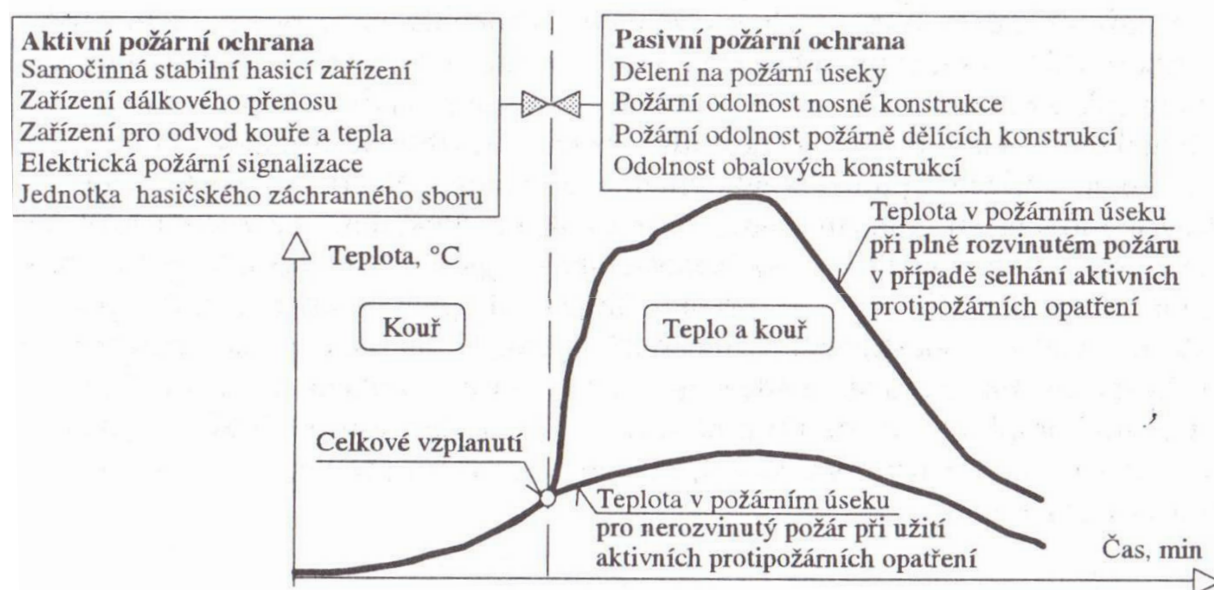


# Zatížení konstrukcí namáhaných požárem

## 1. Požární bezpečnost staveb - obecně

Požární ochrana má dvě základní složky: požární prevenci zaměřenou na předcházení vzniku požárů a omezení následků již vzniklých požárů a požární represi zaměřenou na účinné zdolávání požáru. Řešení požární bezpečnosti staveb patří do oblasti požární prevence. Správně navržená budova omezuje rizika ztrát na životech a majetku v objektu a jeho okolí.

Požární bezpečnost představuje souhrn opatření, která musí zajistit, aby v případě požáru byla po požadovanou dobu zachována nosná funkce konstrukce, byl omezen rozvoj a šíření ohně a kouře ve stavebním objektu, bylo zamezeno šíření požáru na okolní objekty, osoby mohly opustit budovu a byla brána v úvahu bezpečnost záchranných jednotek. Na splnění výše jmenovaných cílů se významným způsobem podílejí stavební konstrukce. Nosná funkce konstrukce se prokazuje pomocí její **požární odolnosti**. Dělení objektu na požární úseky umožní omezení rozvoje a šíření ohně a kouře ve stavebním objektu. Šíření požáru na okolní stavby se zamezuje vytvářením odstupů. Návrh únikové cesty, která zaručí pro požadovanou dobu bezpečnost lidí, umožní osobám opustit stavbu. Pro zajištění požární bezpečnosti staveb se volí pasivní prvky požární ochrany a/nebo aktivní požární ochrany, viz obrázek.



Obr. 1.1: Aktivní a pasivní požární ochrana

## 2. Postup navrhování

Pro návrh **požární odolnosti** konstrukcí lze využít postupů uvedených v evropských normách EN 199x-1-2. Postupně se řeší teplotní analýza požárního úseku, přestup tepla do konstrukce a vedení tepla v konstrukci a návrh konstrukce za vysokých teplot, viz tabulka 1. teplotní analýza je založena na popisu požárního zatížení, geometrii požárního úseku, vlastnostech ohraničujících konstrukcí a možnosti odvětrání. Návrh konstrukce za vysokých teplot řeší odezvu konstrukce na teplotní a mechanická zatížení.

Tabulka 2.1: Návrh požární odolnosti konstrukce

Postup	Vstupy	Návrh požární odolnosti konstrukce	Normy
1)	Požární zatížení Geometrie požárního úseku Charakteristiky hoření	<b>Teplotní analýza požárního úseku</b>	EN 1991-1-2: 2004
2)	Geometrie prvků Termální vlastnosti Součinitel přestupu tepla	<b>Přestup a vedení tepla v konstrukci</b>	EN 199x-1-2: 2004
3)	Mechanické zatížení Geometrie prvků Uložení prvku (spoje) Mechanické vlastnosti	<b>Návrh konstrukce za zvýšených teplot</b>	

**Výpočetní model** konstrukčního systému pro návrh konstrukce za vysokých teplot má vystihovat očekávané chování konstrukce při požáru. Je možno uvažovat s modelem celé konstrukce, kde lze vhodně zohlednit namáhání od teploty. Při výpočtu celé konstrukce je třeba uvážit odpovídající způsob porušení pro zatížení požárem, tepelně závislé vlastnosti materiálů a tuhosti prvků, účinky teplotních roztažení a deformací. Místo návrhu celé konstrukce lze pro některé požární situace navrhnout konstrukci po přiměřených částech. K ověření požadavků požární odolnosti postačuje i návrh prvků. Zjednodušení modelů se liší podle jednotlivých materiálů.

**Požární odolnost** stavebních konstrukcí je schopnost konstrukcí odolávat účinkům požáru, aniž by došlo k porušení jejich funkce. Kromě únosnosti (značeno R) mohou plnit konstrukce a jejich prvky i další funkce jako např. požárně dělící, která má dvě kritéria – jsou to celistvost (E) a tepelná izolace (I). Tepelně izolační schopnost se dá prokázat výpočtem přestupu a vedení tepla v konstrukci, přičemž se hodnotí teplota na neohřívané straně konstrukce. Celistvost (např. otevření spáry mezi dílci) se prokazuje nejčastěji zkouškou. Pro klasifikaci konstrukcí se užívá písemných značek charakterizujících dosažené mezní stavy požární odolnosti doplněné o dobu v minutách. Například R 30 značí, že mezní stav únosnosti nenastane dříve než za 30 minut. Podle českých předpisů a norem se klasifikují nosné tyčové konstrukce (sloupy, nosníky, ztužidla) do tříd: R 15, R 20, R 30, R 45, R 60, R 90, R 120, R 180. Pro nosné plošné požárně dělící konstrukce jsou určeny třídy: REI 15, REI 20, REI 30, REI 45, REI 60, REI 90, REI 120, R 180.

Ve smyslu obecných zásad klasifikace **zatížení** podle EN 1990 je zatížení při požáru klasifikováno jako mimořádné zatížení. Současné působení jiných nezávislých mimořádných zatížení není třeba uvažovat. Ve shodě s EN 1990 se při navrhování z požárního hlediska uvažuje tepelné zatížení od požáru i mechanická zatížení stanovená při konstrukčním návrhu pro všechny konstrukce navrhované podle pravidel požárně návrhových částí EN 1992 až 1996 a EN 1999.

Ověření spolehlivosti může být provedeno

**podle času:**

$$t_{fi,d} \leq t_{fi,requ} \quad /2.1/$$

nebo **podle únosnosti:**

$$R_{fi,d,t} \leq E_{fi,d,t} \quad /2.2/$$

nebo **podle teploty:**

$$\Theta_d \leq \Theta_{cr,d} \quad /2.3/$$

kde  $t_{fi,d}$  je návrhová hodnota normové požární odolnosti;

$t_{fi,requ}$  je požadovaná hodnota normové požární odolnosti;

$R_{fi,d,t}$  je návrhová hodnota únosnosti při požáru;

$E_{fi,d,t}$  je návrhová hodnota účinků při požáru;

$\Theta_d$  je návrhová hodnota teploty materiálu;

$\Theta_{cr,d}$  je návrhová hodnota kritické teploty materiálu.

Požární úseky musí být navrženy tak, aby po dobu požárního namáhání zamezily šíření požáru do ostatních požárních úseků. **Požární návrh** platí v daném čase **pouze pro jeden požární úsek v budově**. Při stanovení požárního namáhání prvku se musí vzít v úvahu vztah požárního návrhu k tomuto prvku. Například pro ověření požárně dělící funkce je nutné v daném čase namáhat konstrukci požárem pouze z jedné strany. Situaci po požáru, kdy konstrukce vychladla, není třeba v návrhu uvažovat. Jestliže se provádí návrh na požadovanou dobu požární odolnosti, není třeba posuzovat chování konstrukce nad tuto dobu.

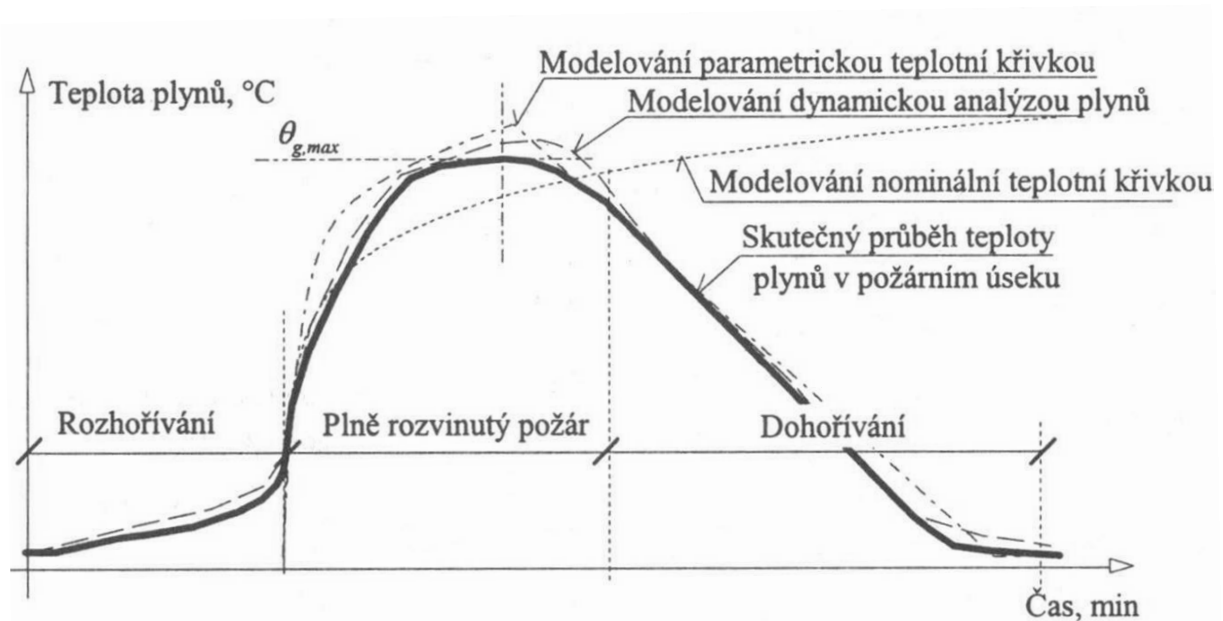
### **3. Zatížení pro teplotní návrh (tepelná zatížení)**

Požár je živel, který lze charakterizovat časovým průběhem teplot, tlaku a složením plynů hořících produktů v prostoru. Prostor tvoří obvykle požární úsek stavebního objektu, který je ohraničen požárně odolnými konstrukcemi, či konstrukcemi z části bez odolnosti (požárně otevřené plochy okenních otvorů v obvodových stěnách, či ve střešních pláštích). Při požáru lze rozlišovat tři časové fáze. Při rozhořívání požár roste a šíří se z místa jeho vzniku. Plně rozvinutý požár, který začíná přibližně při tepelném výkonu 1 MW, se vyznačuje intenzivním hořením v prostoru celého požárního úseku. Požár končí dohoříváním a chladnutím.

Pro experimentální a teoretické posuzování požární odolnosti stavebních konstrukcí byly pro namáhání požárem vypracovány modely, které stanovují časový průběh teplot v hořícím prostoru. Pro posuzování konstrukcí je rozhodující modelování plně rozvinutého požáru probíhajícího v celém prostoru požárního úseku. Modelování první fáze požáru umožňuje zajištění bezpečné evakuace osob, odvětrání prostoru, návrh únikových cest a shromažďovacích prostor při požáru.

Rozlišují se zjednodušené a zdokonalené modely požáru. Zjednodušené modely požáru jsou založeny na fyzikálních parametrech s omezenou platností použití. Pro požár v celém požárním úseku lze uvažovat rovnoměrné rozdělení teploty v daném čase. Při lokálních požárech (např. hořící hromada dřeva v hale, hořící automobil v tunelu) je rozdělení teplot nerovnoměrné. V závislosti na vyjádření tepelného zatížení od požáru se v návrhu rozlišují následující postupy:

- *nominální teplotní křivky*, které se uplatňují po daný čas a na něž jsou konstrukce navrhovány při respektování předepsaných pravidel obsahujících tabulkové údaje nebo při použití výpočetních modelů;
- *parametrické teplotní křivky*, které se vypočítají na základě fyzikálních parametrů a na které se konstrukce navrhují s použitím výpočetních modelů;
- *dynamická analýza plynů* ve spojení s metodou konečných prvků vede k nejužitečnějšímu modelování teploty plynů v požárním úseku během požáru.



Obr. 3.1: Modelování teploty plynů v požárním úseku během požáru

### 3.1 Tepelný tok

U pevných a kapalných látek se teplo přenáší vedením (kondukcí). V plynném prostředí se teplo sdílí prouděním (konvekci) a sáláním (radiací). **Tepelná zatížení** od požáru se udávají **čistým tepelným tokem**, tj. energií na jednotku času a plochy  $\dot{h}_{net}$  [Wm<sup>-2</sup>], kterou je prvek schopen pohltit (absorbovat). Při přenosu tepla na plochu vystavenou účinkům požáru lze čistý tepelný tok  $\dot{h}_{net}$  rozdělit na část přenášenou prouděním  $\dot{h}_{net,r}$  a sáláním  $\dot{h}_{net,c}$ :

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r} \quad /3.1/$$

Složka tepelného toku sdílená **prouděním** se stanoví podle vztahu:

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c (\Theta_g - \Theta_m) \quad /3.2/$$

kde  $\alpha_c$  [ $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ] je součinitel přestupu tepla prouděním;  $\Theta_g$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] teplota plynů v blízkosti prvku vystaveného účinkům požáru a  $\Theta_m$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] je povrchová teplota prvku. Na straně vystavení požáru se součinitel přestupu tepla prouděním  $\alpha_c$  uvažuje pro nominální teplotní křivku a křivku venkovního požáru  $\alpha_c = 25 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ; pro parametrické teplotní křivky a dynamickou analýzu plynů  $\alpha_c = 35 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ ; pro uhlovodíkovou křivku  $\alpha_c = 50 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Na neohřívané straně požárně dělícího prvku může být tepelný tok sáláním zanedbán a pro proudění lze použít  $\alpha_c = 35 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ . Teplota plynů  $\Theta_g$  může být stanovena z nominální teplotní křivky, z parametrické teplotní křivky nebo přesnějším výpočtem. Povrchová teplota  $\Theta_m$  vyplývá z teplotní analýzy prvku podle požárně návrhových částí norem EN 1992 až 1996 a EN 1999.

Složka čistého **sálavého** tepelného toku na jednotku plochy se stanoví ze vztahu:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma ((\Theta_r + 273)^4 - (\Theta_m + 273)^4) \quad /3.3/$$

kde  $\Phi$  [-] je polohový faktor vyjadřující účinky zastínění (neudávají-li požárně návrhové části EN 1992 až 1996 a EN 1999 konkrétní hodnoty, uvažuje se polohový faktor  $\Phi = 1,0$ ); emisivita povrchu prvku  $\varepsilon_m$  se navrhuje konzervativně  $\varepsilon_m = 0,8$  (pro uhlíkovou ocel lze počítat  $\varepsilon_m = 0,7$ ; pro nerezové oceli  $\varepsilon_m = 0,4$ ; pro čistý povrch slitin hliníku  $\varepsilon_m = 0,3$ ); emisivita požáru  $\varepsilon_f$  se uvažuje obecně jako  $\varepsilon_f = 1,0$ ; Stefan-Boltzmanova konstanta  $\sigma$  je rovna  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ; v případě prvků vystavených požáru ze všech stran lze sálavou teplotu okolí prvku  $\Theta_r$  přibližně nahradit teplotou plynů  $\Theta_g$  kolem tohoto prvku.

### 3.2 Nominální teplotní křivky

Nominální teplotní křivky vyjadřují závislost teploty v požárním úseku pouze na době požáru. Základní křivkou je nominální **normová křivka** (označovaná jako ISO 834). Normová křivka je dána vztahem:

$$\Theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8t + 1) \quad /3.4/$$

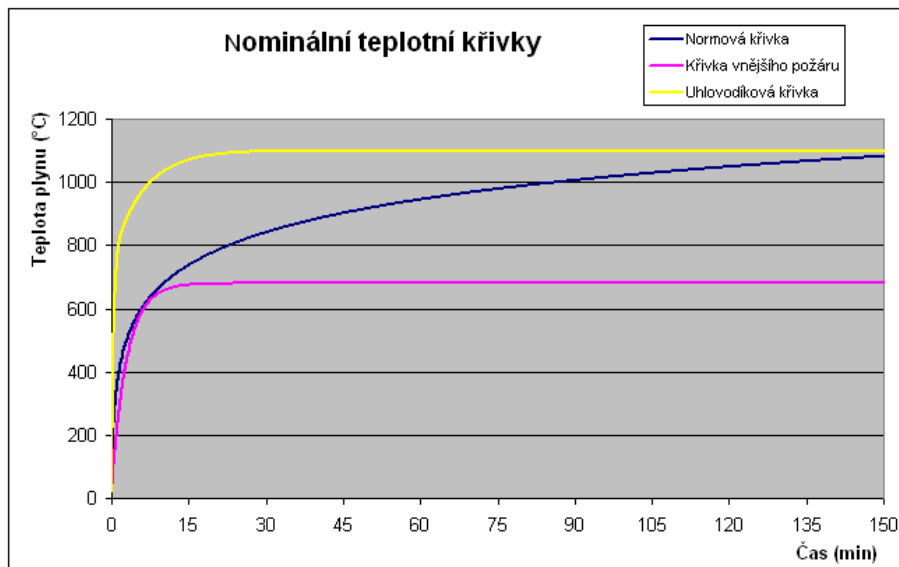
kde  $t$  je čas v minutách a  $\Theta_g$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] teplota plynů v příslušném požárním úseku.

Mezi nominální teplotní křivky se dále řadí **křivka vnějšího požáru**, kterou se namáhají obvodové stěny. Teplotní křivka vnějšího požáru je dána rovnicí:

$$\Theta_g = 20 + 660 \cdot (1 - 0,687 e^{-0,32t} - 0,313 e^{-0,38t}) \quad /3.5/$$

Nominální **uhlovodíková teplotní křivka** umožňuje simulaci prudkých požárů s rychlým nárůstem intenzity. Uhlovodíková křivka se popisuje vztahem:

$$\Theta_g = 20 + 1080 \cdot (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) \quad /3.6/$$



Obr. 3.2: Nominální teplotní křivky

### 3.3 Parametrické teplotní křivky

#### 3.3.1 Obecný popis

Parametrické modely využívají pro popis požáru hlavních fyzikálních závislostí popisujících hoření, tj. požární zatížení, tepelně technické vlastnosti ohraničujících konstrukcí a otvory v požárním úseku.. Parametrické modely předpokládají rovnoměrné rozložení teploty v požárním úseku, což je určuje k popisu rozvoje teploty v požárních úsecích omezené velikosti po celkovém vzplanutí v prostoru.

Parametrické křivky vychází z rovnováhy tepla v požárním úseku, kterou lze vyjádřit ve tvaru:

$$\dot{q}_C = \dot{q}_L + \dot{q}_W + \dot{q}_R + \dot{q}_B \quad /3.7/$$

kde  $\dot{q}_C$  je teplo uvolněné při hoření;  $\dot{q}_L$  ztráta tepla sáláním a odvodem plynů otvory;  $\dot{q}_W$  ztráta tepla v ohraničujících konstrukcích;  $\dot{q}_R$  ztráta tepla sáláním ohraničujících konstrukcí a  $\dot{q}_B$  teplo akumulované v plynu v požárním úseku. Předpokládá se, že palivo plně vyhoří uvnitř požárního úseku, teplota plynů bude rovnoměrná a prostup tepla ohraničujícími konstrukcemi je rovnoměrný v čase i prostoru a konstantní.

Teplo uvolněné při hoření se popisuje hustotou požárního zatížení, tj. energií, která se uvolňuje při hoření, na jednotku plochy. Požární zatížení sestává z částí konstrukce (např. stěny a podlaha) a z vybavení (např. nábytek). Rychlost uvolňování tepla RHR (Rate of Heat Release) se liší u požáru řízeného ventilací a u požáru řízeného palivem. Pokud je dostatečný přívod kyslíku, je požár řízen palivem. Omezený přívod vzduchu otvory v ohraničujících konstrukcích snižuje rychlost uvolňování tepelné energie – ve výpočtech zohledněno koeficientem otvorů  $O$ . Experimenty potvrdily, že se při zvětšování otvorů dosáhne hodnoty při níž je již rychlost hoření na ventilaci nezávislá. Rychlost hoření je pak podmíněna

charakterem a povrchem paliva. Požáry řízené palivem se dělí na pomalé (trvajících přibližně  $t_{lim} = 25$  min), průměrné ( $t_{lim} = 20$  min) a krátké ( $t_{lim} = 15$  min).

Rozvoj teploty v požárním úseku závisí též na ztrátách tepla plynů. Ke ztrátám dochází na hranicích úseku vlivem sdílení tepla prouděním, sáláním a vedením. Ztráty se vyjadřují pomocí koeficientu povrchů  $b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$  [ $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-0,5} \text{K}^{-1}$ ], kde  $\rho$  je hustota v [ $\text{kg m}^{-3}$ ],  $c$  měrné teplo v [ $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ] a  $\lambda$  tepelná vodivost v [ $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$ ].

### 3.3.2 Hustota požárního zatížení

Požární zatížení je charakterizováno návrhovou hustotou požárního zatížení  $q_{f,d}$  [ $\text{MJ m}^{-2}$ ] podle vztahu:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n \quad /3.8/$$

kde

- $q_{f,k}$  [ $\text{MJ m}^{-2}$ ] je hustota charakteristického požárního zatížení vztažená na podlahovou plochu  $A_f$ ;  $m$  součinitel hoření (u převážně celulosových materiálů lze předpokládat  $m = 0,8$ );
- $\delta_{q1}$  je součinitel vyjadřující nebezpečí vzniku požáru v závislosti na velikosti požárního úseku (viz tabulka 3.1);
- $\delta_{q2}$  je součinitel zohledňující nebezpečí vzniku požáru vlivem druhu provozu (viz tabulka 3.2);
- $\delta_n$  je součinitel, kterým se do výpočtu zavádí vliv aktivní požární ochrany. Pro běžnou požární ochranu, jako jsou bezpečné přístupové cesty, technické prostředky požární ochrany, zařízení pro odvod kouře ze schodišť, které mají být vždy k dispozici, se hodnoty  $\delta_{ni}$  v tabulce 3.3 uvažují rovny 1,0. Pokud však běžná požární ochrana není předpokládána, uvažuje se hodnota  $\delta_{ni}$  rovna 1,5. Pokud jsou schodiště v případě požárního poplachu přetlakově větrána, lze součinitel  $\delta_{n8}$  z tabulky uvažovat roven 0,9. Výsledná hodnota součinitele aktivní požární ochrany  $\delta_n$  je určena vztahem:

$$\delta_n = \prod_{i=1}^{10} \delta_{ni} \quad /3.9/$$

Tabulka 3.1: Součinitel  $\delta_{q1}$

Podlahová plocha úseku $A_f$ [ $\text{m}^2$ ]	Nebezpečí vzniku požáru $\delta_{q1}$
25	1,10
250	1,50
2500	1,90
5000	2,00
10000	2,13

Tabulka 3.2: Součinitel  $\delta_{q2}$

Nebezpečí vzniku požáru $\delta_{q2}$	Příklady provozu
0,78	umělecké galerie, muzea, bazény
1,00	kanceláře, byty, hotely, papírenský průmysl
1,22	výroba strojů a motorů
1,44	chemické laboratoře
1,66	výroba zábavné pyrotechniky nebo barev

Tabulka 3.3 Součinitel aktivní požární ochrany  $\delta_{ni}$

Aktivní požárně bezpečnostní opatření			$\delta_{ni}$
Samočinné hasicí zařízení	Samočinné vodní hasicí zařízení		$\delta_{n1}$
	Nezávislé vodní zdroje	žádný	$\delta_{n2}$
		jeden	$\delta_{n2}$
	dva	$\delta_{n2}$	
Samočinné požární hlásiče	Elektrická požární signalizace	tepelné	$\delta_{n3}$
		kouřové	$\delta_{n4}$
	Zařízení dálkového přenosu k požární jednotce		$\delta_{n5}$
Manuální hašení požáru	Závodní požární jednotka		$\delta_{n6}$
	Externí (veřejná) požární jednotka		$\delta_{n7}$
	Bezpečné přístupové cesty		$\delta_{n8}$
	Technické prostředky požární ochrany		$\delta_{n9}$
	Zařízení pro odvod kouře		$\delta_{n10}$

Charakteristické hodnoty požárního zatížení  $q_{f,k}$  [ $\text{MJ m}^{-2}$ ] lze stanovit z výhřevnosti hořlavých materiálů v požárním úseku nebo z hustoty požárního zatížení pro daný provoz. Charakteristické požární zatížení  $Q_{fi,k}$  [MJ] se stanoví z hodnoty čisté výhřevnosti  $H_{ui}$  [MJ/kg] pomocí vztahu:

$$Q_{fi,k} = \sum M_{ki} \cdot H_{ui} \cdot \psi_i \quad /3.10/$$

kde  $M_{k,i}$  je množství hořlavého materiálu v kg a  $\psi_i$  je součinitel pro stanovení chráněného požárního zatížení. Pro materiál v nehořlavých požárně odolných obalech lze uvažovat  $\psi_i = 0$ . Hustota charakteristického požárního zatížení  $q_{f,k}$  [ $\text{MJ m}^{-2}$ ] na jednotku plochy je pak:

$$q_{f,k} = \frac{Q_{fi,k}}{A} \quad /3.11/$$

kde A je podlahová plocha ( $A_f$ ) požárního úseku. Hodnoty čisté výhřevnosti  $H_u$  [ $\text{MJ kg}^{-1}$ ] některých pevných látek, kapalin a plynů jsou uvedeny v tabulce 3.4.

Tabulka 3.4 Hodnoty čisté výhřevnosti  $H_u$  v MJ/kg pro výpočet požárního zatížení

Hodnoty čisté výhřevnosti $H_u$ v MJ/kg pro hořlavé materiály		
Pevné látky	Dřevo	17,5
	Jiné celulózové materiály (oděvy, korek, bavlna, papír, lepenka, hedvábí, sláma, vlna)	20
	Uhlíkaté látky (antracit, dřevěné uhlí, uhlí)	30
Chemické látky	Parafínová řada (methan, ethan, propan, butan)	50
	Olefinová řada (ethylen, propylen, butylen)	45
	Aromatická řada (benzen, toluen)	40
	Alkohol (methanol, ethanol, ethylalkohol)	30
	Paliva (benzin, petrolej, nafta)	45
	Čisté uhlovodíkové plasty (polyethylen, polystyren, polypropylen)	40
Ostatní výrobky	ABS (plast)	35
	Polyester (plast)	30
	Polyizokyanát a polyuretan (plast)	25
	PVC (plast)	20
	Živice, asfalt	40
	Kůže	20
	Linoleum	20
Gumové pneumatiky	30	

Hodnoty požárního zatížení lze určit také podle zatřídění daného provozu v souladu s tabulkou 3.5 (do výpočtu se uvažují hodnoty 80% kvantilu z Gumbelova rozdělení).

Tabulka 3.5 Hustoty požárního zatížení  $q_{f,k}$  [ $MJ m^{-2}$ ] pro různé provozy

Provoz	Průměr	80% kvantil
byty	780	948
nemocnice (pokoje)	230	280
hotely (pokoje)	310	377
knihovny	1500	1824
kanceláře	420	511
školní třídy	285	347
nákupní centrum	600	730
divadla (kina)	300	365
doprava prostory pro veřejnost)	100	122
POZNÁMKA 80% kvantil je stanoven za předpokladu Gumbelova rozdělení		

**PŘÍKLAD:** Stanovte hustotu požárního zatížení knihovny. Požární úsek knihovny je zajištěn elektrickou požární signalizací s kouřovými hlásiči a samočinným přenosem poplachu k požární jednotce. Bezpečná evakuace osob a odvod kouře z únikových cest jsou umožněny. Technické hasící prostředky jsou k dispozici. Podlahová plocha požárního úseku  $A_f$  se předpokládá  $250 m^2$ .

Charakteristická hodnota hustoty požárního zatížení (80% kvantil):

$$q_{f,k} = 1824 MJ / m^2$$

V knihovnách se vyskytují především celulósově hořlavé materiály:

$$m = 0,8$$

Součinitele nebezpečí vzniku požáru:

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

$$\delta_{q,2} = 1,0$$

Protože je požární úsek knihovny zajištěn elektrickou požární signalizací s kouřovými hlásiči a samočinným přenosem poplachu k požární jednotce, lze uvažovat součinitel aktivní požární ochrany:

$$\delta_n = \delta_{n,4} \cdot \delta_{n,4} = 0,73 \cdot 0,87 = 0,635$$

Výsledná návrhová hustota charakteristického požárního zatížení se vypočte podle vztahu:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q,1} \cdot \delta_{q,2} \cdot \delta_n = 1824 \cdot 0,8 \cdot 1,5 \cdot 1,0 \cdot 0,635 = 1390 MJ / m^2$$

### 3.3.3 Parametrická křivka dle EN 1991-1-2: 2004 ( fáze plně rozvinutého požáru)

Parametrická křivka platí pro požární úseky do podlahové plochy  $500 m^2$ , bez otvorů ve střeše a s maximální výškou požárního úseku 4 m je určena následujícím vztahem (ve fázi plně rozvinutého požáru):

$$\Theta_g = 20 + 1325 \cdot (1 - 0,324 \cdot e^{-0,2t^*} - 0,204 \cdot e^{-1,7t^*} - 0,472 \cdot e^{-19t^*}) \quad /3.12/$$

kde  $\Theta_g$  [ $^{\circ}C$ ] je teplota plynů v požárním úseku. Náhradní čas  $t^*$  [hod] zohledňující vliv otvorů a kvality povrchů se stanoví podle vztahu:

$$t^* = t \cdot \Gamma \quad /3.13/$$

kde vliv otvorů a kvality povrchů se uvažuje součinitelem

$$\Gamma = \frac{(O/O_{ref})^2}{(b/b_{ref})^2} \quad /3.14/$$

Koeficient otvorů se počítá jako (koeficient otvorů lze uvažovat v rozmezí  $0,02 \leq O \leq 0,20$ ):

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} \quad [m^{1/2}] \quad /3.15/$$

kde

- $A_v$  [ $m^2$ ] je celková plocha svislých otvorů ve všech stěnách ohraničujících požární úsek;
- $h_{eq}$  [m] vážený průměr výšek oken ve všech stěnách ohraničujících požární úsek;
- $A_t$  [ $m^2$ ] celková plocha konstrukcí ohraničujících požární úsek (stěny, strop a podlaha, včetně otvorů);
- referenční koeficient otvorů se uvažuje  $O_{ref} = 0,04$  [ $m^{1/2}$ ].

Koeficient povrchů je určen vztahem (koeficient povrchů lze uvažovat v rozmezí  $100 \leq b \leq 2200$ ):

$$b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)} \quad [J \ m^{-2} \ s^{-0,5} \ K^{-1}] \quad /3.16/$$

kde

- $\rho$  [ $kg \ m^{-3}$ ] je objemová hmotnost (hustota) konstrukcí ohraničujících požární úsek;
- $c$  [ $J \ kg^{-1} \ K^{-1}$ ] specifické (měrné) teplo konstrukcí ohraničujících požární úsek;
- $\lambda$  [ $W \ m^{-1} \ K^{-1}$ ] tepelná vodivost konstrukcí ohraničujících požární úsek.

Referenční koeficient povrchů byl stanoven pro požární úsek z lehkého betonu jako  $b_{ref} = 1160$  [ $m^{1/2}$ ]. Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů tak lze upravit na vztah:

$$\Gamma = \frac{(O/O_{ref})^2}{(b/b_{ref})^2} = \frac{(O/b)^2}{(0,04/1160)^2} \quad /3.17/$$

Pro případ  $\Gamma = 1,0$  se parametrická křivka podle vztahu /3.17/ blíží nominální normové teplotní křivce.

### 3.3.4 Ohraničující konstrukce

Ve výpočtech se odlišné vlastnosti stropu, stěn a podlahy zohledňují váženými průměry. Při výpočtu tepelné pohltivosti ohraničujících konstrukcí  $b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$  lze objemovou hmotnost  $\rho$ , měrné teplo  $c$  a tepelnou vodivost  $\lambda$  konstrukcí ohraničujících požární úsek uvažovat při teplotě okolí. Při různých součinitelích  $b$  pro stěny, strop a podlahu se  $b = \sqrt{(\rho \cdot c \cdot \lambda)}$  má zavést jako:

$$b = \frac{\sum (b_j \cdot A_j)}{A_t - A_v} \quad /3.18/$$

kde  $A_j$  [ $m^2$ ] je plocha povrchu  $j$ -té ohraničující konstrukce a  $b_j$  [ $J \ m^{-2} \ s^{-0,5} \ K^{-1}$ ] tepelná charakteristika povrchu  $j$ -té ohraničující konstrukce.

Pro povrch ohraničujících konstrukcí s různými vrstvami materiálů lze  $b$  uvažovat pro  $b_1 < b_2$  jako  $b = b_1$ . Pro  $b_1 > b_2$  se vypočítá mezní tloušťka  $s_{lim}$  materiálu vystaveného požáru podle vztahu:

$$s_{lim} = \sqrt{\frac{3600 \cdot t_{max} \cdot \lambda_1}{c_1 \cdot \rho_1}} \quad /3.19/$$

kde  $\rho_1$ ,  $c_1$  a  $\lambda_1$  jsou charakteristiky 1. vrstvy vystavené požáru a  $t_{max}$  je doba pro dosažení maximální teploty plynů (viz část 3.3.5). Pro tloušťku první vrstvy  $s_1 > s_{lim}$  se uvažuje  $b = b_1$  a pro  $s_1 < s_{lim}$  se uvažuje:

$$b = \frac{s_1}{s_{lim}} b_1 + \left(1 - \frac{s_1}{s_{lim}}\right) b_2 \quad /3.20/$$

### 3.3.5 Nejvyšší teplota

Pro vytvoření parametrické křivky je zapotřebí určit čas, při němž je dosaženo nejvyšší teploty požáru  $\Theta_{max}$  [°C]. Předpokládá se, že požár je buď řízen ventilací nebo palivem. V případě, že je **požár řízen ventilací**, počítá se čas k dosažení nejvyšší teploty jako:

$$t_{max} = \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}}{O} \quad /3.21/$$

kde

- $q_{t,d}$  je návrhová hodnota hustoty požárního zatížení, vztažená k celé ploše povrchu  $A_t$  ohraničujících konstrukcí úseku, přičemž  $q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t$  [MJ m<sup>-2</sup>]. Je nutno dodržet následující meze:  $50 \leq q_{t,d} < 1000$  [MJ m<sup>-2</sup>];
- $q_{f,d}$  je návrhová hustota požárního zatížení vztažená k ploše podlahy  $A_f$
- $O$  je součinitel otvorů

V případě, že je **požár řízen palivem**, dosáhne se nejvyšší teploty v čase  $t_{lim}$ . Při malé rychlosti rozvoje požáru (doprava – prostory pro veřejnost) se předpokládá čas k dosažení nejvyšší teploty při požáru řízeném palivem  $t_{lim} = 25$  min, při střední rychlosti (byty, pokoje nemocnic a hotelů, kanceláře, školní třídy)  $t_{lim} = 20$  min a při velké rychlosti (knihovny, nákupní centra, divadla, kina)  $t_{lim} = 15$  min. Modelování řízení požáru palivem nebo ventilací je umožněno zápisem času k dosažení nejvyšší teploty ve tvaru:

$$t_{max} = \max \left[ t_{lim}; \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}}{O} \right] \quad /3.22/$$

Ve výpočtu parametrické křivky se uvažuje náhradní čas plného rozvinutého požáru  $t_{max}^*$ , který se stanoví jako:

$$t_{max}^* = t_{max} \cdot \Gamma \quad /3.23/$$

V případě, že je požár řízen palivem  $t_{max} = t_{lim}$ , počítá se náhradní čas za vztahu:

$$t^* = t \cdot \Gamma_{lim} \quad /3.24/$$

kde se součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů pro požár řízený palivem  $\Gamma_{lim}$  uvažuje, obdobně ke vztahu /3.17/, jako:

$$\Gamma_{lim} = \frac{(O_{lim} / b)^2}{(0,04 / 1160)^2} \quad /3.25/$$

kde nejvyšší účinný koeficient otvorů se vypočítá podle vztahu:

$$O_{lim} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d} / t_{lim} \quad /3.26/$$

V případech malých požárních zatížení vzhledem k ventilaci požárního úseku při palivem řízeném požáru se součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů modifikuje, aby lépe vystihoval okrajové podmínky při hoření. Jestliže:

$$O > 0,04 \quad \text{a} \quad q_{t,d} < 75 \quad \text{a} \quad b < 1160 \quad /3.27/$$

násobí se součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů  $\Gamma_{lim}$  součinitelem:

$$k = 1 + \left( \frac{O - 0,04}{0,04} \right) \cdot \left( \frac{q_{t,d} - 75}{75} \right) \cdot \left( \frac{1160 - b}{1160} \right) \quad /3.28/$$

### 3.3.6 Chladnutí

V první části chladnutí požárního úseku ještě dohořívá zbylé palivo. Po jeho vyhoření závisí pokles teploty jen na akumulované tepelné energii, na ventilaci a teplotní charakteristice požárního úseku. V normě EN 1991-1-2: 2004 je zaveden zjednodušený lineární popis poklesu teploty. Teplotní křivky ve fázi chladnutí jsou dány vztahy:

$$\Theta_q = \Theta_{max} - 625 \cdot (t^* - t_{max}^* x) \quad \text{pro} \quad t_{max}^* \leq 0,5 \quad /3.29 a/$$

$$\Theta_q = \Theta_{max} - 250 \cdot (3 - t_{max}^*) (t^* - t_{max}^* x) \quad \text{pro} \quad 0,5 < t_{max}^* \leq 2 \quad /3.29 b/$$

$$\Theta_q = \Theta_{max} - 250 \cdot (t^* - t_{max}^* x) \quad \text{pro} \quad t_{max}^* \geq 2 \quad /3.29 c/$$

kde

- $t^*$  je určen podle vztahu /3.13/;
- $t_{max}^* = \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}}{O} \cdot \Gamma$
- jestliže  $t_{max} > t_{lim}$  pak  $x = 1,0$ ;
- jestliže  $t_{max} = t_{lim}$  pak  $x = \frac{t_{lim} \cdot \Gamma}{t_{max}^*}$

---

**PŘÍKLAD:** Určete parametrickou teplotní křivku v bytové místnosti o rozměrech 5 x 8 m a výšce 4 m s oknem 2 x 4 m. Aktivní požární ochrana není zajištěna. Bezpečná evakuace osob včetně odvodu kouře z únikových cest jsou umožněny. Technické hasící prostředky jsou k dispozici. Podlaha a strop jsou navrženy z lehkého betonu, stěny jsou zděné s vápennou omítkou.

Požární zatížení:

Charakteristická hodnota hustoty požárního zatížení (80% kvantil):

$$q_{f,k} = 948 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

V bytech se vyskytují především celulókové hořlavé materiály:

$$m = 0,8$$

Součinitele nebezpečí vzniku požáru:

$$\delta_{q,1} = 1,1 + (1,5 - 1,1) \cdot \frac{40 - 25}{250 - 25} = 1,13$$

$$\delta_{q,2} = 1,0$$

Požární úsek je zajištěn běžnými prostředky požární ochrany (bezpečná evakuace osob včetně odvodu kouře z únikových cest, technické hasící prostředky):

$$\delta_n = 1,00$$

Výsledná návrhová hustota charakteristického požárního zatížení se vypočte podle vztahu:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \cdot m \cdot \delta_{q1} \cdot \delta_{q2} \cdot \delta_n = 948 \cdot 0,8 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 857 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

Charakteristiky požárního úseku:

Plocha podlahy:

$$A_f = 8 \cdot 5 = 40 \text{ m}^2$$

Plocha ohraničujících konstrukcí úseku:

$$A_t = 2 \cdot 40 + 2 \cdot 8 \cdot 4 + 2 \cdot 5 \cdot 4 = 184 \text{ m}^2$$

Celková plocha svislých otvorů ve všech ohraničujících konstrukcích:

$$A_v = 2 \cdot 4 \text{ m}^2$$

Koeficient otvorů (lze uvažovat v rozsahu  $0,02 \leq O \leq 0,20$ ; průměrná výška oken 2,0 m):

$$O = \frac{A_v \cdot \sqrt{h_{eq}}}{A_t} = \frac{8,0 \cdot \sqrt{2,0}}{184} = 0,0615 \text{ m}^{1/2}$$

Koeficienty povrchů jsou určeny v následující tabulce:

	Hustota $\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	Specifické teplo $c$ [J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Tepelná vodivost $\lambda$ [W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> ]	Koeficient povrchu $b_i$ [J m <sup>-2</sup> s <sup>-0,5</sup> K <sup>-1</sup> ]	Plocha povrchu $A_j$ [m <sup>2</sup> ]
Stěna tl. 450 mm; - cihelné zdivo - omítka obdobný $b$	1600	840	0,70	970	$2 \cdot 8 \cdot 4 + 2 \cdot 5 \cdot 4 - 8,0 = 96$
Strop a podlaha - lehký beton	1600	840	0,80	1037	$2 \cdot 40 = 80$

Výsledná tepelná charakteristika povrchů požárního úseku (uvažovat v rozsahu  $100 \leq b \leq 2200$ ):

$$b = \frac{\sum (b_j \cdot A_j)}{A_t - A_v} = \frac{1037 \cdot 80 + 970 \cdot 96}{184 - 8} = 1000,5 \text{ Jm}^{-2} \text{ s}^{-1/2} \text{ K}^{-1}$$

Součinitel vlivu otvorů a kvality povrchů:

$$\Gamma = \frac{(O/b)^2}{(0,04/1160)^2} = \frac{(0,0615/1000,5)^2}{(0,04/1160)^2} = 3,178$$

Náhradní čas bude určen vztahem (dosazeno do tabulkového procesoru):

$$t^* = t \cdot \Gamma = t \cdot 3,178$$

Nejvyšší teplota:

Hustota požárního zatížení vztažená k celé ploše povrchu:

$$q_{t,d} = q_{f,d} \cdot A_f / A_t = 857 \cdot 40 / 184 = 186,3 \text{ MJ} / \text{m}^2$$

Pro byt střední velikosti:

$$t_{\text{lim}} = 20 \text{ min} = 0,25 \text{ hod}$$

Nejvyšší teplota  $\Theta_{\text{max}}$  nastane v čase:

$$t_{\text{max}} = \max \left[ t_{\text{lim}}; \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot q_{t,d}}{0} \right] = \max \left[ 0,25; \frac{0,2 \cdot 10^{-3} \cdot 186,3}{0,0615} = 0,606 \right] = 0,606 \text{ hod}$$

Náhradní čas nejvyšší teploty:

$$t_{\text{max}}^* = t_{\text{max}} \cdot \Gamma = 0,606 \cdot 3,178 = 1,926 \text{ hod}$$

Nejvyšší teplota:

$$\Theta_{\text{max}} = 20 + 1325 \cdot \left( 1 - 0,324 \cdot e^{-0,2 \cdot 1,926} - 0,204 \cdot e^{-1,7 \cdot 1,926} - 0,472 \cdot e^{-19 \cdot 1,926} \right) = 1043 \text{ }^\circ\text{C}$$

Chladnutí:

Protože  $t_{\text{max}} = 0,606 \text{ hod} > t_{\text{lim}} = 0,25 \text{ hod}$ :

$$x = 1,0$$

Pro  $0,5 < t_{\text{max}}^* = 1,926 \text{ hod} \leq 2$  se uvažuje chladnutí podle vztahu (dosazeno do tabulkového procesoru):

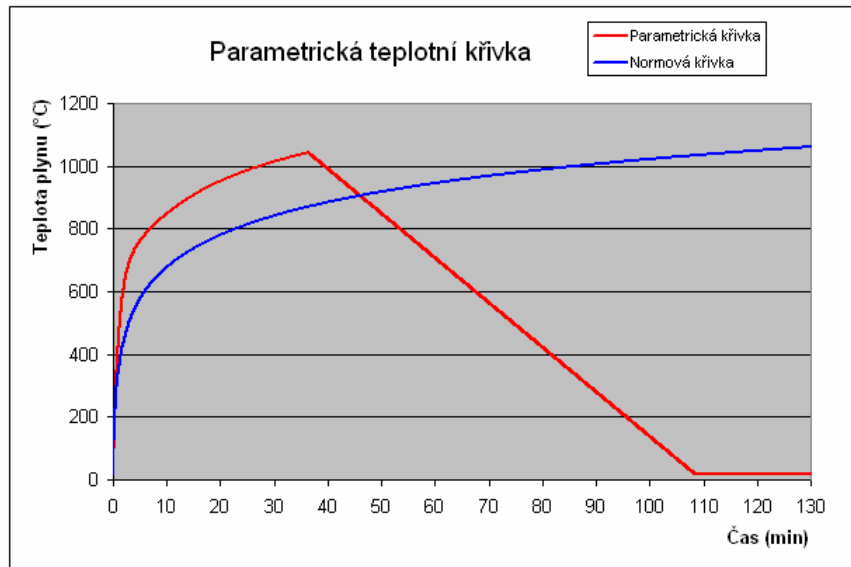
$$\begin{aligned} \Theta_q &= \Theta_{\text{max}} - 250 \cdot (3 - t_{\text{max}}^*) (t^* - t_{\text{max}}^* x) = 1043 - 250 \cdot (3 - 1,926) (t^* - 1,926 \cdot 1,0) = \\ &= 1043 - 268,5 \cdot (t^* - 1,926) \end{aligned}$$

Teplota plynu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bude v požárním úseku v čase:

$$t = \frac{\frac{\Theta_{\text{max}} - \Theta_g}{268,5} + t_{\text{max}}^* \cdot x}{\Gamma} = \frac{\frac{1043 - 20}{268,5} + 1,926 \cdot 1,0}{3,178} = 1,805 \text{ hod} = 108,3 \text{ min}$$

Vykreslení křivky:

Pro možnost srovnání je vykreslena také nominální normová teplotní křivka.



#### 4. Mechanická zatížení při požáru

Mechanické zatížení při požáru se stanoví podle obecného pravidla pro mimořádné návrhové situace, které je v normě EN 1990: 2004 popsáno symbolickým vztahem:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P \oplus A_d \oplus (\psi_{1,1} \text{ nebo } \psi_{2,1}) Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

kde symbol  $G_{k,j}$  označuje stálá zatížení,  $P$  předpětí,  $A_d$  mimořádné zatížení,  $Q_{k,1}$  hlavní proměnné zatížení a  $Q_{k,j}$  vedlejší proměnná zatížení. Součinitele  $\psi_{1,i}$  a  $\psi_{2,i}$  pro častou a kvazistálou hodnotu proměnných zatížení jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 Doporučené hodnoty součinitelů  $\psi$  pro pozemní stavby

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>Užitná zatížení (EN 1991-1-1)</b>			
Kategorie A: obytné plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie B: kancelářské plochy	0,7	0,5	0,3
Kategorie C: shromažďovací prostory	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 $\leq 30$ kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G: dopravní plochy, $30$ kN < tíha vozidla $\leq 160$ kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H: střechy	0	0	0
<b>Zatížení sněhem (EN 1991-1-3)</b>			
H > 1000 m n.m.	0,7	0,5	0,2
H < 1000 m n.m.	0,5	0,2	0
<b>Zatížení větrem (EN 1991-1-4)</b>	0,6	0,2	0
<b>Zatížení teplotou (EN 1991-1-5) (ne od požáru)</b>	0,6	0,5	0

Pro mimořádnou návrhovou situaci při požáru se v normě ČSN EN 1991-1-2 doporučuje uvažovat kvazistálá hodnota  $\psi_{2,1} Q_{k,1}$  pro hlavní proměnné zatížení. V národní příloze normy ČSN EN 1991-1-2 se doporučení dále zpřesňuje a doporučuje se u některých objektů, zejména u halových konstrukcí u nichž je zatížení sněhem nebo větrem hlavním proměnným zatížením, uvažovat častou hodnotu  $\psi_{1,1} Q_{k,1}$  místo hodnoty kvazistálé  $\psi_{2,1} Q_{k,1}$ .

Při požáru je nutno uvažovat stejná zatížení jako v návrhu při normální teplotě. Snížení užitečného zatížení v důsledku hoření lze zanedbat. Některá zatížení vznikající při výrobním procesu, např. brzdící síly jeřábu, se nemusí uvažovat. Uvažují se však některá doplňková zatížení, např. náraz způsobený zřícením konstrukčního prvku nebo těžkého stroje.

Nepřímá zatížení v důsledku roztažení a přetvoření, způsobená teplotními změnami od požárního namáhání, vyvolávají síly a momenty, které se musí vzít v úvahu kromě případů, kdy:

- mohou být předem hodnocena jako zanedbatelná nebo příznivá;
- jsou uvažována v konzervativně zvolených modelech podepření a okrajových podmínek a/nebo jsou vyrovnána konzervativními požadavky požární bezpečnosti.

Při hodnocení nepřímých zatížení se má uvažovat následující:

- vynucené tepelné roztažení vlastních prvků, např. sloupů ve vícepodlažních rámových konstrukcích s tuhými stěnami;
- rozdílné tepelné roztažení staticky neurčitých prvků, např. spojitých stropních desek;
- teplotní gradienty v průřezech, které vyvolávají vnitřní napětí;
- tepelné roztažení sousedních prvků, např. vybočení hlavy sloupu vlivem roztažení stropní desky nebo protažení závěsných lan;
- tepelné roztažení prvků, ovlivňující další prvky mimo požární úsek.

Účinky zatížení  $E_{fi,d,t}$  při požáru jsou v důsledku nepřímých zatížení od požáru závislé na čase  $t$  od vzniku požáru. Jejich obecné stanovení může být náročné, proto se v dokumentu EN 1991-1-2 uvádějí praktická zjednodušení. Jestliže není zapotřebí uvažovat nepřímá požární zatížení, lze účinky zatížení  $E_{fi,d,t}$  stanovit na základě analýzy konstrukce pouze při vzniku požáru (v čase  $t = 0$ ) při pokojové teplotě ( $\theta_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Takto stanovené účinky  $E_{fi,d}$  se uvažují během celého trvání požáru:

$$E_{fi,d,t} \cong E_{fi,d} \quad /4.1/$$

Výpočet lze zjednodušit tím, že se konstantní účinky zatížení při požáru  $E_{fi,d}$  (nezávislé na čase  $t$ ) stanoví redukcí odpovídajících účinků  $E_d$  vypočtených pro pokojovou teplotu:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d \quad /4.2/$$

kde  $E_d$  je návrhová hodnota účinků zatížení stanovená při běžné teplotě a pro základní kombinaci zatížení podle normy EN 1990;  $\eta_{fi}$  je redukční součinitel závislý na poměru mezi hlavními proměnnými a stálými zatíženími, jimž je konstrukce vystavena.

**PŘÍKLAD:** Spočítejte hodnotu ohybového momentu  $M_{fi,Ed}$  působícího za požáru na prostý nosník délky 4m, který je zatížen rovnoměrným spojitým stálým zatížením  $g_k = 15 \text{ kN/m}$  a proměnným zatížením užitečným  $q_k = 22 \text{ kN/m}$  (kategorie A).

Návrhová hodnota zatížení (za pokojové teploty):

$$f_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k = 1,35 \cdot 15 + 1,5 \cdot 22 = 53,25 \text{ kN/m}$$

Působící ohybový moment (za pokojové teploty):

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot f_d \cdot L^2 = \frac{1}{8} \cdot 53,25 \cdot 4^2 = 106,5 \text{ kNm}$$

Redukční součinitel:

$$\eta_{fi} = \frac{g_k + \psi_{1,1} \cdot q_k}{\gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot q_k} = \frac{15 + 0,5 \cdot 22}{1,35 \cdot 15 + 1,5 \cdot 22} = 0,488$$

Ohybový moment působící za požáru:

$$M_{fi,Ed} = \eta_{fi} \cdot M_{Ed} = 0,488 \cdot 106,5 = 51,97 \text{ kNm}$$

---

## **Literatura**

Předkládaný výklad o problematice zatížení stavebních konstrukcí požárem byl zpracován podle níže uvedené odborné literatury, především pak podle monografie [Wald a kol., 2005].

**WALD, F. a kol.** *Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí*. Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.

**STUDNIČKA, J. a HOLICKÝ, M.** *Ocelové konstrukce 20. Zatížení staveb podle Eurokódu*. Praha : ČVUT, 2005. ISBN 80-01-02751-1.