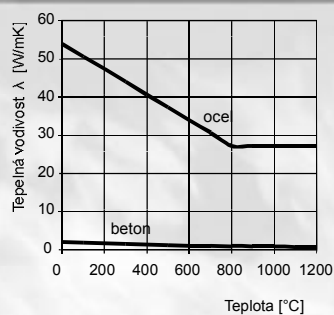
Fourierův zákon
 $q = \lambda \Delta \Theta / \Delta x$

DIFISEK

Část 2: Teplotní odezva

3 / 40

Tepelná vodivost betonu a oceli

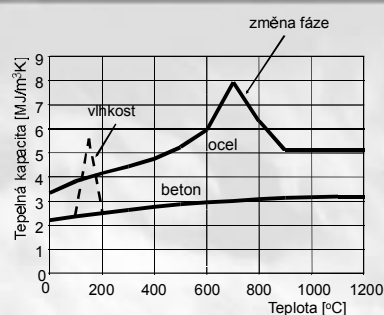


DIFISEK

Část 2: Teplotní odezva

4 / 40

Tepelná kapacita betonu a oceli

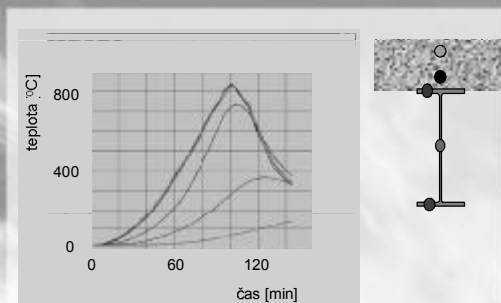


DIFISEK

Část 2: Teplotní odezva

5 / 40

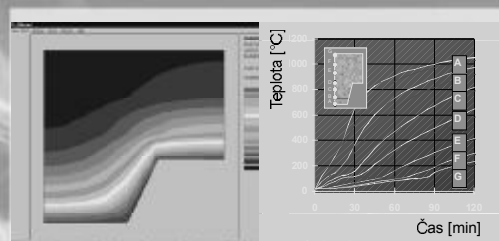
Teplotní odezva Ocelový nosník s betonovou deskou (2D)



Část 2: Teplotní odezva

6 / 40

Teplotní odezva Ocelobetonová deska (2D)



Numerická předpověď

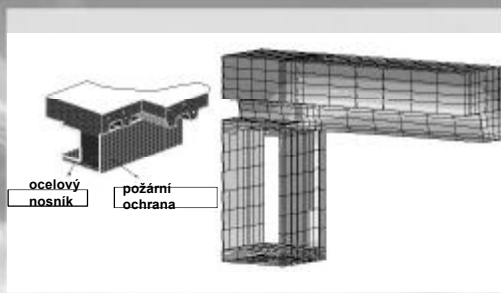
Porovnání předpovědi
s experimentem



Část 2: Teplotní odezva

7 / 40

Teplotní odezva Ocelobetonový krajní nosník (3D)



Část 2: Teplotní odezva

8 / 40

Pravidla výpočtu pro ocelové prvky

- Úvod
- Nechráněná ocelová konstrukce
- Chráněná ocelová konstrukce
- Návrhové parametry pro rozvoj teploty
 - ▣ Obecně
 - ▣ Součinitel průřezu
 - ▣ Vlastnosti požární ochrany
 - ▣ Použití podmínek nenormového požáru



Část 2: Teplotní odezva

9 / 40

Požární odolnost ocelových prvků Princip

- Pouze nosná funkce
⇒ Únosnost
- Rovnoměrné teplotní rozdělení
⇒ Koncepce kritické teploty oceli

Pozn.: více v EN 1993-1-2 (zjednodušené výpočetní modely)

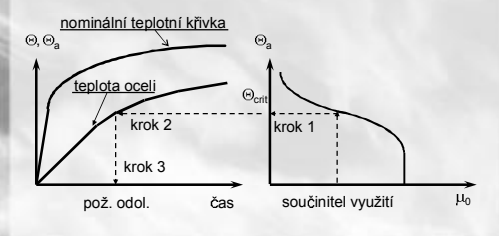


Část 2: Teplotní odezva

10 / 40

Požární odolnost ocelových prvků Postup výpočtu

- Krok 1: určení mechanické odezvy $\mu_a \Rightarrow \Theta_{crit}$
- Krok 2: určení teplotní odezvy $\Rightarrow \Theta_a$
- Krok 3: určení požární odolnosti \Rightarrow požární odolnost



Část 2: Teplotní odezva

11 / 40

Teplotní zatížení Přenos tepla na exponované straně

➤ přenos tepla sáláním: $\dot{h}_{nat,s} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \sigma \cdot [(\Theta_g + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4]$

➤ přenos tepla prouděním: $\dot{h}_{nat,p} = \alpha_c \cdot (\Theta_g - \Theta_m)$

kde:

Θ_g je teplota sálání [°C] $\Rightarrow \Theta_{rad} \rightarrow \Theta_g \rightarrow$ požární křivka

Θ_m je teplota povrchu [°C] \Rightarrow teplotní odezva

ε_m je emisivita povrchu [-] \Rightarrow ocel: 0,7

α_c je souč. přestupu tepla prouděním \Rightarrow 25 - 50 W/m²K

(v závislosti na modelu požáru)

Φ je polohový faktor [-] $\leq 1,0 \Rightarrow$ konzervativně: 1,0

σ je Stephan-Boltzmannova konstanta = $5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m²K⁴

Pozn.: zjednodušen!; podrobně viz EN 1991-1-2



Část 2: Teplotní odezva

12 / 40

Teplotní odezva Ocelové profily

$$\frac{\partial(\rho \cdot c \cdot \Theta)}{\partial t} + \frac{\partial(\lambda \frac{\partial \Theta}{\partial x})}{\partial x} = 0$$

okrajové a počáteční podmínky

$$\frac{d \cdot c_a}{dt} = \frac{\dot{h}_{tot} \cdot A_m}{\rho_a \cdot c_a \cdot V}$$

kde

A_m je exponovaná plocha prvku [m²/m]

V je objem prvku [m³/m]

Pozn.: klíčové je rovnoměrné rozdělení teploty



Část 2: Teplotní odezva

13 / 40

Nárůst teploty v nechráněné konstrukci Základní rovnice

$$\frac{d(\Theta_a)}{dt} = k_{sh} \frac{A_m/V}{\rho_a \cdot c_a} \cdot \dot{h}_{nat,tot} \quad \dots (1)$$

Legenda:

$\Delta \Theta_a$: přírůstek teploty

Δt : časový interval

A_m/V : součinitel průřezu

K_{bare} : souč. přestupu tepla

K_{sh} : opravný součinitel zastínění

$$\Delta \Theta_a = k_{sh} \frac{K_{bare} \cdot A_m}{\rho_a \cdot c_a \cdot V} \cdot (\Theta_g - \Theta_a) \cdot \Delta t \quad \dots (2)$$

kde

$$K_{bare} = \alpha_c + \frac{\varepsilon_m \cdot \sigma \cdot [(\Theta_g + 273)^4 - (\Theta_a + 273)^4]}{\Theta_g - \Theta_a} \quad \dots (3)$$



Část 2: Teplotní odezva

14 / 40

Vliv zastínění (shadow effect) Základy

➤ Při tomto jevu dochází k místnímu zastínění a tím k zabránění sálání z důvodů tvaru ocelového profilu:

- ☒ I profily, vliv zastínění: ano
- ☒ □ profily, vliv zastínění: ne

➤ Bez sálání k vlivu zastínění nedochází, proto:

- ☒ nechráněné prvky, vliv zastínění: ano
- ☒ chráněné prvky, vliv zastínění: ne



Část 2: Teplotní odezva

15 / 40

Vliv zastínění Důsledky

➤ Nechráněné prvky:

$$\Delta \Theta_a = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{nat} \cdot \Delta t$$

kde:

☒ pro I - profily: $k_{sh} = 0,9 [A_m/V]_{box} / [A_m/V]$

☒ pro "všechny" ostatní profily: $k_{sh} = [A_m/V]_{box} / [A_m/V]$

➤ Chráněné prvky: žádný vliv



Část 2: Teplotní odezva

16 / 40

Nárůst teploty v chráněné oceli Základní vztahy

$$\Delta \Theta_a = \frac{K_{ins}}{\rho_a \cdot c_a \cdot V} \cdot (\Theta_g - \Theta_a) \cdot \Delta t \quad \dots (a)$$

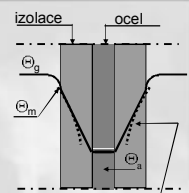
kde

$$K_{ins} = K_{ins} \left(\frac{\lambda}{d} \right) \cdot \rho_p \cdot c_p \cdot \rho_a \cdot c_a \quad \dots (b)$$

Pozn.: (a) $\Theta_g - \Theta_m \ll \Theta_m - \Theta_a$

(b) pro lehkou izolaci:
 $K_{ins} \approx \lambda/d$

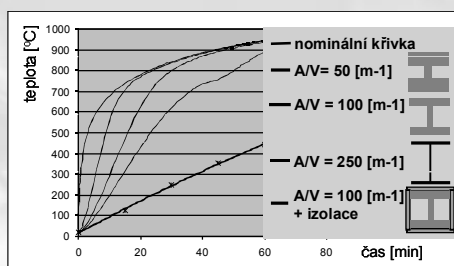
(c) Při požárním návrhu nepoužívat tabulkové hodnoty pro běžnou teplotu při určování λ !



Část 2: Teplotní odezva

17 / 40

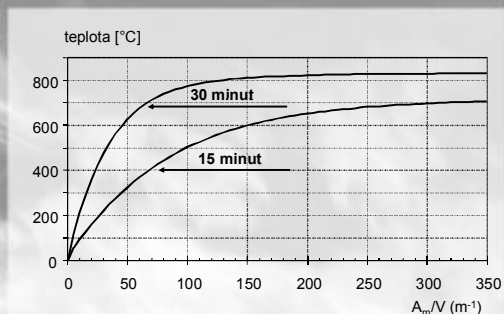
Rozvoj teploty v ocelových průřezích



Část 2: Teplotní odezva

18 / 40

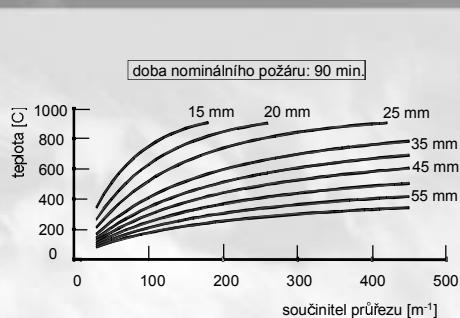
Teplota oceli v závislosti na součiniteli průřezu Nechráněné ocelové profily



Část 2: Teplotní odezva

19 / 40

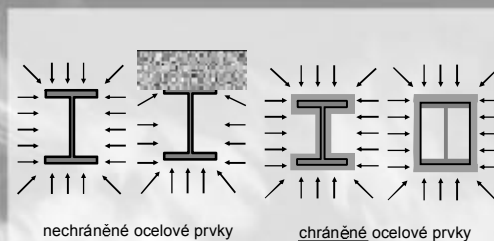
Teplota oceli v závislosti na součiniteli průřezu Chráněné ocelové profily



Část 2: Teplotní odezva

20 / 40

Součinitele průřezu pro ocelový profil Koncepte



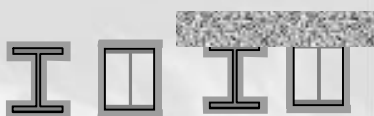
Definice: poměr „plochy“ přes kterou teplo prochází do oceli ku „objemu oceli“



Část 2: Teplotní odezva

21 / 40

Součinitel průřezu (A/V) Číselné příklady



IPE100	387	300	334	247
HE280A	165	113	136	84
HE320B	110	77	91	58

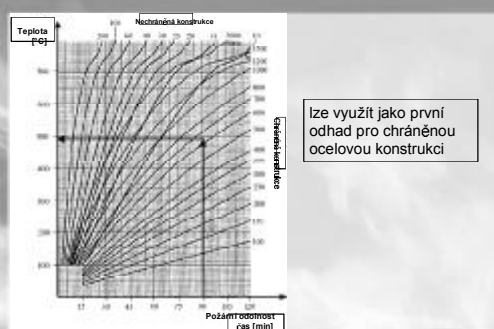
Pozn.: rozsah: ≈ 50 - 400 [m⁻¹]



Část 2: Teplotní odezva

22 / 40

Evropské nomogramy



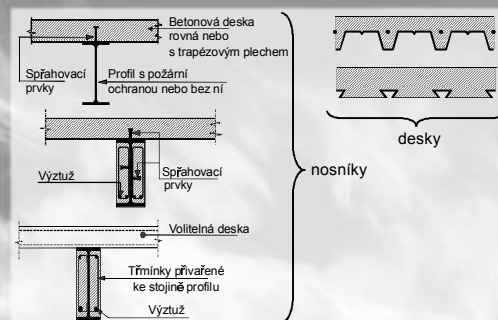
Část 2: Teplotní odezva

23 / 40

Pravidla výpočtu pro ocelobetonové prvky

- Úvod
- Teplotní odezva ocelových sloupů s betonem mezi pásnicemi
- Ověření kritéria izolace u ocelobetonových desek
- Teplota v přídavné výztuži v ocelobetonových deskách
- Teplotní odezva betonem vyplněných sloupů uzavřených průřezů
- Zhodnocení

Ocelobetonové nosníky a desky Možnosti



Ocelobetonové sloupy Možnosti



- a: obetonovaný ocelový profil (tradiční přístup)
 b: beton mezi pásnicemi (p.o. závisí na výztuži)
 c: vybetonovaný uzavřený profil
 - bez výztuže (p.o. cca. 30 minut nebo méně)
 - s výztuží (p.o. závisí na výztuži)

Pozn.: p.o. znamená požární odolnost

Výpočetní postup teplotní odezvy Ocelobetonové prvky

- Nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu
- Nosná a dělicí funkce
 - ✘ Únosnost
 - ✘ Tepelně izolační schopnost
 - ✘ Celistvost
- Možnosti
 - ✘ tabulkové hodnoty
 - ✘ zjednodušený výpočetní model
 - ✘ pokročilý výpočetní model

Pozn.: podrobnosti v EN 1994-1-2

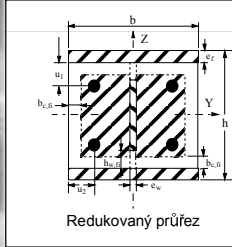
Ocelobetonové prvky Výpočetní pravidla pro teplotní odezvu

- Podobně jako u betonových prvků
- Komplikace kvůli tvaru
- Dostupná zjednodušená výpočetní pravidla
 - ✘ různé podklady
 - ✘ viz EN 1994-1-2

Ocelobetonové prvky Zjednodušené modely tepelné odezvy

- Polo-empirický přístup
- Parametrická studie založená na podrobných výpočtech za pomoci pokročilých výpočetních modelů
- Přímá aplikace pokročilých výpočetních modelů

Zjednodušené výpočetní modely Polo-empirický přístup



Části průřezu:

- pásnice ocelového profilu
- stojina ocelového profilu
- beton
- výztuž

Pro každou část:

- redukce únosnosti
- a/nebo
- redukce plochy

Podrobněji v EN 1994 -1-2



Část 2: Teplotní odezva

30 / 40

Zjednodušené výpočetní modely Parametrická studie

- Ocelobetonové desky s profilovaným plechem

Typ plechu	Tloušťka desky H_B [mm]	Typ betonu
samosvorný (6x)	50, 60, 70, 80,	normální a lehčený
trápézový (49x)	90, 100, 110, 120	podle EN 1994-1-1

- nominální teplotní křivka
- započítán tvar profilovaného plechu
- tepelné vlastnosti podle EN
- průměrná vlhkost: 4% (normální beton) a 5% (lehčený beton)

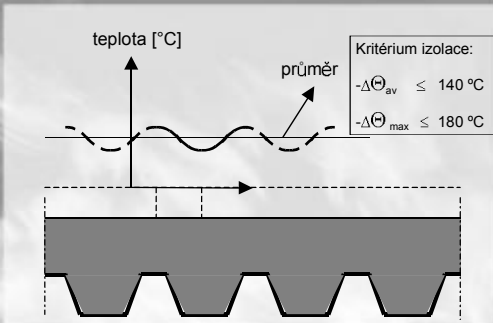
Pozn.: celkový počet simulací: 880



Část 2: Teplotní odezva

31 / 40

Typické rozdělení teploty na neexponované straně ocelobetonové desky



Kritérium izolace:

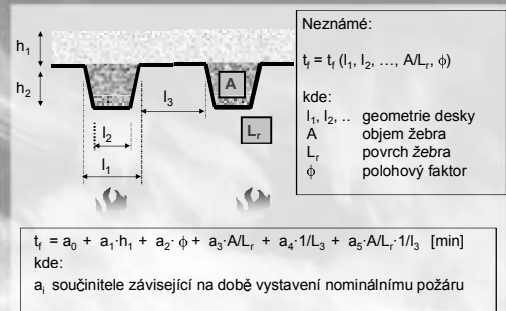
- $-\Delta\Theta_{av} \leq 140 \text{ °C}$
- $-\Delta\Theta_{max} \leq 180 \text{ °C}$



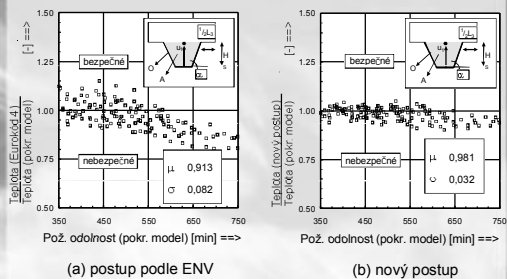
Část 2: Teplotní odezva

32 / 40

Ocelobetonové desky Teplotní izolace (ukázka)



Teplotní odezva výztuže v oblasti kladných M Zjednodušený výpočetní postup



(a) postup podle ENV

(b) nový postup



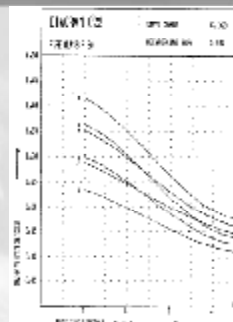
Část 2: Teplotní odezva

36 / 40

Uzavřené průřezy vyplněné betonem Požární odolnost (tradiční přístup)

- Dostupné návrhové grafy
- Nepraktické
- Potřeba návrhového nástroje
⇒ např. POTFIRE

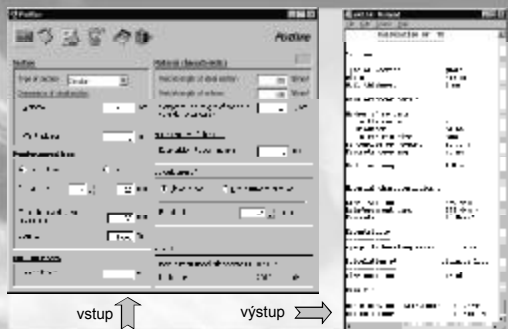
č.	kvalita betonu	% vyztužení
1	C20	1,0
2	C20	2,5
3	C20	4,0
4	C30	1,0
5	C30	2,5
6	C30	4,0
7	C40	1,0
8	C40	2,5
9	C40	4,0



Část 2: Teplotní odezva

37 / 40

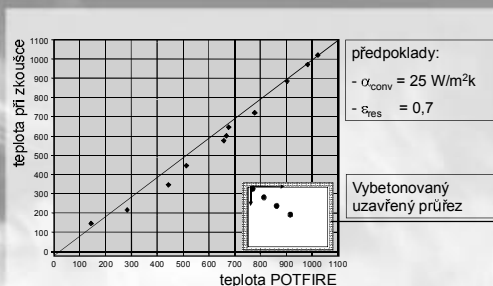
POTFIRE Vstup a výstup



Část 2: Teplotní odezva

38 / 40

Ověření modelu programu POTFIRE



předpoklady:

- $\alpha_{conv} = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

- $\epsilon_{res} = 0,7$

Vybetonovaný uzavřený průřez



Část 2: Teplotní odezva

39 / 40

Ocelobetonové prvky Zhodnocení teplotní odezvy

- Teplotní odezva je poměrně komplikovaná
- Jsou k dispozici zjednodušené ověřovací postupy*):
 - tabulkové hodnoty
 - návrhové grafy
 - specializované počítačové programy (např. POTFIRE)
- Alternativa: „pokročilé“ výpočetní modely
 - vhodné pro koncepci odolnosti vůči přirozenému požáru

*) „Zjednodušené postupy“ mají omezenou oblast použití!



Část 2: Teplotní odezva

40 / 40

Děkuji za pozornost

jiri.chlouba@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek

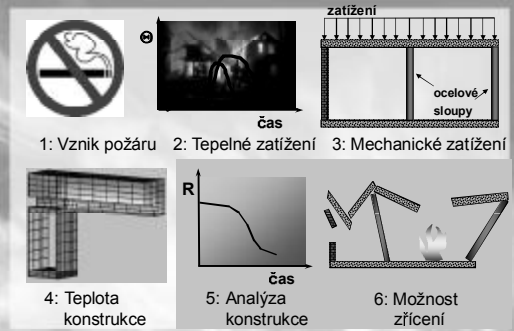


Část 2: Teplotní odezva



Část 3: Analýza konstrukce

Požární odolnost – řetěz událostí



Část 3: Analýza konstrukce

1 / 44

Chování konstrukce při požáru

- Zvýšení teploty → teplotní roztažnost + snížení tuhosti a únosnosti → zvětšení deformací ⇒ možnost zřícení



t = 0 θ = 20°C



16 min θ = 620°C



22 min θ = 720°C



31 min θ = 850°C

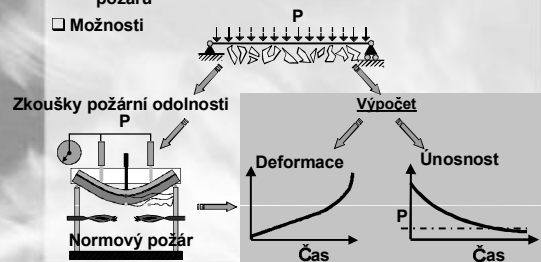


Část 3: Analýza konstrukce

2 / 44

Předpověď chování konstrukce při požáru

- Cíl
 - popis chování konstrukce při libovolném průběhu požáru
- Možnosti



Část 3: Analýza konstrukce

3 / 44

Hlavní kroky při analýze konstrukce při požáru

- Mechanické zatížení konstrukce při požáru
 - mimofádná kombinace zatížení
- Mechanické vlastnosti konstrukčních materiálů při vysokých teplotách
 - modul pružnosti a pevnost závisí na teplotě
- Metody pro analýzu konstrukce při požáru
 - různé metody
 - oblasti použití
- Specifika pro požární odolnost ocelových a spřažených konstrukcí
 - připoje, styčníky, apod.



Část 3: Analýza konstrukce

4 / 44

Mechanické zatížení – kombinace zatížení podle Eurokódu (ČSN EN 1990 a ČSN EN1991-1-2)

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + (\Psi_{1,1} \text{ nebo } \Psi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum_{i \geq 2} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$G_{k,j}$: charakteristické hodnoty stálého zatížení

$Q_{k,1}$: charakteristická hodnota dominantního nahodilého zatížení

$Q_{k,i}$: charakteristické hodnoty ostatních nahodilých zatížení

$\Psi_{1,1}$: součinitel kombinace pro častou kombinaci zatížení (pro dominantní nahodilé zatížení)

$\Psi_{2,i}$: součinitel kombinace pro kvazistálou kombinaci zatížení (pro ostatní nahodilá zatížení)

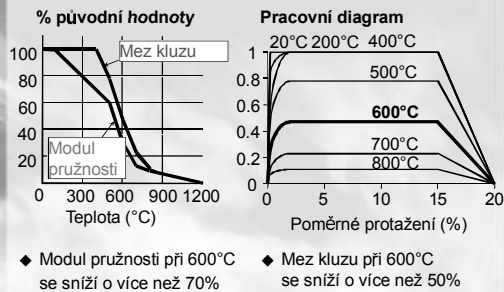
→ redukční součinitel zatížení: $\eta_{fi,t}$ (viz WP1)



Část 3: Analýza konstrukce

5 / 44

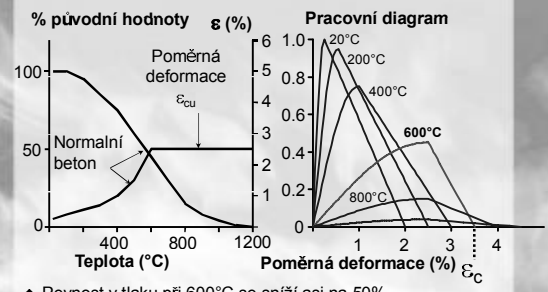
Mechanické vlastnosti oceli při vysokých teplotách (ČSN EN 1993-1-2)



Část 3: Analýza konstrukce

6 / 44

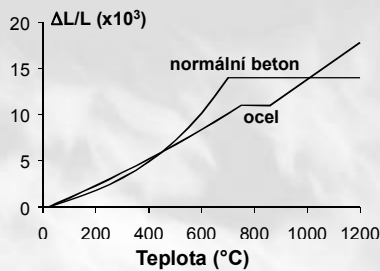
Mechanické vlastnosti betonu při vysokých teplotách (ČSN EN 1994-1-2)



Část 3: Analýza konstrukce

7 / 44

Teplotní roztažnost oceli a betonu (ČSN EN 1993-1-2 a ČSN EN 1994-1-2)



Část 3: Analýza konstrukce

8 / 44

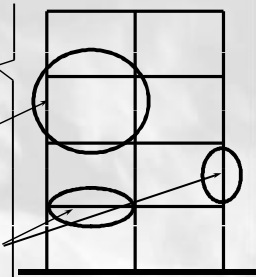
Různé přístupy k analýze konstrukce při požáru

LTřetí postupy uplatněné v Eurokódech

analýza konstrukce

analýza části konstrukce

analýza jednotlivých prvků
(používána především pro určení normové požární odolnosti)



Část 3: Analýza konstrukce

9 / 44

Různé přístupy k analýze konstrukce při požáru

Analýza prvků	Analýza konstrukce
<ul style="list-style-type: none"> ➤ analýza jednotlivých konstrukčních prvků ➤ jednoduchá ➤ zpravidla pro určení normové požární odolnosti 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ zohledňuje spolupůsobení jednotlivých konstrukčních prvků ➤ poloha požárního úseku ➤ celistvost konstrukce



Část 3: Analýza konstrukce

10 / 44

Tři úrovně návrhových modelů konstrukce při požáru

- Tabulky
 - ocelobetonové prvky
- Jednoduché návrhové modely
 - kritická teplota
 - ocelové a ocelobetonové prvky

Tradiční přístup

- Zdokonalené návrhové modely
 - všechny typy konstrukcí
 - modely založené na:
 - metodě konečných prvků
 - metodě konečných diferencí

Moderní metody navrhování



Část 3: Analýza konstrukce

11 / 44

Použití jednotlivých návrhových metod pro posouzení konstrukce při požáru

Teplotní analýza: nominální teplotní křivky



Analýza	Tabulky	Jednoduché návrhové modely	Zdokonalené návrhové modely
Analýza jednotlivých prvků	Ano ISO-834 normová křivka	Ano	Ano
Analýza částí konstrukce	Ne	Ano (pokud lze)	Ano
Analýza konstrukce	Ne	Ne	Ano

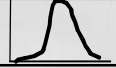


Část 3: Analýza konstrukce

12 / 44

Použití jednotlivých návrhových metod pro posouzení konstrukce při požáru

Teplotní analýza: model přirozeného požáru



Analýza	Tabulky	Jednoduché návrhové modely	Zdokonalené návrhové modely
Analýza jednotlivých prvků	Ne	Ano (pokud lze)	Ano
Analýza částí konstrukce	Ne	Ne	Ano
Analýza konstrukce	Ne	Ne	Ano



Část 3: Analýza konstrukce

13 / 44

Tabulky (ocelobetonové konstrukce)

Ocelobetonové nosníky	Ocelobetonové sloupy	



Část 3: Analýza konstrukce

14 / 44

Tabulky – důležité parametry (ocelobetonové sloupy – ČSN EN 1994-1-2)

	Normová požární odolnost			
	R30	R60	R90	R120
Minimální poměr tloušťky stěny a pásky e_s/e_c	0,5			
1 Minimální rozměr průřezu pro součinitel zatížení $\eta_{fi,t} \leq 0,28$	-			
1.1 minimální rozměry h a b [mm]	160	200	300	400
1.2 minimální osová vzdálenost výztuže u_s [mm]	50	50	50	70
1.3 minimální procento vyztužení $A_s/(A_c+A_s)$ [%]	4	4	3	4
2 Minimální rozměry průřezu pro součinitel zatížení $\eta_{fi,t} \leq 0,47$	-			
2.1 minimální rozměry h a b [mm]	160	300	400	-
2.2 minimální osová vzdálenost výztuže u_s [mm]	50	70	70	-
2.3 minimální procento vyztužení $A_s/(A_c+A_s)$ [%]	4	4	4	-
3 Minimální rozměry průřezu pro součinitel zatížení $\eta_{fi,t} \leq 0,66$	-			
3.1 minimální rozměry h a b [mm]	160	400	400	-
3.2 minimální osová vzdálenost výztuže u_s [mm]	40	70	4	-
3.3 minimální procento vyztužení $A_s/(A_c+A_s)$ [%]	4	4	4	-

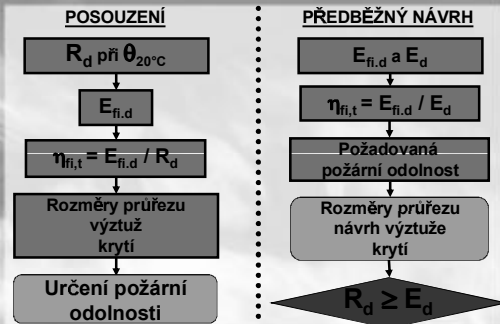
Normová požární odolnost
Zatížení
Rozměry průřezu
Výztuž
Krytí



Část 3: Analýza konstrukce

15 / 44

Použití tabulek při požárním návrhu (dvě odlišné situace)



Část 3: Analýza konstrukce

16 / 44

Jednoduché návrhové modely (ocelové a ocelobetonové konstrukce)

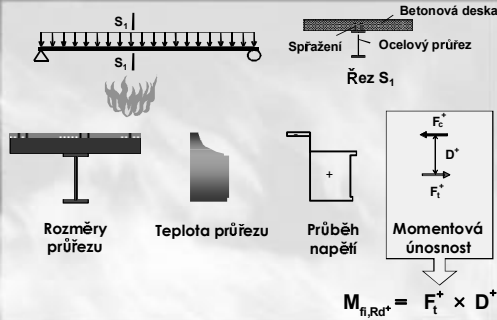
Nosníky (ocelové, ocelobetonové)	Sloupy



Část 3: Analýza konstrukce

17 / 44

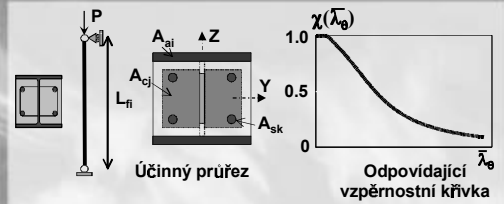
Jednoduchý návrhový model (ocelobetonový nosník) – plastický moment únosnosti



Část 3: Analýza konstrukce

18 / 44

Jednoduchý návrhový model (ocelobetonový sloup) – únosnost ve vzpěrném tlaku



$$\text{Únosnost: } N_{fi,Rd} = \chi(\lambda_\theta) N_{fi,pl,Rd}$$

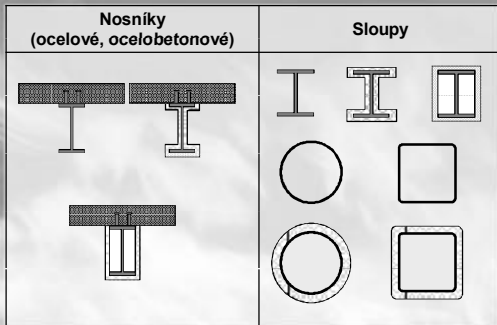
$\chi(\lambda_\theta)$ ← únosnost a tuhost účinného průřezu + vzpěrná délka sloupu L_{fi}



Část 3: Analýza konstrukce

19 / 44

Kritická teplota (jen pro ocelové a některé ocelobetonové prvky)



Část 3: Analýza konstrukce

20 / 44

Kritická teplota

Podle jednoduchých návrhových modelů použitých pro prvek s rovnoměrným rozložením teploty po průřezu platí:
 $R_{fi,d,t} = k_{y,\theta} R_{fi,d,0}$

Současně, pro únosnost platí:

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d} = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}} R_{fi,d,0} = \mu_0 R_{fi,d,0} \Rightarrow k_{y,\theta} \geq \mu_0$$

Když $k_{y,\theta} = \mu_0$, odpovídající teplota je tzv. kritická teplota průřezu θ_{cr}

V normě ČSN EN 1993-1-2 je použit jednoduchý výraz pro výpočet kritické teploty průřezu θ_{cr}

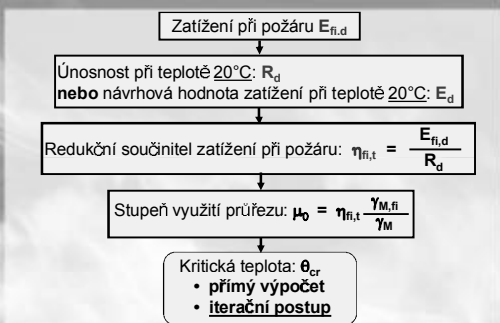
$$\theta_{cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482$$



Část 3: Analýza konstrukce

21 / 44

Použití kritické teploty při požárním návrhu



Část 3: Analýza konstrukce

22 / 45

Iterační postup pro určení kritické teploty (návrh ocelového sloupu)

Krátký sloup zatížený prostým tlakem → $N_{b,fi,t,Rd} = A k_{y,\theta_{max}} f_y \frac{1}{\gamma_{M,fi}}$

Redukční součinitel meze kluzu $k_{y,\theta_{max}}$ pro teplotu $\theta_{a,max}$

Sloup zatížený vzpěrným tlakem → $N_{b,fi,t,Rd} = \chi(\lambda_\theta) A k_{y,\theta_{max}} f_y \frac{1}{\gamma_{M,fi}}$

Vzpěrnostní součinitel $\chi(\lambda_\theta)$ závisí na:

- únosnosti
- tuhosti (modulu pružnosti)

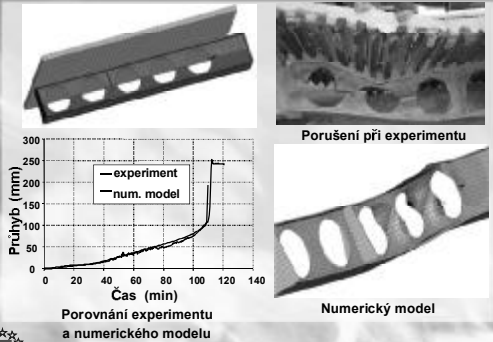
V případě stabilitních jevů je pro určení kritické teploty $\theta_{a,max}$ třeba použít jednoduchý iterační postup



Část 3: Analýza konstrukce

23 / 44

Zdokonalené návrhové modely (prolamovaný ocelobetonový nosník)



Část 3: Analýza konstrukce

24 / 44

Analýza konstrukce při požáru

Obecná pravidla

- nutnost použití pokročilého návrhového modelu
- výběr vhodného modelu
- okrajové podmínky
- zatížení
- vhodné materiálové modely
- okrajové podmínky vzhledem k částem konstrukce, které nejsou modelovány
- zhodnocení výsledků, posouzení únosnosti
- zohlednění vlivů, které nebyly zahrnuty do modelu (shoda modelu a konstrukčního řešení – přípoje, atd.)



Část 3: Analýza konstrukce

25 / 44

Zdokonalený model při požárním návrhu

Pravidla pro použití zdokonaleného návrhového modelu

- požadavky na model materiálu
 - úplný pracovní diagram
 - kinematický model
 - vlastnosti při chlazení
- přírůstkové řešení, iterační postup
- kontrola způsobů porušení nezohledněných v numerickém modelu
 - porušení v důsledku nadměrné deformace ocelových prvků
 - trhliny v betonu



Část 3: Analýza konstrukce

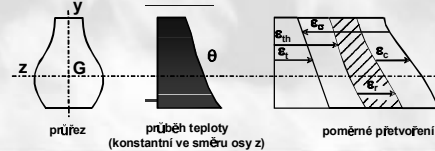
26 / 44

Požadavky na model materiálu

složky poměrných přetvoření

$$\epsilon_t = \epsilon_{th} + (\epsilon_\sigma + \epsilon_c) + \epsilon_r$$

- ϵ_t : celkové poměrné přetvoření
- ϵ_{th} : poměrné přetvoření od teploty
- ϵ_σ : poměrné přetvoření od zatížení
- ϵ_r : poměrné přetvoření od reziduálních napětí (pokud existují)
- ϵ_c : poměrné přetvoření od dotvarování



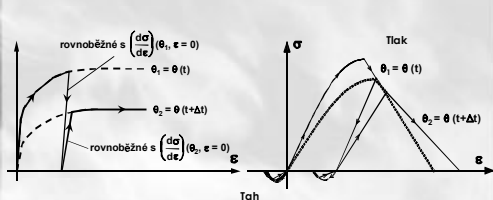
Část 3: Analýza konstrukce

27 / 44

Požadavky na model materiálu

kinematický model materiálu

Ocel (izotropní materiál) Beton (anizotropní materiál)



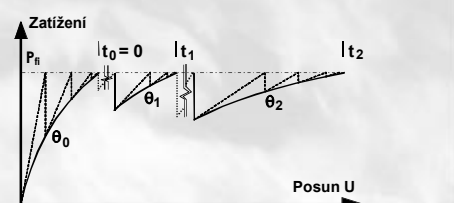
Část 3: Analýza konstrukce

28 / 44

Přírůstkové řešení, iterace

- Při výpočtu je třeba zohlednit závislost únosnosti i tuhosti konstrukce na teplotě

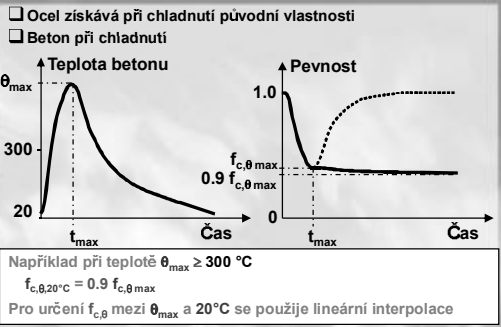
$t_0 = 0 \quad \theta_0 = 20^\circ\text{C} \quad t_1 = 20 \text{ min} \quad \theta_1 = 710^\circ\text{C} \quad t_2 = 27 \text{ min} \quad \theta_2 = 760^\circ\text{C}$



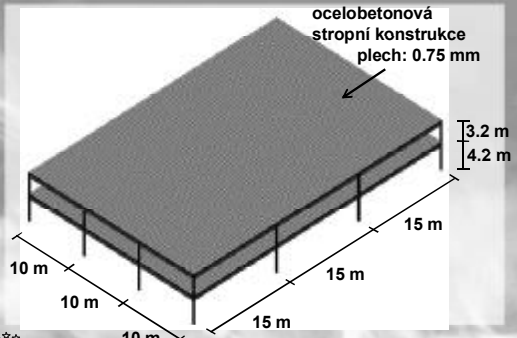
Část 3: Analýza konstrukce

29 / 44

Vlastnosti materiálu při chladnutí



Analýza ocelobetonové konstrukce při lokalizovaném požáru

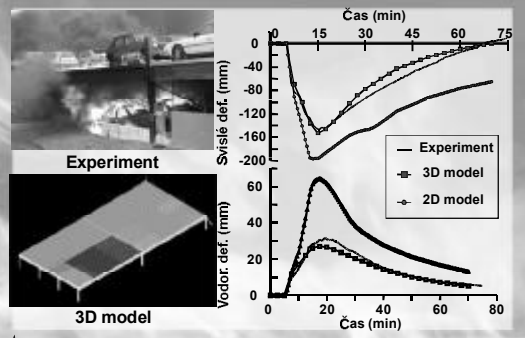


Výběr modelu

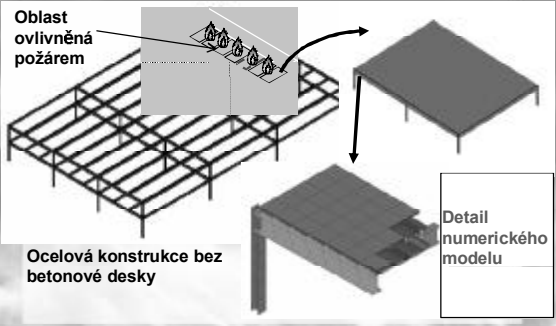
- Lze použít dva způsoby modelování
- 2D ocelobetonový rám (prutové prvky)
 - membránové působení je omezeno pouze na jeden směr
 - přerozdělování zatížení mezi sousedními nosníky není možné
 - 3D ocelobetonová konstrukce (různé typy prvků)
 - membránové působení v celé stropní konstrukci
 - přerozdělování zatížení je možné při použití skořepinových prvků
- 3D model ocelobetonové konstrukce lépe odpovídá skutečnému chování



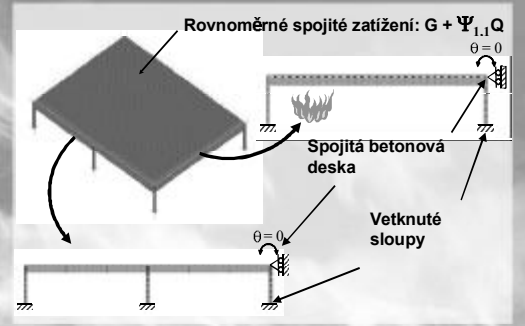
Porovnání modelů s experimentem



3D model ocelobetonové konstrukce

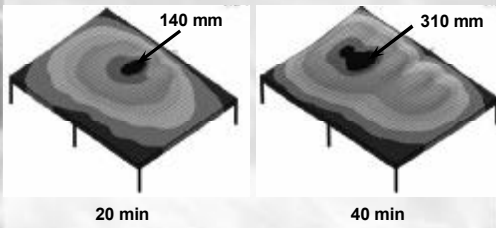


Mechanické zatížení a okrajové podmínky



Chování konstrukce při požáru

Průhyb stropní konstrukce

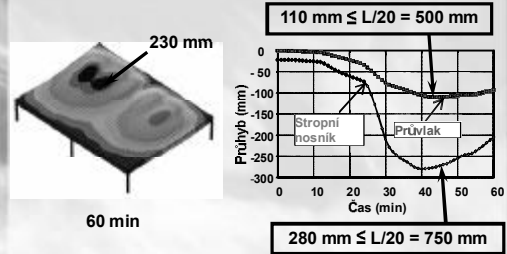


Část 3: Analýza konstrukce

36 / 44

Chování konstrukce při požáru

Kontrola maximálních povolených průhybů

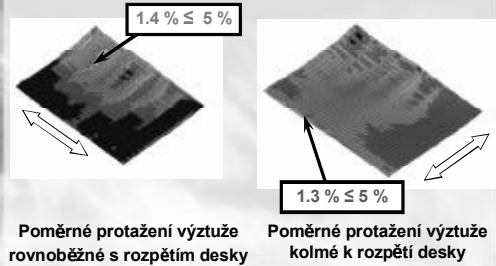


Část 3: Analýza konstrukce

37 / 44

Chování konstrukce při požáru

Kontrola maximálního protažení výztuže



Poměrné protažení výztuže rovnoběžné s rozpětím desky

Poměrné protažení výztuže kolmé k rozpětí desky

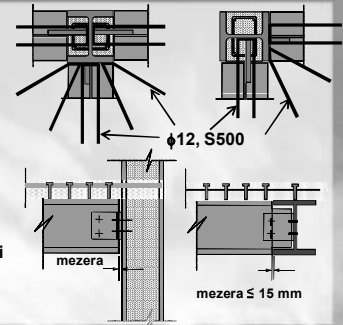


Část 3: Analýza konstrukce

38 / 44

Konstrukční řešení musí odpovídat návrhovému modelu

Připojení výztuže desky ke krajním sloupům



Maximální mezera mezi nosníkem a sloupem a mezi spodními pásnicemi nosníků je 15 mm



Část 3: Analýza konstrukce

39 / 44

Skutečná konstrukce s nechráněnými nosníky , návrh pomocí pokročilého modelu



Část 3: Analýza konstrukce

40 / 44

Konstrukční řešení ve vztahu k požární odolnosti konstrukce

- Konstrukční řešení
 - Řešení styčniců (ocelových a ocelobetonových)
 - Spojení oceli a betonu
 - Spřažení
 - Výztuž
- Chování konstrukce při chladnutí
 - Styčniců



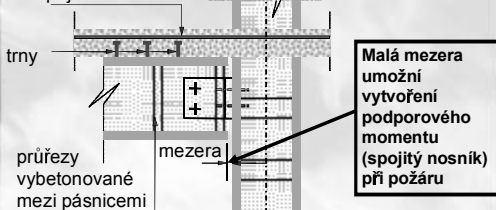
Část 3: Analýza konstrukce

41 / 44

Konstrukční řešení umožňující vznik spojitého nosníku při požáru (ČSN EN 1994-1-2)

□ Příklad řešení styčnicku

výztuž pro přenesení tahových napětí na spojitý nosník

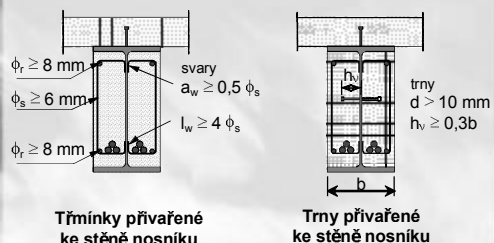


Část 3: Analýza konstrukce

42 / 44

Konstrukční řešení pro spojení mezi nosníkem a betonem (ČSN EN 1994-1-2)

□ Spojení mezi ocelovým nosníkem a betonem



Část 3: Analýza konstrukce

43 / 44

Národní přílohy k ČSN EN 1993-1-2 a ČSN EN 1994-1-2

ČSN EN 1993-1-2 (ocelové konstrukce)

- Umožňuje volbu parametrů v 6 odstavcích
- Přejímá hodnoty z EN 1993-1-2 beze změny
- Vyjimkou je kritická teplota tenkostěnných konstrukcí
 - ohýbané prvky: $\theta_{cr} = 500^\circ\text{C}$
 - tlačené prvky: $\theta_{cr} = 450^\circ\text{C}$
- Navíc: kritická teplota požárně odolné oceli FRS 275 N (tab. 2.1)
- kritická teplota za studena tvarovaných tažených prvků (tab. 2.2)

ČSN EN 1994-1-2 (ocelobetonové konstrukce)

- Umožňuje volbu parametrů v 8 odstavcích
- Přejímá původní hodnoty
- Použití evropského softwaru je možné bez úprav



Část 3: Analýza konstrukce

44 / 44

Děkuji za pozornost

sokol@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek

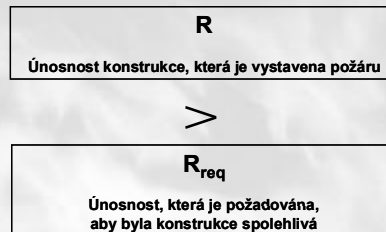


Část 3: Analýza konstrukce

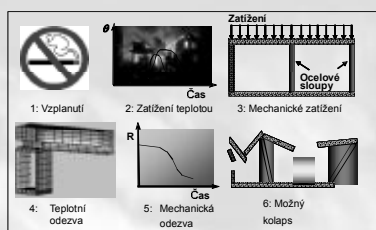


Část 4
PROGRAMY PRO POŽÁRNÍ NÁVRH

Cíle požárního návrhu



R → Postup událostí během požáru



Metodika výpočtu v Eurokódech



R_{req} → Požadavky na spolehlivost

$R_{required}$: "R" požaduje se aby byla nosná funkce konstrukce zachována během požadovanému vystavení požáru

Řešení předpisy:
Požadavky předpisy

Řešení popisem chování:
Požární inženýrství



Programy na požární návrh - klasifikace

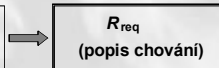
Skupiny programů pro požární návrh podle oblastí použití:

- Teplotní modely požáru
- Modely požární odolnosti



R

- Modely úniku
- Modely odezvy čidel
- Ostatní modely



R_{req}
(popis chování)



TEPLOTNÍ MODELY POŽÁRU



Teplotní modely požáru

Teplotní modely požáru		
Nominální teplotní křivky (Předpisy)	Normová teplotní křivka	
	Křivka vnějšího požáru	
	Uhlovodíková křivka	
Přirozené modely požáru (Požární inženýrství)	Jednoduché modely	Prostorový požár
		Lokalizovaný pož.
	Pokročilé modely	Zónové modely
		Dynam. modely



Část 4: Programy pro požární návrh

6 / 54

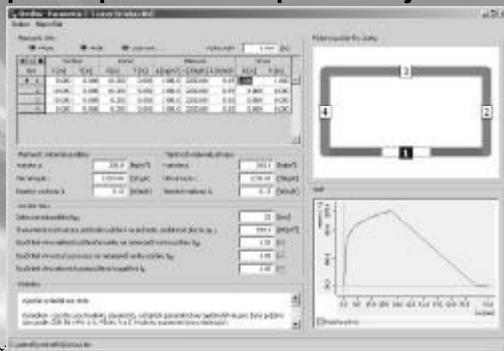
PARAMETRICKÁ TEPLOTNÍ KŘIVKA



Část 4: Programy pro požární návrh

7 / 54

Výpočet teploty v požárním úseku pomocí parametrické teplotní křivky



Část 4: Programy pro požární návrh

8 / 54

ZÓNOVÉ MODELY

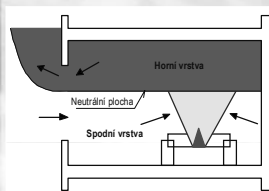


Část 4: Programy pro požární návrh

9 / 54

Zónové modely

- **Dvouzónové modely**
požární úsek je dělen na dvě zóny (teplou a studenou), které mají homogenní vlastnosti
- **Jednozónové modely**
celý požární úsek je jedna zóna



- Modely s jednou místností
- Modely pro více místností

Řešené rovnice
- Rovnováha hmoty
- Rovnováha energie



Část 4: Programy pro požární návrh

10 / 54

Zónový model - Ozone

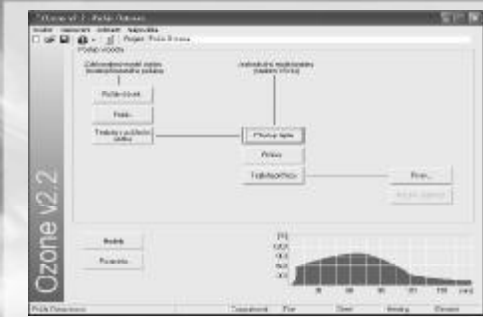
Všeobecný popis programu			
Název	OZone		
Verze	2.2.2	Rok	2002
Země	Lucembursko	Jazyk	Anglicky
Systém	Windows	Velikost	5 MB
Autoři	J. F. Cadorin, J. M. Franssen (Uni. Liège) L.G. Caiot, M. Haller, J.B. Schleich		
Organizace	Arcelor I CS Research Centre		
Oblast použití	Teplotní model za požáru - zónový		
Jak získat	Volně – www.ulg.ac.be Volně – www.sections.arcelor.com		
Kontakt	Arcelor ASC: asc.tecom@arcelor.com		
Formulace	Rovnice rovnováhy hmoty a tepla		
Krátký popis	Model předpovídá požární zatížení při daném požáru. Zjednodušený přestup tepla do prvků a doba do kolapsu podle EN 1993-1-2.		



Část 4: Programy pro požární návrh

11 / 54

Ozone – hlavní menu



Část 4: Programy pro požární návrh

12 / 54

Ozone – řešený příklad

Scénář: požár na třetím podlaží v restauraci
 Návrhový požár: plně rozvinutý požár - t_{30} pro rozvoj požáru
 Cíl: požární odolnost ocelového nosníku
 Požadavek R90
 Požární úsek



Část 4: Programy pro požární návrh

13 / 54

Ozone – vstupní data požární zatížení



Část 4: Programy pro požární návrh

14 / 54

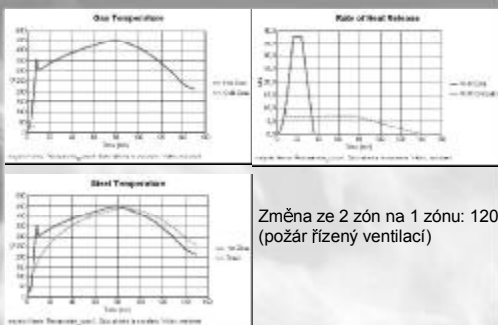
Ozone – vstupní data kritéria pro změnu z jedné na dvě zóny



Část 4: Programy pro požární návrh

15 / 54

Ozone - výstupy



Část 4: Programy pro požární návrh

16 / 54

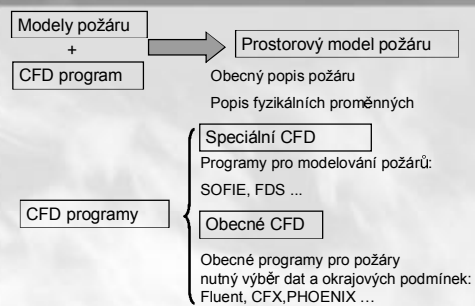
PROSTOROVÉ MODELY



Část 4: Programy pro požární návrh

17 / 54

Prostorové modely



Část 4: Programy pro požární návrh

18 / 54

Prostorové modely - Fluent

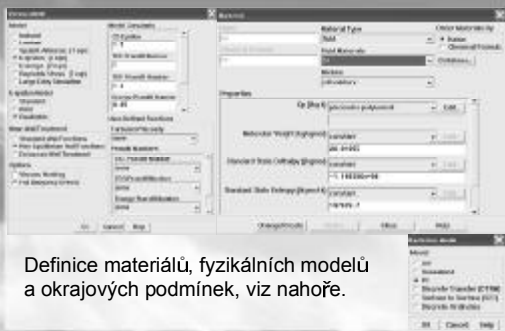
Všeobecný popis programu			
Název	Fluent		
Verze	6.1.22	Rok	2004
Země	USA	Jazyk	Anglicky
Systém	Windows/UNIX		
Autoř	Fluent Inc.		
Organizace	Teplotní model požáru - prostorový		
Oblast použití	Komerční program		
Jak získat	www.fluent.com		
Kontakt	Založen na výpočtu rovnováhy hmoty a tepla.		
Formulace	Obecný program CFD		
Krátký popis			



Část 4: Programy pro požární návrh

19 / 54

Fluent - vstupy



Definice materiálů, fyzikálních modelů a okrajových podmínek, viz nahoře.



Část 4: Programy pro požární návrh

20 / 54

Fluent - výstupy

- Uživatelsky vstřícné vstupy a výstupy
- Předpokládá se dobrá znalost požárního návrhu a CFD

Příklady výstupů

Koef. koncentrace CO

Hodnoty radiace

Teploty oceli



Část 4: Programy pro požární návrh

21 / 54

MODELY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI



Část 4: Programy pro požární návrh

22 / 54

Modely požární odolnosti

	Postup návrhu	Tabulky	Jednoduché metody	Pokročilé metody	
Návrh předpisem	Analyza po prvcích	Výpočet mechanického zatížení a reakcí	Ano	Ano	Ano
	Analyza části konstrukce		Ne	Ano, pokud jsou dostupné	Ano
	Analyza celé konstrukce	Výběr mechanického zatížení	Ne	Ne	Ano
Návrh popisem chování	Analyza po prvcích	Výpočet mechanického zatížení a reakcí	Ne	Ano, pokud jsou dostupné	Ano
	Analyza části konstrukce		Ne	Ne	Ano
	Analyza celé konstrukce	Výběr mechanického zatížení	Ne	Ne	Ano



Část 4: Programy pro požární návrh

23 / 54

JEDNODUCHÉ MODELY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI



Část 4: Programy pro požární návrh

24 / 54

Jednoduchý model požární odolnosti

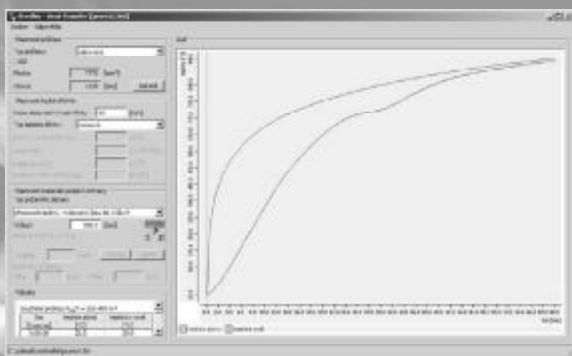
Všeobecný popis programu			
Název	Výpočet teploty průřezu		
Verze	1	Rok	2007
Země	ČR	Jazyk	Česky
System	Windows	Velikost	16 MB
Autoři	Z. Sokol, J. Starý		
Organizace	ČVUT v Praze, FINE a.s.		
Oblast použití	Model požární odolnosti - jednoduchý		
Jak získat	Zdarma – www.access-steel.cz		
Kontakt	ČVUT v Praze www.fine.cz		
Formulace	Založen na EN 1993-1-2		
Krátký popis	Výpočet teploty průřezů pomocí přírůstkové metody		



Část 4: Programy pro požární návrh

25 / 54

Výpočet teploty průřezu



Část 4: Programy pro požární návrh

26 / 54

Jednoduchý model požární odolnosti

Všeobecný popis programu			
Název	Výpočet požární odolnosti průřezu		
Verze	1	Rok	2007
Země	ČR	Jazyk	Česky
System	Windows	Velikost	16 MB
Autoři	Z. Sokol, J. Starý		
Organizace	ČVUT v Praze, FINE a.s.		
Oblast použití	Model požární odolnosti - jednoduchý		
Jak získat	Zdarma – www.access-steel.cz		
Kontakt	ČVUT v Praze www.fine.cz		
Formulace	Založen na EN 1993-1-2		
Krátký popis	Výpočet odolnosti profilu pomocí vztahů v ČSN EN 1993-1-2		



Část 4: Programy pro požární návrh

27 / 54

Výpočet požární odolnosti průřezu



Část 4: Programy pro požární návrh

28 / 54

Jednoduchý program pro požární odolnost ocelobetonového sloupu - AFCC

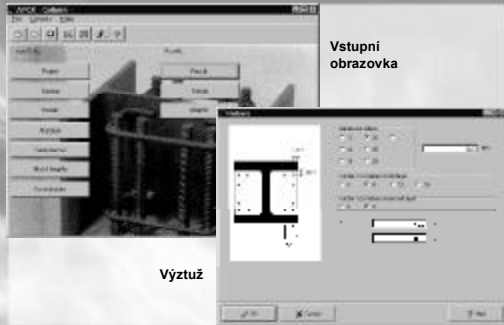
Všeobecný popis programu			
Název	AFCC		
Verze	3.06	Rok	2004
Země	Lucembursko	Jazyk	Anglicky
System	Windows	Velikost	2.5 MB
Autoři	H. Colbach		
Organizace	Arcelor LCS Research Centre		
Oblast použití	Zjednodušený model požární odolnosti		
Jak získat	Zdarma – www.sections.arcelor.com		
Kontakt	Arcelor ASC; asc.tecom@arcelor.com		
Formulace	Založen na EN 1994-1-2		
Krátký popis	Požární návrh ocelobetonových sloupů		



Část 4: Programy pro požární návrh

29 / 54

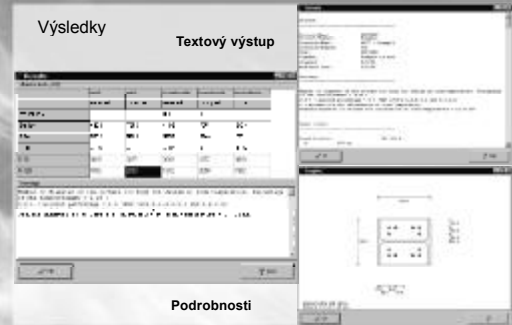
AFCC – hlavní menu a vstupy



Část 4: Programy pro požární návrh

30 / 54

AFCC - výstupy



Část 4: Programy pro požární návrh

31 / 54

Jednoduchý model požární odolnosti - AFCB

Všeobecný popis programu			
Název	AFCB		
Verze	3.07	Rok	2004
Země	Lucembursko	Jazyk	Anglicky
System	Windows	Velikost	3 MB
Autoř	H. Colbach		
Organizace	Arcelor LCS Research Centre		
Oblast použití	Jednoduchý požární návrh		
Jak získat	Zdarma - www.sections.arcelor.com		
Kontakt	Arcelor ASC: asc.tecom@arcelor.com		
Formulace	Založen na EN 1994-1-2		
Krátký popis	Požární návrh ocelobetonových nosníků		



Část 4: Programy pro požární návrh

32 / 54

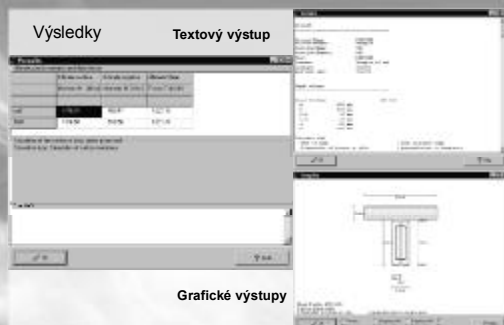
AFCB – hlavní menu a vstupy



Část 4: Programy pro požární návrh

33 / 54

AFCB - výstupy



Část 4: Programy pro požární návrh

34 / 54

POKROČILÉ MODELY POŽÁRNÍ ODOLNOSTI

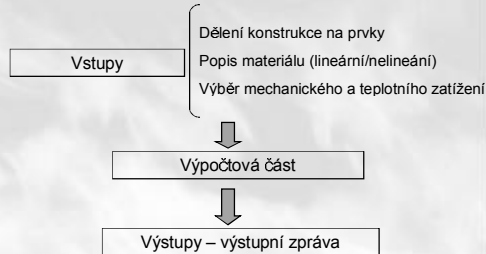


Část 4: Programy pro požární návrh

35 / 54

Pokročilé výpočtové modely

Tři části výpočtu při použití pokročilých výpočtových modelů



Část 4: Programy pro požární návrh

36 / 54

Pokročilý výpočtový model - Safir

Všeobecný popis programu			
Název	Safir		
Verze	9.8	Rok	2002
Země	Belgie	Jazyk	Anglicky
Systém	Fortran/Visual Basic	Velikost	3,4 MB
Autoři	J. M. Franssen		
Organizace	University of Liège		
Oblast použití	Pokročilý požární model		
Jak získat	Komerční program		
Kontakt	JM.Franssen@ulg.ac.be		
Formulace	Metoda konečných prvků		
Krátký popis	Program pro návrh konstrukcí při požáru metodou konečných prvků.		



Část 4: Programy pro požární návrh

37 / 54

Pokročilý výpočtový model - ANSYS

Všeobecný popis programu			
Název	ANSYS		
Verze	8.1	Rok	2003
Země	USA/VB	Jazyk	Anglicky
Systém	----	Velikost	----
Autoři	----		
Organizace	ANSYS Inc.		
Oblast použití	Pokročilý model požární odolnosti		
Jak získat	Komerční program		
Kontakt	Ansys – www.ansys.com		
Formulace	Metoda konečných prvků		
Krátký popis	Obecný program na návrh konstrukcí		



Část 4: Programy pro požární návrh

38 / 54

Pokročilý výpočtový model - Abaqus

Všeobecný popis programu			
Název	Abaqus		
Verze	6.3	Rok	2003
Země	USA	Jazyk	Anglicky
Systém	MS-DOS	Velikost	----
Autoři	Hibbitt, Karlsson a Sorensen		
Organizace	ABAQUS Inc.		
Oblast použití	Pokročilý model požární odolnosti		
Jak získat	Komerční program		
Kontakt	Abaqus – www.abaqus.com		
Formulace	Metoda konečných prvků		
Krátký popis	Program pro obecný návrh konstrukcí		



Část 4: Programy pro požární návrh

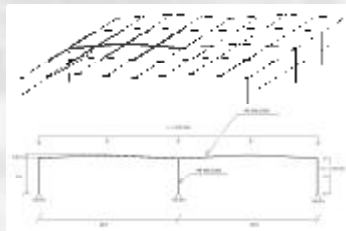
39 / 54

SAFIR/ANSYS/ABAQUS – případová studie

Scénář: požár v průmyslové hale

Požární křivka: nominální normová křivka

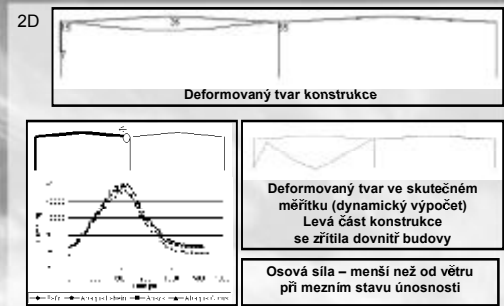
Cíl: definice požární odolnosti konstrukce a vliv požárem zasažené části na nezasaženou konstrukci



Část 4: Programy pro požární návrh

40 / 54

SAFIR/ANSYS/ABAQUS - případová studie



Část 4: Programy pro požární návrh

41 / 54

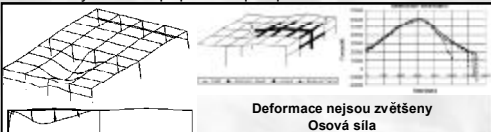
SAFIR/ANSYS/ABAQUS - případová studie

Prostorový model – případ uvolnění vaznic



Deformace zvětšeny 10 x – vaznice zajišťují rám vystavený požáru

Prostorový model – případ se spolupůsobením vaznic



Deformace nejsou zvětšeny
Osová síla

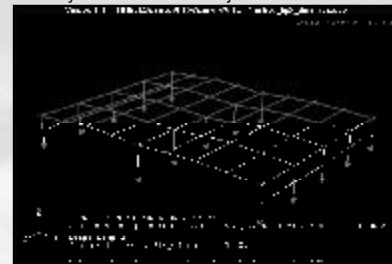


Část 4: Programy pro požární návrh

42 / 54

SAFIR/ANSYS/ABAQUS - případová studie

Prostorový model – s více než jedním rámem bez vaznic



Dynamická analýza umožňuje předpovědět kolaps



Část 4: Programy pro požární návrh

43 / 54

MODELY ÚNIKU A ODEZVY ČIDEL



Část 4: Programy pro požární návrh

44 / 54

Modely úniku - Exodus

Všeobecný popis programu			
Název	Exodus		
Verze	4.0	Rok	2004
Země	VB	Jazyk	Anglicky
Systém	Windows	Velikost	----
Autoři	E. Galea, St. Gwyne, S. Blake a L. Filippidis		
Organizace	University of Greenwich		
Oblast použití	Model úniku		
Jak získat	Komerční – www.fseg.gre.ac.uk		
Kontakt	E.R.Galea@greenwich.ac.uk		
Formulace	----		
Krátký popis	Model úniku, který je založený na chování osob		



Část 4: Programy pro požární návrh

45 / 54

EXODUS – úroveň bezpečnosti při evakuaci

- Simulace dovoluje uživateli určit úroveň bezpečnosti při evakuaci



Část 4: Programy pro požární návrh

46 / 54

EXODUS – grafický model úniku

Výsledky:

Simulace v postprocesoru VR-EXODUS



Část 4: Programy pro požární návrh

47 / 54

Model odezvy detektorů - Jet

Všeobecný popis programu			
Název	Jet		
Verze	1.0	Rok	1999
Země	U.S.A	Jazyk	Anglicky
Systém	Windows	Velikost	4 MB
Autoři	W. D. Davids		
Organizace	NIST (National Institute of Standards and Technology)		
Oblast použití	Model odezvy čidel		
Jak získat	Volně – www.fire.nist.gov		
Kontakt	NIST – www.fire.nist.gov		
Formulace	Zónový model program LAVENT Algoritmus na stanovení teploty plamenů a tloušťky vrstvy kouře		
Krátký popis	Reakce sprinklerů, doba aktivace		



Část 4: Programy pro požární návrh

48 / 54

Jet – hlavní menu a vstupní data



Část 4: Programy pro požární návrh

49 / 54

PROGRAMY V ČEŠTINĚ



Část 4: Programy pro požární návrh

50 / 54

Programy v češtině

Volně dostupné programy www.access-steel.cz

- **Výpočet teploty v požárním úseku**
teplota plynů je stanovena parametrickou teplotní křivkou
- **Přestup tepla do chráněného a nechráněného prvku**
teplota konstrukce je stanovena přírůstkovou metodou
- **Posudek požární odolnosti prvku**
prvek je posouzen podle EN 1993-1-2

Komerční programy

- **Fin 10 - Ocel Požár** www.fine.cz



Část 4: Programy pro požární návrh

51 / 54

Program Fin10 - Ocel Požár - vstupy



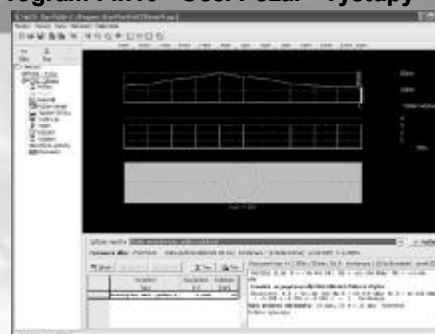
Zadávání protipožární ochrany



Část 4: Programy pro požární návrh

52 / 54

Program Fin10 - Ocel Požár - výstupy



Výstup - požární odolnost



Část 4: Programy pro požární návrh

53 / 54

Část 5.1 Prostorový požár

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Cílem je stanovit teplotu plynů plně rozvinutého požáru v kanceláři. Pro analýzu se použije prostor “fiktivní kanceláře” v Cardingtonu. Na této kanceláři proběhla požární zkouška. Průběh teploty, který byl změřen během testu je na obrázku č. 3, takže výsledek výpočtu lze porovnat s měřením.

Pro výpočet teploty plynů se použije model přirozeného požáru. Pro plně rozvinutý požár lze použít metodu prostorového požáru úseku. Zjednodušená výpočetní metoda pro určení parametrické teplotní křivky je popsána v ČSN EN 1991-1-2 - Příloha A.



Obrázek 1. Hala v Cardingtonu (vlevo) a kancelář testu “fiktivní kanceláře” (vpravo)

Plocha podlah:	$A_f = 135 \text{ m}^2$
Celková plocha stěn	$A_t = 474 \text{ m}^2$
Celková plocha svislých otvorů:	$A_v = 27 \text{ m}^2$
Součinitel svislých otvorů:	$a_v = 0,2$
Součinitel vodorovných otvorů :	$a_h = 0,0$
Výška:	$H = 4,0 \text{ m}$
Průměrná výška oken:	$h_{eq} = 1,8 \text{ m}$ (předpoklad)
Lehký beton:	$\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$
	$c = 840 \text{ J/kgK}$
	$\lambda = 1,0 \text{ W/mK}$
Rychlost rozvoje požáru	střední

2 URČENÍ HUSTOTY POŽÁRNÍHO ZATÍŽENÍ

ČSN EN 1991-1-2

Příloha A normy ČSN EN 1991-1-2 nabízí výpočetní model pro určení hustoty požárního zatížení. Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení může být určena buď na základě národní požární klasifikace dle obsazenosti a/nebo na základě výpočtu určení požárního zatížení pro individuální objekt.

V tomto příkladě se použije druhý přístup.

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n$$

Příloha E.1

kde:

m je součinitel hoření,

δ_{q1} součinitel nebezpečí vzniku požáru podle velikosti požárního úseku,

δ_{q2} součinitel nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu,

δ_n součinitel aktivních protipožárních opatření.

Požární zatížení se sestává z 20 % z umělé hmoty, z 11 % z papíru a z 69 % ze dřeva. Převládají tedy buněčné materiály. Velikost součinitele hoření je dána hodnotou:

$$m = 0,8$$

Součinitel δ_{q1} zohledňuje vliv nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikosti požárního úseku. Hodnoty součinitele udává tabulka 1.

Tabulka 1. Součinitel nebezpečí vzniku požáru velikostí požárního úseku (viz ČSN EN 1991-1-2, Tabulka E.1)

	Podlahová plocha požárního úseku A_f [m ²]				
	≤ 25	≤ 250	≤ 2500	≤ 5000	≤ 10,000
Nebezpečí vzniku požáru δ_{q1}	1,10	1,50	1,90	2,00	2,13

$$\delta_{q1} = 1,5$$

Součinitel δ_{q2} zohledňuje vliv nebezpečí vzniku požáru v závislosti na druhu provozu. Jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2. Součinitel rizika nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu (viz ČSN EN 1991-1-2, Tabulka E.1)

Nebezpečí vzniku požáru δ_{q2}	Příklad provozu
0,78	galerie, muzea, bazény
1,00	kanceláře, byty, hotely, papírenský průmysl
1,22	výroba strojů a motorů
1,44	chemické laboratoře, lakovny
1,66	výrobní barev nebo pyrotechniky

$$\delta_{q2} = 1,0$$

Součinitel aktivních protipožárních opatření se spočte jako:

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni}$$

Hodnoty součinitelů δ_{ni} jsou v tabulce 3.

Tabulka 3. Součinitele δ_{ni} (viz ČSN EN 1991-1-2, Tabulka E.2)

Aktivní protipožární opatření			δ_{ni}	
Samočinné hasicí zařízení	Samočinné vodní hasicí zařízení	δ_{n1}	0,61	
	Nezávislé vodní zdroje	δ_{n2}	žádný	1,0
			jeden	0,87
			dva	0,7
Samočinné požární hlásiče	Elektrická požární signalizace	δ_{n3}	tepelná	0,87
	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce	δ_{n4}	kouřová	0,73
				0,87
	Závodní požární jednotka	δ_{n6}		0,61
	Veřejná požární jednotka	δ_{n7}		0,78
Manuální hašení požáru	Bezpečné přístupové cesty	δ_{n8}		0,9 nebo
				1,0 nebo
		Technické prostředky požární ochrany	δ_{n9}	
	Zařízení pro odvod kouře	δ_{n10}		1,0 or 1,5

$$\delta_n = 1,0 \cdot 0,73 \cdot 0,87 \cdot 0,78 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,50$$

Charakteristické požární zatížení je definováno jako:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{k,i} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i$$

kde

$M_{k,i}$ je hmotnost hořlavého materiálu [kg],

H_{ui} čistá výhřevnost materiálu [MJ/kg], viz ČSN EN 1991-1-2, tabulka E.3 a

ψ_i součinitel pro stanovení chráněného požárního zatížení.

Celková hmotnost požárního zatížení je rovna 46 kg dřeva/m². Vypočte se charakteristické požární zatížení:

$$Q_{fi,k} = (135 \cdot 46) \cdot 17,5 \cdot 1,0 = 108,675 \text{ MJ}$$

Dále charakteristická hustota požárního zatížení:

$$q_{f,k} = Q_{fi,k} / A_f = 108,675 / 135 = 805 \text{ MJ/m}^2$$

A návrhová hustota požárního zatížení je:

$$q_{f,d} = 805 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \\ = 483,0 \text{ MJ/m}^2$$

3 VÝPOČET PARAMETRICKÉ TEPLONÍ KŘIVKY

Musí se určit, zda plně rozvinutý požár je řízen ventilací nebo palivem. Rozhodující je součinitel otvorů a návrhová hodnota hustoty požárního zatížení vztahovaná k celkové ploše.

$$O = \sqrt{h_{eq}} \cdot A_v / A_t = \sqrt{1,8} \cdot 27 / 474 = 0,076 \text{ m}^{1/2} \begin{cases} \geq 0,02 \\ \leq 0,2 \end{cases}$$

a

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t = 483,0 \cdot 135 / 474 = 137,6 \text{ MJ/m}^2$$

Příloha E.2

Příloha A

Určí se rozhodující faktor při řízení požáru:

$$0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 137,6 / 0,076 = 0,362 \text{ h} > t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h}$$

⇒ Požár je řízen ventilací.

Pro výpočet parametrické teplotní křivky ve fázi ohřívání a chladnutí se musí určit součinitel b . Tento součinitel zohledňuje vliv teplotní pohltivosti ohraničujících konstrukcí. Hustota, tepelná vodivost a měrná tepelná kapacita ohraničující konstrukce se uvažuje při pokojové teplotě. Strop, podlaha i stěny jsou z lehkého betonu:

$$b = \sqrt{\rho \cdot c \cdot \lambda} = \sqrt{1900 \cdot 840 \cdot 1,0} = 1263,3 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \text{s}^{1/2} \text{K}} \begin{cases} \geq 100 \\ \leq 2200 \end{cases}$$

Teplotní křivka ve fázi zahřívání je dána vztahem:

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*} \right)$$

Jelikož je požár řízen ventilací, vypočte se čas t^* jako:

$$t^* = t \cdot \Gamma$$

kde:

$$\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0,04/1160)^2} = \frac{(0,076/1263,3)^2}{(0,04/1160)^2} = 3,04$$

Nyní jsou známy všechny potřebné parametry pro výpočet křivky ve fázi ohřívání:

$$\theta_g = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324 \cdot e^{-0,2(3,04t)} - 0,204 \cdot e^{-1,7(3,04t)} - 0,472 \cdot e^{-19(3,04t)} \right)$$

Dosažené maximální teplota ve fázi ohřívání je:

$$\theta_{\text{max}} = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*_{\text{max}}} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*_{\text{max}}} - 0,472 \cdot e^{-19t^*_{\text{max}}} \right)$$

kde

$$t^*_{\text{max}} = t_{\text{max}} \cdot \Gamma$$

a čas t_{max} spočteme dle

$$t_{\text{max}} = \max \begin{cases} 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O = 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 137,6 / 0,076 = 0,363 \text{ h} \\ t_{\text{lim}} = 0,333 \text{ h} \end{cases}$$

kde t_{lim} je dáno v tabulce č.4

Tabulka 4. Čas t_{lim} pro různé rychlosti rozvoje požárů

	Malá rychlost rozvoje	Střední rychlost rozvoje	Velká rychlost rozvoje
$t_{\text{lim}} [\text{h}]$	0,417	0,333	0,250

Hodnota t^*_{max} je tedy:

$$t^*_{\text{max}} = 0,363 \cdot 3,04 = 1,10 \text{ h}$$

Maximální teplota:

$$\theta_{\max} = 20 + 1325 \cdot \left(1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot 1,10} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot 1,10} - 0,427 \cdot e^{-19 \cdot 1,10}\right) = 958,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Pro fázi chladnutí se t^* a t^*_{\max} vypočítá jako:

$$t^* = t \cdot \Gamma = t \cdot 3,04 \text{ [h]}$$

$$t^*_{\max} = \left(0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / O\right) \cdot \Gamma = 1,10 \text{ h}$$

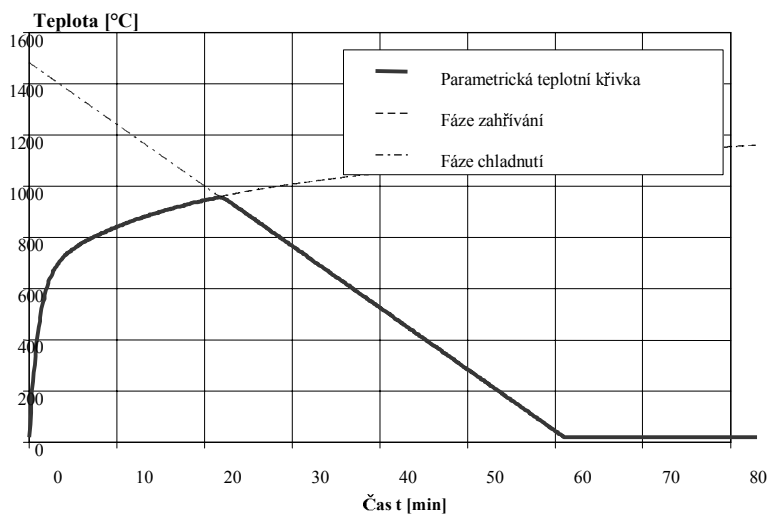
Teplotní křivka pro fázi chladnutí pro $0,5 \leq t^*_{\max} \leq 2,0$ se určí ze vztahu:

$$\theta_g = \theta_{\max} - 250 \cdot (3 - t^*_{\max}) \cdot (t^* - t^*_{\max} \cdot x) = 958,8 - 250 \cdot (3 - 1,10) \cdot (t \cdot 3,04 - 1,10 \cdot 1,0)$$

kde:

$$t_{\max} > t_{\text{lim}} \quad x = 1,0$$

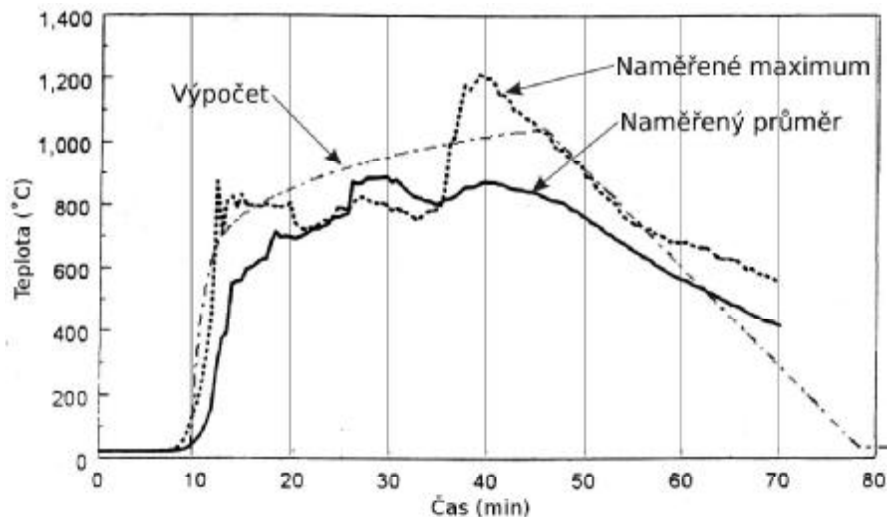
Kombinací části teplotní křivky pro zahřívání a chladnutí se získá parametrická teplotní křivka, která je na obrázku 2.



Obrázek 2. Teplota plynů v kanceláři spočtená při použití parametrické teplotní křivky

POROVNÁNÍ VÝPOČTU A POŽÁRNÍ ZKOUŠKY

Pro porovnání výsledku výpočtu s naměřenými hodnotami během testu, se musí součinitele δ_1 , δ_2 a δ_{ni} pro výpočet hustoty požárního zatížení uvažovat hodnotou 1,0 (viz obrázek 3).



Obrázek 3. Porovnání výpočtu a experimentu

LITERATURA

ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.

The Behaviour of multi-storey steel framed buildings in fire, Moorgate: British Steel plc, Swinden Technology Centre, 1998

Valorisation Project: Natural Fire Safety Concept, Sponsored by ECSC, June 2001

Část 5.2 Lokalizovaný požár

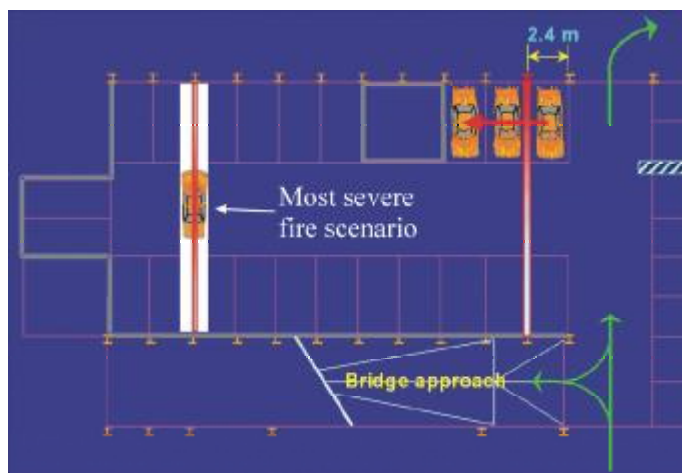
P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

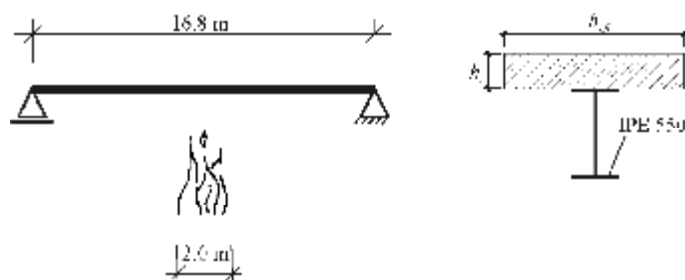
1 ZADÁNÍ

Cílem příkladu je určit teplotu ocelového nosníku, který je součástí stropu podzemního parkoviště pod obchodním centrem v Auchan, Lucembursko. Nosníky nejsou chráněny proti účinkům požáru. Nejhorší požární scénář představuje automobil hořící uprostřed rozpětí nosníku, viz obrázek 1.

Teplota ocelového nosníku se stanoví analytickým modelem pro lokalizovaný požár.



Obrázek 1. Podzemní parkoviště nákupního centra v Auchan kde Most severe fire scenario je nejnepríznivější požární scénář a Bridge approach je přístupová rampa.



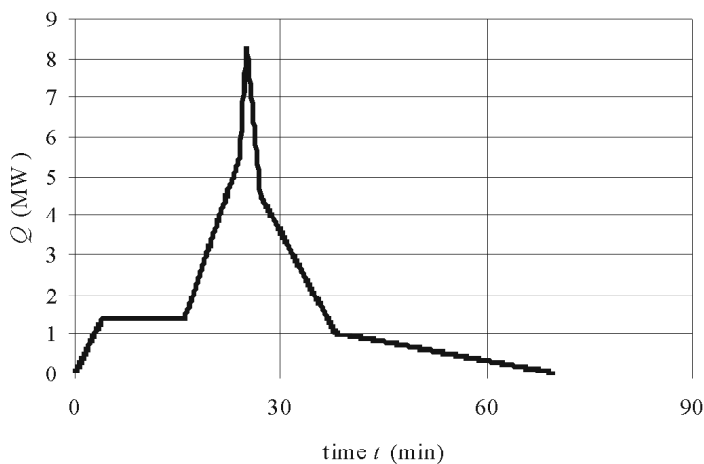
Obrázek 2. Statické schéma a průřez nosníku

Průměr ohně hořícího objektu:	$D = 2,0$ m
Svislá vzdálenost mezi zdrojem požáru a stropem:	$H = 2,7$ m
Vodorovná vzdálenost mezi nosníkem a svislou osou požáru:	$r = 0,0$ m
Emisivita plamenů:	$\varepsilon_f = 1,0$
Polohový faktor:	$\Phi = 1,0$
Stefan-Boltzmannova konstanta:	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ W/m ² K ⁴
Součinitel přestupu tepla:	$a_c = 25,0$ W/m ² K
Ocelový průřez:	IPE 550
Součinitel průřezu:	$A_m/V = 140$ 1/m
Hustota:	$\rho_a = 7850$ kg/m ³
Emisivita povrchu:	$\varepsilon_m = 0,7$
Součinitel vlivu zastínění části průřezu:	$k_{sh} = 1,0$

2 RYCHLOST UVOLŇOVÁNÍ TEPLA

Projekt ECSC

Rychlost uvolňování tepla se pro normální konstrukce určí podle ČSN EN 1991-1-2 Kapitola E.4. Pro návrh nosníku podzemní garáže vypočítáme rychlost uvolňování tepla dle projektu ECSC nazvaného "Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in CLOSED CAR PARKS" (= „Určení návrhových pravidel pro konstrukce vystavené přirozenému požáru v uzavřených garážích“), viz obrázek 3.



Obrázek 3. Rychlost uvolňování tepla pro jeden osobní automobil v čase kde time t (min) je čas v minutách

3 VÝPOČET TEPLoty NOSNÍKU

ČSN EN 1991-1-2

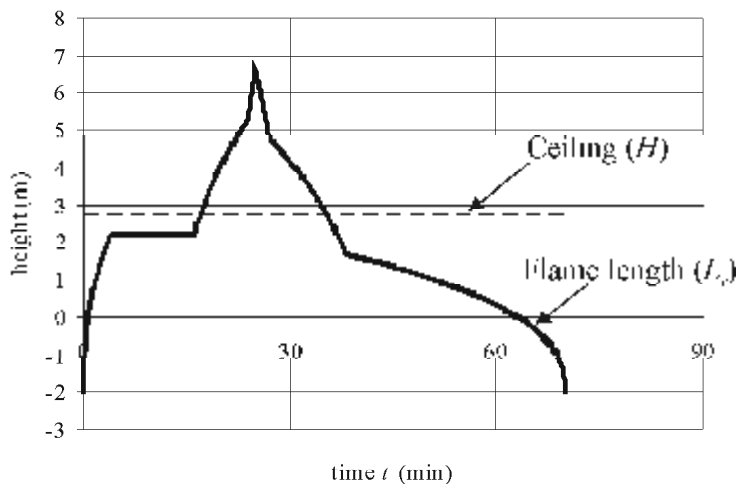
3.1 Výpočet délky plamenů

Příloha C

Nejdříve určíme délku plamenů:

$$L_f = -1,02 \cdot D + 0,0148 \cdot Q^{2/5} = -2,04 + 0,0148 \cdot Q^{2/5}$$

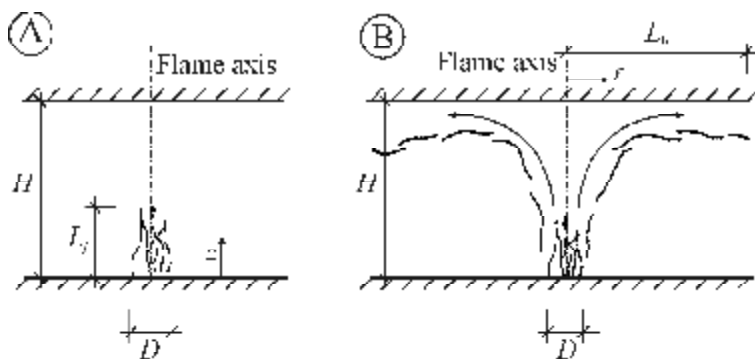
Při použití hodnot Q z obrázku 3 je průběh funkce $L_f(t)$ znázorněn na obrázku 4. Při světlé výšce garáže 2,80 m zasahují plameny ohně strop v čase od 16,9 minut do 35,3 minut (viz obrázek 4).



Obrázek 4. Délka plamenů lokalizovaného požáru

kde	time t (min)	je čas v minutách
	height (m)	výška v metrech
	Ceiling (H)	světlá výška garáže v metrech
	Flame length (H)	délka plamenů

Rozhodnutí, zda plameny zasahují strop, je nutné k určení dalšího výpočetního postupu. Pro výpočet hodnoty tepelného toku existují dva přístupy. První platí pro případ, kdy plameny nezasahují strop, viz obrázek 5a. Druhý použijeme v případě, kdy plameny zasahují strop, viz obrázek 5b.



Obrázek 5. Modely požáru: (A) Plameny nezasahují strop;
(B) Plameny zasahují strop

kde: Flame axis je osa ohně.

3.2 Výpočet tepelného toku

3.2.1 1. případ: Plameny nezasahují strop

Výpočet celkového tepelného toku provedeme dle kapitoly 3.1 normy ČSN EN 1991-1-2.

$$\begin{aligned}\dot{h}_{net} &= \alpha_c \cdot (\theta_{(z)} - \theta_m) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left((\theta_{(z)} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) \\ &= 25,0 \cdot (\theta_{(z)} - \theta_m) + 3,969 \cdot 10^{-8} \cdot \left((\theta_{(z)} + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)\end{aligned}$$

Teplotu plynu v úrovni stropu:

$$\begin{aligned}\theta_{(z)} &= 20 + 0,25 \cdot (0,8 \cdot Q)^{2/3} \cdot (z - z_0)^{-5/3} \leq 900 \text{ °C} \\ &= 20 + 0,25 \cdot (0,8 \cdot Q)^{2/3} \cdot (4,74 - 0,0052 \cdot Q^{2/5})^{-5/3} \leq 900 \text{ °C}\end{aligned}$$

kde:

- z je výška podél osy ohně (2,7 m), viz obrázek 5a
 z_0 je virtuální počátek osy z v metrech

$$z_0 = -1,02 \cdot D + 0,0052 \cdot Q^{2/5} = -2,04 + 0,0052 \cdot Q^{2/5}$$

3.2.2 2. případ: Plameny zasahují strop

Určíme celkový tepelný tok pro případ, kdy plameny zasahují strop:

$$\begin{aligned}\dot{h}_{net} &= \dot{h} - \alpha_c \cdot (\theta_m - 20) - \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left((\theta_m + 273)^4 - (293)^4 \right) \\ &= \dot{h} - 25,0 \cdot (\theta_m - 20) - 3,969 \cdot 10^{-8} \cdot \left((\theta_m + 273)^4 - (293)^4 \right)\end{aligned}$$

Kde tepelný tok \dot{h} závisí na parametru y :

$$\text{pro } y \leq 0,30: \quad \dot{h} = 100000$$

$$\text{pro } 0,30 < y < 1,0: \quad \dot{h} = 136300 - 121000 \cdot y$$

$$\text{pro } y \geq 1,0: \quad \dot{h} = 15000 \cdot y^{-3,7}$$

Parametr y je dán vztahem:

$$y = \frac{r + H + z'}{L_h + H + z'} = \frac{2,7 + z'}{L_h + 2,7 + z'}$$

Vodorovnou délku plamene určíme z rovnice:

$$L_h = \left(2,9 \cdot H \cdot (Q_H^*)^{0,33} \right) - H = \left(7,83 \cdot (Q_H^*)^{0,33} \right) - 2,7$$

kde:

$$Q_H^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot H^{2,5}) = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot 2,7^{2,5})$$

Svislá pozice zdánlivého tepelného zdroje je:

pro $Q_D^* < 1,0$:

$$z' = 2,4 \cdot D \cdot \left((Q_D^*)^{2/5} - (Q_D^*)^{2/3} \right) = 4,8 \cdot \left((Q_D^*)^{2/5} - (Q_D^*)^{2/3} \right)$$

pro $Q_D^* \geq 1,0$:

$$z' = 2,4 \cdot D \cdot \left(1,0 - (Q_D^*)^{2/5} \right) = 4,8 \cdot \left(1,0 - (Q_D^*)^{2/5} \right)$$

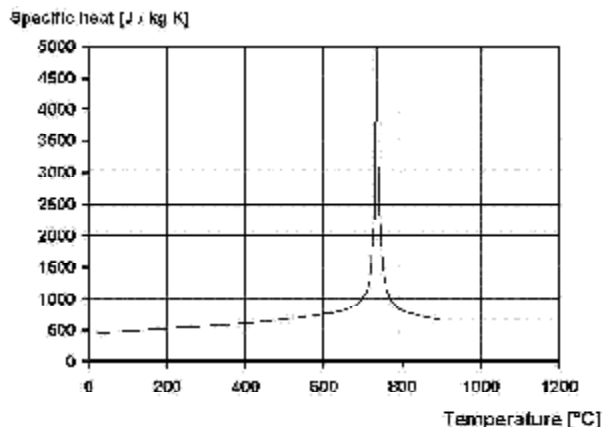
kde:

$$Q_D^* = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot D^{2,5}) = Q / (1,11 \cdot 10^6 \cdot 2,0^{2,5})$$

3.3 Výpočet teploty oceli

Pro učení teploty oceli potřebujeme znát měrné teplo oceli c_a . Jeho hodnota je dána v ČSN EN 1993-1-2, Kapitola 3.4.1.2 a závisí na teplotě oceli.

Kapitola 3.4.1.2

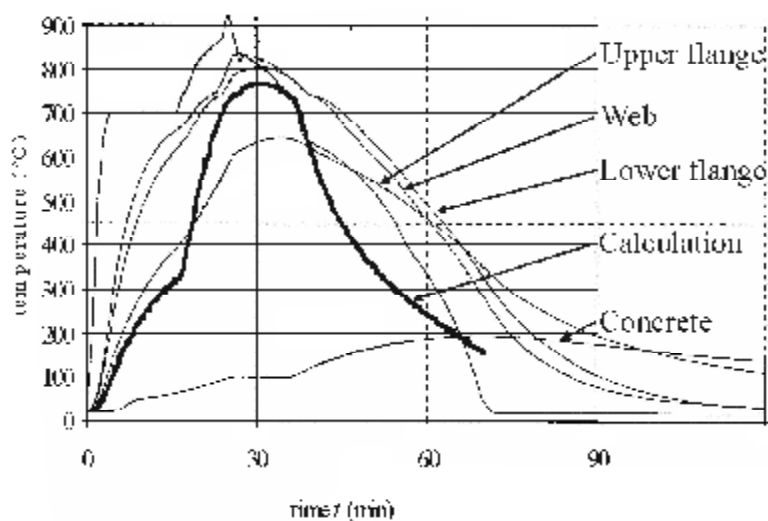


Obrázek 6. Měrné teplo uhlíkové oceli (viz ČSN EN 1993 část 1-2, obrázek 3.4)
 kde Temperature [°C] je teplota ve stupních Celsia
 Specific heat [J/kg K] měrné teplo v J/Kg K

$$\theta_{a,t} = \theta_m + k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \cdot \Delta t = \theta_m + \frac{1,78 \cdot 10^{-2}}{c_a} \cdot \dot{h}_{net}$$

čl 4.2.5.1

Teplota oceli je znázorněna na obrázku 7. Pro možnost porovnání jsou na obrázku také zobrazeny výsledky výpočtu metodou konečných prvků vypočtenou v programu PROFILARBED.



Obrázek 7. Porovnání teplotní křivky oceli pomocí ručního výpočtu a analýzou MKP programu PROFILARBED

kde	time t (min)	je čas v minutách,
	temperature (°C)	teplota ve stupních Celsia,
	Upper flange	teplota horní pásnice,
	Web	teplota stojiny,
	Lower flange	teplota spodní pásnice,
	Calculation	teplota podle ručního výpočtu,
	Concrete	teplota betonu.

LITERATURA

ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1993-1-2: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, 2006.

ECSC Project, *Development of design rules for steel structures subjected to natural fires in closed car parks*, CEC agreement 7210-SA/211/318/518/620/933, Brussels, June 1996

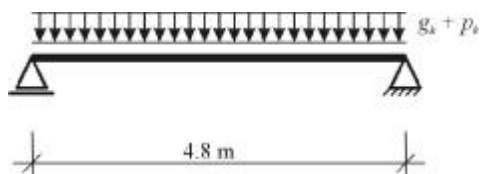
Část 5.3 Spřažená ocelobetonová deska

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Navrhnete průřez trapézového plechu spřažené ocelobetonové desky, která je namáhána účinky požáru. Deska působí jako prostý nosník v obchodním centru o rozpětí 4,8 m. Požadovaná požární odolnost je R 90.



Obrázek 1 Statické schéma desky



Obrázek 2 Samosvorný plech

Vlastnosti materiálu

Samosvorný plech:

Mez kluzu:	$f_{yp} = 350 \text{ N/mm}^2$
Plocha průřezu:	$A_p = 1562 \text{ mm}^2/\text{m}$
Parametr metody m+k:	$k = 0.150 \text{ N/mm}^2$

Beton:

Třída:	C 25/30
Pevnost s tlaku:	$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$
Výška:	$h_t = 140 \text{ mm}$
Plocha průřezu:	$A_c = 131,600 \text{ mm}^2/\text{m}$

Zatížení:

Stálá zatížení:	
Samosvorný plech	$g_{p,k} = 0.13 \text{ kN/m}^2$

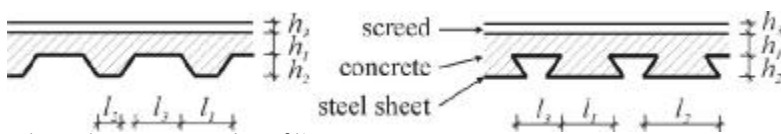
Beton:	$g_{c,k} = 3.29 \text{ kN/m}^2$
Podlaha:	$g_{f,k} = 1.2 \text{ kN/m}^2$
Nahodilá zatížení:	
Užitné zatížení:	$p_k = 5.0 \text{ kN/m}^2$

Návrhový moment v poli při běžné teplotě: $M_{s,d} = 39.56 \text{ kNm}$

2 ÚNOSNOST SPŘAŽENÉ DESKY PŘI POŽÁRU

Spřažená deska se navrhne podle Kapitoly 4.3 a Přílohy D.

2.1 Geometrické parametry a jejich rozsah platnosti



Obrázek 3. Geometrie průřezu
kde screed je nivelační vrstva
concrete je betonová deska
steel sheet je samosvorný plech.

$$\begin{aligned} h_1 &= 89 \text{ mm} & h_2 &= 51 \text{ mm} \\ l_1 &= 115 \text{ mm} & l_2 &= 140 \text{ mm} & l_3 &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tabulka 1. Rozsah platnosti pro stropy z betonu a samosvorných plechů

Rozsah platnosti pro samosvorný plech [mm]	Navržené rozměry [mm]
$77.0 \leq l_1 \leq 135.0$	$l_1 = 115.0$
$110 \leq l_2 \leq 150.0$	$l_2 = 140.0$
$38.5 \leq l_3 \leq 97.5$	$l_3 = 38.0$
$50.0 \leq h_1 \leq 130.0$	$h_1 = 89.0$
$30.0 \leq h_2 \leq 70.0$	$h_2 = 51.0$

2.2 Mechanické zatížení během požáru

Zatížení se určí jako kombinace pro mimořádné zatížení.

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j} \right)$$

Podle ČSN EN 1994-1-2 se může zatížení E_d při požáru určit pomocí redukčního součinitele η_{fi} :

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,1} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} = \frac{(0,13 + 3,29 + 1,2) + 0,6 \cdot 5,0}{1,35 \cdot (0,13 + 3,29 + 1,2) + 1,5 \cdot 5,0} = 0,55$$

Pomocí součinitele η_{fi} se určí velikost ohybového momentu při požáru $M_{fi,d}$:

$$M_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot M_{sd} = 0,55 \cdot 39,56 = 21,76 \text{ kNm/m}$$

ČSN EN 1991-1-2

čl. 4.3

ČSN EN 1994-1-2

čl. 2.4.2

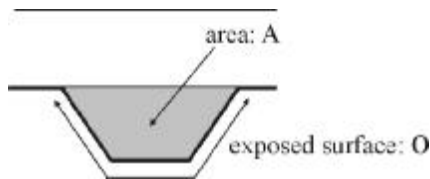
2.3 Tepelně izolační kritérium

Mezní stav limitních teplot na neohřívaném povrchu konstrukce "I" povoluje průměrnou teplotu na horním povrchu desky 140 °C a maximální teplotu 180 °C.

Čas ve kterém je tento požadavek "I" splněn se vypočítá podle:

$$t_i = a_0 + a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot \Phi + a_3 \cdot \frac{A}{L_r} + a_4 \cdot \frac{1}{l_3} + a_5 \cdot \frac{A}{L_r} \cdot \frac{1}{l_3}$$

Koeficient geometrie žebra A/L_r je ekvivalentem k součiniteli průřezu A_p/V nosníku. Součinitel zohledňuje pozitivní přínos hmotnosti a výšky na zahřívání stropní desky.



Obrázek 4. Koeficient geometrie žebra
kde area A je plocha žebra A
O plocha vystavená účinkům požáru O

$$\frac{A}{L_r} = \frac{h_2 \cdot \left(\frac{l_1 + l_2}{2}\right)}{l_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2}} = \frac{51 \cdot \left(\frac{115 + 140}{2}\right)}{140 + 2 \cdot \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2}\right)^2}} = 26,5 \text{ mm}$$

Polohový faktor Φ uvažuje účinek stínění horní pásnice žebrem.

$$\Phi = \left[\sqrt{h_2^2 + \left(l_3 + \frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2} - \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{l_1 - l_2}{2}\right)^2} \right] / l_3$$

$$= \left[\sqrt{51^2 + \left(38 + \frac{115 - 140}{2}\right)^2} - \sqrt{51^2 + \left(\frac{115 - 140}{2}\right)^2} \right] / 38$$

$$= 0,119$$

Součinitele a_i pro normální beton jsou uvedeny v tabulce 2:

Tabulka 2. Součinitele pro určení požární odolnosti – kritérium izolace (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha D, Tabulka D.1)

	a_0 [min]	a_1 [min/mm]	a_2 [min]	a_3 [min/mm]	a_4 mm·min	a_5 [min]
Normální beton	-28.8	1.55	-12.6	0.33	-735	48.0
Lehký beton	-79.2	2.18	-2.44	0.56	-542	52.3

Za použití těchto hodnot se parametr t_i vypočte jako:

$$t_i = (-28,8) + 1,55 \cdot 89 + (-12,6) \cdot 0,119$$

$$+ 0,33 \cdot 27 + (-735) \cdot 1/38 + 48 \cdot 27 \cdot 1/38$$

$$= 131,48 \text{ min} > 90 \text{ min} \quad \checkmark$$

2.4 Ověření únosnosti

čl. 4.3.2

Plastický návrhový moment se vypočítá jako:

$$M_{f_{t,Rd}} = \sum A_i \cdot z_i \cdot k_{y,\theta,i} \cdot \left(\frac{f_{y,i}}{\gamma_{M,f_i}} \right) + \alpha_{slab} \cdot \sum A_j \cdot z_j \cdot k_{c,\theta,j} \cdot \left(\frac{f_{c,j}}{\gamma_{M,f_i,c}} \right)$$

K určení redukčních faktorů $k_{y,\theta}$ pro horní i spodní pásnice a stojinu se musí určit průběhy teploty. Ty se určí dle:

$$\theta_a = b_0 + b_1 \cdot \frac{1}{l_3} + b_2 \cdot \frac{A}{L_r} + b_3 \cdot \Phi + b_4 \cdot \Phi^2$$

čl. D.2

Hodnoty součinitelů b_i jsou uvedeny v tabulce 3:

Tabulka 3. Součinitele pro určení teploty částí trapézových plechů (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha D, Tabulka D.2)

Beton	Požární odolnost [min]	Část tr. plechu	b_0 [°C]	b_1 [°C·mm]	b_2 [°C/mm]	b_3 [°C]	b_4 [°C]
normální	60	Spodní pásnice	951	-1197	-2,32	86,4	-150,7
		Stojina	661	-833	-2,96	537,7	-351,9
		Horní pásnice	340	-3269	-2,62	1148,4	-679,8
	90	Spodní pásnice	1018	-839	-1,55	65,1	-108,1
		Stojina	816	-959	-2,21	464,9	-340,2
		Horní pásnice	618	-2786	-1,79	767,9	-472,0
	120	Spodní pásnice	1063	-679	-1,13	46,7	-82,8
		Stojina	925	-949	-1,82	344,2	-267,4
		Horní pásnice	770	-2460	-1,67	592,6	-379,0

Jednotlivé části samosvorného plechu mají tyto teploty:
Spodní pásnice:

$$\begin{aligned} \theta_{a,l} &= 1018 - 839 \cdot \frac{1}{38} - 1,55 \cdot 27 + 65,1 \cdot 0,119 - 108,1 \cdot 0,119^2 \\ &= 960,29 \text{ °C} \end{aligned}$$

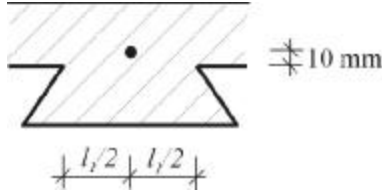
Stojina:

$$\begin{aligned} \theta_{a,w} &= 816 - 959 \cdot \frac{1}{38} - 2,21 \cdot 27 + 464,9 \cdot 0,119 - 340,2 \cdot 0,119^2 \\ &= 781,60 \text{ °C} \end{aligned}$$

Horní pásnice:

$$\begin{aligned} \theta_{a,t} &= 618 - 2786 \cdot \frac{1}{38} - 1,79 \cdot 27 + 767,9 \cdot 0,119 - 472,0 \cdot 0,119^2 \\ &= 580,87 \text{ °C} \end{aligned}$$

K určení únosnosti během požáru musí deska vyztužena, což se za normálních podmínek nepožaduje. Do každé vlny se vloží jeden výztužný prut o $\varnothing 10$ mm. Pozice výztuže viz obrázek 5.



Obrázek 5. Poloha výztužného prutu

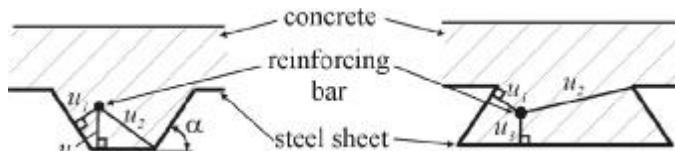
Teplota výztuže se vypočítá podle:

$$\theta_s = c_0 + c_1 \cdot \frac{u_3}{h_2} + c_2 \cdot z + c_3 \cdot \frac{A}{L_r} + c_4 \cdot \alpha + c_5 \cdot \frac{1}{l_3}$$

kde:

$$\begin{aligned} \frac{1}{z} &= \frac{1}{\sqrt{u_1}} + \frac{1}{\sqrt{u_2}} + \frac{1}{\sqrt{u_3}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{l_1/2}} + \frac{1}{\sqrt{l_1/2}} + \frac{1}{\sqrt{h_2+10}} \quad (\text{zjednodušeně}) \\ &= \frac{1}{\sqrt{57}} + \frac{1}{\sqrt{57}} + \frac{1}{\sqrt{61}} \\ &= 0,393 \text{ 1/mm}^{0.5} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow z = 2,54 \text{ mm}^{0.5}$$



Obrázek 6. Definice vzdáleností u_1 , u_2 , u_3 a úhlu α
kde concrete je beton
reinforcing bar výztužný prut
steel sheet ocelový plech

Součinitele c_i pro normální beton jsou uvedeny v tabulce 4.

Tabulka 4. Součinitele c_i pro výpočet teploty ve výztuži (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha D, tabulka D.3)

Beton	Požární odolnost [min]	c_0 [°C]	c_1 [°C]	c_2 [°C/mm ^{0.5}]	c_3 [°C/mm]	c_4 [°C/°]	c_5 [°C]
Normální beton	60	1191	-250	-240	-5,01	1,04	-925
	90	1342	-256	-235	-5,30	1,39	-1267
	120	1387	-238	-227	-4,79	1,68	-1326

Teplota výztuže:

$$\begin{aligned}\theta_s &= 1342 + (-256) \cdot \frac{61}{51} + (-235) \cdot 2,54 \\ &\quad + (-5,30) \cdot 27 + 1,39 \cdot 104 + (-1267) \cdot \frac{1}{38} \\ &= 407,0 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Redukční součinitele $k_{y,i}$ pro plech jsou uvedeny v tabulce 3.2 normy ČSN EN 1994-1-2. Tyto součinitele jsou pro výztužné pruty tvářené za studena uvedeny v tabulce 3.4.

Nyní lze vypočítat únosnost jednotlivých částí ocelového plechu a výztužných prutů.

Tabulka 5. Redukční součinitele a únosnosti

	Teplota θ_i [$^\circ\text{C}$]	Redukční součinitel $k_{y,i}$ [-]	Plocha A_i [cm^2]	$f_{y,i}$ [kN/cm^2]	Z_i [kN]
Spodní pásnice	960,29	0,047	1,204	35,0	1,98
Stojina	781,60	0,132	0,904	35,0	4,18
Horní pásnice	580,87	0,529	0,327	35,0	6,05
Výztuž	407,0	0,921	0,79	50,0	36,38

Poloha plastické neutrálné osy se spočítá z výminky rovnováhy horizontálních sil jednoho žebra ($b = l_1 + l_2$):

$$z_{pl} = \frac{\sum Z_i}{a_{deska} \cdot (l_1 + l_3) \cdot f_c} = \frac{1,98 + 4,18 + 6,05 + 36,38}{0,85 \cdot (115 + 38) \cdot 25 \cdot 10^{-3}} = 15,0 \text{ mm}$$

Plastická momentová únosnost v žebře je:

Tabulka 6. Výpočet momentové únosnosti žebra

	Z_i [kN]	z_i [cm]	M_i [kNcm]
Spodní pásnice	1,98	14,0	27,72
Stojina	4,18	$14,0 - 5,1 / 2 = 11,45$	47,86
Horní pásnice	6,05	$14,0 - 5,1 = 8,9$	53,85
Výztuž	36,38	$14,0 - 5,1 - 1,0 = 7,9$	287,4
Beton	-48,59	$1,50 / 2 = 0,75$	-36,44
			$\Sigma 380,39$

Při plastické momentové únosnosti o hodnotě $M_{pl,žebro} = 3,80 \text{ kNm}$ na šířce $w_{žebro} = 0,152 \text{ m}$ jednoho žebra je plastická momentová únosnost na běžný metr spráženého nosníku:

$$M_{fi,Rd} = 3,80 / 0,152 = 25,00 \text{ kNm/m}$$

Posudek:

$$\frac{21,76}{25,00} = 0,88 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1994-1-2: Eurokód 4: Navrhování sprážených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, 2006.

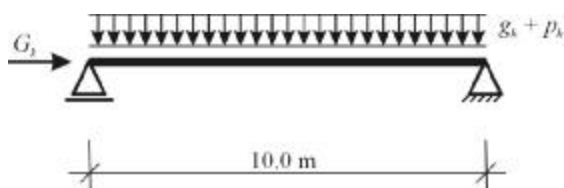
Část 5.4 Tlačený a ohýbaný nosník

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

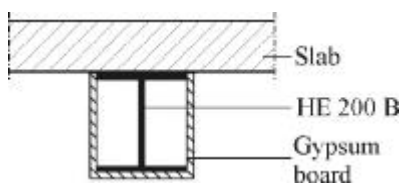
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladě je posouzen prostě podepřený nosník zatížený spojitým zatížením a osovou silou. Zatížení vyvolává ohybový moment a tlakovou sílu. Nosník je součástí stropu administrativní budovy a proti požáru je chráněn sádkartonovým obkladem. Požáru je díky stropní betonové desce vystaven ze tří stran. Nosník není s betonovou deskou spřažen. Požadovaná požární odolnost je R 90. Nosník není zajištěn proti ztrátě stability.



Obrázek 1. Statické schéma



Obrázek 2. Průřez nosníku

kde Slab je betonová deska,
Gypsum board sádkartonový obklad

Vlastnosti materiálů:

Nosník:

Profil:	HE 200 B
Ocel:	S 235
Třída průřezu:	1
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti ve smyku:	$G = 81\,000 \text{ N/mm}^2$
Plocha průřezu:	$A_a = 7810 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_z = 2000 \text{ cm}^4$

Moment setrvačnosti v prostém kroucení: $I_t = 59,3 \text{ cm}^4$
 Výsečový moment setrvačnosti: $I_w = 171\,100 \text{ cm}^6$
 Průřezový modul: $W_{el,y} = 570 \text{ cm}^3$
 $W_{pl,y} = 642,5 \text{ cm}^3$

Obklad:

Materiál: sádrokarton
 Tloušťka: $d_p = 20 \text{ mm}$
 Tepelná vodivost: $\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
 Měrné teplo: $c_p = 1700 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
 Hustota: $\rho_p = 945 \text{ kg/m}^3$

Zatížení:

Stálá zatížení: $G_k = 96,3 \text{ kN}$
 $g_k = 1,5 \text{ kN/m}$
 Nahodilé zatížení: $p_k = 1,5 \text{ kN/m}$

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST NOSNÍKU V TLAKU ZA OHYBU

2.1 Mechanické zatížení během požáru

ČSN EN 1991-1-2

Zatížení během požáru se určí jako zatížení v mimořádné kombinaci zatížení:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

čl. 4.3

Součinitel kombinace kvazistálé hodnoty proměnného zatížení je dán hodnotou $\psi_{2,1} = 0,3$.

Spočítají se návrhové hodnoty namáhání nosníku při požáru:

$$N_{fi,d} = 96,3 \text{ kN}$$

$$M_{fi,d} = [1,5 + 0,3 \cdot 1,5] \cdot \frac{10,0^2}{8} = 24,38 \text{ kNm}$$

2.2 Výpočet teploty ocelového nosníku

ČSN EN 1993-1-2

Teplota oceli se spočte dle ECCS č. 89. K výpočtu potřebujeme znát součinitel průřezu A_p/V . Ten se pro konstrukci vystavenou požáru ze třech stran učí podle:

$$\frac{A_p}{V} = \frac{2 \cdot h + b}{A_a} = \frac{2 \cdot 20,0 + 20,0}{78,1} \cdot 10^2 = 77 \text{ m}^{-1}$$

čl. 4.2.5.2

Pro hodnotu

$$\frac{A_p}{V} \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} = 77 \cdot \frac{0,2}{0,02} = 770 \frac{\text{W}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}},$$

ECCS č. 89

se odečte kritická teplota:

$$\Rightarrow \theta_{a,max,90} \approx 540 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.3 Ověření požární odolnosti podle teploty

ČSN EN 1993-1-2

Dle čl. 4.2.4 (2) normy ČSN EN 1993-1-2 se ověření požární odolnosti podle teploty z důvodu stabilitních jevů nelze provést.

čl. 4.2.4

2.4 Ověření požární odolnosti podle únosnosti

Průřezy 1. třídy se posoudí na kombinaci tlaku s ohybem s možností ztráty stability v tlaku a s klopením.

2.4.1 Tlak s ohybem bez klopení

Ověření pro ztrátu stability v tlaku se provede podle:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{min,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_y \cdot M_{y,fi,d}}{W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1 \quad \text{čl. 4.2.3.5}$$

Redukční součinitel $\chi_{min,fi}$ je minimální hodnota ze součinitelů vzpěru $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$. Pro určení jejich hodnot se musí určit poměrná štíhlost pro teplotu θ_a .

K určení poměrné štíhlosti za požáru se určí nejdříve poměrná štíhlost při pokojové teplotě:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{L_{cr}}{i_y \cdot \lambda_a} = \frac{1000}{8,54 \cdot 93,9} = 1,25$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{L_{cr}}{i_z \cdot \lambda_a} = \frac{1000}{5,07 \cdot 93,9} = 2,10$$

Dle tabulky 3.1 v ČSN EN 1993-1-2 se určí redukční součinitele vlivem teploty $k_{y,\theta}$ a $k_{E,\theta}$: ČSN EN 1993-1-1

$$\Rightarrow k_{y,\theta} = 0,656$$

$$k_{E,\theta} = 0,484$$

S jejich pomocí se vypočte poměrná štíhlost za požáru:

$$\bar{\lambda}_{y,\theta} = \bar{\lambda}_y \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 1,46$$

$$\bar{\lambda}_{z,\theta} = \bar{\lambda}_z \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 2,1 \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 2,44$$

S pomocí

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} = 0,65 \cdot \sqrt{235/235} = 0,65$$

a

$$\varphi_{y,\theta} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + \bar{\lambda}_{y,\theta}^2) = \frac{1}{2} \cdot (1 + 0,65 \cdot 1,46 + 1,46^2) = 2,04$$

$$\varphi_{z,\theta} = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} + \bar{\lambda}_{z,\theta}^2) = \frac{1}{2} \cdot (1 + 0,65 \cdot 2,44 + 2,44^2) = 4,27$$

se vypočítají součinitele vzpěru $\chi_{y,fi}$ a $\chi_{z,fi}$:

$$\chi_{y,fi} = \frac{1}{\varphi_{y,\theta} + \sqrt{\varphi_{y,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{y,\theta}^2}} = \frac{1}{2,04 + \sqrt{2,04^2 - 1,46^2}} = 0,29$$

$$\chi_{z,fi} = \frac{1}{\varphi_{z,\theta} + \sqrt{\varphi_{z,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{z,\theta}^2}} = \frac{1}{4,27 + \sqrt{4,27^2 - 2,44^2}} = 0,13$$

Ověření:

$$\frac{96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5} + \frac{1,50 \cdot 2438}{642,5 \cdot 0,656 \cdot 23,5} = 0,98 < 1 \quad \checkmark$$

čl. 4.2.3.5

kde:

$$\begin{aligned} \mu_y &= (1,2 \cdot \beta_{M,y} - 3) \cdot \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \cdot \beta_{M,y} - 0,29 \\ &= (1,2 \cdot 1,3 - 3) \cdot 1,46 + 0,44 \cdot 1,3 - 0,29 \\ &= -1,82 \end{aligned}$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{fi,d}}{\chi_{y,fi} \cdot A_a \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{m,fi}} = 1 - \frac{-1,82 \cdot 96,3}{0,29 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5 / 1,0} = 1,50$$

2.4.2 Tlak s ohybem a klopením

Posouzení se provede podle rovnice:

$$\frac{N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} + \frac{k_{LT} \cdot M_{y,fi,d}}{\chi_{LT,fi} \cdot W_{pl,y} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y / \gamma_{M,fi}} \leq 1$$

K určení poměrné štíhlosti při klopení za požáru se použije poměrná štíhlost za pokojové teploty:

ČSN EN 1993-1-1

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{642,5 \cdot 23,5}{14203,5}} = 1,03$$

čl. 6.3.2.2

kde:

$$\begin{aligned} M_{cr} &= \zeta \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l^2} \cdot \left(\sqrt{c^2 + 0,25 \cdot z_p^2} + 0,5 \cdot z_p \right) \\ &= 1,12 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2000}{(1,0 \cdot 1000)^2} \cdot \left(\sqrt{1241,9 + 0,25 \cdot \left(\frac{20}{2}\right)^2} - 0,5 \cdot \frac{20}{2} \right) \\ &= 14203,5 \text{ kNcm} \end{aligned}$$

DIN 18800-2

$$\text{a: } c^2 = \frac{I_\omega + 0,039 \cdot l^2 \cdot I_T}{I_z} = \frac{171100 + 0,039 \cdot 1000^2 \cdot 59,3}{2000} = 1241,9$$

Vypočítá se poměrná štíhlost při požáru:

ČSN EN 1993-1-2

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}} = 1,03 \cdot \sqrt{\frac{0,656}{0,484}} = 1,20$$

čl. 4.2.3.3

S pomocí

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta} + \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2 \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + 0,65 \cdot 1,20 + 1,20^2 \right) = 1,61,$$

se určí vzpěrnostní součinitel $\chi_{LT,fi}$ podle:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{\phi_{LT,\theta}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta}^2}} = \frac{1}{1,61 + \sqrt{1,61^2 - 1,20^2}} = 0,37$$

Ověření:

$$\frac{96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot 23,5/1,0} + \frac{0,80 \cdot 2438}{0,37 \cdot 642,5 \cdot 0,656 \cdot 23,5/1,0}$$
$$= 0,62 + 0,53 = 1,15 \leq 1$$

čl. 4.2.3.5

kde:

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \cdot N_{fi,d}}{\chi_{z,fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} = 1 - \frac{0,33 \cdot 96,3}{0,13 \cdot 78,1 \cdot 0,656 \cdot \frac{23,5}{1,0}} = 0,80$$

$$\begin{aligned} \mu_{LT} &= 0,15 \cdot \bar{\lambda}_{z,\theta} \cdot \beta_{M,LT} - 0,15 < 0,9 \\ &= 0,15 \cdot 2,44 \cdot 1,3 - 0,15 \\ &= 0,33 < 0,9 \end{aligned}$$

LITERATURA

- DIN 18800, *Stahlbauten, Teil 2 Stabilitätsfälle, Knicken bei Stäben*, Berlin: Beuth Verlag GmbH, Germany, November 1990
- ECCS No.89, *Euro-Nomogram*, Brussels: ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 1995
- ČSN EN 1991-1-2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, ČNI, Praha, 2004.
- ČSN EN 1993-1-1: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, ČNI, Praha, 2004.
- ČSN EN 1993-1-2: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, ČNI, Praha, 2006.
- Literatur for MCr (for example: Steel Construction Manual)

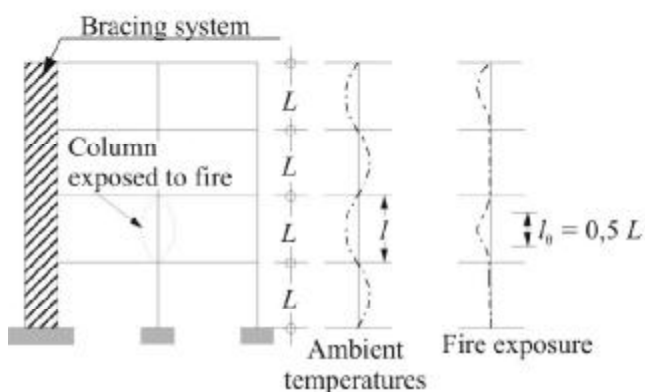
Část 5.5 Sloup zatížený osovou silou

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

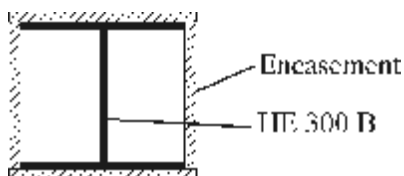
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladu je ukázán návrh sloupu v obchodním domě na účinky požáru. Sloup je součástí ztužujícího rámu a spojitě přechází do vyššího i nižšího podlaží. Jeho výška je 3,0 m. Během požáru lze snížit vzpěrnou délku sloupu na polovinu výšky, viz obrázek 1. Sloup je zatížen centrickými tlakovými silami a je vystaven požáru ze všech čtyř stran. Proti požáru je sloup po obvodě chráněn sádkartonovou deskou. Požadovaná požární odolnost sloupu je R 90.



Obrázek 1. Vzpěrné délky sloupů ve vyztužených rámech
kde Bracing system je ztužení,
Column exposed to fire posuzovaný sloup,
Ambient temperature za pokojové teploty,
Fire exposure při požáru.



Obrázek 2. Průřez sloupu
kde Encasement je obložení sádkartonovými deskami

Vlastnosti materiálu:

Sloup:

Profil:	HE 300 B
Ocel:	S 235
Třída profilu:	1
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ MPa}$
Průřezová plocha:	$A_a = 14\,900 \text{ mm}^2$
Modul pružnosti:	$E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_a = 85,60 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$ (osa z)

Obklad:

Materiál:	sádrokartonové desky
Tloušťka:	$d_p = 30 \text{ mm}$
Tepelná vodivost:	$\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Měrné teplo:	$c_p = 1700 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Hustota:	$\rho_p = 945 \text{ kg/m}^3$

Zatížení:

Stálá:	$G_k = 1200 \text{ kN}$
Nahodilá:	$P_k = 600 \text{ kN}$

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST SLOUPU

2.1 Zatížení během požáru

ČSN EN 1991-1-2

Kombinaci zatížení při požáru se určí jako kombinace pro mimořádné zatížení:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

kap. 4.3

Součinitel $\psi_{2,1}$ je pro obchodní plochy $\psi_{2,1} = 0.6$. Tlaková síla se vypočítá jako:

$$N_{fi,d} = 1200 + 0,6 \cdot 600 = 1560 \text{ kN}$$

2.2 Výpočet maximální teploty oceli

ČSN EN 1993-1-2

Pro výčet teploty chráněného prvku je použit postup z ČSN EN 1993-1-2. Pro sloup obložený ze všech stran se průřezový součinitel vypočte podle:

$$A_p/V = 2 \cdot (b+h)/A_a = 2 \cdot (30+30) \cdot 10^2 / 149 = 81 \text{ m}^{-1}$$

čl. 4.2.5.2

Maximální teplota ocelového sloupu $\theta_{a,max,90}$ se určí dle nomogramu ECCS No.89 pro součinitel:

$$\left(A_p/V \right) \cdot \left(\lambda_p/d_p \right) = 81 \cdot 0,2/0,03 = 540 \text{ W/m}^3\text{K}$$

ECCS No.89

$$\Rightarrow \theta_{a,max,90} \approx 445 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.3 Ověření podle teploty

ČSN EN 1993-1-2

Podle ČSN EN 1993-1-2 nelze ověření požární odolnosti podle teploty provést u prvků, u kterých je únosnost omezena vzpěrem.

čl. 4.2.4

2.4 Ověření podle únosnosti

Ověření únosnosti během požáru se provede porovnáním únosnosti a působících zatížení.

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

čl. 2.4.2

V tomto příkladě se posoudí velikosti osových sil.

$$N_{fi,d} \leq N_{b,fi,t,Rd}$$

Návrhová únosnost za zvýšené teploty se určí jako:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} \cdot A_a \cdot k_{y,\theta,max} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{čl. 4.2.3.2}$$

Hodnoty redukčních součinitelů $k_{y,\theta}$ and $k_{E,\theta}$ v závislosti na $\theta_{a,max,90}$ jsou uvedeny v tabulce 3.1 normy ČSN EN 1993-1-2. Pro mezilehlé hodnoty lze použít lineární interpolaci.

$$\Rightarrow k_{y,445^\circ C} = 0,901 \quad \text{čl. 3.2.1}$$

$$k_{E,445^\circ C} = 0,655$$

Bezrozměrná štíhlost sloupu během požáru:

$$\bar{\lambda}_{fi,\theta} = \bar{\lambda} \cdot \sqrt{k_{y,\theta}/k_{E,\theta}} = 0,21 \cdot \sqrt{0,901/0,655} = 0,25 \quad \text{čl. 4.2.3.2}$$

kde:

$$\bar{\lambda} = L_{Kz} / (i_z \cdot \lambda_a) = (0,5 \cdot 300) / (7,58 \cdot 93,9) = 0,21 \quad \text{ČSN EN 1993-1-1}$$

Součinitel vzpěru $\chi_{fi,\theta}$:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta^2 - \bar{\lambda}_{fi,\theta}^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,25^2}} = 0,86 \quad \text{čl. 4.2.3.2}$$

kde

$$\varphi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot \bar{\lambda} + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,65 \cdot 0,25 + 0,25^2] = 0,61$$

a

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{235/f_y} = 0,65 \cdot \sqrt{235/235} = 0,65$$

Návrhová únosnost za zvýšené teploty:

$$N_{b,fi,t,Rd} = 0,86 \cdot 149 \cdot 0,901 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 2713 \text{ kN}$$

Posudek:

$$N_{fi,d} / N_{b,fi,t,Rd} = 1560 / 2713 = 0,58 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

ECCS No.89, *Euro-Nomogram*, Brussels: ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 1995

ČSN EN 1991-1-2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1993-1-1: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1993-1-2: *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, ČNI, Praha, 2006.

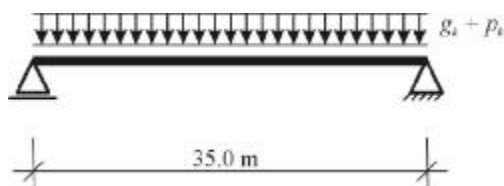
Část 5.6 Svařovaný nosník uzavřeného průřezu

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

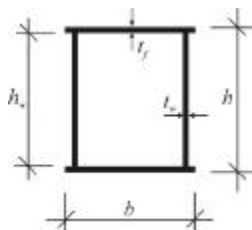
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladu je ukázán návrh svařovaného nosníku uzavřeného průřezu. Nosník je částí střešní konstrukce o rozpětí 35,0 m. Vzdálenost mezi nosníky je 10,0 m. Zatížení je rovnoměrné spojité. Nosník je zajištěn proti ztrátě stability po celé své délce a je proveden bez požární ochrany. Požadovaná požární odolnost je R 30.



Obrázek 1. Statické schéma



Obrázek 2. Průřez

Materiálové vlastnosti:

Ocel:	S 355
Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$
Výška:	$h = 700 \text{ mm}$
Výška stojiny:	$h_w = 650 \text{ mm}$
Šířka:	$b = 450 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice:	$t_f = 25 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$t_w = 25 \text{ mm}$
Průřezová plocha pásnice:	$A_f = 11\,250 \text{ mm}^2$
Průřezová plocha stojiny:	$A_w = 16\,250 \text{ mm}^2$
Měrné teplo:	$c_a = 600 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Hustota:	$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$
Emisivita nosníku:	$\varepsilon_m = 0,7$

Emisivita plamenů:	$\varepsilon_r = 1,0$
Polohový faktor:	$\Phi = 1,0$
Součinitel přestupu tepla prouděním:	$\alpha_c = 25,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Stephan-Boltzmannova konstanta:	$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
Zatížení:	
Stálé:	
Nosník:	$g_{a,k} = 4,32 \text{ kN/m}$
Střecha:	$g_{r,k} = 5,0 \text{ kN/m}$
Nahodilé:	
Sníh:	$p_{s,k} = 11,25 \text{ kN/m}$

2 POŽÁRNÍ ÚNOSNOT NOSNÍKU UZAVŘENÉHO PRŮŘEZU

2.1 Mechanické zatížení během požáru

Zatížení při požáru se uvažuje v mimořádné kombinaci zatížení:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Součinitel kombinace pro zatížení sněhem je $\psi_{2,1} = 0.0$. Při použití tohoto součinitele se návrhový ohybový moment určí jako:

$$M_{f1,d} = \left[(4,32 + 5,0) + 0,0 \cdot 11,25 \right] \cdot \frac{35,0^2}{8} = 1427,1 \text{ kNm}$$

2.2 Výpočet teploty oceli

Přírůstek teploty oceli se vypočítá jako:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m/V}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \dot{h}_{net,d} \cdot \Delta t = 1,0 \cdot \frac{40}{600 \cdot 7850} \cdot 5 \cdot \dot{h}_{net} = 4,25 \cdot 10^{-5} \cdot \dot{h}_{net}$$

kde:

k_{sh} součinitel vlivu zastínění části průřezu ($k_{sh} = 1.0$)

Δt časový interval ($\Delta t = 5$ sekund)

A_m/V součinitel nechráněného průřezu (tabulka 4.2)

$$A_m/V = 1/t = 1/0.025 = 40 \text{ 1/m}$$

Čistý tepelný tok se určí podle ČSN EN 1991-1-2 jako:

2

$$\begin{aligned} \dot{h}_{net} &= \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) \\ &= 25 \cdot (\theta_g - \theta_m) + 3,969 \cdot 10^{-8} \cdot \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right) \end{aligned}$$

Teplota plynů se určí podle normové teplotní křivky:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$

Průběh teploty průřezu v závislosti na času je na obrázku 3:

ČSN EN 1991-1-2

kap. 4.3

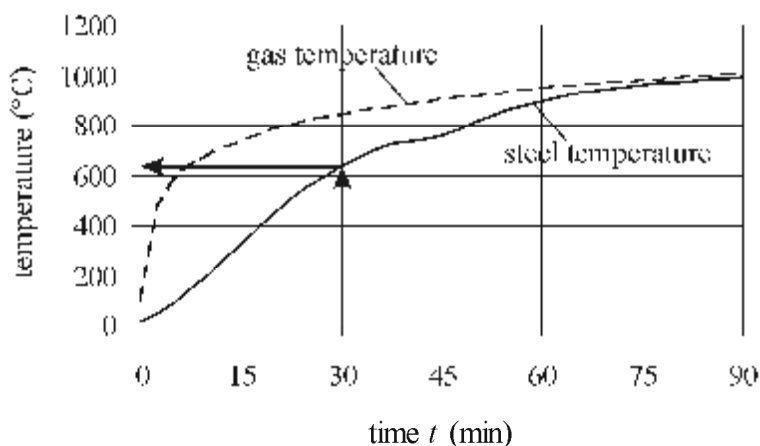
ČSN EN 1993-1-2

čl. 4.2.5.1

ČSN EN 1991-1-

čl. 3.1

čl. 3.2.1



Obrázek 3. Průběh teploty průřezu

Kde time je čas v min,
temperature teplota ve, °C
gas temperature teplota plynu,
steel temperature teplota oceli.

$$\Rightarrow \theta_{a,max,30} = 646 \text{ °C}$$

2.3 Ověření podle teploty

Návrhová momentová únosnost během požáru v čase $t = 0$:

$$\begin{aligned} M_{fi,Rd,0} &= W_{pl} \cdot f_y \cdot k_{y,\theta,max} / \gamma_{M,fi} \\ &= 12\,875\,000 \cdot 355 \cdot \frac{1,0}{1,0} \cdot 10^{-6} \\ &= 4570,6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

kde

$$\begin{aligned} k_{y,\theta,max} &= 1,0 \quad \text{pro } \theta = 20 \text{ °C v čase } t = 0 \\ \gamma_{M,fi} &= 1,0 \end{aligned}$$

a

$$\begin{aligned} W_{pl} &= 2 \cdot \left(\frac{2 \cdot A_w}{2} \cdot \frac{h_w}{4} + A_f \cdot \frac{h - t_w}{2} \right) \\ &= 2 \cdot \left(16\,250 \cdot \frac{650}{4} + 11\,250 \cdot \frac{700 - 25}{2} \right) \\ &= 12\,875\,000 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Stupeň využití v čase $t=0$:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} = M_{fi,d} / M_{fi,Rd,0} = 1427,1 / 4570,6 = 0,31$$

Kritická teplota $\theta_{a,cr}$ je uvedena v tabulce 4.1 normy ČSN EN 1993-1-2.

$$\Rightarrow \theta_{a,cr} = 659 \text{ °C}$$

Posudek:

$$\frac{646}{659} = 0,98 < 1 \quad \checkmark$$

ČSN EN 1993-1-2

čl. 4.2.3.3

čl. 4.2.4

2.4 Ověření podle únosnosti

K určení momentové únosnosti se určí redukční součinitel meze kluzu $k_{y,\theta}$ pro teplotu $\theta_{a,max,30} = 646$ °C. Tento součinitel je uveden v tabulce 3.1 normy ČSN EN 1993-1-2:

$$k_{y,\theta} = 0,360$$

čl. 3.2.1

Dále se určí součinitele podmínek působení κ_1 a κ_2 .

Součinitel podmínek působení pro nerovnoměrné rozdělení teploty po průřezu κ_1 viz tabulka 1.

Tabulka 1. Součinitel κ_1

čl. 4.2.3.3

	κ_1 [-]
Nosník exponovaný ze všech čtyř stran	1,0
Nechráněný nosník exponovaný ze tří stran, se spřaženou nebo betonovou deskou na straně čtvrté	0,7
Chráněný nosník exponovaný ze tří stran, se spřaženou nebo betonovou deskou na straně čtvrté	0,85

V tomto případě se jedná o nechráněný nosník exponovaný ze tří stran, s betonovou deskou na straně čtvrté. Hodnota κ_1 je tudíž:

$$\kappa_1 = 1,0$$

Součinitel podmínek působení pro nerovnoměrné rozdělení teploty po délce nosníku κ_2 viz tabulka 2.

Tabulka 2. Součinitel κ_2

	κ_2 [-]
V podporách staticky neurčitého nosníku	0,85
Ve všech ostatních případech	1,0

Posudek se provádí uprostřed rozpětí prostého nosníku, tedy součinitel κ_2 nabývá hodnoty:

$$\kappa_2 = 1,0$$

Návrhová únosnost v ohybu:

$$\begin{aligned} M_{fi,t,Rd} &= M_{pl,Rd,20^\circ C} \cdot k_{y,\theta} \cdot \frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,fi}} \cdot \frac{1}{\kappa_1 \cdot \kappa_2} \\ &= (12\,875\,000 \cdot 355/1,1) \cdot 0,36 \cdot \frac{1,1}{1,0} \cdot \frac{1}{1,0 \cdot 1,0} \cdot 10^{-6} = 1645,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posudek:

$$\frac{1427,1}{1645,4} = 0,87 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1993-1-2: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, 2006.

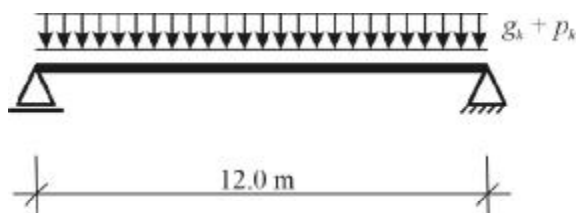
Část 5.7 Částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový nosník

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

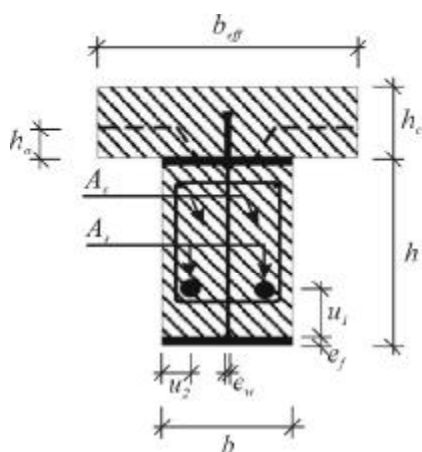
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

Řešený příklad ukazuje posouzení spřaženého nosníku skladiště. Jedná se o prostě podepřený nosník o rozpětí 12 m zatížený spojitým zatížením. Ocelový nosník je částečně obetonovaný a stropní deska je plechobetonová deska se samosvorným plechem. Požadovaná požární odolnost je R 90.



Obrázek 1. Statické schéma



Obrázek 2. Průřez

Vlastnosti materiálu:

Nosník:

Profil:	IPE 500
Ocel:	S 355
Výška:	$h = 500$ mm
Šířka:	$b = 200$ mm
Tloušťka stojiny:	$e_w = 10,2$ mm
Tloušťka pásnice:	$e_f = 16$ mm
Plocha průřezu:	$A_a = 11\,600$ mm ²
Mez kluzu:	$f_{y,a} = 355$ N/mm ²

Deska:

Beton:	C 25/30
Tloušťka:	$h_c = 160$ mm
Efektivní šířka:	$b_{eff} = 3000$ mm
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25$ N/mm ²

Ocelový plech:

Typ:	samosvorný
Výška:	$h_a = 51$ mm

Výztuž obetonovaného nosníku:

Ocel:	S 500
Průměr:	2 Ø 30
Průřezová plocha:	$A_s = 1410$ mm ²
Osová vzdálenost:	$u_l = 110$ mm
	$u_{s,l} = 60$ mm
Mez kluzu:	$f_{y,s} = 500$ N/mm ²

Beton mezi pásnicemi:

Beton:	C 25/30
Šířka:	$b_c = 200$ mm
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25$ N/mm ²

Zatížení:

Stálé:

Vlastní tíha:	$g_{s,k} = 15,0$ kN/m
Skladba podlah, příčky:	$g_{f,k} = 6,0$ kN/m

Nahodilé:

Užitné:	$p_k = 30,0$ kN/m
---------	-------------------

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST ČÁSTEČNĚ OBETONOVANÉHO SPŘAŽENÉHO NOSNÍKU

2.1 Zatížení během požáru

Zatížení se určí jako kombinace při mimořádné situaci:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Součinitel kombinace rozhodujícího nahodilého zatížení ve skladu je $\psi_{2,1} = 0,8$.

Návrhový ohybový moment během požáru:

$$M_{f1,d} = \left((15,0 + 6,0) + 0,8 \cdot (30,0) \right) \cdot \frac{12,0^2}{8} = 810,0 \text{ kNm}$$

Ověření pomocí zjednodušených výpočtů

Spřažený nosník je posouzen jednouchým výpočtem dle ČSN EN 1994-1-2,

ČSN EN 1991-1-2

kap. 4.3

ČSN EN 1994-1-2

čl. 4.3.4.3

kapitola 4.3.4.3 a příloha F.

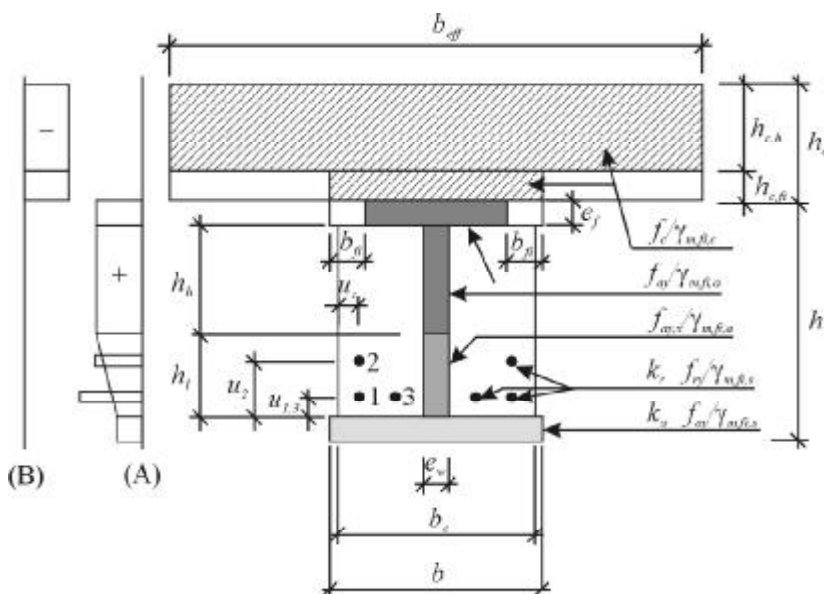
Tento model může být použit v případě, kdy deska má minimální tloušťku h_c , ocelový nosník má výšku minimálně h a šířku minimálně b_c (kde b_c je minimum z šířky ocelového nosníku a obetonování) a minimální plochu $h \cdot b_c$ (viz tabulka 1).

Tabulka 1. Minimální rozměry pro jednoduché výpočty spřažených částečně obetonovaných nosníků (viz ČSN EN 1994-1-2, Kapitola 4.3.4.3, Tabulka 4.8)

Požární odolnost	Minimální tloušťka desky h_c [mm]
R 30	60
R 60	80
R 90	100
R 120	120
R 180	150

$$h_c = 160 \text{ mm} > \min h_c = 100 \text{ mm} \quad \checkmark$$

Výpočetní model dle přílohy F rozděluje průřez na části. V některých částech je redukována mez kluzu, v ostatních se redukuje plocha průřezu.



Obrázek 3. Redukovaná plocha průřezu pro výpočet únosnosti v ohybu a rozdělení napětí v oceli (A) a betonu (B)

Vliv ohřívání betonu je uvažován zmenšením průřezové plochy. Redukce výšky $h_{c,fi}$ je dána v tabulce 2 v závislosti na požadované požární odolnosti. U spřažených desek se samosvorným plechem se uvažuje redukce výšky $h_{c,fi,min}$, která odpovídá výšce ocelového plechu (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha F, obrázek F.2).

$$h_{c,fi} = 30 \text{ mm}$$

$$h_{c,fi,min} = 51 \text{ mm}$$

Účinná výška betonu během požáru $h_{c,h}$:

př. F.1

$$h_{c,h} = 160 - 51 = 109 \text{ mm}$$

Tabulka 2. Redukce výšky betonové desky $h_{c,fi}$
(viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha F, Tabulka F.1)

Požární odolnost	Výšková redukce $h_{c,fi}$ [mm]
R 30	10
R 60	20
R 90	30
R 120	40
R 180	55



Obrázek 4. Minimální výšková redukce $h_{c,fi,min}$ pro samosvorné plechy

Vliv ohřívání horní pásnice je zohledněn redukcí průřezové plochy. Výpočet redukce šířky pásnice b_{fi} je dán v tabulce 3.

$$b_{fi} = (16,0/2) + 30 + (200 - 200)/2 = 38,0 \text{ mm}$$

Efektivní šířka pásnice:

$$b_{fi,u} = 200 - 2 \cdot 38 = 124,0 \text{ mm}$$

Tabulka 3. Redukce šířky b_{fi} horní pásnice (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha F, tabulka F.2)

Požární odolnost	Redukce šířky b_{fi} [mm]
R 30	$(e_f/2) + (b - b_c)/2$
R 60	$(e_f/2) + 10 + (b - b_c)/2$
R 90	$(e_f/2) + 30 + (b - b_c)/2$
R 120	$(e_f/2) + 40 + (b - b_c)/2$
R 180	$(e_f/2) + 60 + (b - b_c)/2$

Stojina ocelového nosníku je rozdělena na dvě části. Horní části stojiny se uvažuje s neredukovanou mezí kluzu, zatímco ve spodní části je uvažován lineární průběh z meze kluzu horní části k redukované mezi kluzu spodní pásnice. Výška spodní části stojiny h_l :

$$h_l = \frac{a_1}{b_c} + \frac{a_2 \cdot e_w}{b_c \cdot h} > h_{l,min}$$

Parametry a_1 , a_2 a minimální výška $h_{l,min}$, jsou uvedeny v tabulce 4 pro případ $h/b_c > 2$.

$$h/b_c = 500 \text{ mm} / 200 \text{ mm} = 2,5$$

$$h_l = \frac{14,000}{200} + \frac{75\,000 \cdot 10,2}{200 \cdot 500} = 77,7 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

Tabulka 4. Parametry a_1 , a_2 a minimální výška $h_{l,min}$ pro případ $h/b_c > 2$ (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha F, Tabulka F.3)

Požární odolnost	a_1 [mm ²]	a_2 [mm ²]	$h_{l,min}$ [mm]
R 30	3 600	0	20
R 60	9 500	0	30
R 90	14 000	75 000	40
R 120	23 000	110 000	45
R 180	35 000	250 000	55

U spodní pásnice je redukována místo průřezové plochy mez kluzu součinitelem k_a . Tento součinitel je dán v tabulce 5 spolu s horní a dolní hranicí, které vymezují jeho hodnoty.

$$a_0 = 0,018 \cdot e_f + 0,7 = 0,018 \cdot 16,0 + 0,7 = 0,988$$

$$k_a = \left(0,12 - \frac{17}{200} + \frac{500}{38 \cdot 200} \right) \cdot 0,988 = 0,100 \begin{cases} > 0,06 \\ < 0,12 \end{cases}$$

Tabulka 5. Redukční součinitel k_a meze kluzu pro spodní pásnici (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha F, Tabulka F.4)

Požární odolnost	Redukční součinitel k_a	$k_{a,min}$	$k_{a,max}$
R 30	$\left(1,12 - \frac{84}{b_c} + \frac{h}{22 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,5	0,8
R 60	$\left(0,21 - \frac{26}{b_c} + \frac{h}{24 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,12	0,4
R 90	$\left(0,12 - \frac{17}{b_c} + \frac{h}{38 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,06	0,12
R 120	$\left(0,1 - \frac{15}{b_c} + \frac{h}{40 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,05	0,1
R 180	$\left(0,03 - \frac{3}{b_c} + \frac{h}{50 \cdot b_c} \right) \cdot a_0$	0,03	0,06

Ohřívání výztužných prutů v obetonovaném nosníku se uvažuje redukcí meze kluzu. Velikost redukčního součinitele závisí na požární odolnosti a na umístění výztužných prutů. Podobně jako redukční součinitel k_a má redukční součinitel k_r horní i spodní hranici.

$$A_m = 2 \cdot h + b_c = 2 \cdot 500 + 200 = 1200 \text{ mm}$$

$$V = h \cdot b_c = 500 \cdot 200 = 100\,000 \text{ mm}^2$$

$$u = \frac{1}{\left(\frac{1}{u_i}\right) + \left(\frac{1}{u_{si}\right)} + \frac{1}{(b_c - e_w - u_{si})}}$$

$$= \frac{1}{\left(\frac{1}{110}\right) + \left(\frac{1}{60}\right) + \frac{1}{(200 - 10,2 - 60)}}$$

$$= 29,88 \text{ mm}$$

$$k_r = \frac{(u \cdot a_3 + a_4) \cdot a_5}{\sqrt{A_m/V}} = \frac{(29,88 \cdot 0,026 - 0,154) \cdot 0,09}{\sqrt{1200/100\,000}} = 0,51 \begin{cases} > 0,1 \\ < 1,0 \end{cases}$$

Tabulka 6. Parametry pro výpočet k_r (viz ČSN EN 1994-1-2, Příloha F, Tabulka F.5)

Požární odolnost	a_3	a_4	a_5	$k_{r,min}$	$k_{r,max}$
R 30	0,062	0,16	0,126	0,1	1,0
R 60	0,034	-0,04	0,101	0,1	1,0
R 90	0,026	-0,154	0,090	0,1	1,0
R 120	0,026	-0,284	0,082	0,1	1,0
R 180	0,024	-0,562	0,076	0,1	1,0

Velikosti osových sil v jednotlivých částech průřezu:

Beton:

$$C_c = b_{eff} \cdot h_{c,h} \cdot \alpha_c \cdot f_c = 300,0 \cdot 10,9 \cdot 0,85 \cdot 2,5 = 6948,8 \text{ kN}$$

Horní pásnice:

$$T_{f,u} = b_{fi,u} \cdot e_f \cdot f_y = 12,4 \cdot 1,60 \cdot 35,5 = 704,3 \text{ kN}$$

Horní část stojiny:

$$T_{w,u} = e_w \cdot h_h \cdot f_y = 1,02 \cdot 39,03 \cdot 35,5 = 1413,3 \text{ kN}$$

kde:

$$h_h = h - 2 \cdot e_f - h_l = 50,0 - 2 \cdot 1,6 - 7,77 = 39,03 \text{ cm}$$

Spodní část stojiny:

$$T_{w,l} = e_w \cdot h_l \cdot \left(\frac{1+k_a}{2}\right) \cdot f_y = 1,02 \cdot 7,77 \cdot \left(\frac{1+0,1}{2}\right) \cdot 35,5 = 154,7 \text{ kN}$$

$$z_{w,l} = h_l \cdot \frac{2 \cdot k_a + 1}{3 \cdot (k_a + 1)} = 7,77 \cdot \frac{2 \cdot 0,1 + 1}{3 \cdot (0,1 + 1)} = 2,8 \text{ cm}$$

Spodní pásnice:

$$T_{f,l} = b \cdot e_f \cdot k_a \cdot f_{y,a} = 20,0 \cdot 1,6 \cdot 0,1 \cdot 35,5 = 113,6 \text{ kN}$$

Výztužné pruty:

$$T_r = A_s \cdot k_r \cdot f_{y,s} = 14,1 \cdot 0,51 \cdot 50,0 = 359,6 \text{ kN}$$

Velikost tlakové síly C_c je větší než součet tahových sil T_b , proto plastická neutrální osa leží v betonové desce. Její poloha se určí podle:

$$z_{pl} = \frac{\sum T_i}{\alpha_c \cdot f_c \cdot b_{eff}} = \frac{704,3 + 1413,3 + 154,7 + 113,6 + 359,6}{0,85 \cdot 2,5 \cdot 300} = 4,31 \text{ cm}$$

Ramena působí sil v jednotlivých částech průřezu:
 Betonová deska v tlaku (vztaženo k horní hraně desky):

$$z_c = z_{pl} / 2 = 4,31 / 2 = 2,16 \text{ cm}$$

Horní pásnice (vztaženo k těžišti betonové desky):

$$z_{f,u} = h_c + e_f / 2 - z_c = 16,0 + 1,6 / 2 - 2,16 = 14,64 \text{ cm}$$

Horní část stojiny:

$$z_{w,u} = h_c + e_f + h_h / 2 - z_c = 16,0 + 1,6 + 39,03 / 2 - 2,16 = 34,96 \text{ cm}$$

Spodní část stojiny:

$$z_{w,l} = h_c + e_f + h_h + z_{w,l} - z_c = 16 + 1,6 + 39,03 + 2,8 - 2,16 = 57,27 \text{ cm}$$

Spodní pásnice:

$$z_{f,l} = h_c + h - e_f / 2 - z_c = 16,0 + 50,0 - 1,6 / 2 - 2,16 = 63,04 \text{ cm}$$

Výztužné pruty:

$$z_r = h_c + h - e_f - u_1 - z_c = 16,0 + 50,0 - 1,6 - 11,0 - 2,16 = 51,24 \text{ cm}$$

Plastická únosnost v ohybu:

$$\begin{aligned} M_{fi,Rd} &= T_{f,u} \cdot z_{f,u} + T_{w,u} \cdot z_{w,u} + T_{w,l} \cdot z_{w,l} + T_{f,l} \cdot z_{f,l} + T_r \cdot z_r \\ &= 704,3 \cdot 14,64 + 1413,3 \cdot 34,96 + 154,7 \cdot 57,27 + 113,6 \cdot 63,04 \\ &\quad + 359,6 \cdot 51,24 \\ &= 10\,311 + 49\,409 + 8\,860 + 7\,161 + 18\,426 \\ &= 94\,167 \text{ kNcm} = 942,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Posudek:

$$\frac{810,0}{942,7} = 0,86 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

- ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.
 ČSN EN 1994-1-2: Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, 2006.

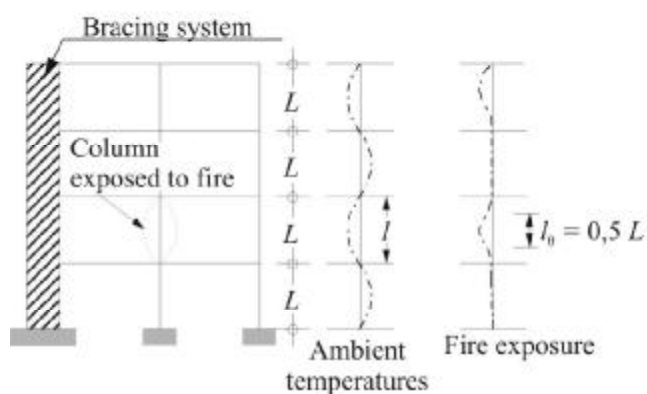
Část 5.8 Částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový sloup

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

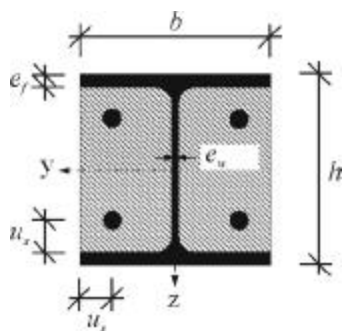
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladu je navržen částečně obetonovaný spřažený ocelobetonový sloup, který je součástí administrativní budovy. Konstrukční výška podlaží je $L = 4,0$ m. Sloup je součástí vyztuženého rámu a s horním i spodním sloupem je tuze spojen, proto lze jeho vzpěrnou délku uvažovat dle obrázku 1. Pro výpočet je použit jednoduchý výpočetní model a tabulkové hodnoty. Požadovaná požární odolnost je R 60.



Obrázek 1. Vzpěrné délky sloupů za běžné teploty (označeno jako Ambient temperatures) a při vystavení požáru (Fire exposure)



Obrázek 2. Průřez sloupu

Materiálové vlastnosti:

Ocelový sloup:

Profil:	HEB 300
Ocel:	S 235
Výška:	$h = 300 \text{ mm}$
Šířka:	$b = 300 \text{ mm}$
Tloušťka stojiny:	$e_w = 11 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice:	$e_f = 19 \text{ mm}$
Průřezová plocha:	$A_a = 14900 \text{ mm}^2$
Mez kluzu:	$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E_a = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_z = 8560 \text{ cm}^4$

Výztuž:

Ocel:	S 500
Průměr:	4 Ø 25
Průřezová plocha:	$A_s = 1960 \text{ mm}^2$
Mez kluzu:	$f_s = 500 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E_s = 210\,000 \text{ N/mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_s = 4 \cdot 4,9 \cdot (30,0 / 2 - 5,0)^2 = 1960 \text{ cm}^4$
Osová vzdálenost:	$u_s = 50 \text{ mm}$

Beton:

Třída:	C 25/30
Průřezová plocha:	$A_c = 300 \cdot 300 - 14900 - 1960 = 73\,140 \text{ mm}^2$
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E_{cm} = 30\,500 \text{ N/mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_c = 30 \cdot 30^3 / 12 - 8560 - 1960 = 56\,980 \text{ cm}^4$

Zatížení:

Stálé:	$G_k = 960 \text{ kN}$
Nahodilé:	$P_k = 612,5 \text{ kN}$

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST ČÁSTEČNĚ OBETONOVANÉHO SPRAŽENÉHO SLOUPU

2.1 Zatížení během požáru

ČSN EN 1991-1-2

Zatížení při požáru se určí jako zatížení při mimořádné situaci:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Čl 4.3

Použití součinitele kombinace $\psi_{2,1} = 0.3$ dává návrhové zatížení během požáru:

$$N_{fi,d} = 1,0 \cdot 960 + 0,3 \cdot 612,5 = 1143,8 \text{ kN}$$

2.2 Ověření pomocí jednoduchých výpočtů

ČSN EN 1994-1-2

2.2.1 Platnost použití

Jednoduché výpočetní postupy ověřují konstrukci z hlediska únosnosti. Musí být prokázáno, že návrhové zatížení při zvýšené teplotě je menší než návrhová únosnost.

$$N_{fi,d} / N_{fi,Rd} \leq 1$$

čl 4.3.5.1

Návrhová únosnost v tlaku se ztrátou stability kolmo k ose z (měkká osa) se určí jako:

$$N_{f_i,Rd,z} = \chi_z \cdot N_{f_i,pl,Rd}$$

kde:

χ_z Součinitel vzpěru, zde podle vzpěrnostní křivky c
 $N_{f_i,pl,Rd}$ Návrhová hodnota tlakové únosnosti při požáru v prostém tlaku

Jednoduchý výpočetní model lze použít, pokud je sloup součástí vyztuženého rámu a pokud splňuje podmínky uvedené v tabulce 1.

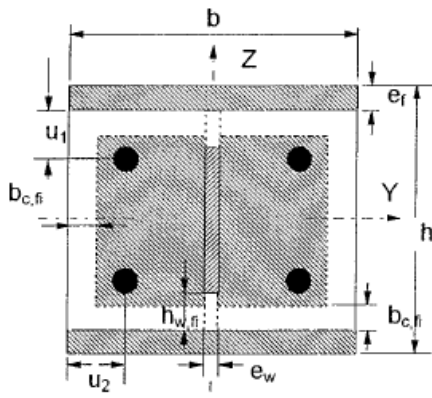
Tabulka 1. Podmínky pro použití jednoduchého výpočetního modelu

Podmínka	Hodnota	
$\max l_\theta = 13,5 \cdot b = 13,5 \cdot 0,3 = 4,05 \text{ m}$	$l_\theta = 0,5 \cdot 4,0 = 2,0 \text{ m}$	✓
$230 \text{ mm} \leq h \leq 1100 \text{ mm}$	$h = 300 \text{ mm}$	✓
$230 \text{ mm} \leq b \leq 500 \text{ mm}$	$b = 300 \text{ mm}$	✓
$1\% \leq A_s / (A_c + A_s) \leq 6\%$	$19,6 / (731,4 + 19,6) = 0,03 = 3\%$	✓
max R 120	R 60	✓
$l_\theta < 10 \cdot b$ pro $\begin{cases} 230 \leq b < 300 \text{ nebo} \\ h/b > 3 \end{cases}$	$b = 300 \text{ mm}$ $h/b = 300/300 = 1$	
$l_\theta < 10 \cdot b = 10 \cdot 300 \text{ mm} = 3 \text{ m}$	$l_\theta = 0,5 \cdot 4,0 = 2,0 \text{ m}$	✓

čl 4.3.5.2
 čl G.8

2.2.2 Výpočet plastické návrhové únosnosti a efektivní ohybové tuhosti

Podle Přílohy G normy ČSN EN 1994-1-2 se průřez spřaženého sloupu redukuje. Některé části průřezu se redukuje pomocí redukce meze kluzu a ostatní pomocí redukce průřezové plochy, viz obrázek 3.



Obrázek 3. Redukovaná plocha průřezu při požárním návrhu

U pásnic ocelového průřezu je redukována mez kluzu a modul pružnosti pomocí redukčních součinitelů. Velikost redukčních součinitelů závisí na průměrné teplotě v pásnicích:

$$\theta_{f,t} = \theta_{o,t} + k_t \cdot A_m / V$$

čl G.2

Teplota $\theta_{o,t}$ a redukční součinitel k_t jsou dány v tabulce 2. Součinitel průřezu se vypočítá jako:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{2 \cdot (h + b)}{h \cdot b} = \frac{2 \cdot (0,3 + 0,3)}{0,3 \cdot 0,3} = 13,3 \text{ m}^{-1}$$

Tabulka 2. Parametry pro výpočet průměrné teploty pásnic
(viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.1)

Požární odolnost	$\theta_{o,t}$ [°C]	k_t [m°C]
R 30	550	9,65
R 60	680	9,55
R 90	805	6,15
R 120	900	4,65

Průměrná teplota v pásnici pro požární odolnost R 60:

$$\theta_{f,t} = 680 + 9,55 \cdot 13,3 = 807 \text{ °C}$$

Redukční součinitele $k_{y,\theta}$ a $k_{E,\theta}$ pro tuto teplotu jsou uvedeny v tabulce 3.2 normy ČSN EN 1994-1-2. V této tabulce lze určit mezilehlé hodnoty lineární interpolací.

$$k_{y,\theta} = 0,06 + \left(\frac{900 - 807}{900 - 800} \right) \cdot (0,11 - 0,06) = 0,107$$

$$k_{E,\theta} = 0,0675 + \left(\frac{900 - 807}{900 - 800} \right) \cdot (0,09 - 0,0675) = 0,088$$

Plastická návrhová únosnost pásnice v tlaku při zvýšené teplotě:

$$N_{f_i,pl,Rd,f} = 2 \cdot (b \cdot e_f \cdot k_{y,\theta} \cdot f_{ay,f}) / \gamma_{M,f_i,a} = 2 \cdot (30 \cdot 1,9 \cdot 0,107 \cdot 23,5) / 1,0 = 286,65 \text{ kN}$$

Ohybová tuhost pásnic při zvýšené teplotě:

$$(EI)_{f_i,f,z} = k_{E,\theta} \cdot E_{a,f} \cdot (e_f \cdot b^3) / 6 = 0,088 \cdot 21\,000 \cdot (1,9 \cdot 30^3) / 6 = 1,58 \cdot 10^7 \text{ kNcm}^2$$

U stojiny je redukována jak mez kluzu, tak průřezová plocha. Průřezová plocha je redukována pomocí snížení výšky stojiny, jež je na obou koncích stojiny stejně veliké.

$$h_{w,f_i} = 0,5 \cdot (h - 2 \cdot e_f) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 0,16 \cdot (H_t/h)} \right)$$

čl G.3

Parametr H_t viz tabulka 3.

Tabulka 3. Parametr pro redukci výšky stojiny
(viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.2)

Požární odolnost	H_t [mm]
R 30	350
R 60	770
R 90	1100
R 120	1250

Redukovaná výška stojiny h_{w,f_i} :

$$h_{w,f_i} = 0,5 \cdot (30 - 2 \cdot 1,9) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - 0,16 \cdot (77/30)} \right) = 3,04 \text{ cm}$$

Redukce meze kluzu stojiny:

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} \cdot \sqrt{1 - 0,16 \cdot (H_t/h)} = 23,5 \cdot \sqrt{1 - 0,16 \cdot (77/30)} = 18,04 \text{ kN/cm}^2$$

Únosnost stojiny v tlaku při zvýšené teplotě:

$$\begin{aligned}
 N_{fi,pl,Rd,w} &= \left[e_w \cdot (h - 2 \cdot e_f - 2 \cdot h_{w,fi}) \cdot f_{ay,w,t} \right] / \gamma_{M,fi,a} \\
 &= \left[1,1 \cdot (30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 3,04) \cdot 18,04 \right] / 1,0 \\
 &= 399,26 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Ohybová tuhost stojiny při zvýšené teplotě:

$$\begin{aligned}
 (EI)_{fi,w,z} &= \left[E_{a,w} \cdot (h - 2 \cdot e_f - 2 \cdot h_{w,fi}) \cdot e_w^3 \right] / 12 \\
 &= \left[21\,000 \cdot (30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 3,04) \cdot 1,1^3 \right] / 12 \\
 &= 0,0047 \cdot 10^7 \text{ kNcm}
 \end{aligned}$$

Vnější vrstva betonu o tloušťce $b_{c,fi}$ (viz tabulka 4) se ve výpočtu neuvažuje.

$$\Rightarrow b_{c,fi} = 1,5 \text{ cm}$$

čl G.4

Tabulka 4. Redukce tloušťky betonu (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.3)

Požární odolnost	$b_{c,fi}$ [mm]
R30	4,0
R 60	15,0
R 90	$0,5 \cdot (A_m/V) + 22,5$
R 120	$2,0 \cdot (A_m/V) + 24,0$

U zbytku betonového průřezu je redukována pevnost betonu redukčním součinitelem $k_{c,\theta}$, který je závislý na teplotě betonu. Průměrná teplota betonu je závislá na součiniteli průřezu A_m/V a je dána v tabulce 5.

Tabulka 5. Průměrná teplota betonu v závislosti na součiniteli průřezu (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.4)

R 30		R 60		R 90		R 120	
A_m/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,t}$ [°C]	A_m/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,t}$ [°C]	A_m/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,t}$ [°C]	A_m/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,t}$ [°C]
4	136	4	214	4	256	4	265
23	300	9	300	6	300	5	300
46	400	21	400	13	400	9	400
---	---	50	600	33	600	23	600
---	---	---	---	54	800	38	800
---	---	---	---	---	---	41	900
---	---	---	---	---	---	43	1000

$$\Rightarrow \theta_{c,t} = 400 - \left((21 - 13,3) / (21 - 9) \right) \cdot (400 - 300) = 336 \text{ °C}$$

kde

$$A_m/V = 13,3 \text{ m}^{-1},$$

Redukční součinitel $k_{c,\theta}$ a přetvoření $\varepsilon_{cu,\theta}$ pro $f_{c,\theta}$ jsou uvedeny v tabulce 3.3 normy ČSN EN 1994-1-2.

$$k_{c,\theta} = 0,75 + \left((400 - 336) / (400 - 300) \right) \cdot (0,85 - 0,75) = 0,814$$

$$\varepsilon_{cu,\theta} = \left[10 - \left((400 - 336) / (400 - 300) \right) \cdot (10 - 7) \right] \cdot 10^{-3} = 8,08 \cdot 10^{-3}$$

Sečný modul pružnosti betonu:

$$E_{c,sec,\theta} = k_{c,\theta} \cdot f_c / \varepsilon_{cu,\theta} = 0,814 \cdot 2,5 / (8,08 \cdot 10^{-3}) = 251,9 \text{ kN/cm}^2$$

Návrhová osová únosnost betonové části při zvýšené teplotě:

$$\begin{aligned} N_{fi,pl,Rd,c} &= 0,86 \cdot \left(\left((h - 2 \cdot e_f - 2 \cdot b_{c,fi}) \cdot (b - e_w - 2 \cdot b_{c,fi}) \right) - A_s \right) \\ &\quad \cdot f_{c,\theta} / \gamma_{M,fi,c} \\ &= 0,86 \cdot \left(\left((30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 1,5) \cdot (30 - 1,1 - 2 \cdot 1,5) \right) - 19,6 \right) \\ &\quad \cdot (0,814 \cdot 2,5) / 1,0 \\ &= 1017,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ohybová tuhost betonu při zvýšené teplotě:

$$\begin{aligned} (EI)_{fi,c,z} &= E_{c,sec,\theta} \cdot \left(\left((h - 2 \cdot e_f - 2 \cdot b_{c,fi}) \cdot \left((b - 2 \cdot b_{c,fi})^3 - e_w^3 \right) / 12 \right) - I_{s,z} \right) \\ &= 251,9 \cdot \left(\left((30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 1,5) \cdot \left((30 - 2 \cdot 1,5)^3 - 1,1^3 \right) / 12 \right) - 1960 \right) \\ &= 0,909 \cdot 10^7 \text{ kNcm}^2 \end{aligned}$$

U prutů výztuže se redukuje pouze mez kluzu a modul pružnosti. Součinitel pro redukcii meze kluzu $k_{y,t}$ je uveden v tabulce 6 a součinitel $k_{E,t}$ pro redukcii modulu pružnosti je v tabulce 7. Oba součinitele jsou závislé na třídě požární odolnosti a na geometricky průměrné vzdálenosti u mezi výztužnými pruty a okrajem betonu.

$$u = \sqrt{u_1 \cdot u_2} = \sqrt{50 \cdot 50} = 50 \text{ mm}$$

kde:

- u_1 je osová vzdálenost od krajního prutu výztuže k okraji vnitřní pásnice
- u_2 je vzdálenost od krajního prutu výztuže k povrchu betonu

Tabulka 6. Redukční součinitel $k_{y,t}$ pro mez kluzu f_{sy} prutů výztuže (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.5)

Požární odolnost	u [mm]				
	40	45	50	55	60
R 30	1	1	1	1	1
R 60	0,789	0,883	0,976	1	1
R 90	0,314	0,434	0,572	0,696	0,822
R 120	0,170	0,223	0,288	0,367	0,436

Tabulka 7. Redukční součinitel $k_{E,t}$ pro modul pružnosti E_s prutů výztuže (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.6)

Požární odolnost	u [mm]				
	40	45	50	55	60
R 30	0,830	0,865	0,888	0,914	0,935
R 60	0,604	0,647	0,689	0,729	0,763
R 90	0,193	0,283	0,406	0,522	0,619
R 120	0,110	0,128	0,173	0,233	0,285

$$\Rightarrow k_{y,t} = 0,976$$

$$k_{E,t} = 0,689$$

Plastická návrhová únosnost prutu výztuže při zvýšené teplotě

$$N_{fi,pl,Rd,s} = A_s \cdot k_{y,t} \cdot f_{sy} / \gamma_{M,fi,s} = 19,6 \cdot 0,976 \cdot 50,0 / 1,0 = 956,5 \text{ kN}$$

čl G.5

Ohybová tuhost prutů výztuže při zvýšené teplotě

$$(EI)_{fi,s,z} = k_{E,t} \cdot E_s \cdot I_{s,z} = 0,689 \cdot 21\,000 \cdot 1960 = 2,836 \cdot 10^7 \text{ kNcm}^2$$

Návrhová únosnost celého průřezu při zvýšené teplotě:

$$\begin{aligned} N_{fi,pl,Rd} &= N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s} \\ &= 286,7 + 399,3 + 1017,3 + 956,5 \\ &= 2659,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Pro výpočet celkové ohybové tuhosti průřezu je nutné určit redukční součinitele $\varphi_{i,\theta}$, které jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8. Redukční součinitele pro výpočet efektivní ohybové tuhosti (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha G, tabulka G.7)

Požární odolnost	$\varphi_{f,\theta}$	$\varphi_{w,\theta}$	$\varphi_{c,\theta}$	$\varphi_{s,\theta}$
R 30	1,0	1,0	0,8	1,0
R 60	0,9	1,0	0,8	0,9
R 90	0,8	1,0	0,8	0,8
R 120	1,0	1,0	0,8	1,0

$$\begin{aligned} (EI)_{fi,eff,z} &= \varphi_{f,\theta} \cdot (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} \cdot (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} \cdot (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} \cdot (EI)_{fi,s,z} \\ &= 0,9 \cdot 1,58 \cdot 10^7 + 1,0 \cdot 0,0047 \cdot 10^7 + 0,8 \cdot 0,909 \cdot 10^7 + 0,9 \cdot 2,836 \cdot 10^7 \\ &= 4,70 \cdot 10^7 \text{ kNcm}^2 \end{aligned}$$

2.2.3 Výpočet únosnosti ve vzpěrném tlaku při zvýšené teplotě

Kritické Eulerovo břemeno pro vybočení prutu v elastickém stavu:

$$N_{fi,cr,z} = \pi^2 \cdot (EI)_{fi,eff,z} / l_{\theta}^2 = \pi^2 \cdot 4,70 \cdot 10^7 / (0,5 \cdot 400)^2 = 11610,7 \text{ kN}$$

kde:

l_{θ} vzpěrná délka sloupu při požáru

Poměrná štíhlost prutu:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \sqrt{N_{fi,pl,R} / N_{fi,cr,z}} = \sqrt{2659,8 / 11610} = 0,48$$

kde:

$N_{fi,pl,R}$ je $N_{fi,pl,Rd}$ za použití dílčích součinitelů spolehlivosti $\gamma_{M,fi,I} = 1,0$

Vzpěrnostní součinitel χ_z se určí za použití vzpěrnostní křivky c tabulky 6.1 normy ČSN EN 1993-1-1 a bezrozměrné poměrné štíhlosti při požáru $\bar{\lambda}_{\theta}$

ČSN EN 1993-1-1

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} = \frac{1}{0,68 + \sqrt{0,68^2 - 0,48^2}} = 0,86$$

čl 6.3.1.2

kde:

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,5 \cdot \left(1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{\theta} - 0,2) + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right) = 0,5 \cdot \left(1 + 0,49 \cdot (0,48 - 0,2) + 0,48^2 \right) \\ &= 0,68 \end{aligned}$$

Návrhová vzpěrná únosnost prutu:

ČSN EN 1994-1-2

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z \cdot N_{fi,pl,Rd} = 0,86 \cdot 2659,8 = 2287,4 \text{ kN}$$

Posudek:

$$N_{f_i,d} / N_{f_i,Rd,z} = 1143,8 / 2287,4 = 0,50 < 1 \quad \checkmark$$

2.3 Posouzení podle tabulkových hodnot

Posouzení proběhne podle ověření únosnosti.

čl 4.2.3.3

Pro možnost redukčního součinitele zatížení $\eta_{f_i,t}$ musí ležet stupeň vyztužení průřezu mezi hodnotami 1% a 6%. Větší či menší stupeň vyztužení nelze uvažovat.

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \begin{cases} \geq 1\% \\ \leq 6\% \end{cases}$$

$$\frac{19,6}{731,4 + 19,6} = 0,03 = 3\% \begin{cases} > 1\% \\ < 6\% \end{cases}$$

Redukční součinitel zatížení:

$$\eta_{f_i,t} = E_{f_i,d,t} / R_d = N_{f_i,d} / N_{Rd} = 1143,8 / 4130,4 = 0,28$$

Mezilehlé hodnoty parametrů v tabulce 4.6 normy ČSN EN 1994-1-2 lze získat lineární interpolací. V tomto konkrétním případě se nemusí interpolovat.

Tabulka 9. Ověření částečně obetonovaného spřaženého nosníku

Minimum	Hodnota	
$\min e_w / e_f = 0,5$	$e_w / e_f = 1,1 / 1,9 = 0,58$	✓
$\min b = \min h = 200 \text{ mm}$	$b = h = 300 \text{ mm}$	✓
$\min u_s = 50 \text{ mm}$	$u_s = 50 \text{ mm}$	✓
$\min A_s / (A_c + A_s) = 4\%$	$A_s / (A_c + A_s) = 3\%$	✗

Stupeň vyztužení spřaženého sloupu je malý. Lze ho zvýšit buď zvětšením průměru prutů výztuže, nebo přidáním výztužných prutů.

Ověření jednoduchým výpočetním modelem vyhovělo, výsledky ukazují, že ověření pomocí tabulkových hodnot je konzervativní.

LITERATURA

ČSN EN 1991-1-2: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1993-1-1: Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1994-1-2: Eurokód 4: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, ČNI, Praha, 2006.

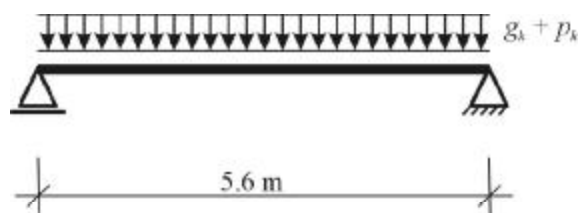
Část 5.9 Spřažený požárně chráněný ocelobetonový nosník

P. Schaumann, T. Trautmann
University of Hannover

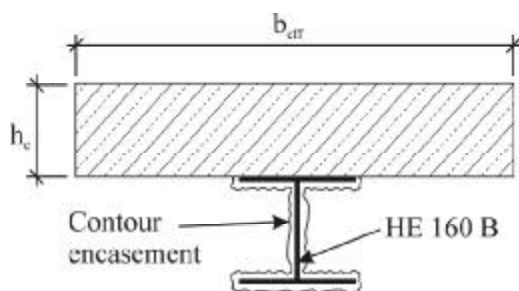
J. Žižka
České vysoké učení technické v Praze

1 ZADÁNÍ

V příkladě je posouzen spřažený ocelobetonový nosník administrativní budovy. Jedná se o prostě podepřený nosník zatížený spojitým zatížením. Betonová deska chrání horní stranu ocelového nosníku proti požáru, nosník je tedy vystaven požáru ze tří stran. Jako protipožární ochrana je použit hrubý nástřík vermikulitu a sádry po obvodě nosníku. Požadovaná požární ochrana je R 60.



Obrázek 1. Statický systém



Obrázek 2. Průřez

kde Contour encasement je požární ochrana nástříkem

Materiálové vlastnosti:

Nosník:

Profil:	HEB 160
Ocel:	S 355
Výška:	$h = 160$ mm
Výška stojiny:	$h_w = 134$ mm
Šířka:	$b = b_1 = b_2 = 160$ mm

Tloušťka stojiny:	$e_w = 8 \text{ mm}$
Tloušťka pásnice:	$e_f = e_1 = e_2 = 13 \text{ mm}$
Průřezová plocha:	$A_a = 5430 \text{ mm}^2$
Mez kluzu:	$f_{y,a} = 355 \text{ N/mm}^2$
Betonová deska:	
Třída:	C 25/30
Tloušťka:	$h_c = 160 \text{ mm}$
Efektivní šířka:	$b_{eff} = 1400 \text{ mm}$
Pevnost v tlaku:	$f_c = 25 \text{ N/mm}^2$
Modul pružnosti:	$E_{cm} = 29\,000 \text{ N/mm}^2$
Spřahování trny:	
Počet:	$n = 34$
Průměr:	$d = 22 \text{ mm}$
Pevnost v tahu:	$f_u = 500 \text{ N/mm}^2$
Nástřík:	
Materiál:	sádra
Tloušťka:	$d_p = 15 \text{ mm}$ (nástřík)
Tepelná vodivost:	$\lambda_p = 0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Měrné teplo:	$c_p = 1100 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
Hustota:	$\rho_p = 550 \text{ kg/m}^3$

Zatížení:	
Stálé:	
Vlastní tíha:	$g_k = 20,5 \text{ kN/m}$
Příčky:	$g_k = 7,5 \text{ kN/m}$
Nahodilé:	
Užitné:	$p_k = 15,0 \text{ kN/m}$

2 POŽÁRNÍ ODOLNOST SPŘAŽENÉHO NOSNÍKU

2.1 Zatížení během požáru

Během požáru se uvažuje mimořádná kombinace zatížení konstrukce:

$$E_{dA} = E \left(\sum G_k + A_d + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Dílčí součinitel spolehlivosti γ_{GA} pro mimořádné situace se uvažuje hodnotou $\gamma_{GA} = 1,0$. Kombinační faktor pro rozhodující nahodilé zatížení v administrativní budově se uvažuje hodnotou $\psi_{2,1} = 0,3$.

Návrhový moment během požáru:

$$M_{f1,d} = (20,5 + 7,5) + 0,3 \cdot (15,0) \cdot \frac{5,6^2}{8} = 127,4 \text{ kNm}$$

2.2 Výpočet teploty průřezu

Pro výpočet teploty průřezu se průřez rozdělí podle čl. 4.3.4.2 normy ČSN EN 1994-1-2 na několik různých částí: betonová deska, horní pásnice, stojina a spodní pásnice.

Teploty horní i spodní pásnice a stojiny se určí podle Euro-Nomogramů ("Euro-Nomogram", ECCS No.89, 1996). K určení těchto teplot potřebujeme znát součinitel průřezu.

Spodní pásnice:

ČSN EN 1991-1-2

čl. 4.3

ČSN EN 1994-1-2

$$\left(\frac{A_p}{V}\right)_l = \frac{2 \cdot (b_1 + e_1)}{b_1 \cdot e_1} = \frac{2 \cdot (0,16 + 0,013)}{0,16 \cdot 0,013} = 166,3 \text{ m}^{-1}$$

čl. 4.3.4.2

Stojina:

$$\left(\frac{A_p}{V}\right)_w = \frac{2 \cdot (h_w)}{h_w \cdot e_w} = \frac{2 \cdot (0,134)}{0,134 \cdot 0,008} = 250,0 \text{ m}^{-1}$$

Horní pásnice (více než 85% horní pásnice je v kontaktu s betonovou deskou):

$$\left(\frac{A_p}{V}\right)_u = \frac{(b_2 + 2 \cdot e_2)}{b_2 \cdot e_2} = \frac{(0,16 + 2 \cdot 0,013)}{0,16 \cdot 0,013} = 89,4 \text{ m}^{-1}$$

Teploty se určí podle součinitelů v tabulce 1:

ECCS No.89

Tabulka 1. Teploty horní pásnice, stojiny a spodní pásnice

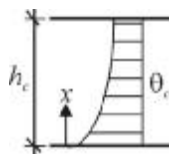
	$\left(\frac{A_p}{V}\right)_i \cdot \frac{\lambda_p}{d_p} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^3\text{K}} \right]$	$\theta_{a,max,60} [^\circ\text{C}]$
Horní pásnice	715	390
Stojina	2000	650
Spodní pásnice	1330	550

Teplota v betonové desce nemá konstantní průběh po výšce. Tento jev způsobuje měnění se pevnost betonu v tlaku po výšce desky. Pevnost v tlaku se nemění pro teploty menší než 250 °C. Pro teploty nad 250 °C se pevnost v tlaku redukuje součinitelem $k_{c,\theta}$. Výpočet teploty po výšce lze provést po vrstvách o tloušťce 10 mm na základě tabulky 2.

ČSN EN 1994-1-2
čl. D.3

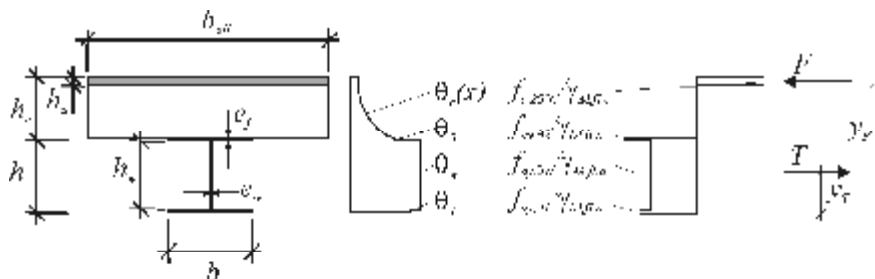
Tabulka 2. Rozdělení teploty v plné desce o tloušťce 100 mm z normálního betonu bez tepelné izolace (viz ČSN EN 1994-1-2, příloha D.3, tabulka D.5)

Pozi- ce x [mm]	Teplota $q_c [^\circ\text{C}]$ při požáru v čase					
	30'	60'	90'	120'	180'	240'
5	535	705				
10	470	642	738			
15	415	581		754		
20	350	525	627	697		
25	300	469	571	642	738	
30	250	421	519	591	689	740
35	210	374	473	542	635	700
40	180	327	428	493	590	670
45	160	289	387	454	549	645
50	140	250	345	415	508	550
55	125	200	294	369	469	520
60	110	175	271	342	430	495
80	80	140	220	270	330	395
100	60	100	160	210	260	305



2.3 Ověření podle jednoduchého výpočetního modelu

Posoudí se sprážený nosník podle jednoduchého modelu na únosnost. Výpočet momentové únosnosti je proveden podle přílohy E.



Obrázek 3. Výpočet momentové únosnosti

Redukční součinitele meze kluzu oceli při zvýšené teplotě $k_{y,\theta,i}$ jsou pro teploty oceli vypočítané v čl. 2.2 uvedeny v tabulce 3.2 normy ČSN EN 1994-1-2, čl. 3.2.1.

Tabulka 3. Výpočet redukované meze kluzu

	$\theta_{a,max,60}$ [°C]	$k_{y,\theta}$ [-]	$f_{ay,\theta}$ [kN/cm ²]
Horní pásnice	390	1,00	35,5
Stojina	650	$(0,47 + 0,23)/2 = 0,35$	12,4
Spodní pásnice	550	$(0,78 + 0,47)/2 = 0,625$	22,2

čl. E.1

Dalším krokem je výpočet tahové síly T v ocelovém nosníku podle obrázku 3:

$$T = \frac{f_{ay,\theta 1} \cdot (b \cdot e_f) + f_{ay,\theta w} \cdot (h_w \cdot e_w) + f_{ay,\theta 2} \cdot (b \cdot e_f)}{\gamma_{M,fi,a}}$$

$$= \frac{22,2 \cdot (16 \cdot 1,3) + 12,4 \cdot (13,4 \cdot 0,8) + 35,5 \cdot (16 \cdot 1,3)}{1,0}$$

$$= 1333,1 \text{ kN}$$

Poloha tahové síly:

$$y_T = \frac{f_{ay,\theta 1} \cdot \left(b \cdot \frac{e_f^2}{2}\right) + f_{ay,\theta w} \cdot (h_w \cdot e_w) \cdot \left(e_f + \frac{h_w}{2}\right) + f_{ay,\theta 2} \cdot (b \cdot e_f) \cdot \left(h - \frac{e_f}{2}\right)}{T \cdot \gamma_{M,fi,a}}$$

$$= \frac{22,2 \cdot \left(16 \cdot \frac{1,3^2}{2}\right) + 12,4 \cdot (13,4 \cdot 0,8) \cdot \left(1,3 + \frac{13,4}{2}\right) + 35,5 \cdot (16 \cdot 1,3) \cdot \left(16 - \frac{1,3}{2}\right)}{1333,1 \cdot 1,0}$$

$$= 9,53 \text{ cm}$$

U prostě podepřeného nosníku je velikost tahové síly T limitována hodnotou:

$$T \leq N \cdot P_{fi,Rd}$$

kde:

N je počet spřahovacích trnů v kritické oblasti nosníku
 $P_{fi,Rd}$ je návrhová únosnost trnu při požáru

Pro určení velikosti $P_{fi,Rd}$, je nutné určit redukční součinitele $k_{u,\theta}$ a $k_{c,\theta}$ (tabulka 5) a návrhové únosnosti spřahovacího trnu $P_{Rd,1}$ a $P_{Rd,2}$ při běžné teplotě.

Teploty uvažované pro získání hodnot redukčních součinitelů mají velikost 80 % pro spřahování trny a 40 % pro beton z teploty pásnice (viz ČSN EN 1994-1-2, čl. 4.3.4.2.5 (2)). Redukční součinitel pevnosti trnu v tahu je v tabulce 3.2 normy ČSN EN 1994-1-2, čl. 3.2.1. Účinek zpevnění materiálu ($k_{u,\theta} > 1$) lze uvažovat pouze v případě, kdy lze prokázat, že nedojde k lokálnímu porušení (např. lokální ztráta stability, porušení smykem, rozdrčení betonu atd.). V tomto případě se zpevnění materiálu neuvažuje. Redukční součinitel pevnosti betonu v tlaku je v tabulce 3.3 normy ČSN EN 1994-1-2, čl. 3.2.1.

$$\theta_v = 0,8 \cdot 390 = 312 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow k_{u,\theta} = 1,0$$

$$\theta_c = 0,4 \cdot 390 = 156 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow k_{c,\theta} = 0,98$$

ČSN EN 1994-1-1

Návrhové únosnosti spřahovacích trnů se určí podle ČSN EN 1994-1-1 za použití dílčího součinitele spolehlivosti $\gamma_{M,fi,v}$ namísto γ_v .

$$P_{Rd,1} = 0,8 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M,fi,v}} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 0,8 \cdot \frac{50,0}{1,0} \cdot \frac{\pi \cdot 2,2^2}{4} = 152 \text{ kN}$$

čl. 6.6.3.1

$$P_{Rd,2} = 0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{f_c \cdot E_{cm}}}{\gamma_{M,fi,v}} = 0,29 \cdot 1,0 \cdot 2,2^2 \cdot \frac{\sqrt{2,5 \cdot 2900}}{1,0} = 120 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost spřahovacího trnu při požáru:

ČSN EN 1994-1-2

$$P_{fi,Rd} = \min \begin{cases} P_{fi,Rd,1} = 0,8 \cdot k_{u,\theta} \cdot P_{Rd,1} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 152 = 121,6 \text{ kN} \\ P_{fi,Rd,2} = k_{c,\theta} \cdot P_{Rd,2} = 0,98 \cdot 120 = 117,6 \text{ kN} \leftarrow \text{rozhoduje} \end{cases}$$

čl. 4.3.4.2

Ověření limitu pro tahovou sílu:

$$1333,1 \text{ kN} < 34/2 \cdot 117,6 = 1999,2 \text{ kN}$$

čl. E.1

Musí být splněna podmínka rovnováhy osových sil v průřezu. Z této podmínky vyplývá poloha neutrální osy h_u od horního povrchu:

$$h_u = \frac{T}{b_{eff} \cdot f_c / \gamma_{M,fi,c}} = \frac{1333,1}{140,0 \cdot 2,5 / 1,0} = 3,8 \text{ cm}$$

Mohou nastat dva stavy. V případě prvního stavu je teplota betonu v tlaku nižší než 250 °C, ve druhém případě je teplota alespoň některých vrstev tláčeného betonu vyšší než 250 °C. Rozhodnutí, ve kterém stavu se tláčený beton nachází, závisí na hodnotě:

$$(h_c - h_u) = 16 - 3,8 = 12,2 \text{ cm}$$

Pokud je tato hodnota větší než pozice x podle tabulky 2, je teplota tláčeného betonu menší než 250 °C a pevnost v tlaku se nemusí redukovat.

$$h_{cr} = x = 5,0 \text{ cm} < 12,2 \text{ cm}$$

Poloha působící tlakové síly y_F se určí jako:

$$y_F = h + h_c - (h_u/2) = 16 + 16 - (3,8/2) = 30,1 \text{ cm}$$

Únosnost v ohybu:

$$M_{fi,Rd} = T \cdot (y_F - y_T) = 1333,1 \cdot (30,1 - 9,53) \cdot 10^{-2} = 274,2 \text{ kNm}$$

Posudek:

$$127,4/274,2 = 0,46 < 1 \quad \checkmark$$

LITERATURA

ECCS No.89, *Euro-Nomogram*, Brussels: ECCS – Technical Committee 3 – Fire Safety of Steel Structures, 1995

ČSN EN 1991-1-2: *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru*, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1994-1-1: *Eurokód 4: Navrhování ocelobetonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, ČNI, Praha, 2004.

ČSN EN 1994-1-2: *Eurokód 4: Navrhování ocelobetonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru*, ČNI, Praha, 2006.



**ČÁST 6.1
VÝPOČET TEPLoty PLYNU ZÓNÝM MODELEM**

Zadání příkladu

Určení průběhu teploty plynu plně rozvinutého požáru v požárním úseku, kterým je kancelář administrativní budovy, pomocí programu Ozone v2.2. Výsledky jsou porovnány s křivkou z požární zkouškou v Cardingtonu

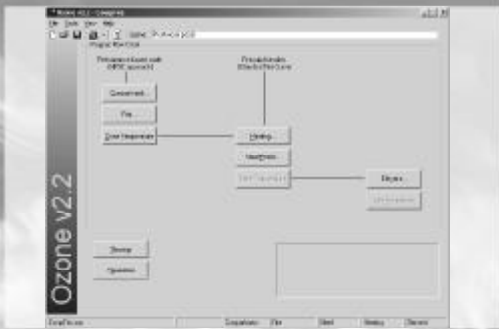
Přodorysné rozměry PÚ: 7,5 x 18 m
Plocha podlahy PÚ: $A_f = 135 \text{ m}^2$
Výška PÚ: $H = 4 \text{ m}$
3 okenní otvory: 5 x 1,8 m
Obvodové konstrukce z lehkého betonu:
 $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$
 $c = 840 \text{ J/kgK}$
 $\lambda = 1,0 \text{ W/mK}$



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

1 / 15

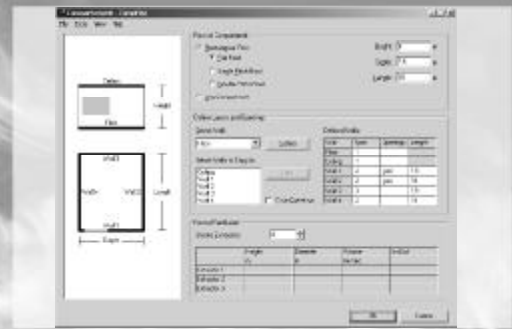
Základní nabídka



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

2 / 15

Požární úsek



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

3 / 15

Definování obvodových konstrukcí



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

4 / 15

Definování požáru



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

5 / 15

Zónový model



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

6 / 15

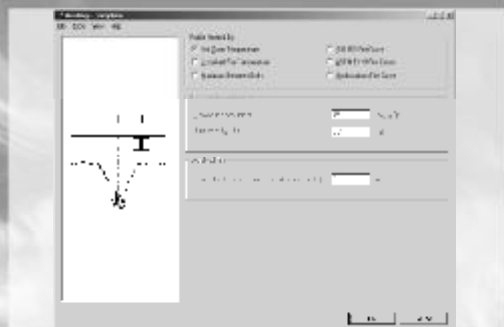
Parametry



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

7 / 15

Teplotní křivka



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

8 / 15

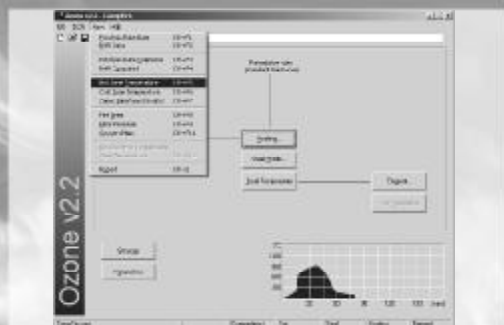
Výpočet teploty



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

9 / 15

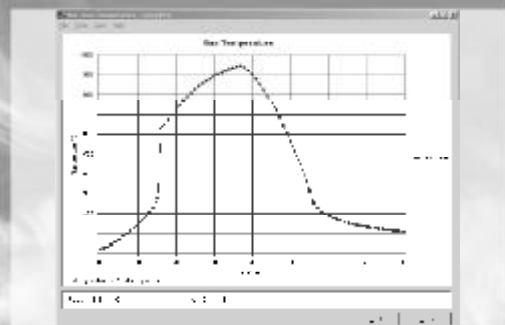
Teplota plynu



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

10 / 15

Teplota plynu



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

11 / 15

Zobrazení výsledků



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

12 / 15

Shrnutí výsledků

Výpočet 1:

Návrhová hustota požárního zatížení $q_{fd} = 483 \text{ MJ/m}^2$

maximální teplota: $\Theta_{g,max} = 946^\circ\text{C}$
čas při max. teplotě: $t_{max} = 37 \text{ min}$

Výpočet 2:

Pro porovnání vypočítaných výsledků s naměřenými hodnotami z požárního experimentu musí být součinitelé δ_1 , δ_2 a δ_n pro výpočet hustoty požárního zatížení rovny 1,0.

Návrhová hustota požárního zatížení $q_{fd} = 644 \text{ MJ/m}^2$

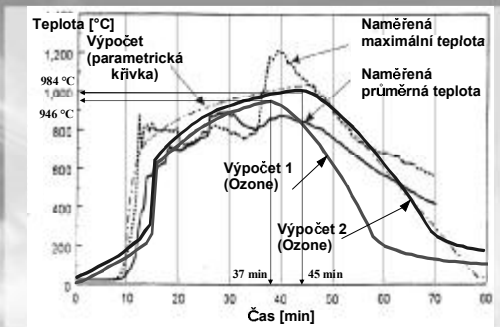
maximální teplota: $\Theta_{g,max} = 984^\circ\text{C}$
čas při max. teplotě: $t_{max} = 45 \text{ min}$



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

13 / 15

Porovnání vypočtené a naměřené teploty



Část 5.1: Výpočet teploty plynu zónovým modelem

14 / 15

Děkuji za pozornost

petra.kallerova@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek





ČÁST 6.2 SPŘAŽENÝ OCELOBETONOVÝ SLOUP

Posouzení pomocí software

AFCC – Composite column fire design

- požární řešení ocelobetonového sloupu vybetonovaného mezi pásnicemi
- podle ENV 1994-1-2
- volně dostupný na www.alc.arcelor.com

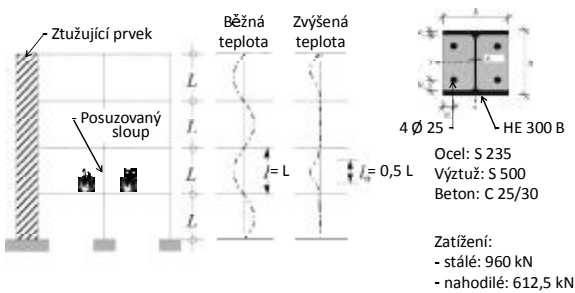
ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

2

Zadání

Administrativní budova



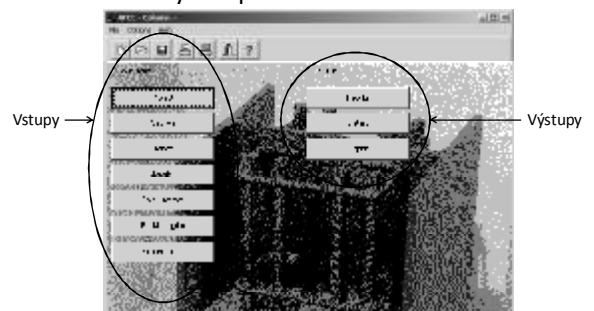
ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

3

Software AFCC - Column

Ocelobetonový sloup



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

4

Software AFCC - Column

Údaje projektu



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

5

Software AFCC - Column

Profil ocelového prvku



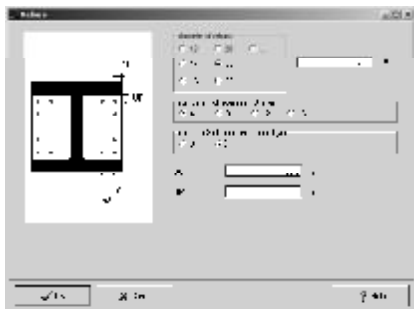
ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

6

Software AFCC - Column

Výztuž betonové části



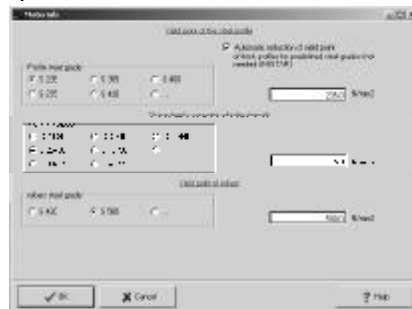
ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

7

Software AFCC - Column

Materiály



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

8

Software AFCC - Column

Součinitelé spolehlivosti materiálů



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

9

Software AFCC - Column

Excentricita působícího zatížení



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

10

Software AFCC - Column

Výsledky výpočtu

Material	Area	Eccentricity	Moment	Stress
...
...
...
...
...

ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

11

Software AFCC - Column

Podrobný výstup výpočtu

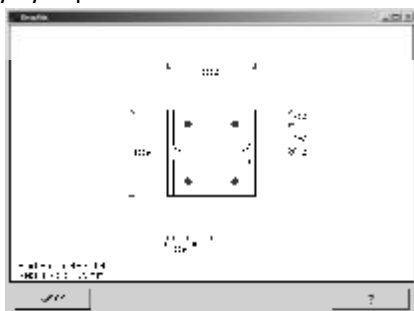
ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

12

Software AFCC - Column

Grafický výstup



ČVUT v Praze 24.9.2008

Příklad - Ocelobetonový sloup

13

Děkuji za pozornost

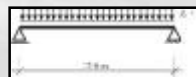
michal.strejcek@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difsek



ČÁST 6.3 ČÁSTEČNĚ OBETONOVANÝ SPŘAŽENÝ NOSNÍK

Zadání příkladu

- posouzení spřaženého nosníku skladiště
- požadovaná požární odolnost je R90



Zatížení:
vlastní tíha: $g_{sk} = 15,0 \text{ kN/m}$
podlahy, příčky: $g_{rk} = 6,0 \text{ kN/m}$
užitné: $p_k = 30,0 \text{ kN/m}$

Materiály:
beton: C 25/30
ocel: S 355
výztuž: S 500

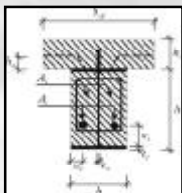


Část 5.7: Ocelobetonový nosník

1 / 18

Popis průřezu

- profil: IPE 500
- samosvorný plech: HOLORIB 51/150
- výztuž: 2 $\varnothing 30$



Rozměry:
 $b_{eff} = 3000 \text{ mm}$
 $h_c = 160 \text{ mm}$
 $h = 500 \text{ mm}$
 $b = 200 \text{ mm}$
 $e_r = 16,0 \text{ mm}$
 $e_w = 10,2 \text{ mm}$
 $u_1 = 110 \text{ mm}$
 $u_2 = 60 \text{ mm}$



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

2 / 18

AFCB ArcelorMittal Fire Resistance Composite Beam



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

3 / 18

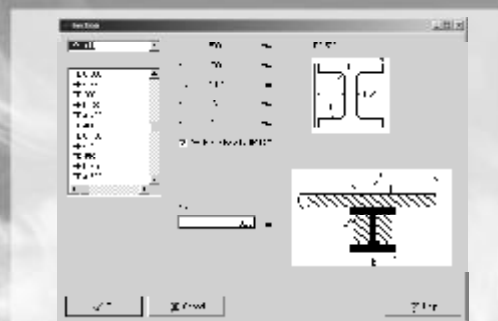
Název projektu



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

4 / 18

Ocelový profil



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

5 / 18

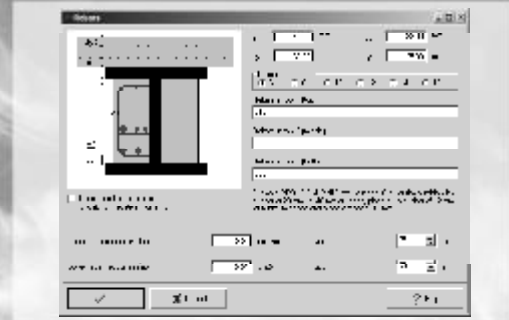
Ocelobetonová deska



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

6 / 18

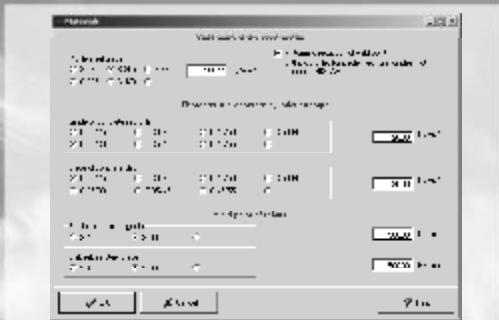
Výztuž



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

7 / 18

Definování materiálů



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

8 / 18

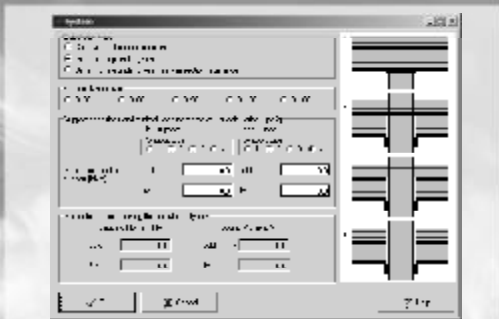
Součinitele spolehlivosti



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

9 / 18

Systemové informace



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

10 / 18

Zatížení



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

11 / 18

AFCB ArcelorMittal Fire Resistance Composite Beam



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

12 / 18

Výsledky - celkové



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

13 / 18

Výsledky - podrobné



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

14 / 18

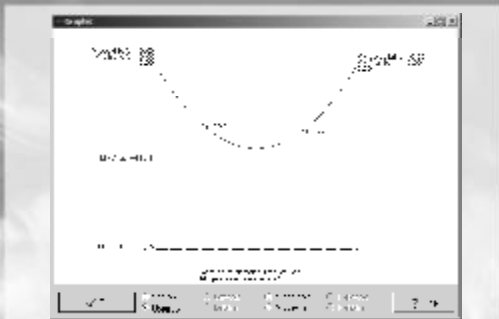
Obrázky - průřez



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

15 / 18

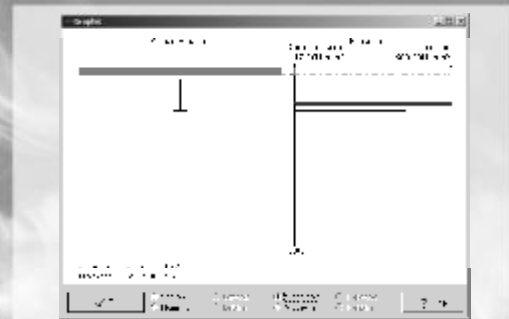
Obrázky - momenty



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

16 / 18

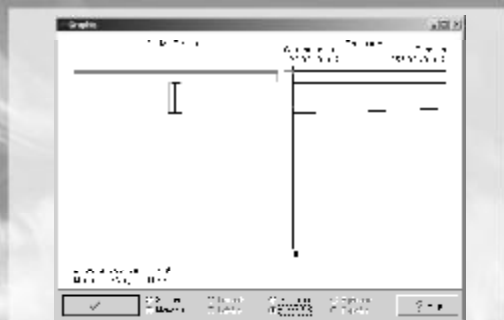
Obrázky - napětí za běžné teploty



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

17 / 18

Obrázky - napětí za zvýšené teploty



Část 5.7: Ocelobetonový nosník

18 / 18

Děkuji za pozornost

jiri.chlouba@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difsek





**ČÁST 6.4
KONSTRUKCE VNĚ POŽÁRNÍHO ÚSEKU**

Obsah

- Polohový faktor
- Určení polohového faktoru podle přílohy G normy ČSN EN 1991-1-2
- Pomůcka (program) pro výpočet
- Aplikace: určení teploty sloupu při lokalizovaném požáru



1

Přestup tepla do nechráněných prvků

- přenos tepla sáláním: $\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \epsilon_m \cdot \sigma \cdot [(T_s + 273)^4 - (T_m + 273)^4]$
 - přenos tepla prouděním: $\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (T_s - T_m)$
- kde:
- T_s je teplota sálání [°C] $\Rightarrow T_{rad} \rightarrow T_g \rightarrow$ teplotní křivka
 - T_m je teplota povrchu [°C] \Rightarrow teplota prvku
 - ϵ_m je emisivita [-] $\Rightarrow 0,7$
 - α_c je souč. přestupu tepla prouděním $\Rightarrow 25 - 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ (v závislosti na modelu požáru)
- Φ je polohový faktor [-] $\leq 1,0$
- σ je Stephan-Boltzmannova konstanta = $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$
- zjednodušeno, podrobně viz ČSN EN 1991-1-2



2

Polohový faktor

Horní hranice pro polohový faktor

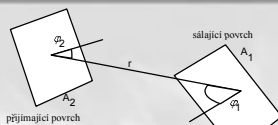
	vypuklé prvky	vyduté prvky	vív polohy prvku
prostorový požár	$\Phi = 1$	$\Phi < 1$	$\Phi = 1$
lokalizovaný požár	$\Phi = 1$	$\Phi < 1$	$\Phi < 1$

Konzervativně $\Phi = 1$, podrobnosti výpočtu v příloze G ČSN EN 1991-1-2



3

Polohový faktor



$$\Phi = \int_{A_1} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dA_1$$

Udává poměrnou část vyzářené energie, která dopadne na přijímající povrch (ocelový průřez)

Závisí na:

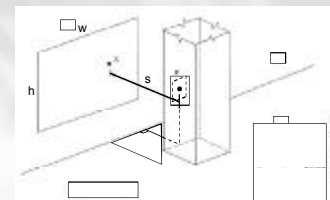
- poloze a orientaci
- velikosti požáru
- stínění ostatními částmi průřezu



4

Polohový faktor pro rovnoběžné plochy

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{a}{(1+a^2)^{3/2}} \tan^{-1} \left(\frac{b}{(1+a^2)^{3/2}} \right) + \frac{b}{(1+b^2)^{3/2}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2)^{3/2}} \right) \right]$$



- $a = h / s$
- $b = w / s$
- $s =$ vzdálenost bodu P od sálající plochy

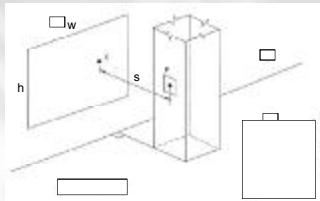


5

Polohový faktor pro kolmé plochy

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{(1+b^2)^{0.5}} \tan \left(\frac{a}{(1+b^2)^{0.5}} \right) \right) \right]$$

a = h / s
b = w / s
s = vzdálenost bodu P od sálající plochy

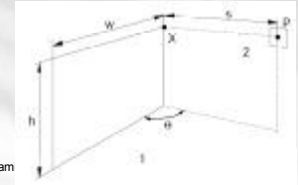


6

Polohový faktor pro šikmé plochy

$$\Phi = \frac{1}{2\pi} \left[\tan^{-1} \left(\frac{1-b \cos \theta}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \tan^{-1} \left(\frac{a}{(1+b^2-2b \cos \theta)^{0.5}} \right) \right) + \frac{a \cos \theta}{(a^2 + s^2)^{0.5}} \left[\tan^{-1} \left(\frac{(b-2s \cos \theta)}{(a^2 + s^2)^{0.5}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{\cos \theta}{(a^2 + s^2)^{0.5}} \right) \right] \right]$$

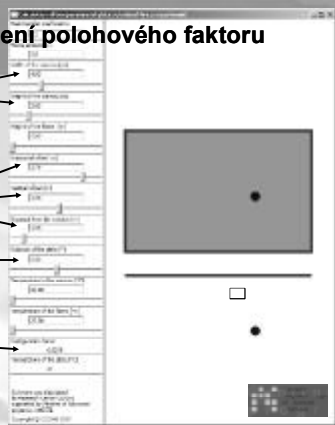
a = h / s
b = w / s
s = vzdálenost bodu P od sálající plochy
 θ = úhel sevřeny dvěma plochami



7

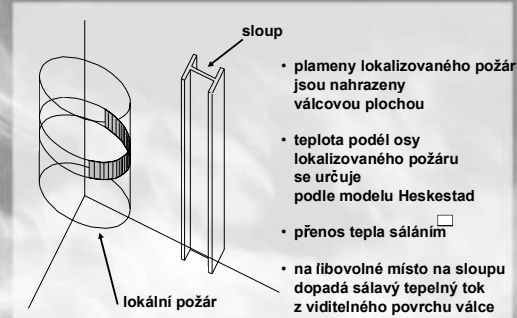
Pomůcka pro určení polohového faktoru

rozměry okna
poloha bodu
natočení plochy
polohový faktor



8

Teplota sloupu při lokalizovaném požáru



- plameny lokalizovaného požáru jsou nahrazeny válcovou plochou
- teplota podél osy lokalizovaného požáru se určuje podle modelu Heskestad
- přenos tepla sáláním
- na libovolné místo na sloupu dopadá sálavý tepelný tok z viditelného povrchu válce

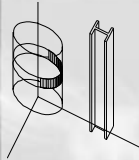


9

Sloup při lokálním požáru

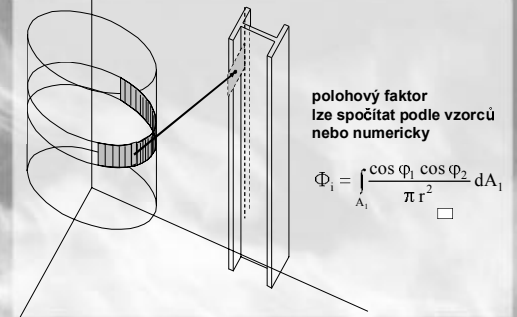
- sloup i plameny jsou rozděleny po výšce
- teplota sloupu se řeší přírůstkovou metodou
- sálavý tepelný tok z jednoho pruhu plamenů
 $h_{\text{net,zisk}} = \Phi \varepsilon_m \sigma (\theta_m + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4$
- ztráty prouděním a sáláním do okolí
 $h_{\text{net,ztraty}} = (1-\Phi) \varepsilon_m \sigma (\theta_m + 273)^4 - (20 + 273)^4 + \alpha_c (\theta_m - 20)$
- celkový tepelný tok
 $h_{\text{net}} = \sum h_{\text{net,zisk}} - h_{\text{net,ztraty}}$

polohový faktor



10

Polohový faktor



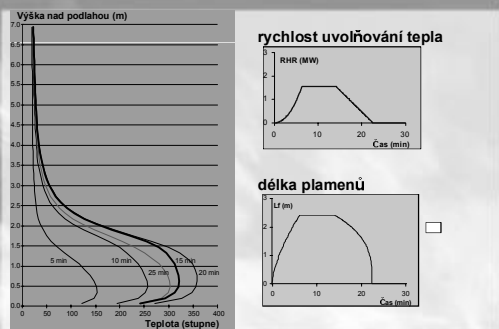
polohový faktor lze spočítat podle vzorců nebo numericky

$$\Phi_1 = \int_{A_1} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dA_1$$



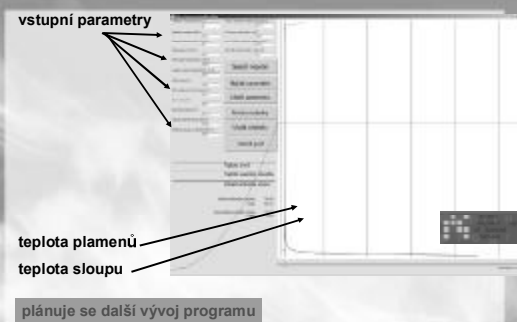
11

Teplota sloupu po výšce



12

Program pro výpočet



13

Děkuji za pozornost

sokol@fsv.cvut.cz
URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek



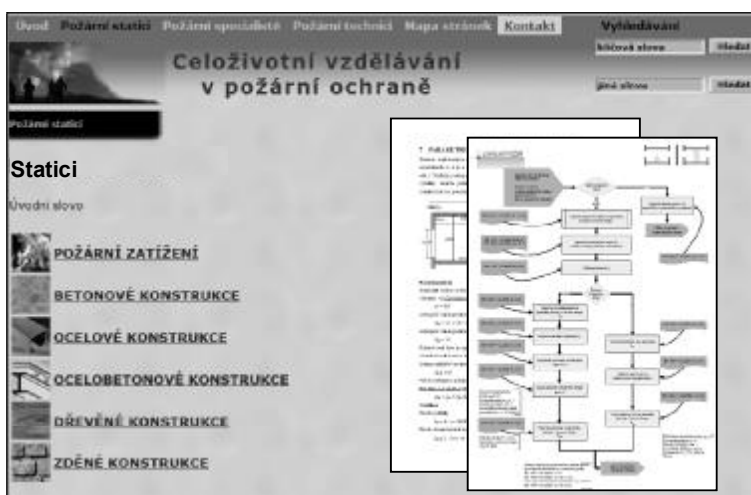
7 MATERIÁLY PRO POŽÁRNÍ NÁVRH KONSTRUKCÍ NA INTERNETU

Na internetu lze v současnosti nalézt v češtině podporu pro stanovení požární odolnosti na stránkách projektu Celoživotní vzdělávání v požární ochraně, projektu AccessSteel a projektu DIFISEK⁺. Pro pochopení problematiky požárního návrhu konstrukcí se osvědčilo využít monografii Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, viz [1], kterou lze získat na www.cvut.cz/cs/uz/ctn/ptl.

Výukové lekce projektu Celoživotní vzdělávání v požární ochraně, viz [2] až [8], jsou zaměřeny na většinu konstrukčních materiálů, viz obr. 1. Kromě cvičebních textů pro statiky jsou k dispozici i materiály pro požární specialisty a techniky. Materiály jsou s laskavým svolením ČNI doplněny články norem.

V projektu AccessSteel je pro požární návrh ocelových konstrukcí připraveno 49 lekcí, které jsou provázány s články norem, viz [9]. Texty pro zjednodušení návrh konstrukcí jsou založeny na výukových vývojových diagramech, řešených příkladech, doplňujících materiálech a tabulkách. K dispozici je podpora koncepčního řešení požární ochrany a příklady úspěšných řešení.

Materiály projektu DIFISEK⁺ se kromě základního výkladu problematiky orientují na pokročilý návrh s podporou informatiky, viz [10]. V projektu je kritická analýza volně dostupných i komerčních nástrojů pro stanovení teploty v požárním úseku, přestupu tepla do konstrukce i posouzení konstrukce za zvýšené teploty při požáru.



Obr. 1 Internetová stránka projektu Celoživotní vzdělávání v požární ochraně

Literatura

- [1] Wald F. a kol.: Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, České vysoké učení technické v Praze, Praha 2005, 336 s., ISBN 80-0103157-8.
- [2] URL: www.fsv.cvut.cz/pozarni.odolnost
- [3] Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ČVUT v Praze 2007, ISBN 80-0103157-8.
- [4] Stavební konstrukce z požárního hlediska dle evropských norem, ČVUT v Praze 2007, ISBN 978-80-01-03581-8.
- [5] Kontroly požárně bezpečnostních zařízení, PKPO 2007, ISBN 978-80-01-03582-5.
- [6] Navrhování konstrukcí na účinky požáru podle evropských norem, ČVUT v Praze 2007, ISBN 978-80-01-03580-1.
- [7] Nové technologie pro požární bezpečnost staveb, PKPO 2008, ISBN 978-80-01-03944-1.
- [8] K výpočtu požární odolnosti konstrukcí, ČVUT v Praze 2008, ISBN 978-80-01-03944-1.
- [9] URL: access-steel.com
- [10] URL: www.difisek.eu, popřípadě verze pro Českou republiku též na fire.fsv.cvut.cz/difisek



Vydání monografie je podpořeno grantem Research Fund for Coal and Steel v rámci projektu DIFISEK+ FRS2-CT-2007-00030.

DIFISEK+ NÁVRH OCELOVÝCH A OCELOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ VYSTAVENÝCH POŽÁRU

Wald F., Brasseur M., Cajot L.G., Chica J.A., Chlouba J., Kallerová P., Martínez de Aragón J.J.,
Rey F., Schaumann P., Sokol Z., Strejček M., Trautmann T., Vassart O., Zhao B. a Žižka J.
ISBN 978-80-01-04099-7

Tisk Česká technika, ČVUT v Praze
Červen 2008
250 výtisků, 102 stran, 21 tabulek, 254 obrázků