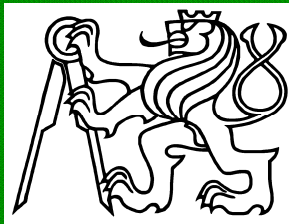


Seminář „Požární návrhové normy po roce 2011“

19. září 2018

Teplota ocelového sloupu vystaveného lokálnímu požáru

Zdeněk Sokol



Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

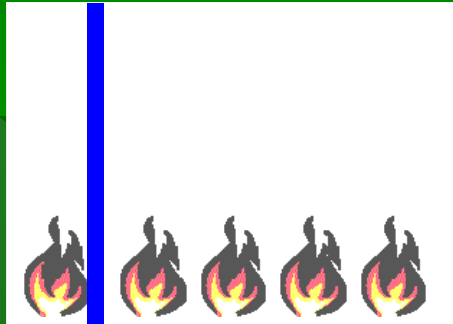
Stavební fakulta

České vysoké učení technické v Praze

Obsah

- Úvod - sloupy při požáru
- Navrhování konstrukcí na účinky požáru
 - Rychlost uvolňování tepla
 - Modely lokálního požáru v ČSN EN 1993-1-2
 - Teplota ocelových prvků při požáru
- Model přestupu tepla do sloupu – sálání z plamenů
- Řešené příklady
- Závěr

Sloupy při požáru



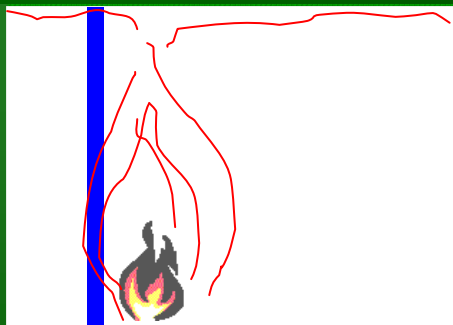
plně rozvinutý požár

- teplotní křivky, zónový model
- teplota plynů všude stejná
- teplota sloupu po výšce konstantní



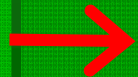
lokální požár

- model lokálního požáru, plameny dosahují ke stropu, sloup je „daleko“ od požáru, vliv sálání z plamenů se neuplatní
- nejvyšší teplota v horní části sloupu



lokální požár

- model lokálního požáru, plameny nedosahují ke stropu, sloup je „blízko“ požáru
- nejvyšší teplota ve spodní části sloupu vlivem sálání z plamenů



Závisí na použitém požárním scénáři

Navrhování konstrukcí na účinky požáru

Podle předpisů (= Prescriptive methods)

- teplota v požárním úseku podle nominální křivky
- přestup tepla do konstrukce přírůstkovou metodou
- analýza prvků při 20°C, vnitřní síly při požáru odvozeny s použitím redukčního součinitele η_{fi}

Inženýrské metody (= Performance based methods)

- parametrická teplotní křivka
- lokální požár
- zónový model
- přestup tepla do konstrukce přírůstkovou metodou
- nebo řešení přestupu tepla do konstrukce a vedení tepla pomocí analýzy MKP
- globální (materiálově a fyzikálně nelineární) analýza celé konstrukce za zvýšené

Rychlost uvolňování tepla

„Tepelný výkon“ požáru

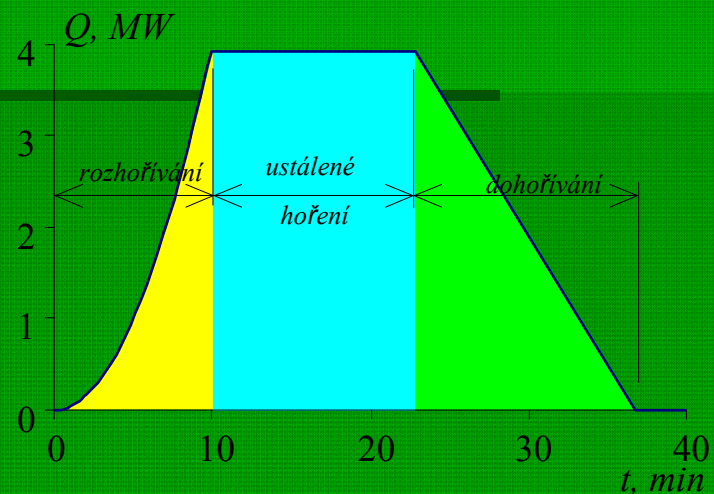
Pro popis rychlosti rozvoje požáru se často používá model „t² fire“

Fáze hoření

rozhořívání $Q = 1 \text{ MW} \left(\frac{t}{t_a} \right)^2$

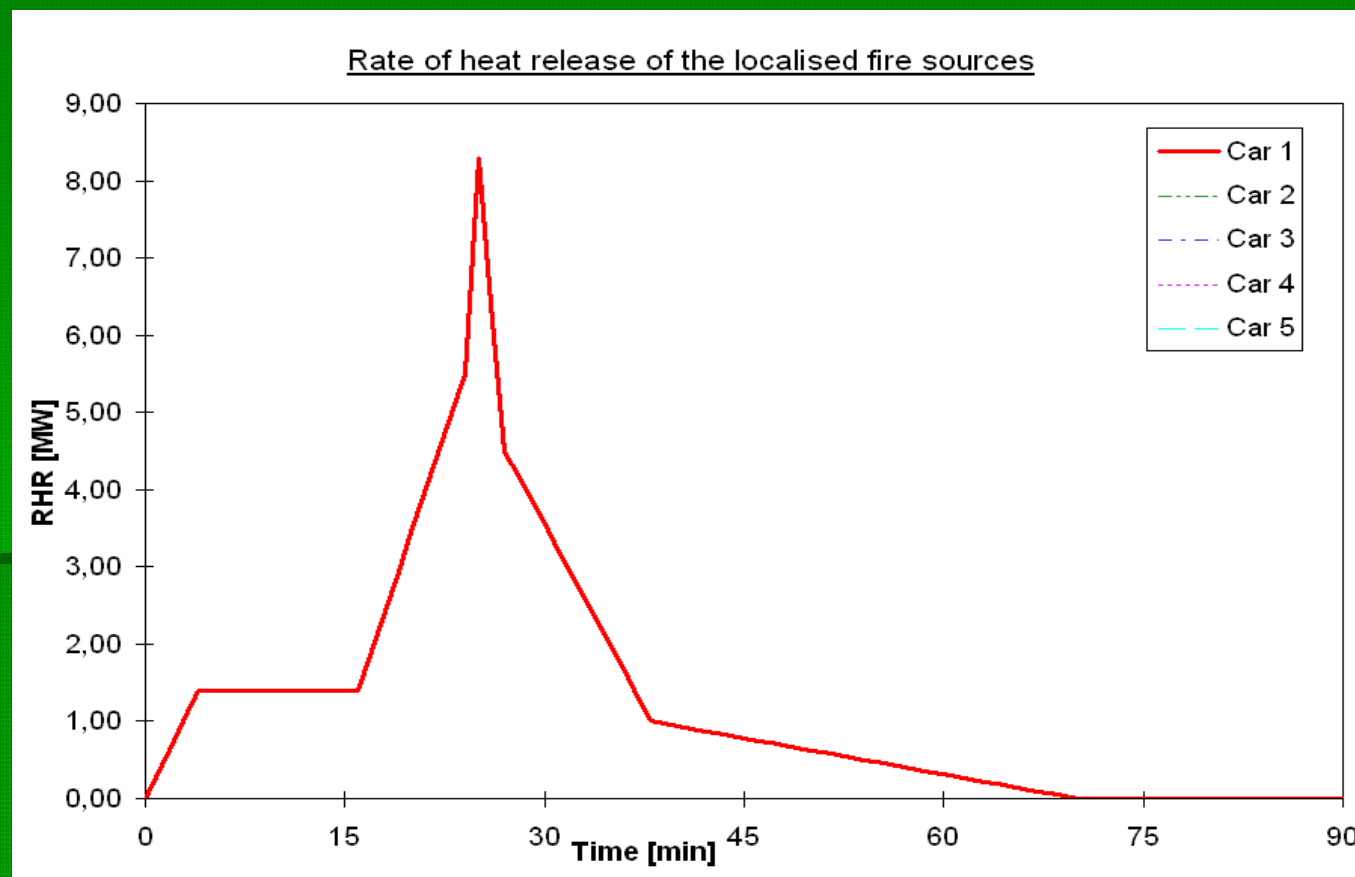
ustálené hoření $Q = A_{\max} \text{ RHR}_f$

dohořívání $Q = \text{lineární pokles}$

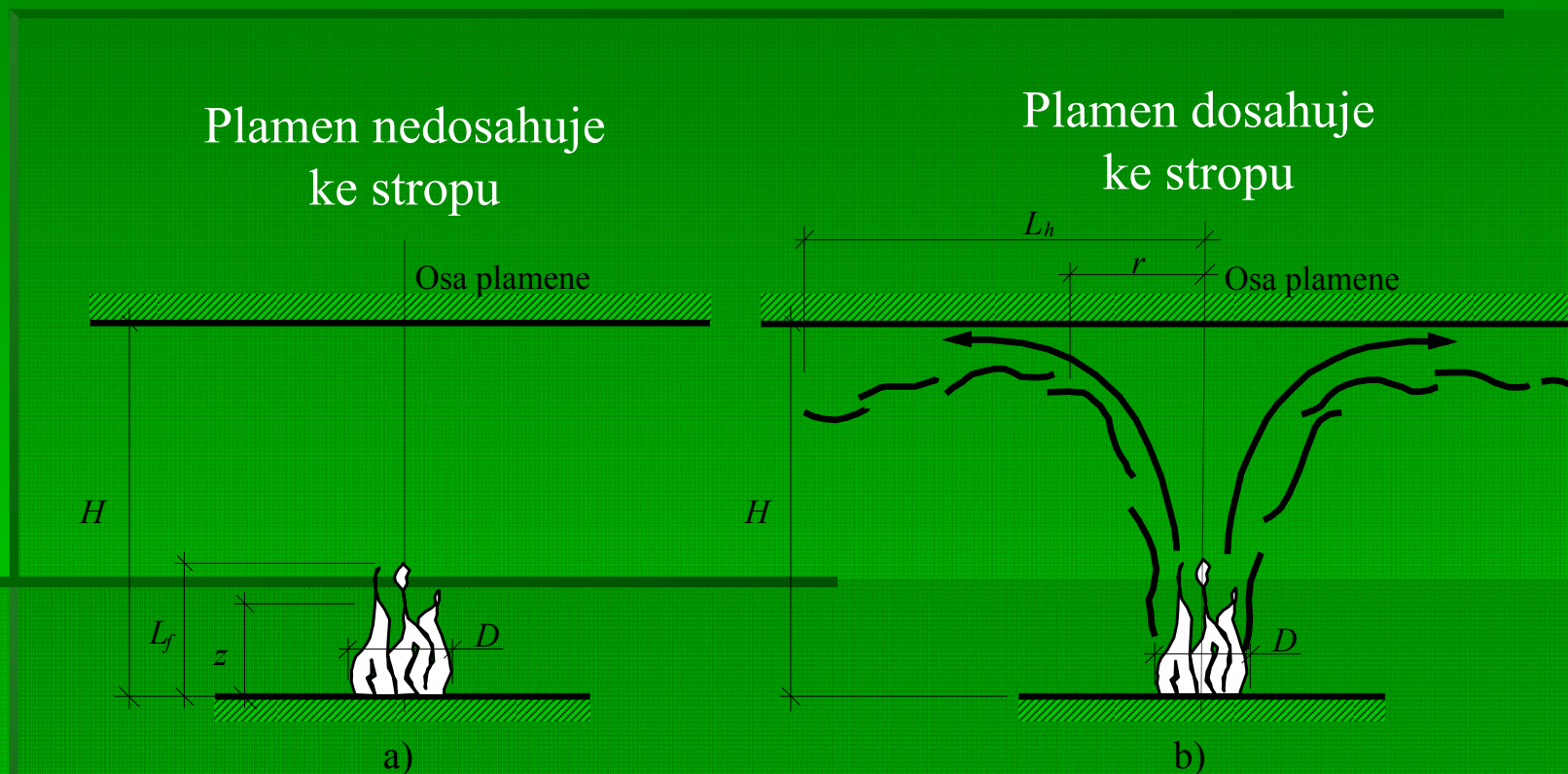


Rychlost uvolňování tepla

Lze samozřejmě použít i jiný průběh – RHR pro požár automobilu



Modely lokálního požáru podle ČSN EN 1991-1-2, příloha C



délka plamene

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

Modely lokálního požáru

Plamen nedosahuje ke stropu

Vstupní parametry plynou z požárního scénáře

největší průměr požáru D

časově závislá rychlost uvolňování tepla Q

Teplota v ose požáru ve zvolené výšce z

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

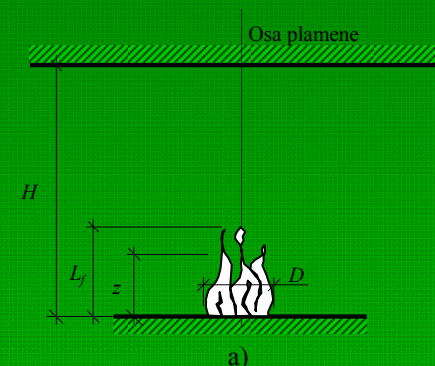
konvekční složka tepelného toku Q_c

$$Q_c = 0,8 Q$$

a virtuální počátek z_0 je

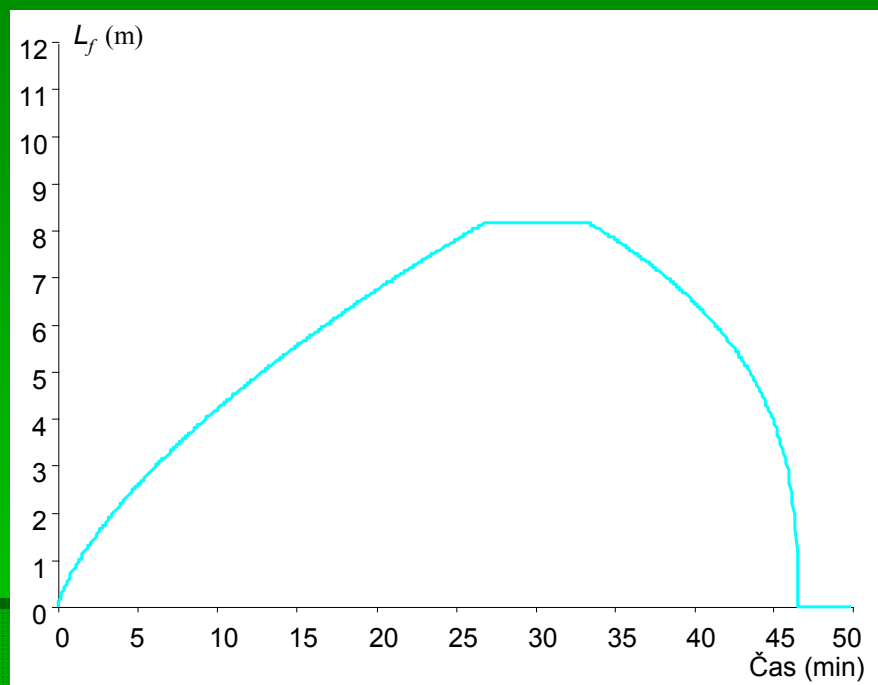
$$z_0 = -1,02 D + 0,00524 Q^{2/5}$$

Tepelný tok dopadající na ocelový prvek
Teplota přírůstkovou metodou

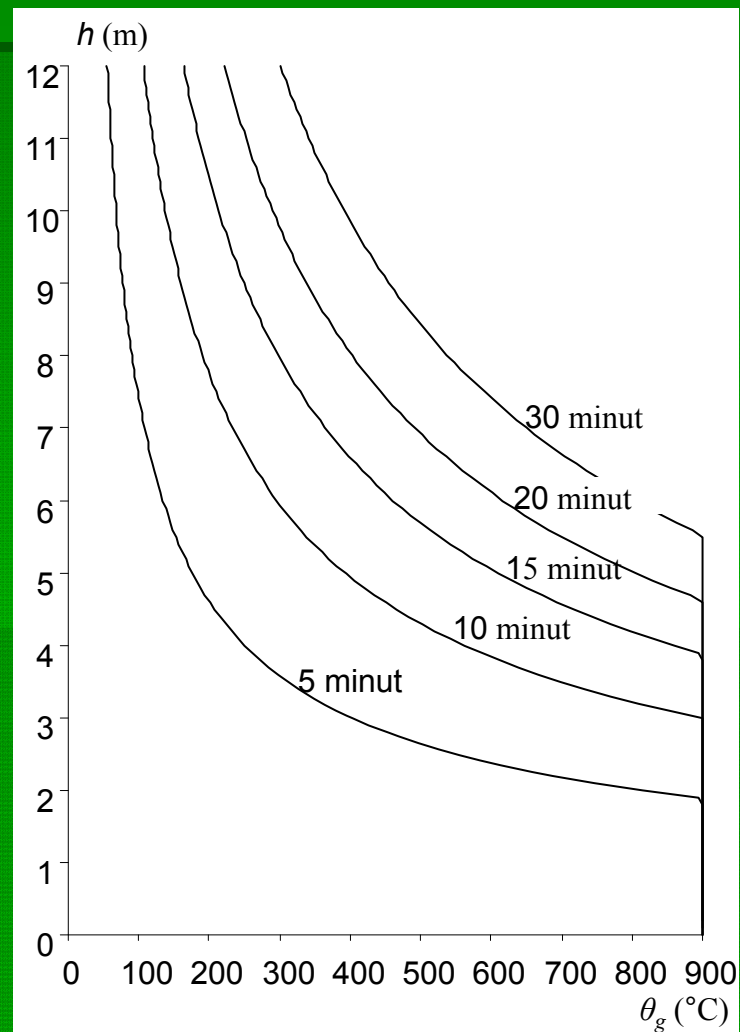


Modely lokálního požáru

Plamen nedosahuje ke stropu



Teplota na konci plamene je 520°C



Teplota sloupu při požáru

Plně rozvinutý požár

- V normě ČSN EN 1993-1-2 je uveden postup pro výpočet teploty ocelového prvku (sloupu) vystaveného požáru (tzv. přírůstková metoda)

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m / V}{c_a \rho_a} h_{net,d} \Delta t$$

- Hlavním parametrem je celkový tepelný tok $h_{net,d}$ dopadající na povrch sloupu:

složka od proudění

$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m)$$

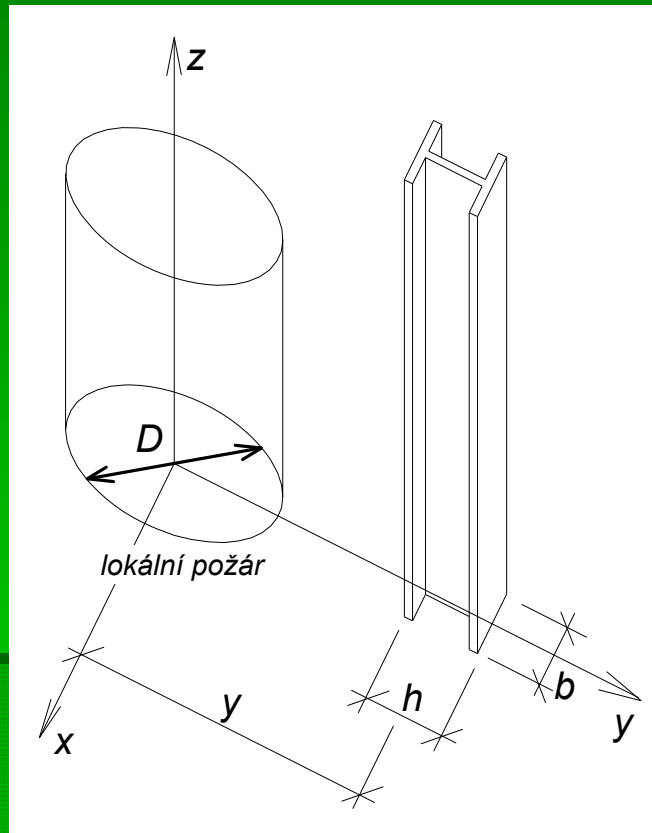
složka od sálání

$$h_{net,r} = \phi \varepsilon 5,67 \cdot 10^{-8} [(\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4]$$

jsou závislé na (časově proměnné) teplotě okolního prostředí θ_g

Teplota sloupu při lok. požáru

Model



Normy neuvádějí postup pro výpočet teploty sloupu – vlastní řešení

Plameny lokálního požáru jsou nahrazeny válcovou plochou

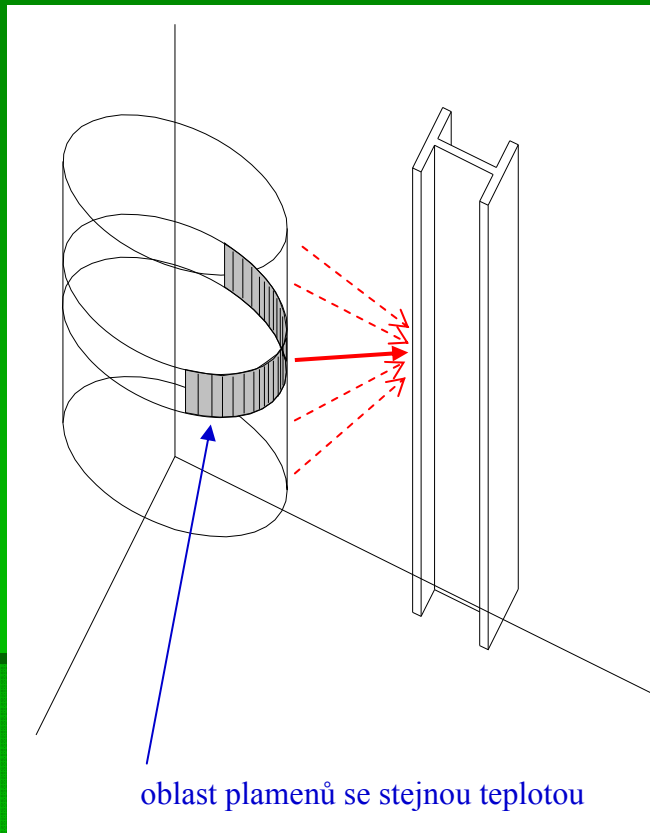
Teplota sloupu se určí přírůstkovou metodou

Je třeba zohlednit:

- účinky sálání z plamenů, jejichž teplota je proměnná po výšce
- ztráty tepla sáláním ze sloupu do okolního prostoru
- ztráty tepla prouděním - sloup je obklopen chladným vzduchem

Teplota sloupu při požáru

Sálání z plamenů



Válcová plocha se rozdělí na prstence

Účinek sálání z plamenů se určí pro každý prsteneček samostatně

$$h_{\text{net,zisk}} = \phi \varepsilon \sigma \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)$$

kde teplota prstence (plamenů) θ_g vychází z modelu pro lokální požár v dané výšce z

Bere se v úvahu viditelnost z prstence na povrch sloupu

Prsteneček se rozdělí na malé plošky, ze kterých se přímo počítá tepelný tok

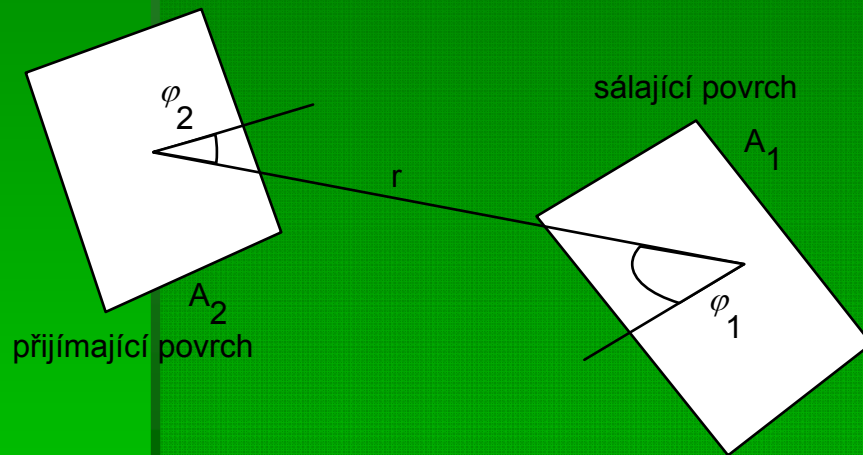
$$h_{\text{net,zisk}} = \sum_{\text{plošky}} \phi \varepsilon \sigma \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)$$

Teplota sloupu při lok. požáru

Polohový součinitel ϕ

$$h_{\text{net,zisk}} = \sum_{\text{plošky}} \phi \varepsilon \sigma \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)$$

Polohový součinitel se musí určit pro každou plošku na každém prstenci



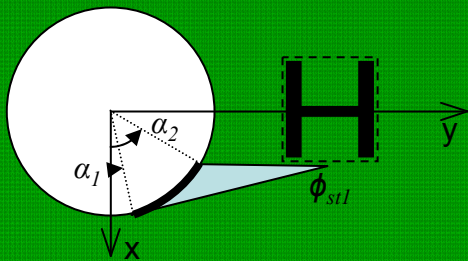
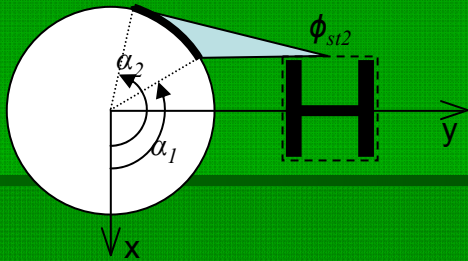
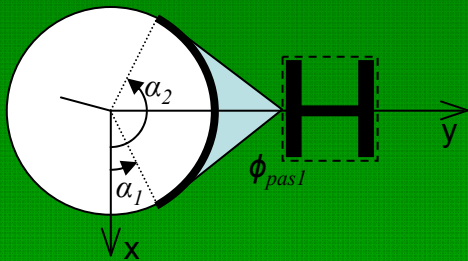
$$\phi = \int_{A_1} \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2}{\pi r^2} dA_1$$

Teplota sloupu při lok. požáru

Viditelnost povrchu sloupu

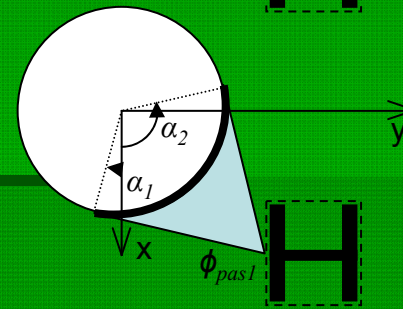
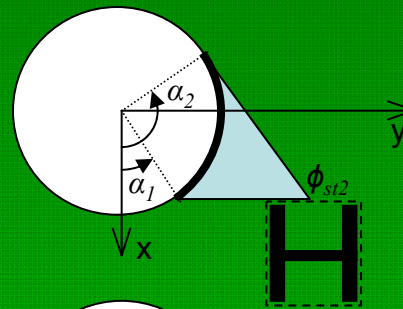
Případ 1

viditelné jsou tři povrchy



Případ 2

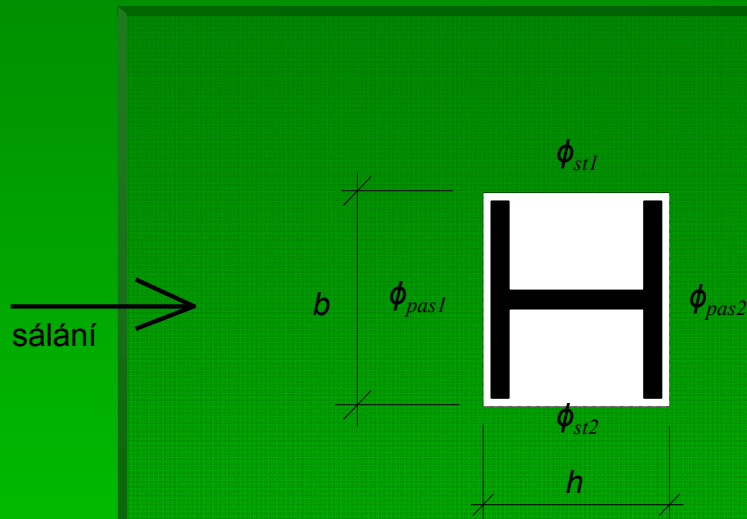
viditelné jsou dva povrchy



Účinek sálání se počítá pro celý povrch sloupu
Sálání dopadá na obálku sloupu

Tepnota sloupu při lok. požáru

Celkový tepelný zisk z 1 prstence



Výsledný polohový součinitel pro 1 prstencec

$$\phi_{\text{celk}} = \frac{b (\phi_{\text{pas1}} + \phi_{\text{pas2}}) + h (\phi_{\text{st1}} + \phi_{\text{st2}})}{2b + 2h}$$

a celkový tepelný zisk z 1 prstence

$$h_{\text{net,zisk}} = \phi_{\text{celk}} \varepsilon \sigma \left((\theta_g + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right)$$

Teplota sloupu při lok. požáru

Tepelné ztráty, celkový tepelný tok

Sloup předává teplo do okolního prostředí, protože je obklopen chladným vzduchem a chladnými předměty. Předpokládá se teplota okolí 20°C.

$$h_{\text{net,ztraty}} = \varepsilon \sigma \left((\theta_m + 273)^4 - (20 + 273)^4 \right) + \alpha_c (\theta_m - 20)$$

Celkový tepelný tok způsobující změny teploty sloupu

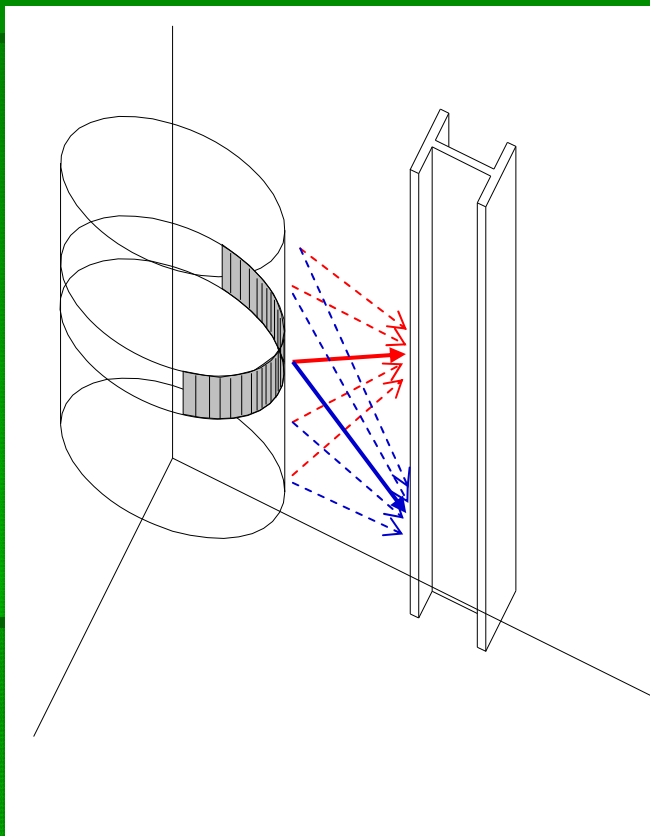
$$h_{\text{net}} = \sum_{\text{prstence}} h_{\text{net,zisk}} - h_{\text{net,ztraty}}$$

Teplota sloupu se určí přírůstkovou metodou

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{\text{sh}} \frac{A_m / V}{c_a \rho_a} h_{\text{net,d}} \Delta t$$

Teplota sloupu při lok. požáru

Nejvyšší teplota sloupu



V kterém místě na sloupu se dosahuje nejvyšší teploty?

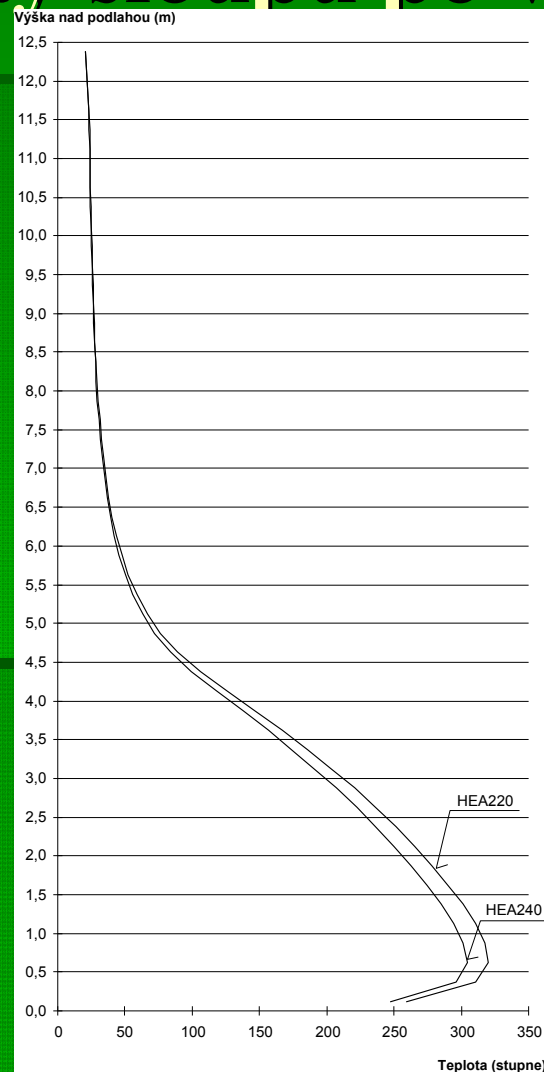
- to nelze předem určit
- místo s nejvyšší teplotou se během času posunuje tak, jak se mění délka plamenů

Řešení:

Rozdělit sloup po výšce na úseky a počítat teplotu každého úseku.

Teplota sloupu při lok. požáru

Průběh teploty sloupu po výšce



Praktické použití

- Postup je zcela nevhodný pro ruční výpočet
- Vyžaduje poměrně jemné dělení válcové plochy na prstence i prstenců na plošky
- Využití tabulkového procesoru je obtížné
- Používám vlastní program (Fortran)

Omezení

- Sloup musí být mimo oblast plamenů, z důvodů numerické stability je vhodné, aby vzdálenost povrchu sloupu plamenů byla cca 300 mm
- Nezohledňuje nerovnoměrné rozložení teploty po průřezu sloupu
- Nezahrnuje vedení tepla podél sloupu (konzervativní přístup)
- Počítá pouze s jedním zdrojem tepla – jedním lokálním požárem
- Nebere v úvahu horní část sloupu ve vrstvě horkých plynů pod stropem – je třeba samostatný výpočet

Řešené příklady

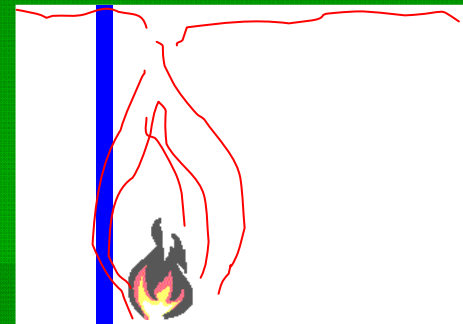
Zadání a požární scénáře

Posouzení sloupů výrobní haly pro kovovýrobu

- jednolodní průmyslová hala, rozměry 20×50 metrů, výška ke střeše 7 metrů
- nevyskytují se hořlavé materiály
- posouzení je řešeno s využitím lokálního požáru
- sloupy jsou průřezu HEA 260

Požární scénáře

- požár obráběcího stroje – lisu
- požár vysokozdvižného vozíku
- požár bezpečnostní jímky pod skladištěm oleje



Předpokládá se, že zařízení (tj. lokální požár) může být umístěno v bezprostřední blízkosti ocelového sloupu, ale sloup není obklopen plameny

Lokální požár obráběcího stroje - lisu

Požární zatížení, rychlost uvolňování

Požární zatížení (odhad)
tepla

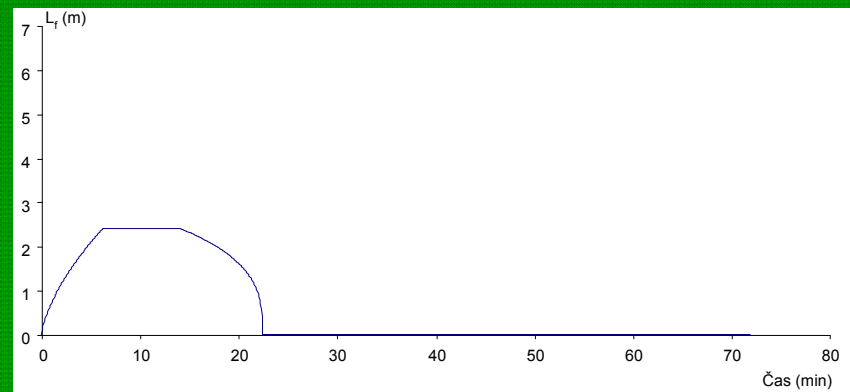
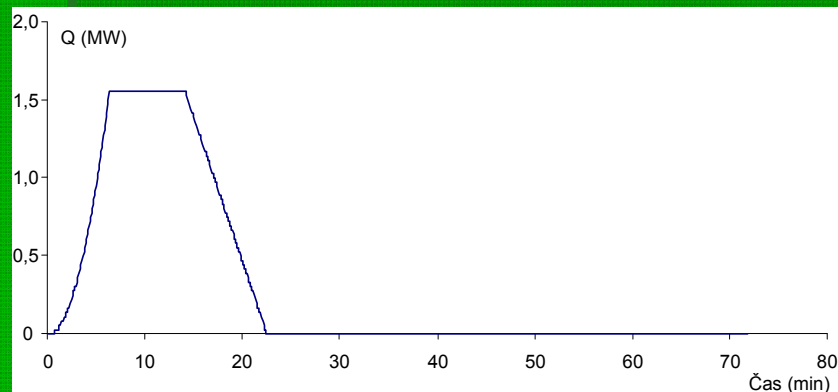
elektroinstalace

- plastové kryty a součástky
- olejová náplň

celkem 15 kg hořlavého materiálu, $Q_{f,d} = 1326$ MJ

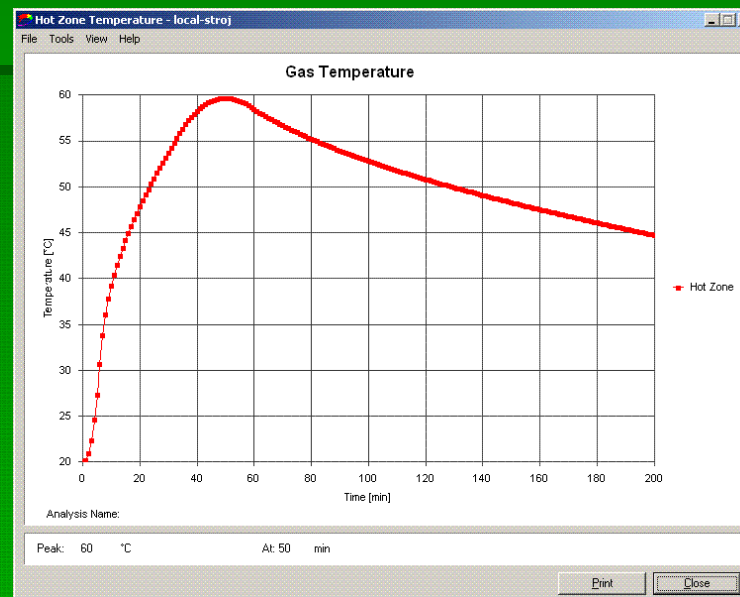
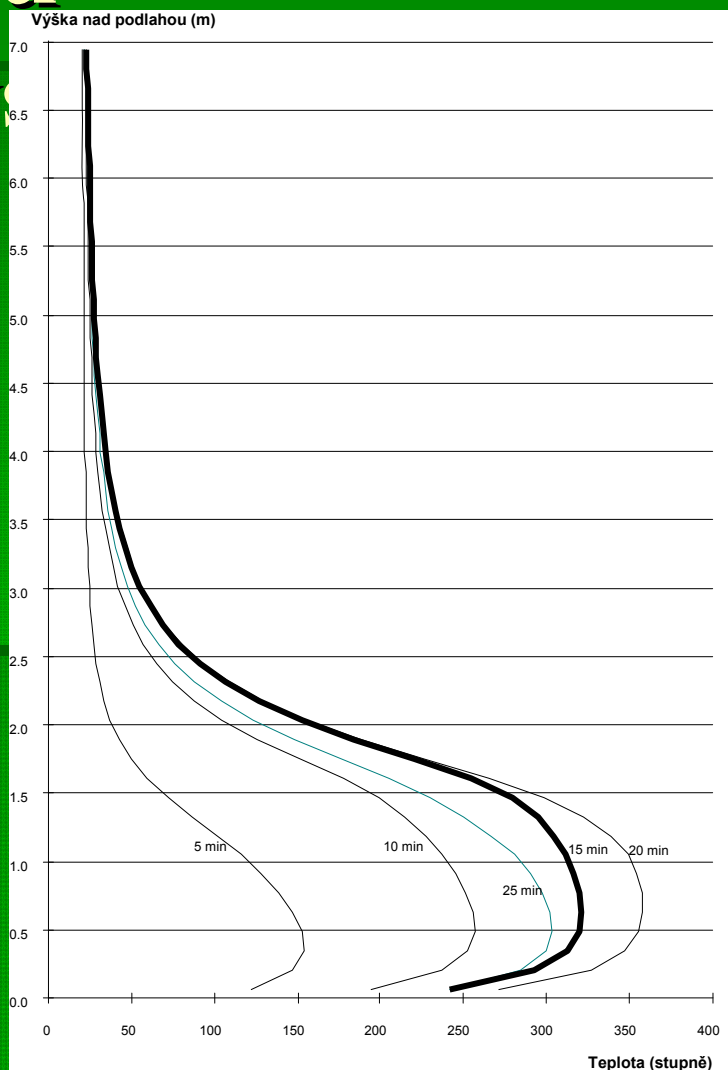
Průměr požáru $D = 2$ m

Rychlost uvolňování tepla, délka plamenů



Lokální požár obráběcího stroje - lisu

Vý



- Teplota sloupu 362°C ve 20. minutě
- Teplota v horké vrstvě plynů pod střechem je nejvýše 60°C

Lokální požár vysokozd. vozíku

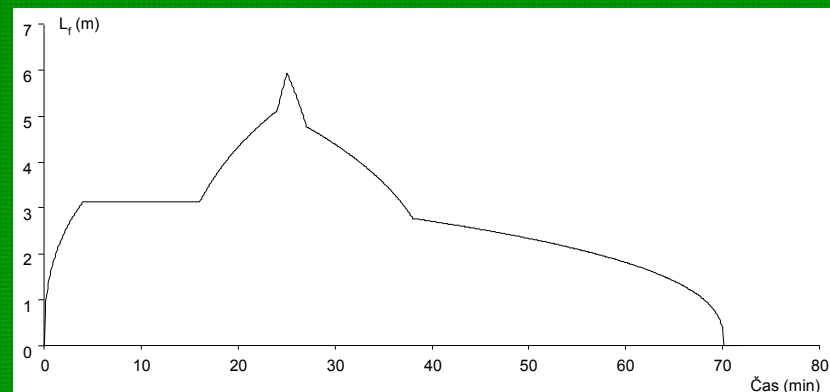
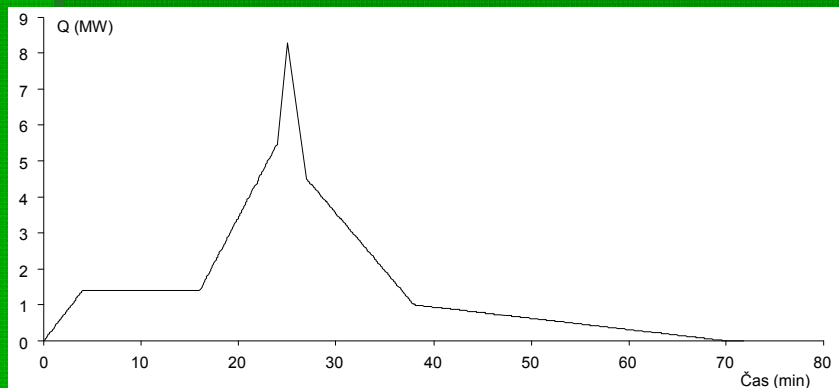
Požární zatížení, rychlost uvolňování tepla

Požární zatížení

Je použita křivka rychlosti uvolňování tepla pro osobní automobil
(konzervativní)

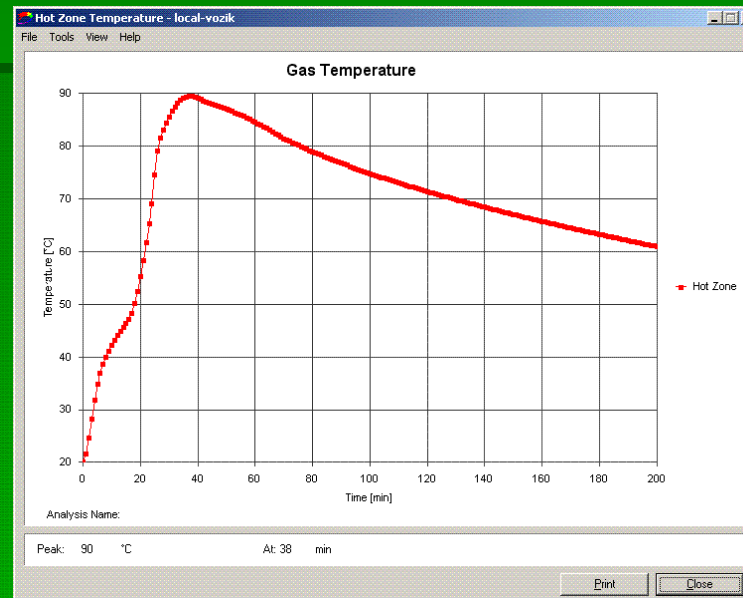
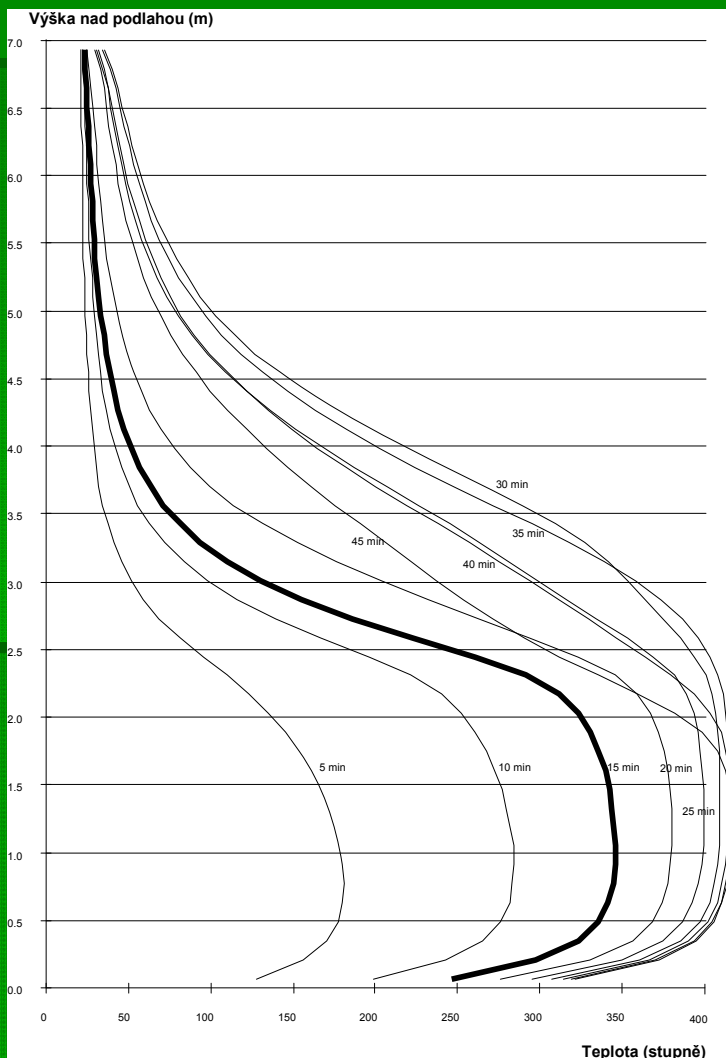
Průměr požáru $D = 2,70$ m

Rychlost uvolňování tepla, délka plamenů



Lokální požár vysokozd. vozíku

Výsledky



- Teplota sloupu 428°C ve 35. minutě
- Teplota v horké vrstvě plynů pod střechou je nejvýše 90°C

Lokální požár olejů

Požární zatížení, rychlost uvolňování tepla

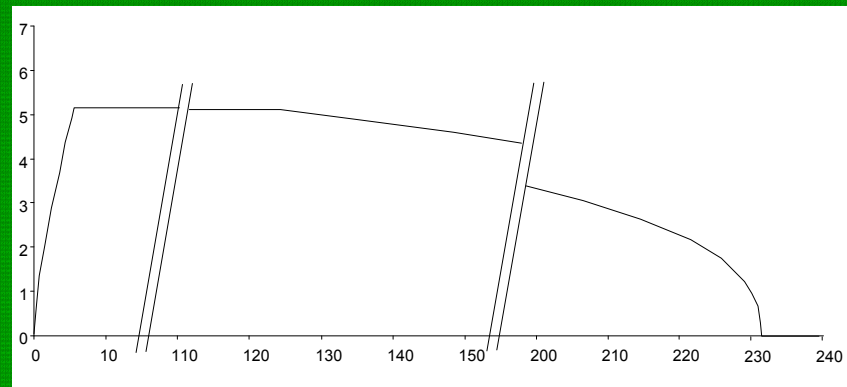
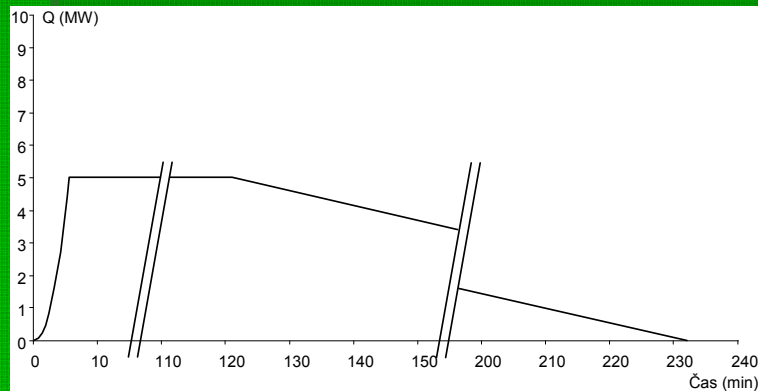
Požární zatížení

3 plechové sudy, každý s 200 litry oleje nad záchytnou jímkou 1,5×2 metry
všechny oleje shoří, $Q_{f,d} = 24\ 624\ \text{MJ}$

Průměr požáru $D = 1,95\ \text{m}$

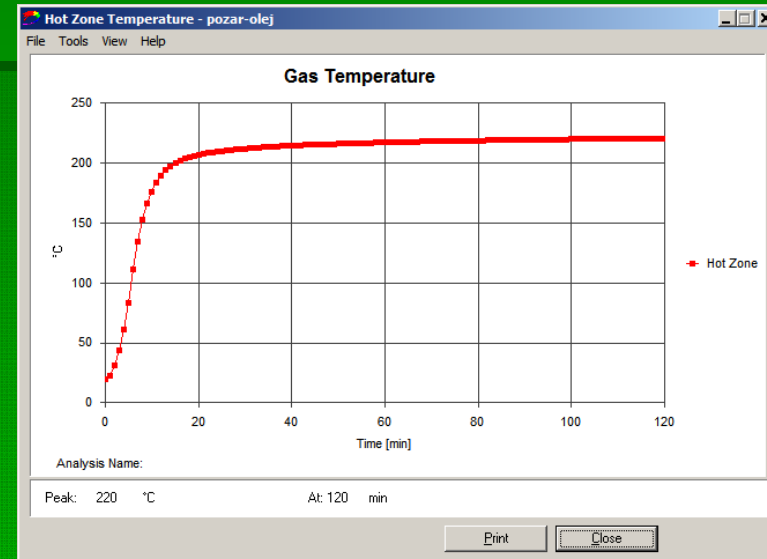
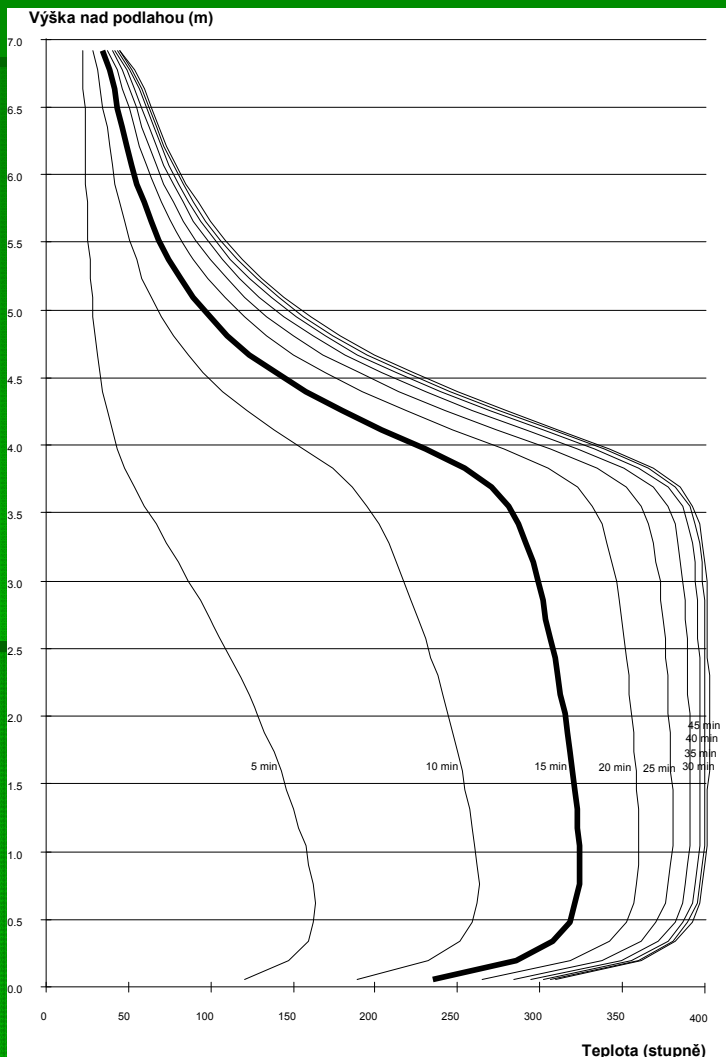
Maximální rychlost uvolňování tepla $RHR_f = 1680\ \text{kW/m}^2$

Rychlost uvolňování tepla, délka plamenů



Lokální požár olejů

Výsledky



- Teplota sloupu 405°C ve 45. minutě – ustálený stav
- Teplota v horké vrstvě plynů pod střechou je nejvýše 220°C

Závěr

- „Jednoduchý“ model s využitím postupů zakotvených v platných normách
- Pro ruční výpočet je nevhodný, používám vlastní program
- Je třeba spolupráce se zónovým modelem pro ověření teploty v horní části sloupu

Děkuji za pozornost