



DIFESEK

ČÁST 1
TEPELNÁ & MECHANICKÁ ZATÍŽENÍ

Vývoj RFCS projektu DIFISEK+

This project is funded by the European Commission in the frame of the "Research and Technological Development" program.



commission in the frame

ArcelorMittal

The aim of DIFISEK is to promote different projects of the last decades that dealt with fire engineering and, which results have reached through seminars held in different European countries.

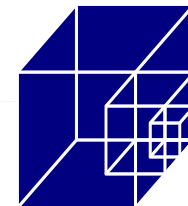


the EN 1991-1-2.



The partnership of

**University of Hannover
Institute for Steel Construction**



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

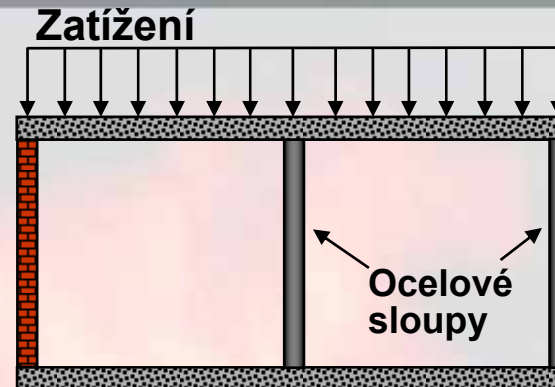
Stanovení požární odolnosti



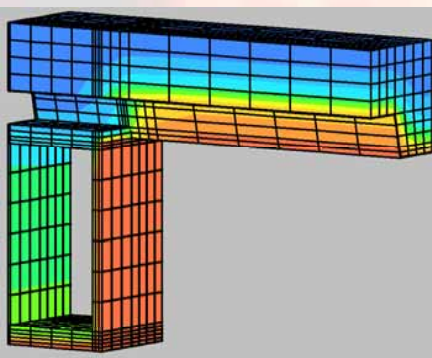
1: Vzplanutí



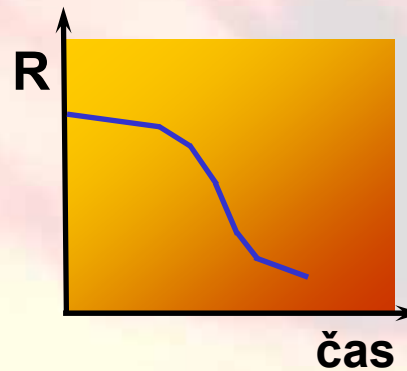
2: Tepelná zatížení



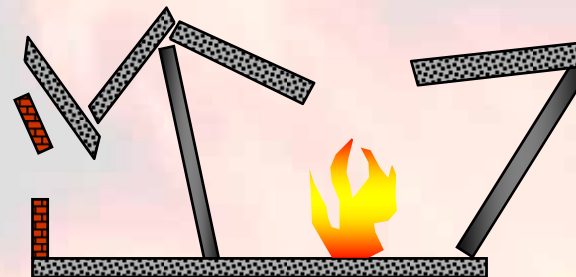
3: Mechanická zatížení



4: Teplotní odezva

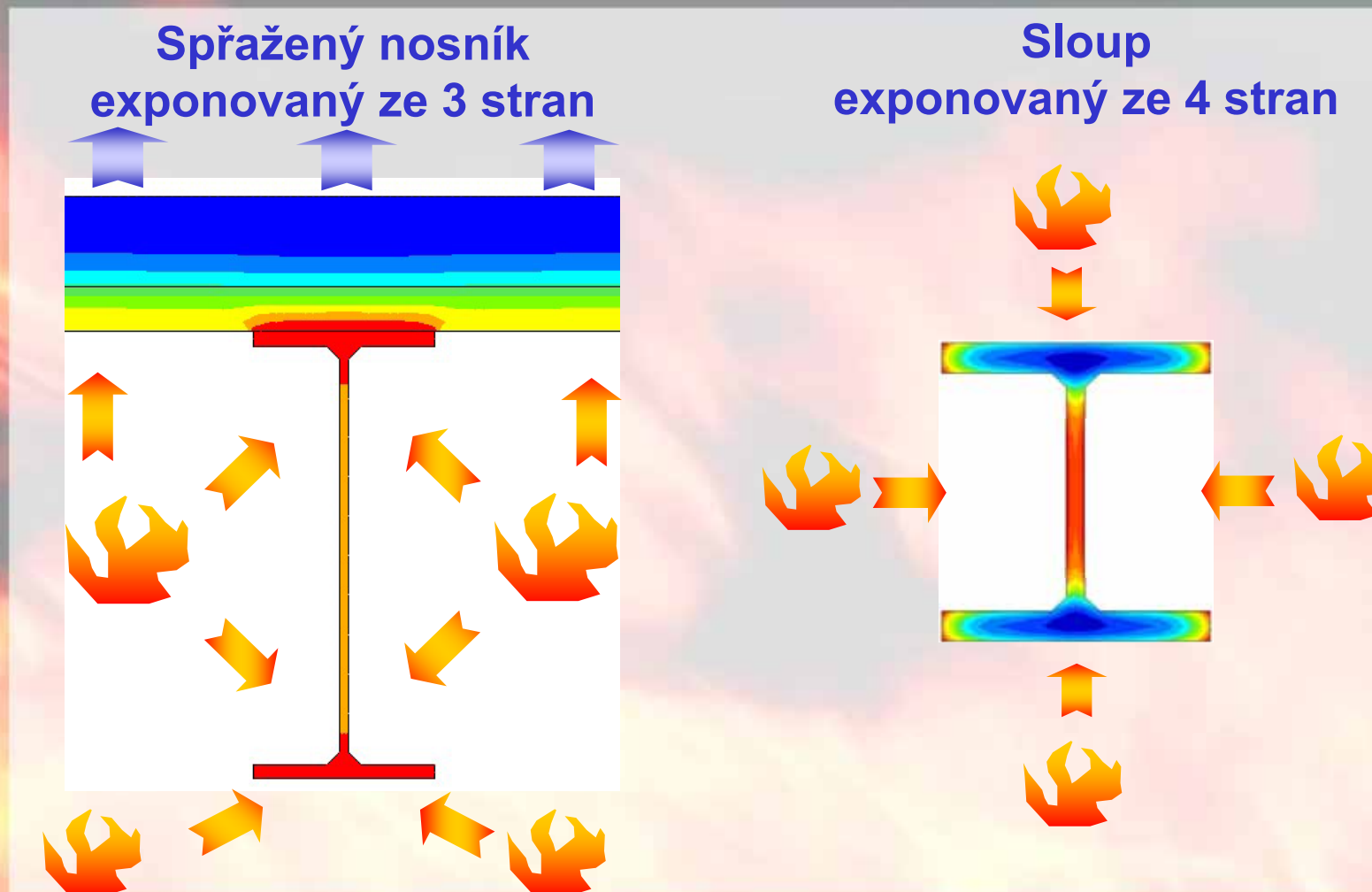


5: Mechanická odezva



6: Případný kolaps

Tepelné zatížení na konstrukci



Přestup tepla do konstrukce

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

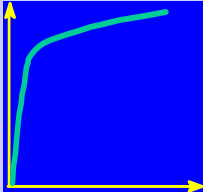
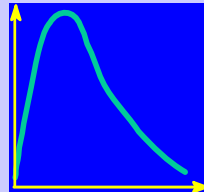

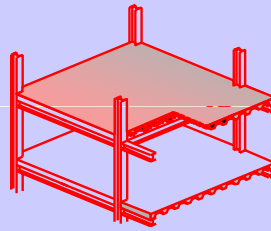
Čistý tepelný tok vlivem sálání

Čistý tepelný tok vlivem proudění

Celkový čistý tepelný tok

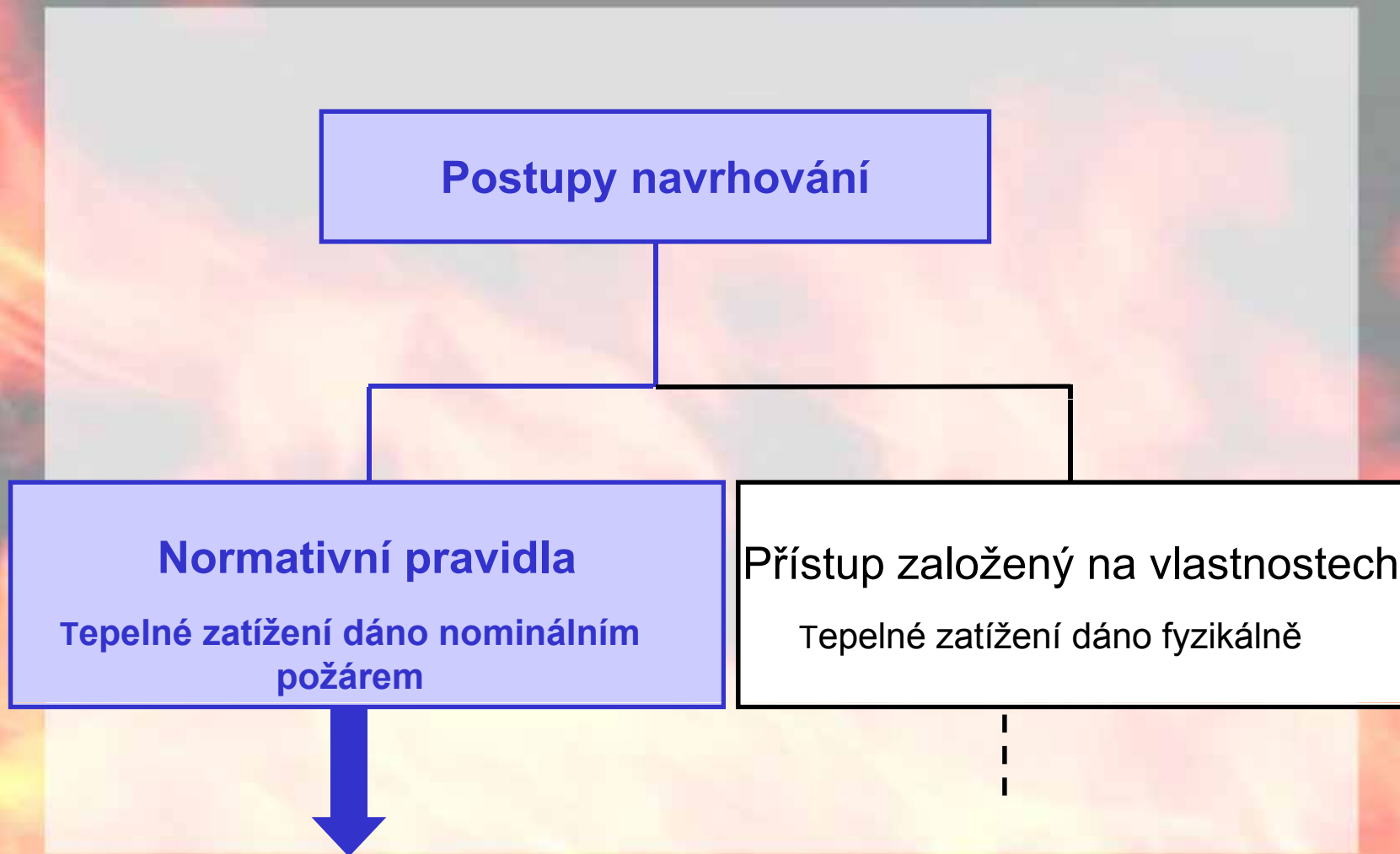
- Exponovaná strana
- Neexponovaná strana

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 pravidla



Nominální teplotní křivka

***) Nominální teplotní křivka**

Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlovodíková křivka

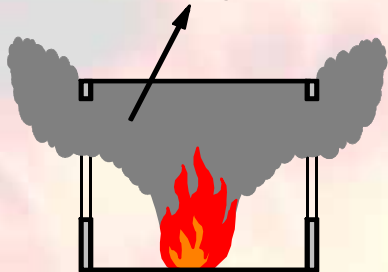
Nejsou potřebné žádné údaje

***) Zjednodušené modely požáru**

Lokalizovaný požár

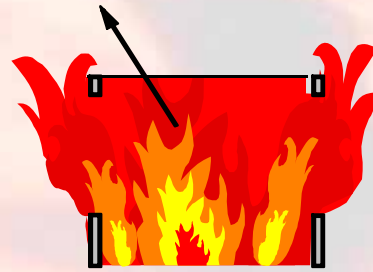
- HESKESTADT
- HASEMI

$\theta(x, y, z, t)$



Prostorový požár

- Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek



Rychlost uvolňování tepla

Povrch odhořívání

Vlastnosti ohraničujících konstrukcí

Plocha otvorů

Výška stropu

+

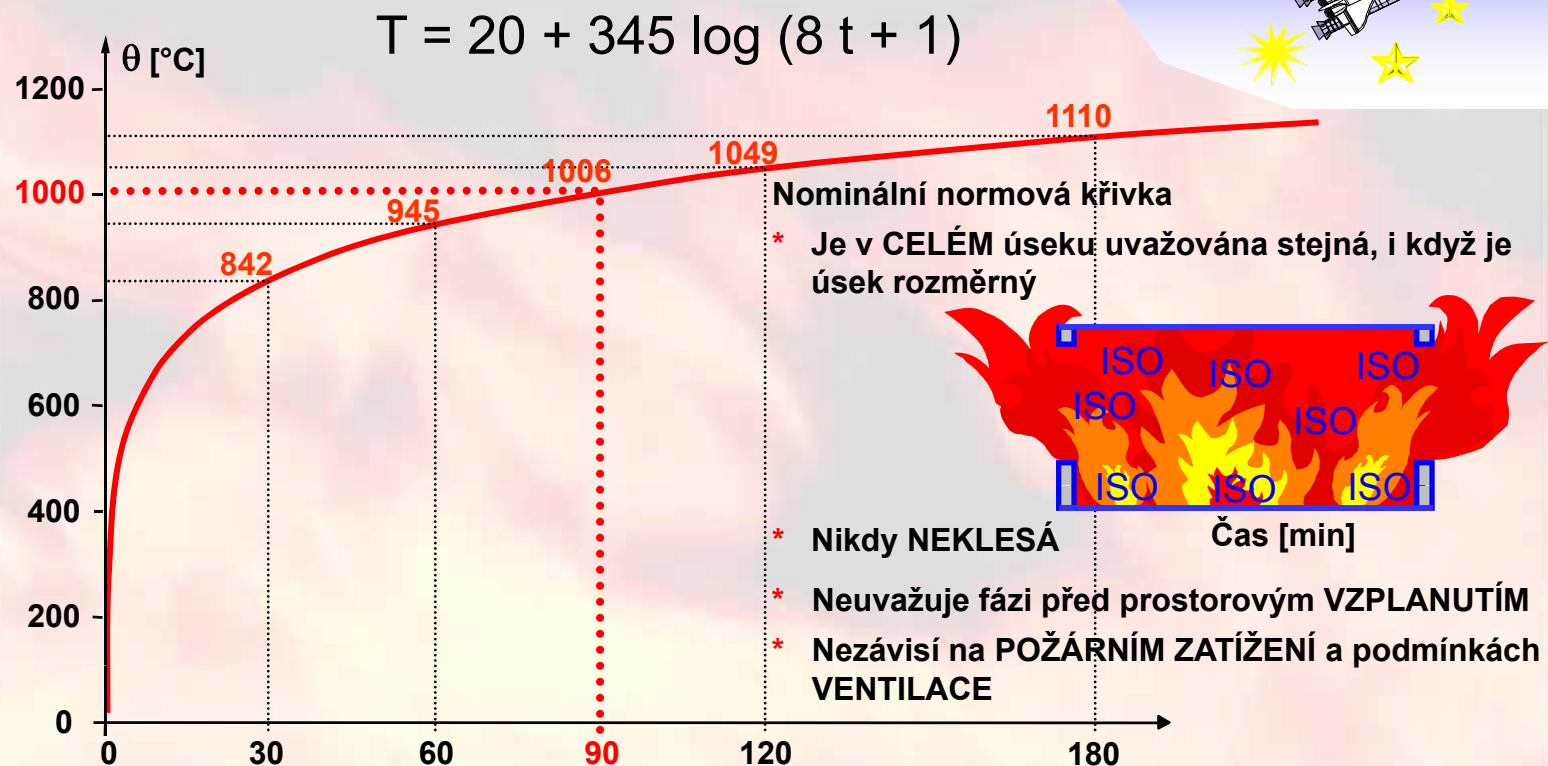
Přesná geometrie

***) Pokročilé modely požáru**

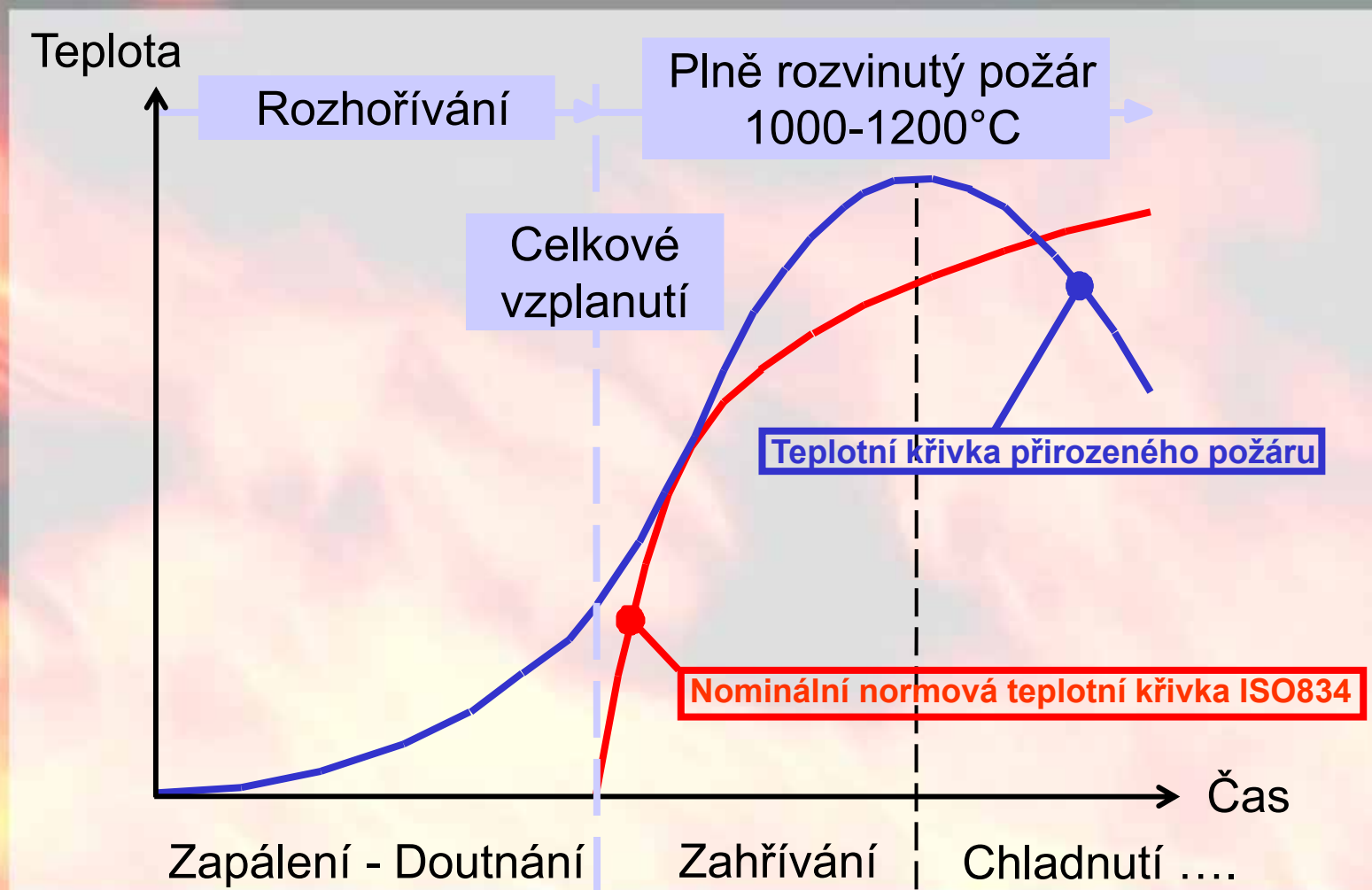
- Dvouzónový model
- Kombinace dvou a jednozónového modelu požáru
- CFD
- Jednozónový model

Definice nominální normové teplotní křivky

Nominální normová křivka EN 1364 -1 (ISO-834)



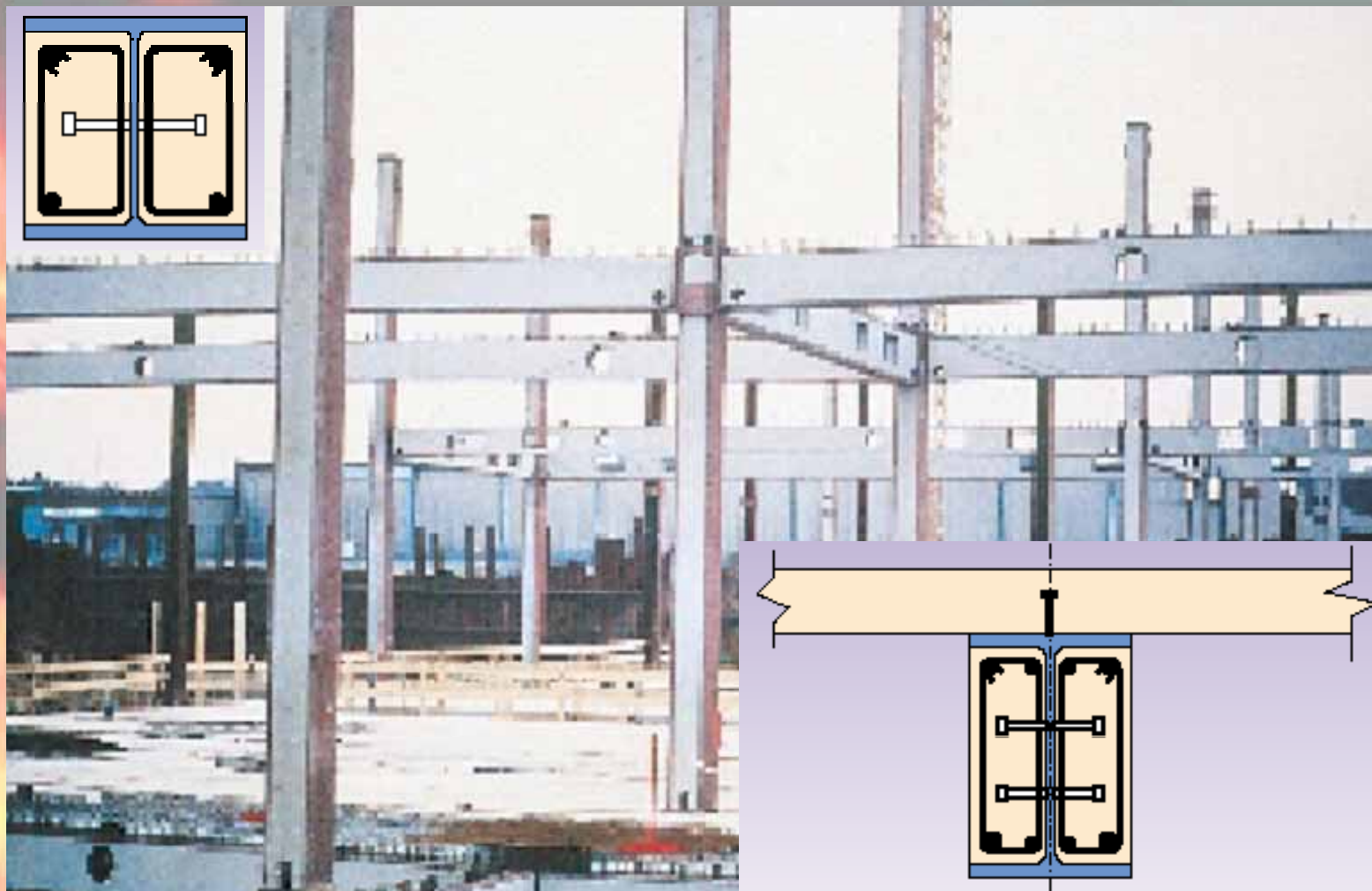
Fáze přirozeného požáru a nominální normové teplotní křivky



Požární ochrana konstrukce nástřikem

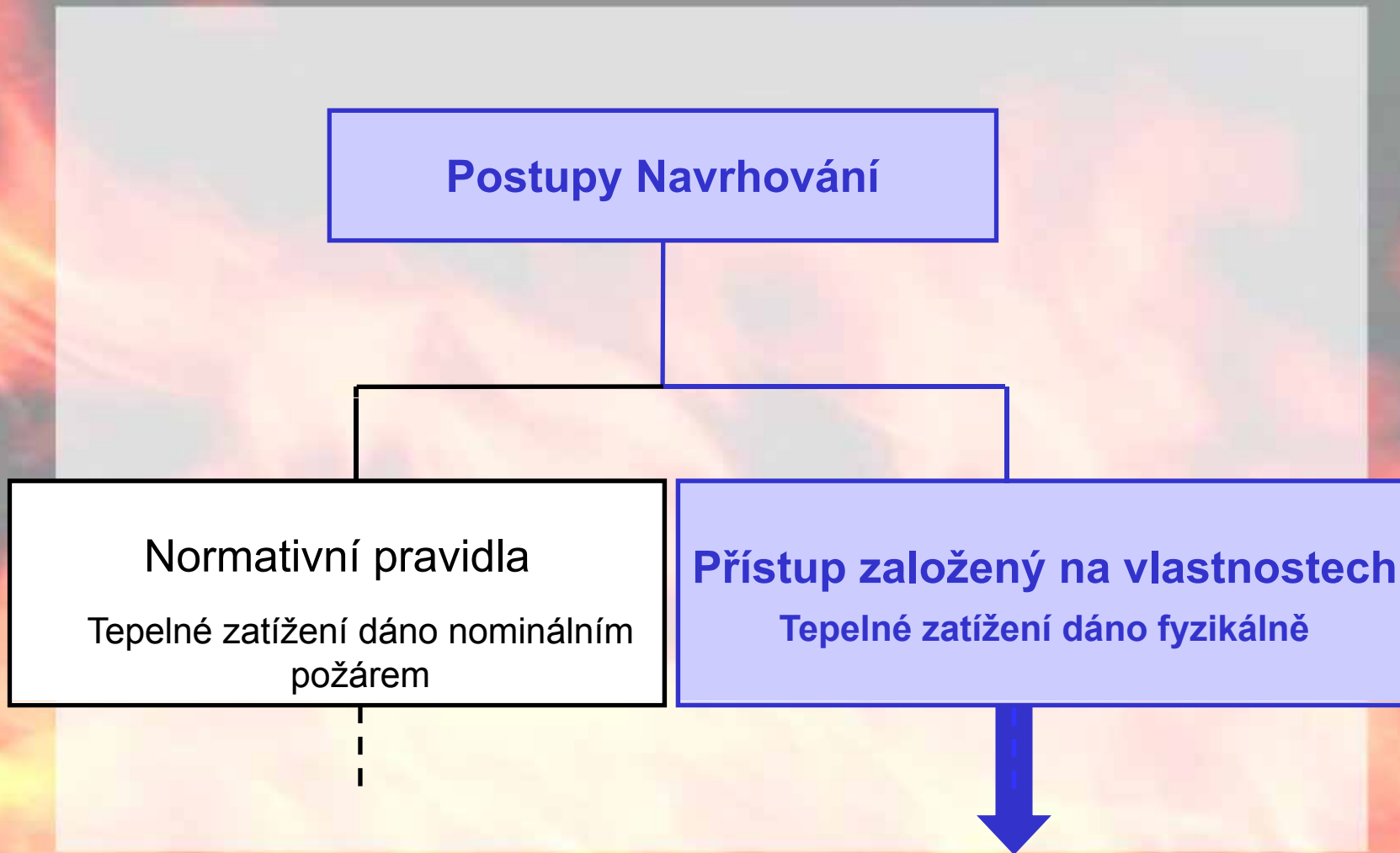


Požární ochrana konstrukce částečným obetonováním nosníků a sloupů

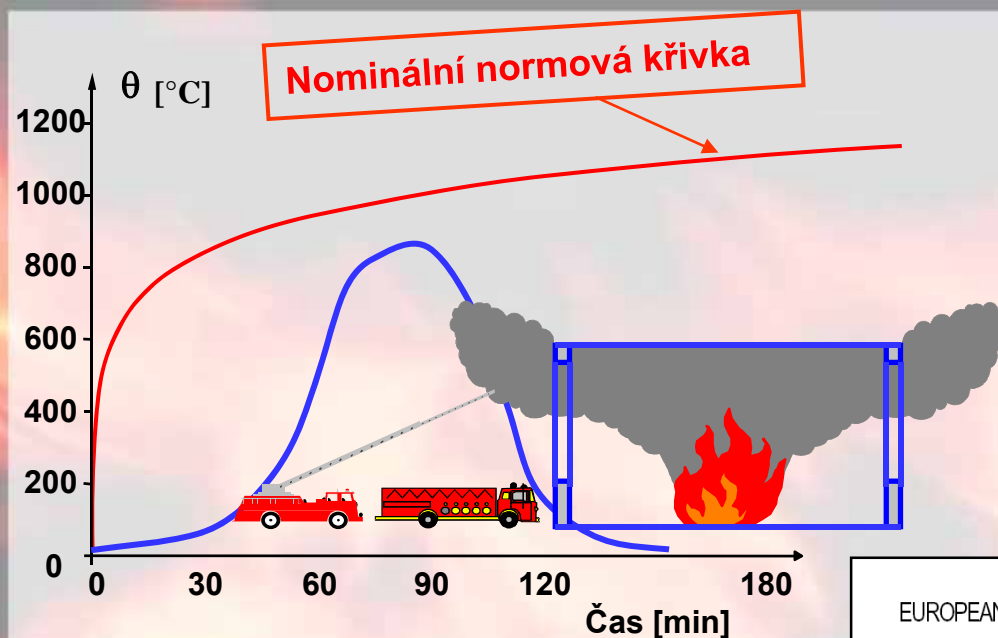


Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru

ČSN EN 1991-1-2 – Normativní předepsaná pravidla



Požární návrh konstrukce



Zavedeno v:

- ČSN EN 1991-1-2
- Některé národní přílohy zahrnují alternativní požadavky založené na přirozeném požáru

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1991-1-2



November 2002

ICS 13.220.50; 91.010.30

English version

Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions -
Actions on structures exposed to fire

Eurocode 1: Actions sur les structures au feu - Partie 1-2:
Actions générales - Actions sur les structures exposées

Eurocode 1 - Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-2:
Allgemeine Einwirkungen - Brandeinwirkungen auf
Tragwerke

NFSC Valorisation Project



Model přirozeného požáru

***) Nominální teplotní křivka**

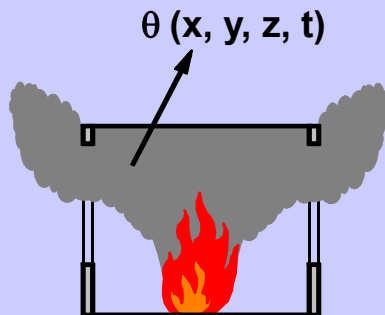
Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlovodíková křivka

Nejsou potřebné žádné údaje

***) Zjednodušené modely požáru**

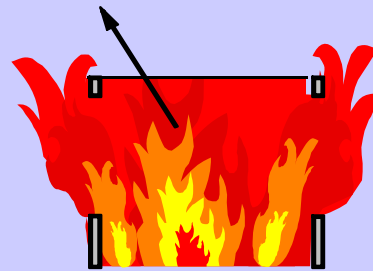
Lokalizovaný požár

- HESKESTADT
- HASEMI



Prostorový požár

- Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek



Rychlost uvolňování tepla

Povrch odhořívání

Vlastnosti ohraničujících konstrukcí

Plocha otvorů

Výška stropu

+

Přesná geometrie

***) Pokročilé modely požáru**

- Dvouzónový model
- Jednozónový model
- Kombinace dvou a jednozónového modelu požáru
- CFD

Přehled fyzikálních parametrů pro model přirozeného požáru

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

Charakteristiky požárního úseku



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

Materiálové vlastnosti požárně dělicích konstrukcí: c , ρ , λ

Plocha okenních otvorů

Charakteristické hodnoty pro různé provozy

Provoz	Rychlost rozvoje požáru	RHR_f [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

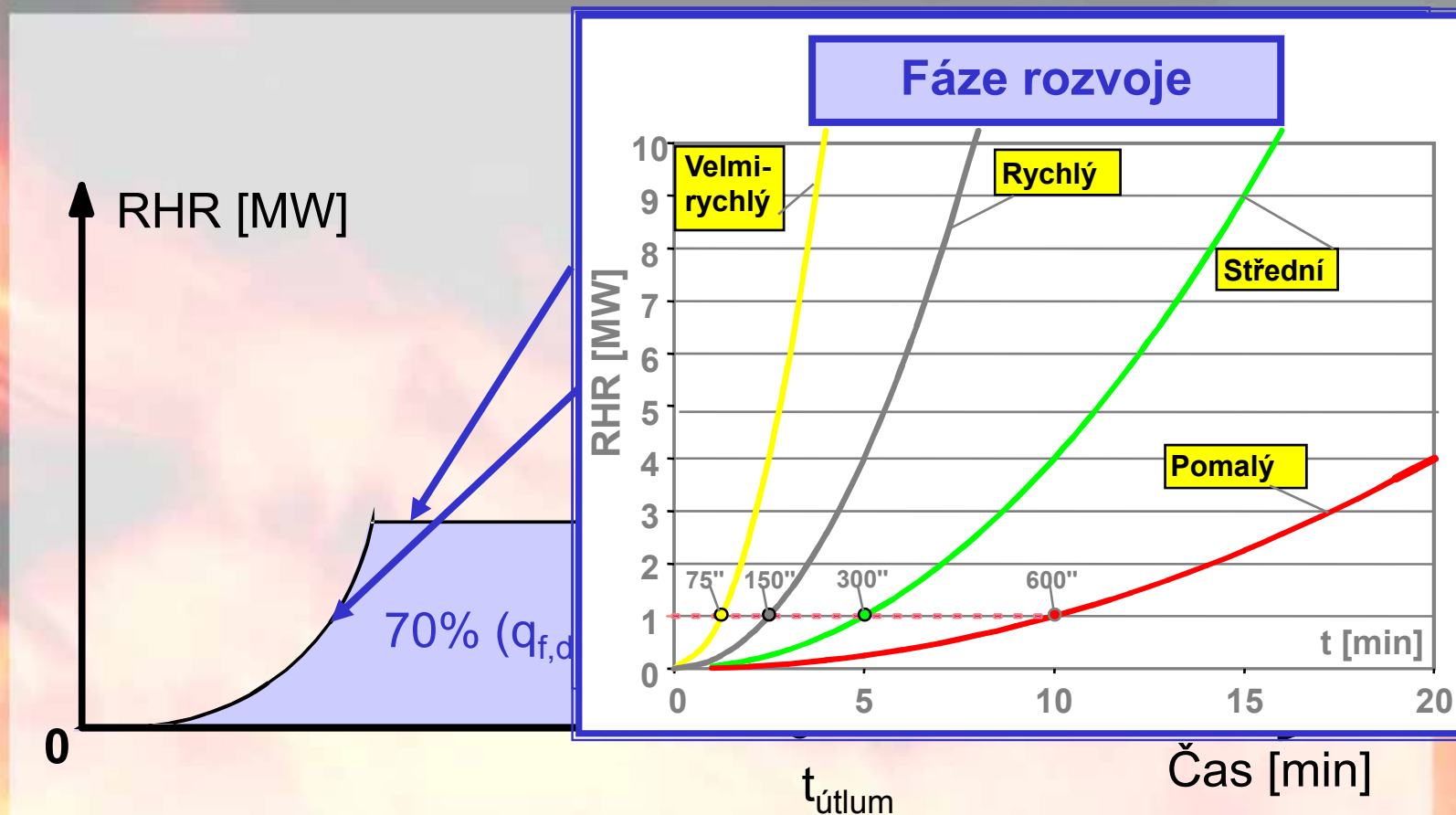
Návrhová hodnota hustoty požárního zatížení

Compartment floor area A_f [m ²]	Danger of Fire Activation δ_{q1}	Danger of Fire Activation δ_{q2}	Examples of Occupancies
25	1,10	0,78	Art gallery, museum, swimming pool
250	1,50	1,00	Residence, hotel, office
2500	1,90	1,22	Manufactory for machinery & engines
5000	2,00	1,44	Chemical laboratory, Painting workshop
10000	2,13	1,66	Manufactory of fireworks or paints

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

Automatic Water Extinguishing System		Independent Water Supplies			Automatic fire Detection & Alarm		Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	Work Fire Brigade	Off Site Fire Brigade	Safe Access Routes	Fire Fighting Devices	Smoke Exhaust System	
δ_{n1}	0 1 2	δ_{n2}		by Heat	by Smoke	δ_{n3}	δ_{n4}	δ_{n5}	δ_{n6}	δ_{n7}	δ_{n8}	δ_{n9}	δ_{n10}
0,61	1,0 0,87 0,7	δ_{n2}		0,87 or 0,73		δ_{n3}	δ_{n4}	0,87	0,61 or 0,78	δ_{n7}	0,9 or 1 1,5	1,0 1,5	1,0 1,5

Křivka rychlosti uvolňování tepla: ustálený stav a fáze útlumu hoření

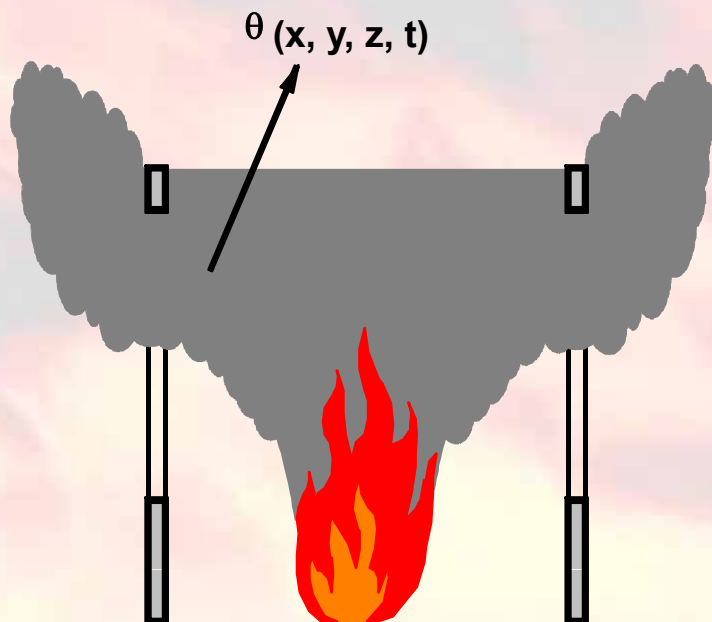


Zjednodušený model přirozeného požáru

*) Nominální teplotní křivka Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlovodíková křivka		Nejsou potřebné žádné údaje
*) Zjednodušené modely požáru		Rychlost uvolňování tepla
<u>Lokalizovaný požár</u> - HESKESTADT - HASEMI $\theta(x, y, z, t)$ 	<u>Prostorový požár</u> - Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek 	Povrch odhořívání
*) Pokročilé modely požáru		Vlastnosti ohraničujících konstrukcí
- Dvouzónový model	- Jednozónový model	Plocha otvorů
- Kombinace dvou a jednozónového modelu požáru	- CFD	Výška stropu
		+
		Přesná geometrie

Zjednodušené modely požárů: Lokalizovaný požár

LOKALIZOVANÝ POŽÁR



PROSTOROVÝ POŽÁR



Experiment: lokalizovaný požár

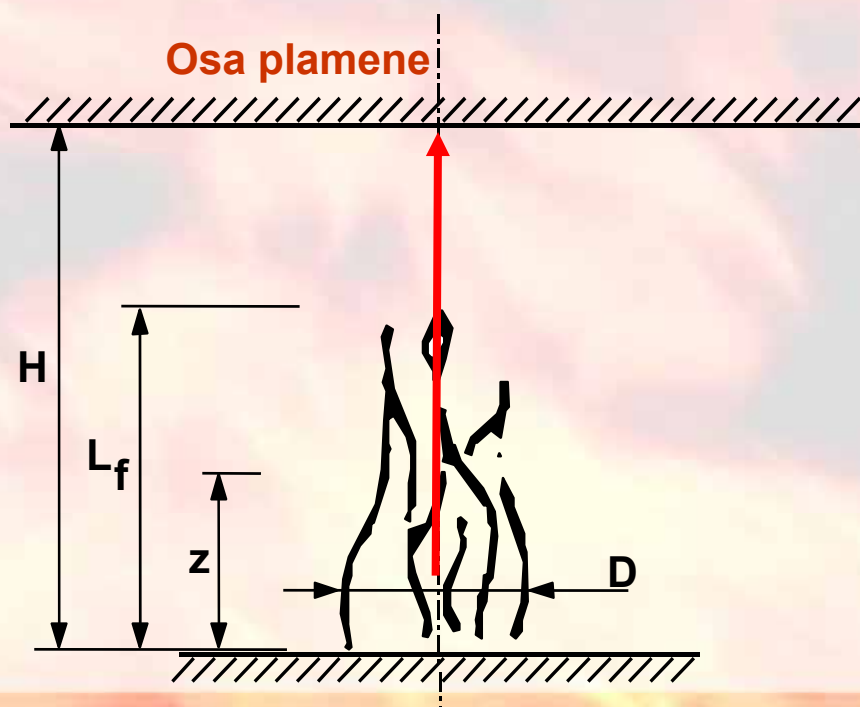


Lokalizovaný požár: Metoda HESKESTAD

Příloha C v ČSN EN 1991-1-2:

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

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



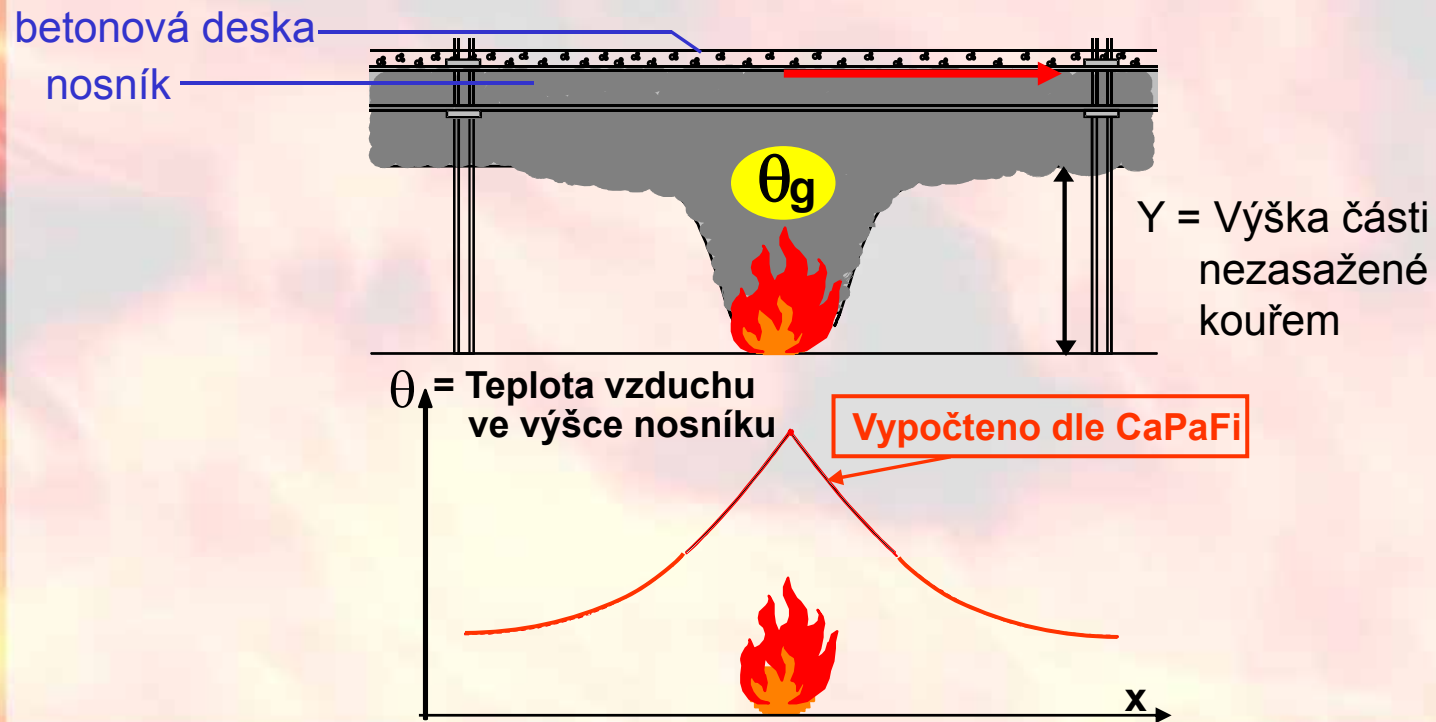
Délka plamene L_f lokálního požáru je dána vztahem:

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

Lokalizovaný požár: Metoda HASEMI

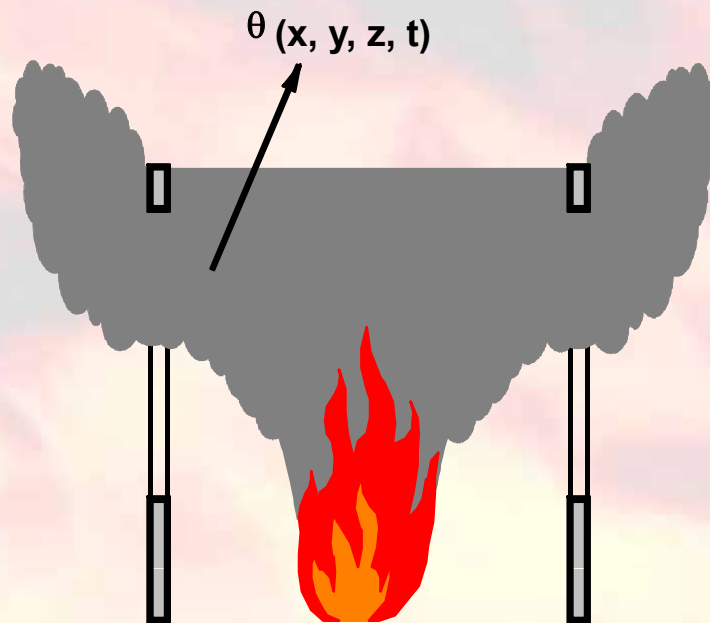
Příloha C v ČSN EN 1991-1-2:

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



Zjednodušené modely požárů: Prostorový požár

LOKALIZOVANÝ POŽÁR



PROSTOROVÝ POŽÁR



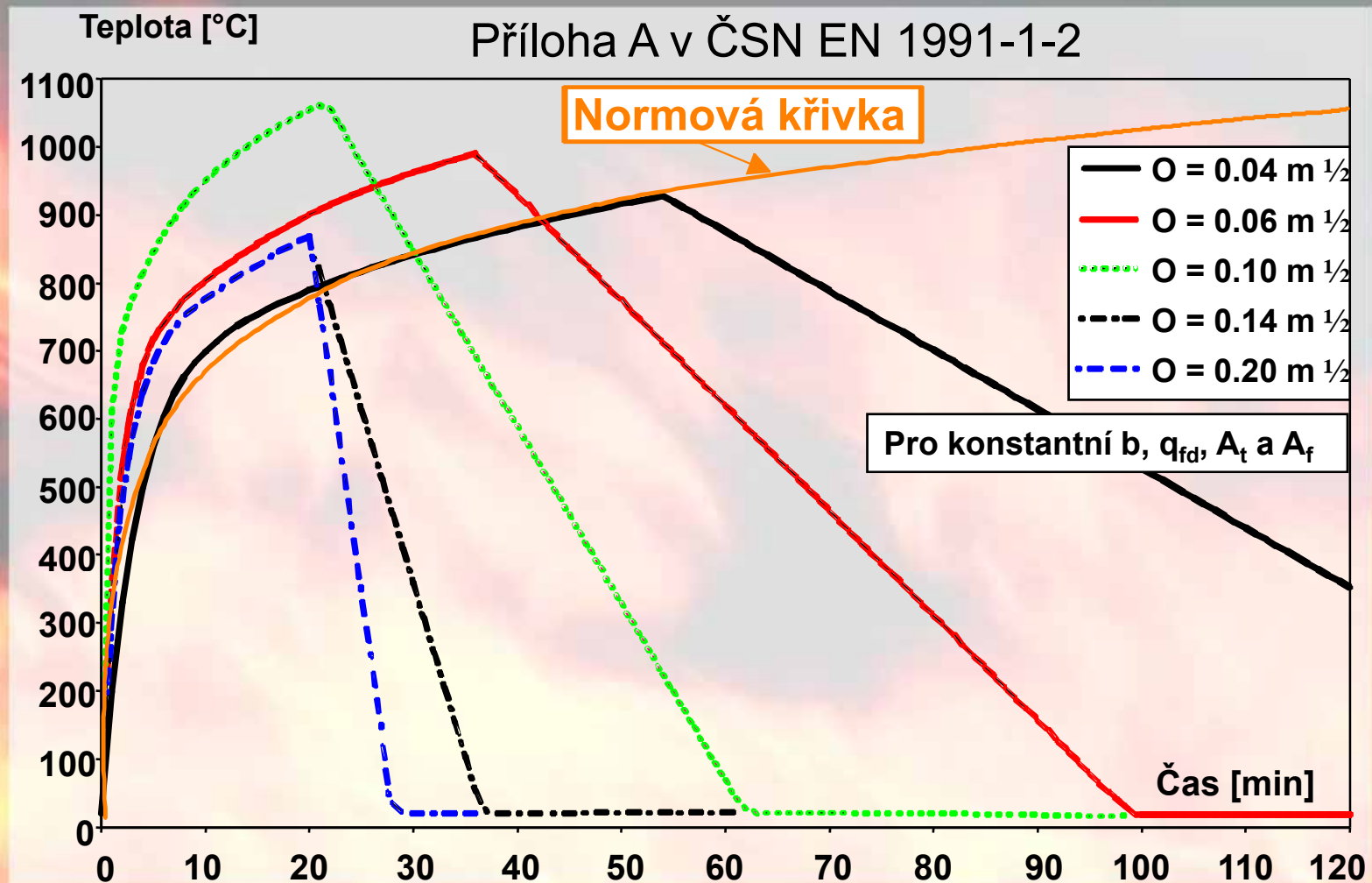
Experiment: Požár administrativní budovy

Prostorový požár v požárním úseku



Prostorový požár v požárním úseku

Parametrická teplotní křivka



Pokročilý model přirozeného požáru

***) Nominální teplotní křivka**

Normová teplotní křivka, Křivka vnějšího požáru, Uhlovodíková křivka

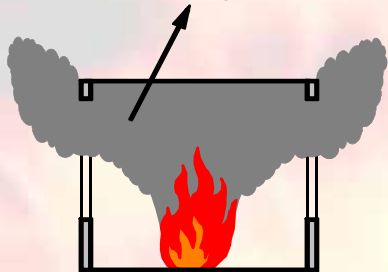
Nejsou potřebné žádné údaje

***) Zjednodušené modely požáru**

Lokalizovaný požár

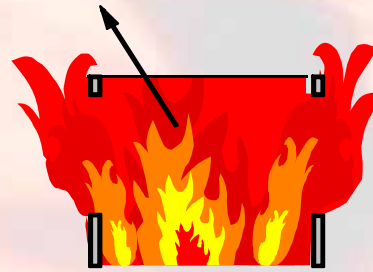
- HESKESTADT
- HASEMI

$\theta(x, y, z, t)$



Prostorový požár

- Parametrická teplotní křivka $\theta(t)$ rovnoměrná pro celý požární úsek



Rychlost uvolňování tepla

Povrch odhořívání

Vlastnosti ohraničujících konstrukcí

Plocha otvorů

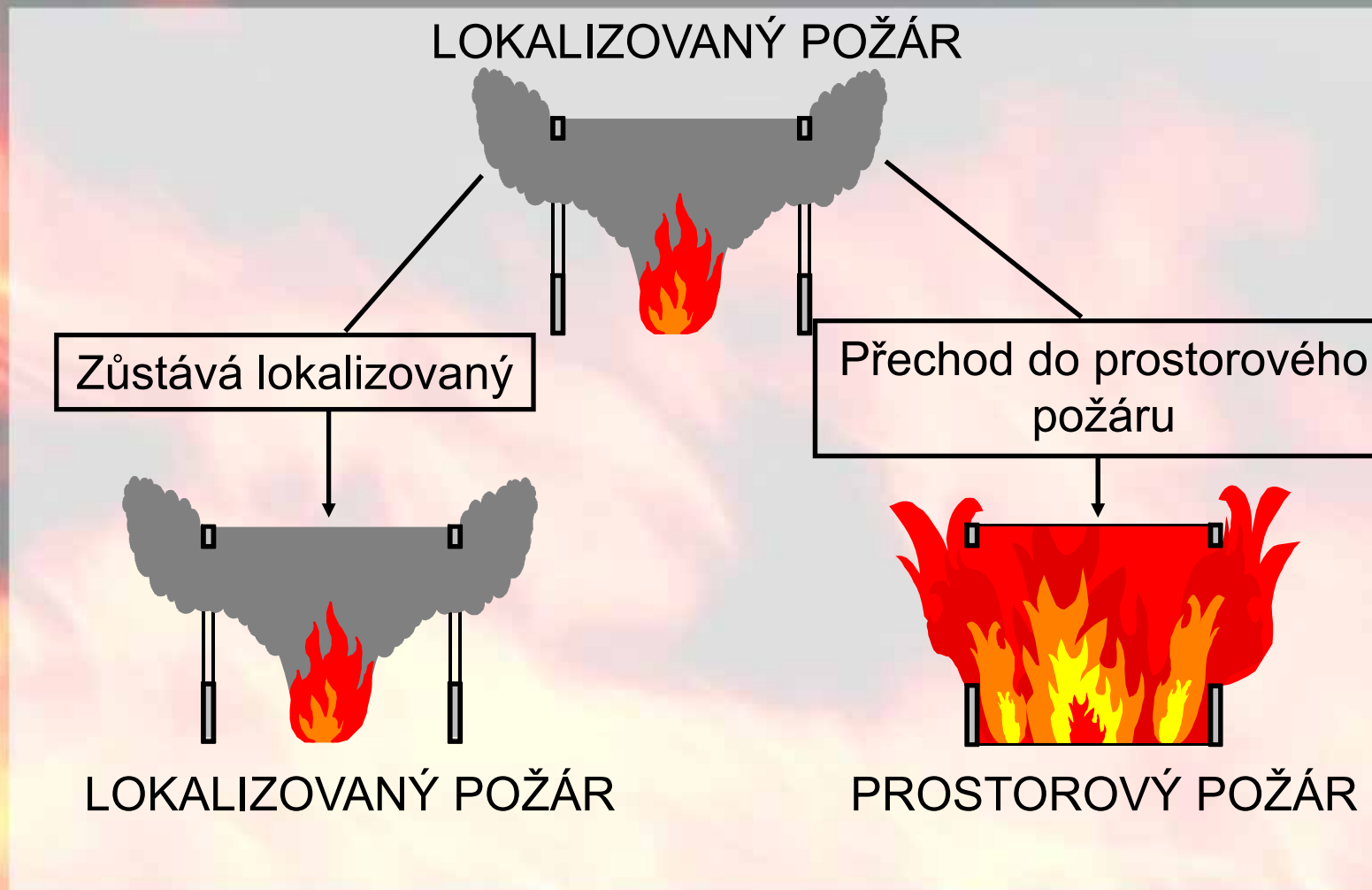
Výška stropu

***) Pokročilé modely požáru**

- Dvouzónový model
- Jednozónový model
- Kombinace dvou a jednozónového modelu požáru
- CFD

+
Přesná geometrie

Pokročilé modely požáru



Experiment: Požární zatížení v požárním úseku



Experiment: Plameny šlehající z otvorů požárního úseku



Experiment: Požární úsek po požáru



Program OZone V2.2 - dvouzónový model

The screenshot displays the Ozone v2.2 software interface. The window title is "Ozone v2.2 - test". The menu bar includes "File", "Tools", "View", and "Help". The "Name" field contains "Natural Fire Example".

The "Program Flow Chart" section shows a sequence of steps: "Compartment...", "Fire...", "Zone Temperature", "Steel Profile...", "Heating...", "Steel Temperature", "Element...", and "Fire Resistance". The "Steel Temperature" box is highlighted with a dotted border.

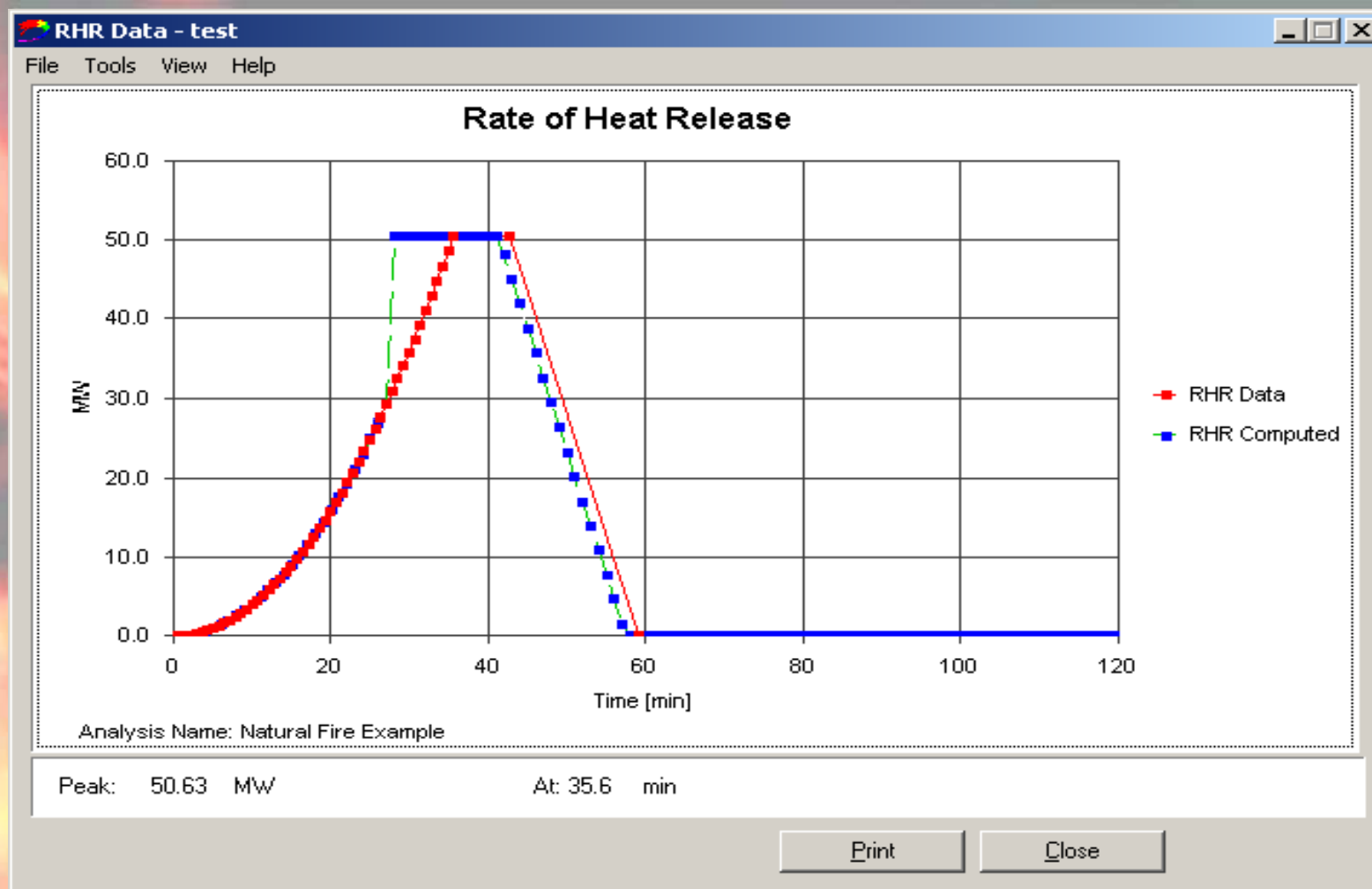
Below the flow chart are buttons for "Strategy" and "Parameters".

A graph shows temperature in degrees Celsius (°C) on the y-axis (ranging from 300 to 1200) versus time in minutes (min) on the x-axis (ranging from 0 to 150). The graph displays a bell-shaped curve peaking at approximately 800°C around 45 minutes.

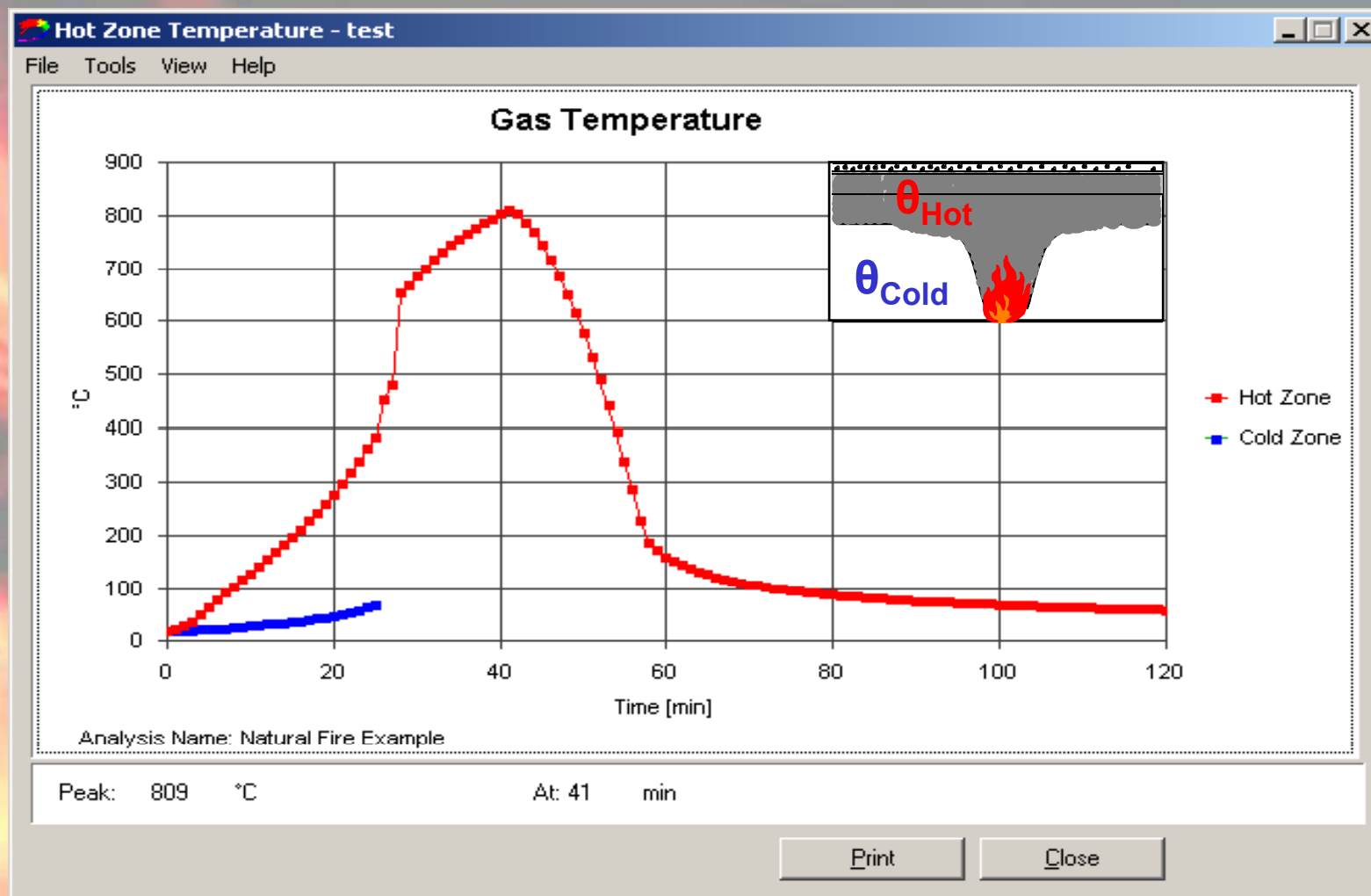
The status bar at the bottom shows "test.ozn" and tabs for "Compartment", "Fire", "Steel", and "Elements".

Ozone v2.2

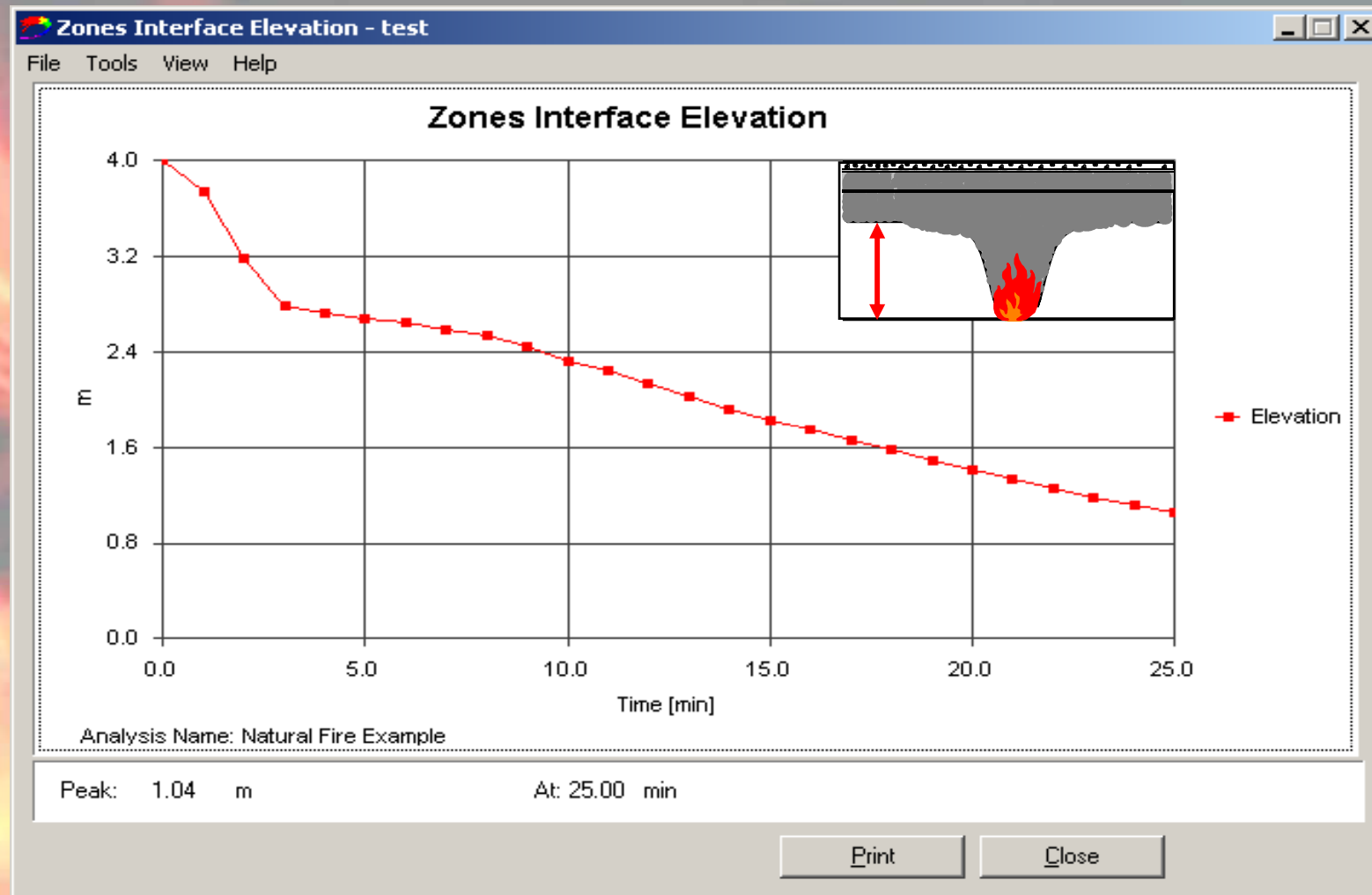
Ozone výsledky: rychlost uvolňování tepla



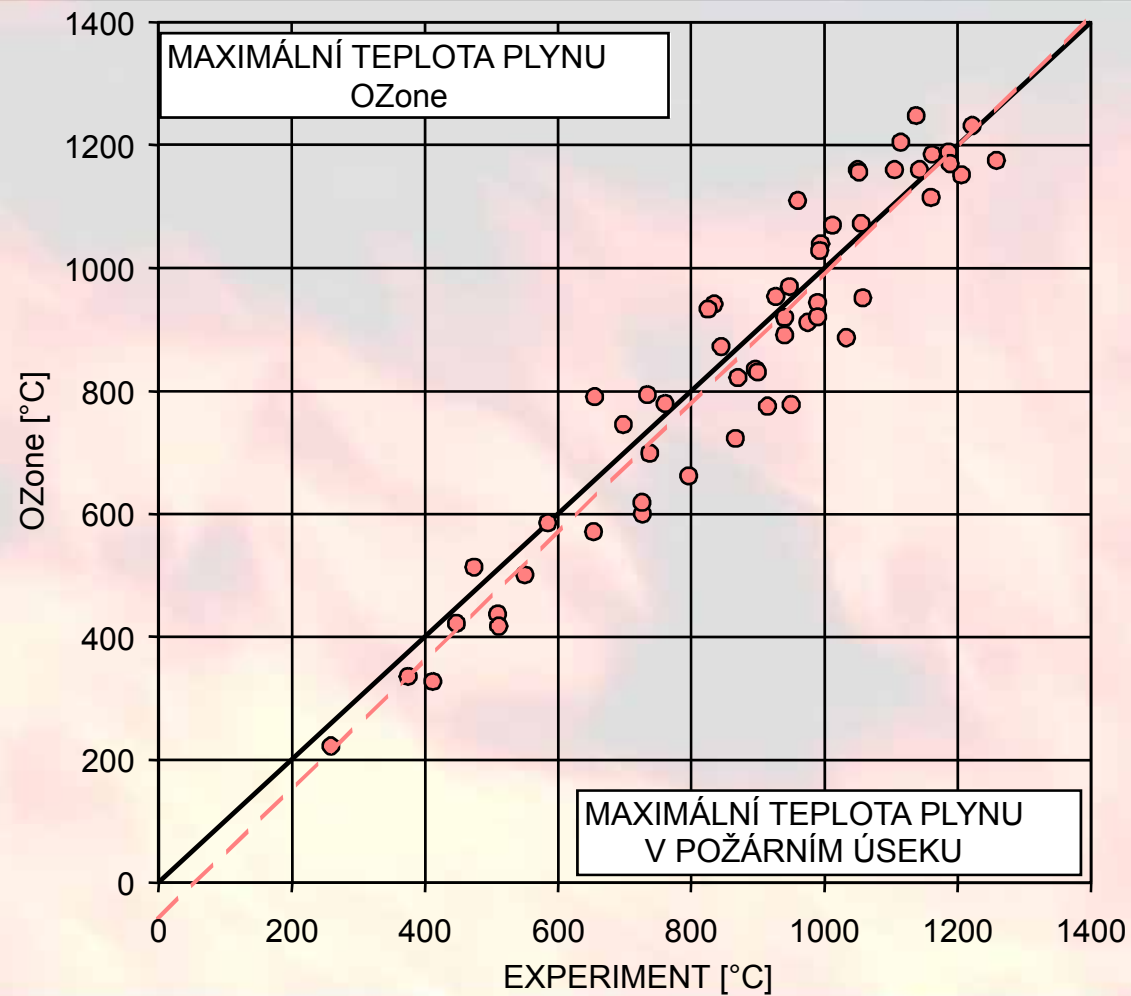
OZone výsledky: teplota plynu



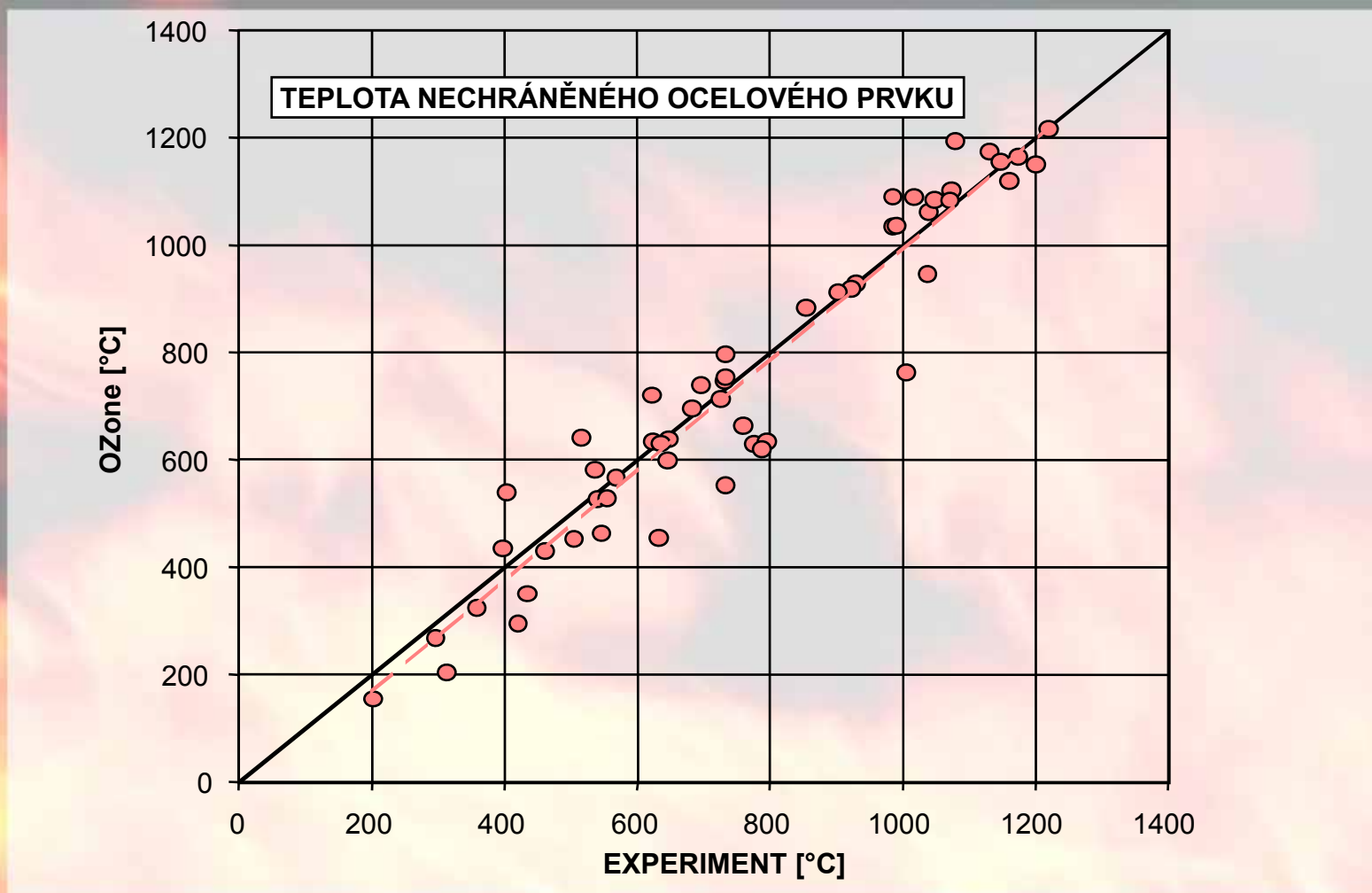
OZone výsledky: rozhraní mezi vrstvami



Ověření modelu na experimentech, teplota plynu

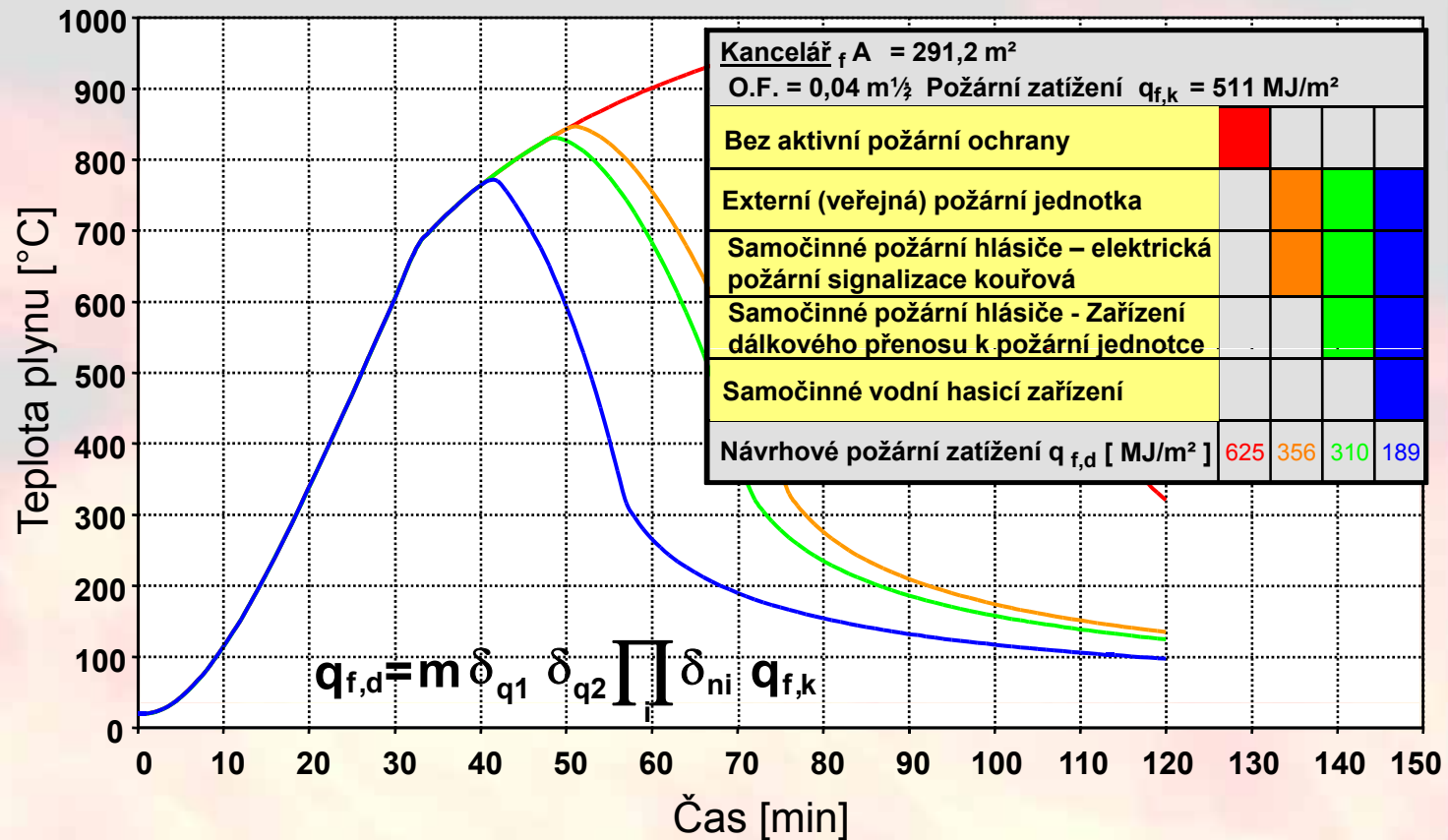


Ověření modelu na experimentech, teplota konstrukce



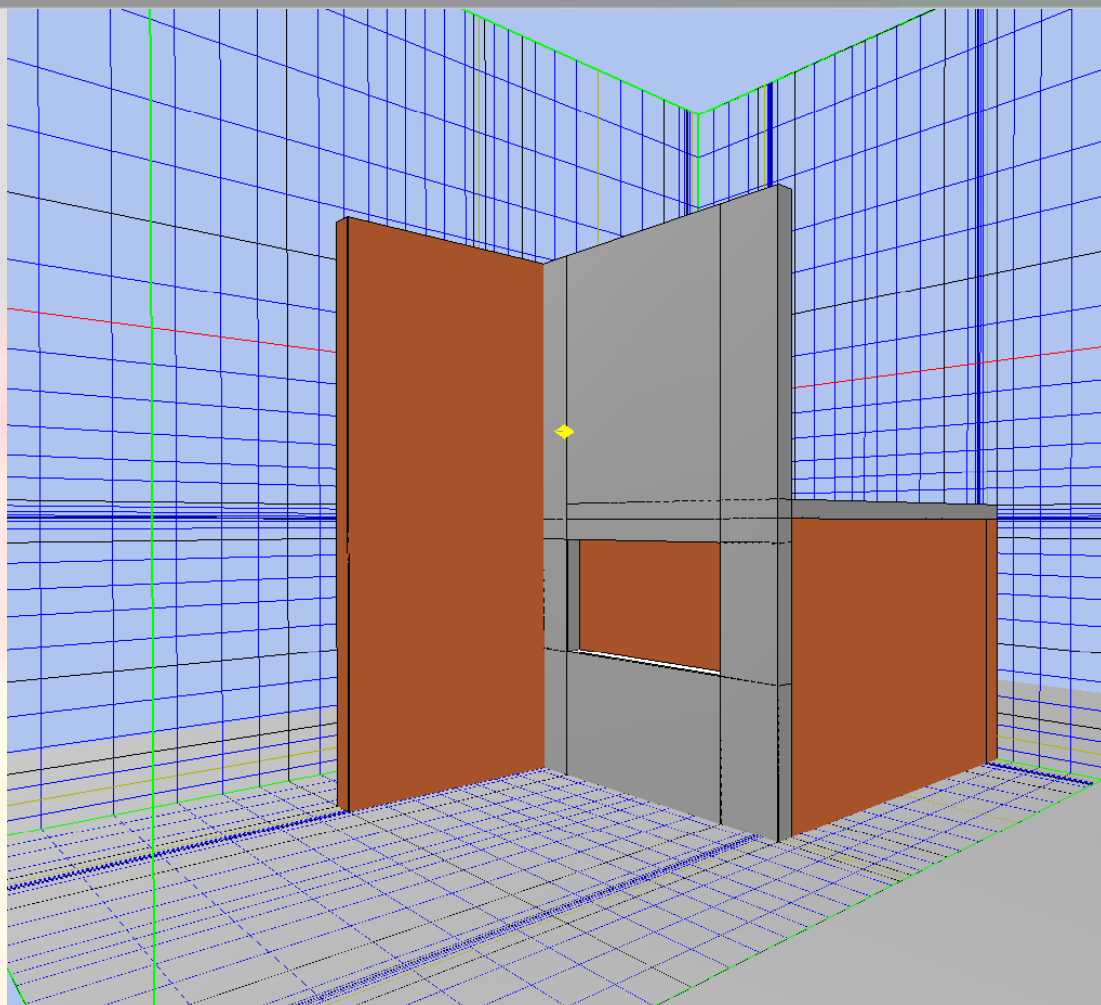
OZone: Příklad

Vliv aktivních požárně bezpečnostních zařízení

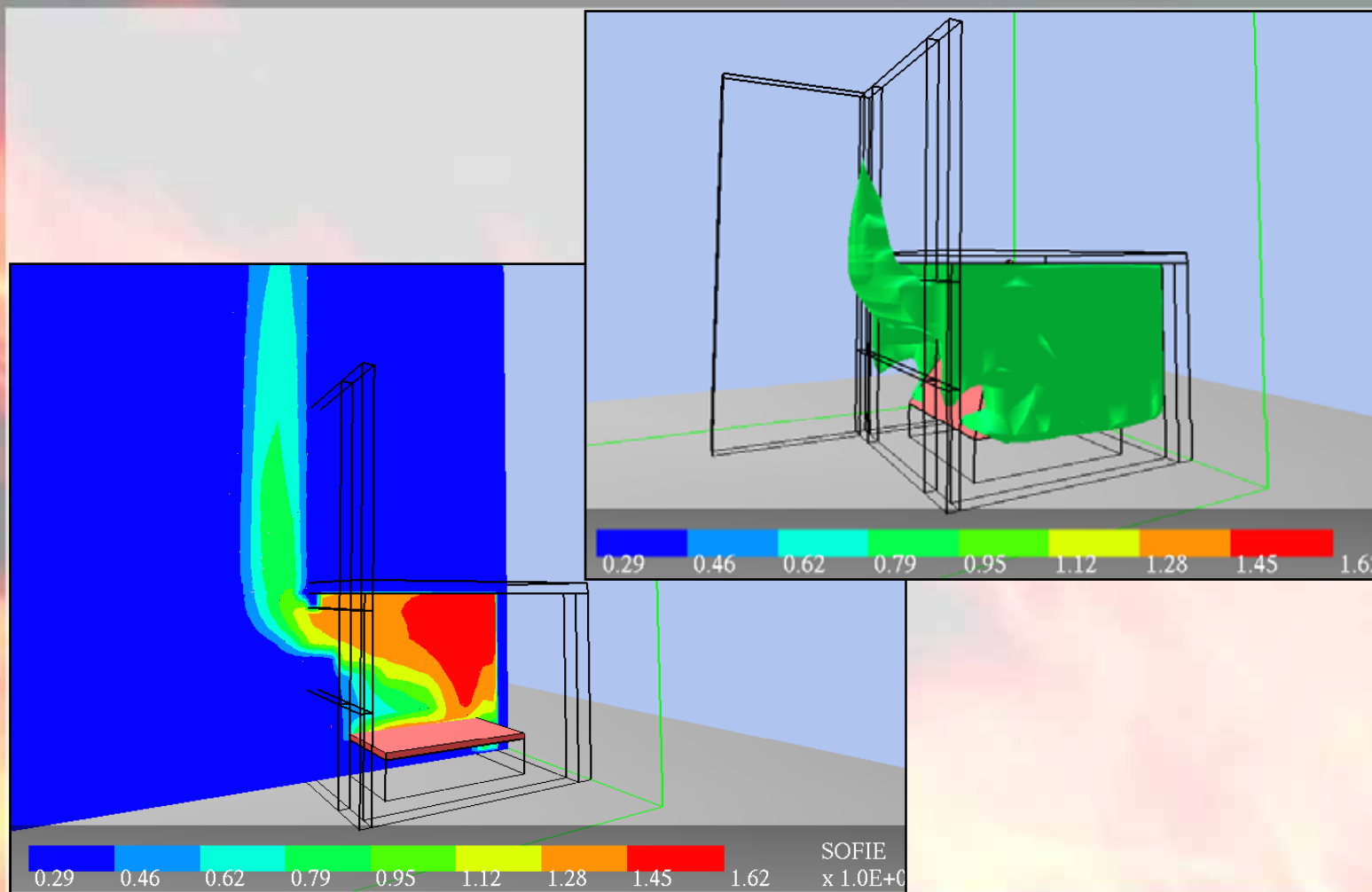


Dynamická analýza plynů: program Sofie

Sít' prvků



Sofie výsledky: teploty plynů



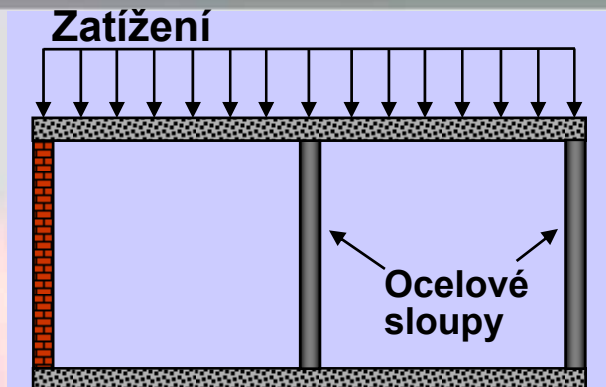
Stanovení požární odolnosti



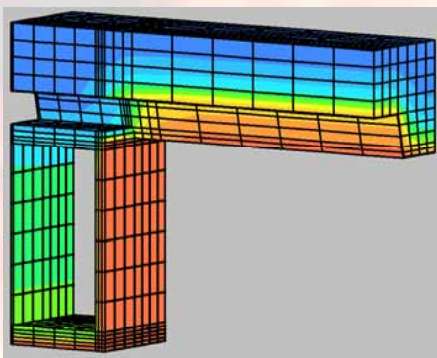
1: Vzplanutí



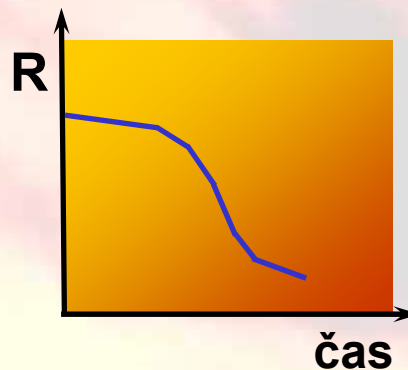
2: Tepelná zatížení



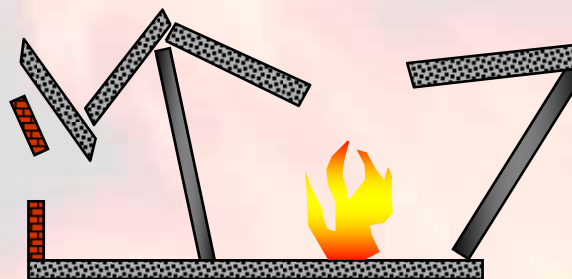
3: Mechanická zatížení



4: Teplotní odezva

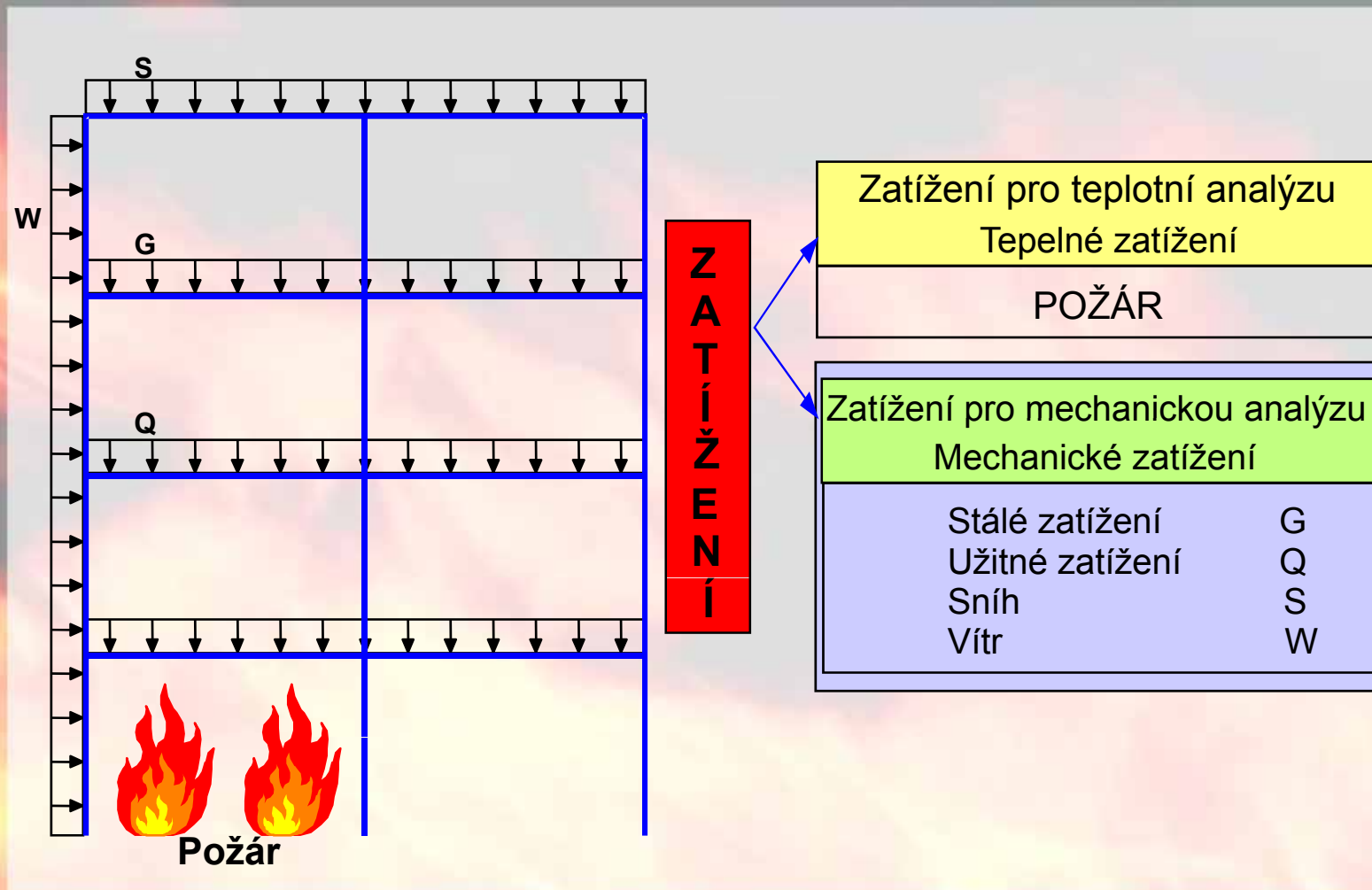


5: Mechanická odezva



6: Případný kolaps

Základy návrhu - zatížení konstrukce



Kombinační pravidla pro mechanická zatížení ČSN EN 1990: Zásady navrhování

Při pokojové teplotě

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

Pro kancelář s užitným zatížením Q,
hlavní proměnné zatížení

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

Kombinační pravidla pro mechanická zatížení ČSN EN 1990: Zásady navrhování

Požární situace \equiv Mimořádná situace

$$E_{fi,d} = G + \psi_{1 \text{ nebo } 2,1} Q + \sum_{i>1} \psi_{1 \text{ nebo } 2,i} Q_i$$

Pro kancelář s užitným zatížením Q,
hlavní proměnné zatížení

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

Pro kanceláře při zatížení budovy větrem W,
hlavní proměnné zatížení

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

Doporučené hodnoty součinitelů ψ pro pozemní stavby

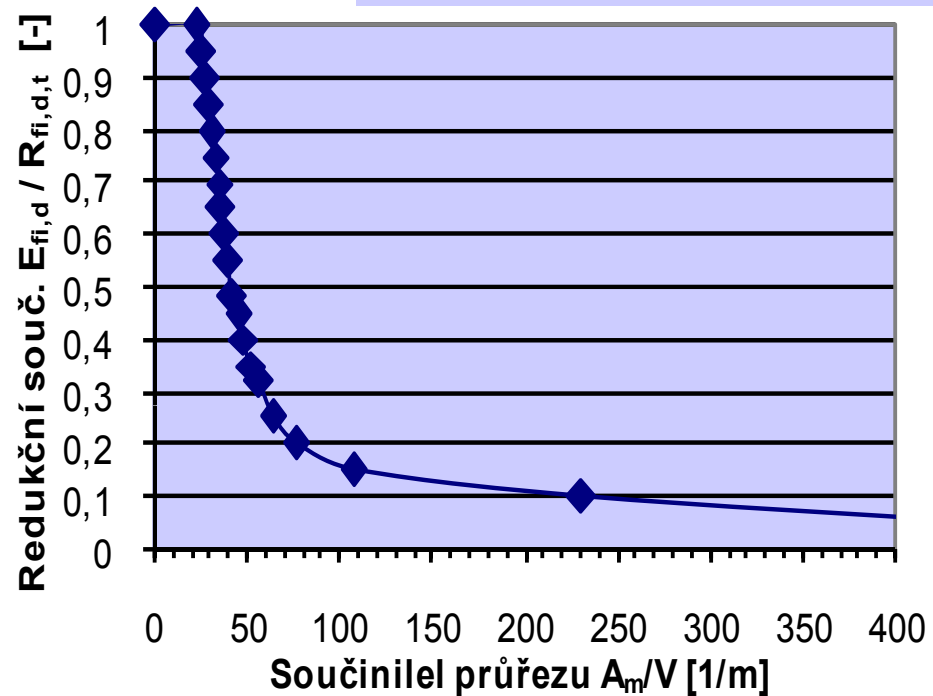
Zatížení	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Kategorie užitných zatížení pro pozemní stavby (ČSN EN 1991-1-1)			
Kategorie A : obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B : kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C : shromažďovací plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie D : obchodní plochy	0,7	0,7	0,6
Kategorie E : skladovací plochy	1,0	0,9	0,8
Kategorie F : dopravní plochy tíha vozidla $\leq 30\text{kN}$	0,7	0,7	0,6
Kategorie G : dopravní plochy, $30\text{kN} < \text{tíha vozidla} \leq 160\text{kN}$	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 $H > 1000 \text{ m n.m.}$	0,70	0,50	0,20
Ostatní členové CEN, pro stavby umístěné ve výšce $H \leq 1000 \text{ m n.m.}$	0,50	0,20	0
Zatížení větrem (ČSN EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Teplota (ne od požáru) pro pozemní stavby (ČSN EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0

(Viz ČSN EN 1990: 2004)

Redukční součinitel

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

Maximální úroveň zatížení
pro požární odolnost R30



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

Děkuji za pozornost

michal.strejcek@fsv.cvut.cz

URL: fire.fsv.cvut.cz/difisek



Část 1: Tepelná a mechanická zatížení