

# NAVRHOVANIE KONŠTRUKCIÍ NA ÚČINKY POŽIARU

## ČASŤ 1 – ÚVOD A EN 1993-1-2

Navrhovaním konštrukcií na účinky požiaru sa zaoberajú časti 1-2 konštrukčných eurokódov: EN 1992-1-2 Betónové konštrukcie; EN 1993-1-2 Oceľové konštrukcie; EN 1994-1-2 Spriahnuté oceľobetónové konštrukcie; EN 1994-1-2 Drevené konštrukcie; EN 1996-1-2 Murované konštrukcie a EN 1999-1-2 Hliníkové konštrukcie. Zaťaženia konštrukcií vystavených požiaru sa určia podľa EN 1991-1-2.

Hlavným pôsobením požiaru je tepelné zaťaženie, aj keď mechanické zaťaženie počas pôsobenia požiaru nevymizne a pôsobí naďalej. Výsledkom tepelného zaťaženia na konštrukciu je ohriatie jednotlivých konštrukčných prvkov na vysoké teploty, zmena fyzikálnych vlastností a deformácie spôsobené rovnomerným aj nerovnomerným ohriatím.

### Vlastnosti materiálov za požiaru

Jedným z hlavných účinkov vysokých teplôt za požiaru je zmena tepelných a mechanických vlastností stavebných materiálov. Zvlášť nepriaznivý vplyv vysokých teplôt je pri oceľových a hliníkových konštrukciách, vzhľadom na vysokú tepelnú vodivosť týchto materiálov a subtilnosť prierezov. Teploty v prierezoch rýchlo narastajú a veľmi skoro dochádza ku degradácii mechanických vlastností; na dosiahnutie väčšiny požadovaných požiarnej odolnosti ich treba chrániť požiarne ochrannými materiálmi. Betón má oproti tomu oveľa priaznivejšie tepelno-technické vlastnosti, čo v spojení s masívnejšími prierezmi zabezpečuje pomalšie ohrievanie (obr. 1, obr. 2). Preto je veľmi výhodné použitie spriahnutých oceľobetónových konštrukcií, kde sa uplatnia prednosti oboch materiálov; betón chráni oceľové prierezy (spomaľuje ich ohrievanie) a súčasne prispieva do únosnosti.

### Tepelné vlastnosti

Termodynamické vlastnosti materiálov vo veľkej miere určujú ohrievanie prvku a jeho správanie sa za požiaru. Medzi najvýznamnejšie patria hustota alebo merná hmotnosť, pomerne tepelné predĺženie, merná tepelná kapacita a koeficient tepelnej vodivosti. Merná tepelná kapacita  $c$  [J/kg.K] vyjadruje, koľko tepla

je potrebné na zohriatie jedného kilogramu látky o jeden stupeň Kelvina. Koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda$  [W/m.K] vyjadruje schopnosť látky viesť teplo. V tab. 1 je uvedený porovnanie mernej tepelnej kapacity a koeficientu tepelnej vodivosti pre betón, oceľ a hliník.

Tab. 1 TEPELNÉ VLASTNOSTI MATERIÁLOV

	Merná tepelná kapacita $c$ [J/kgK]	Koeficient tepelnej vodivosti $\lambda$
betón	900 - 1 000	2 - 0,6
oceľ	425 - 650	54 - 28
hliník	1 080 - 1 180	180 - 230

### Mechanické vlastnosti

Hlavným nebezpečenstvom pre konštrukciu za požiaru je zmena mechanických vlastností konštrukčných materiálov. Mechanické vlastnosti materiálov sa s nárastom teploty redukujú. Redukované hodnoty medze klzu, medze pevnosti v tlaku, medze úmernosti a modulu pružnosti pre ľubovoľnú teplotu sa získajú prenásobením hodnôt za normálnej teploty príslušným redukčným súčiniteľom udaným v norme (obr. 3).

### Výpočet teplôt v konštrukčných prvkoch

Rýchlosť nárastu teploty v prvku závisí od tepelných vlastností jednotlivých materiálov ako: koeficient tepelnej vodivosti materiálu  $\lambda$ , koeficient teplotnej vodivosti  $a$ , objemová hmotnosť  $\rho$  a merná tepelná kapacita  $c$ .

V prierezoch následkom nerovnomerného ohrievania vznikajú teplotné gradienty pozdĺž a naprieč prvku. Teplotný gradient po priečnom reze má za následok nerovnomerné pomerné deformácie prvku, vznik tlakových a ťahových napätí a deformácií s tendenciou vydutia smerom k tepelnému

zdroju. Následkom tohto je vznik trhlin v krehkom materiáli, napr. v betóne. Zabránenie deformáciám spôsobuje vznik prídavných napätí, ktoré môžu v určitých prípadoch dosiahnuť vysoké hodnoty a spôsobiť vybočenie tlačných prvkov. Pri oceľových prvkoch sa teplotný gradient naprieč a pozdĺž prvku zanedbáva a predpokladá sa v celom priereze rovnaká teplota.

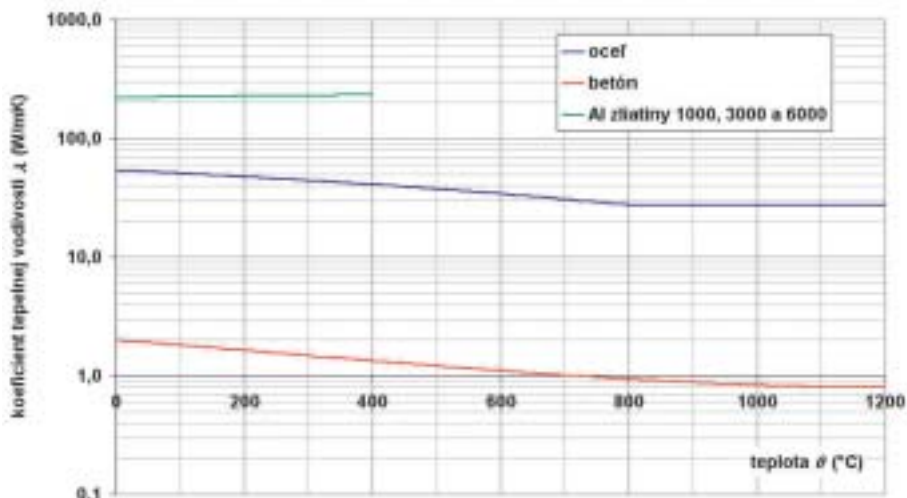
### Rovnica prenosu tepla

Teplo prechádza z oblastí s vyššou teplotou do oblastí s nižšou. Spôsoby prenosu tepla sú vedenie, prúdenie a sálanie. Vedenie (kondukcia) je postupné odovzdávanie kinetickej energie molekulám telesa pri ich dotyku. Šíri

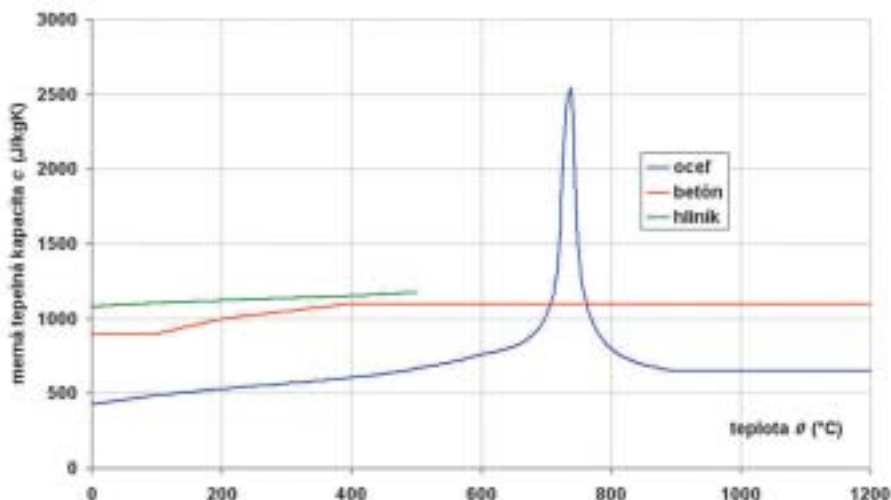
sa ním teplo v tuhých látkach, kvapalinách aj plynoch. V póroch tuhej látky sa teplo šíri iným spôsobom. Prúdenie (konvekcia) je miešanie molekúl hmoty s rôznou teplotou, týmto spôsobom sa šíri teplo v kvapalinách alebo plynoch. Sálanie (radiácia) je elektromagnetické vlnenie určitej dĺžky, preto sa ním môže teplo šíriť aj vo vákuu. V procese vyrovnávania teplôt vzniká v telese v dôsledku tepelnej vodivosti tepelný tok.

Prestup tepla z prostredia do prvku nezávisí len od teploty plynov, ale aj od súčiniteľov prestupu tepla medzi horiacim priestorom a povrchom konštrukcie a od tepelnotechnických vlastností materiálov, ktoré sa menia s teplotou. Hlavnými zložkami prestupu tepla sú konvekcia (prúdenie) a radiácia (sálanie). Radiácia je rozhodujúca a teplotne závislá.

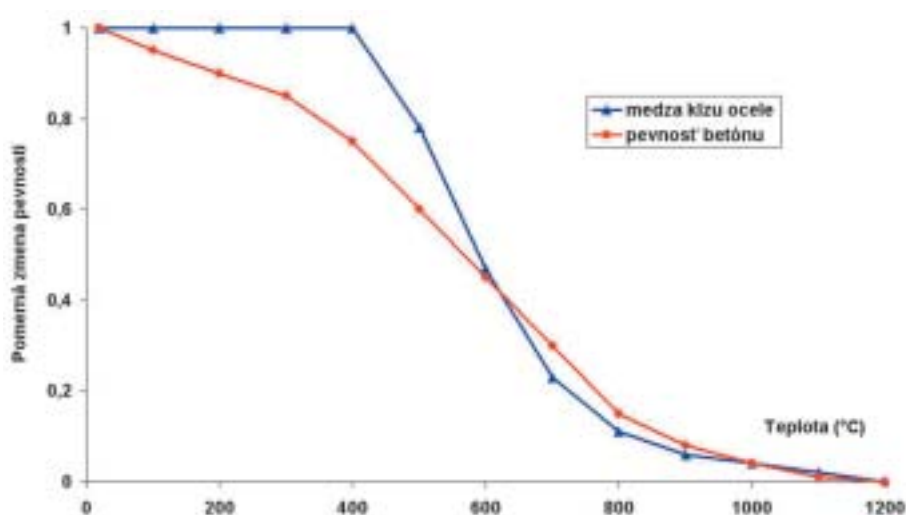
Zmena tepla v telese prispieva k zmene vnútornej energie a to spôsobuje zmenu teploty prvku. Rovnováhu energie v telese popisuje Fourierov zákon vedenia tepla. Môže sa vyjadriť trojrozmernou parciálnou diferenciálnou rovnicou prestupu tepla (pre nestacionárne vedenie tepla).



Obr. 1 Porovnanie koeficientu tepelnej vodivosti ocele, hliníka a betónu



Obr. 2 Porovnanie mernej tepelnej kapacity ocele, hliníka a betónu



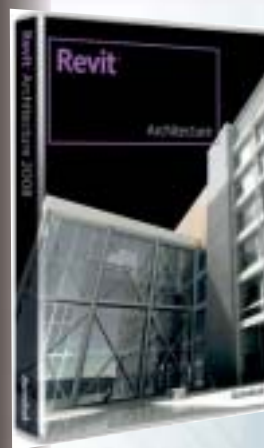
Obr. 3 Zmena pevnosti ocele a betónu v závislosti od teploty

Predstavíme Vám  
nový design?

Revolúcia v navrhovaní  
rozširuje svoj frontálny útok.

Radi Vám prezradíme informácie  
o produktoch pre Vaše odvetvie.

### Revit Architecture 2008



pre architektov, interiérových  
návrhárov, a ostatných  
dizajnérov

### Revit Structure 2008



Konečne aj pre statiku  
unikátny softvér Revit,  
ktorý mení projektovanie.  
- zmeny od statika  
online k architektovi  
- posúdenie konštrukcií  
priamo v modeli  
- priame zmeny tvaru  
nových konštrukcií

### Revit MEP 2008



Uľahčenie a progres  
aj pre ďalšie stavebné  
profesie  
- vzduchotechnika  
- elektroinštalácia  
- zdravotníctvo  
- vykurovanie



**Strediská**  
Bratislava: 02/ 5710 0816  
B.Bystrica: 048/ 414 3989  
Košice: 055/ 622 0653  
Trenčín: 032/ 652 9130

**Autodesk**  
Authorized Value Added Reseller

Riešenie rovnice vyžaduje známe okrajové podmienky, ktoré sa musia definovať priebehom teplotného namáhania počas požiaru a prestupom tepla. Na vyriešenie rovnice prestupu tepla sú nutné numerické metódy. V mnohých prípadoch sa zavádzajú určité hypotézy (úloha sa môže riešiť ako jednorozmerný problém), aby sa rovnica zjednodušila.

Riešenie týchto diferenciálnych rovníc je zložité, preto sa používajú numerické metódy:

- diferenčná metóda,
- metóda konečných prvkov.

### EN 1993-1-2: 2005 Navrhovanie ocelových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru.

Oceľové konštrukcie navrhované podľa EN 1993-1-2 musia spĺňať kritérium únosnosti - t. j. musia si zachovať svoju nosnú funkciu počas požiaru. Použitý výpočtový model má odrážať očakávané správanie sa konštrukcie počas požiaru. Pre analýzu konštrukcie je možné použiť jednu z troch metód:

- Globálnu analýzu konštrukcie,
- Analýzu častí konštrukcie,
- Analýzu prvku.

**Globálnu analýzu konštrukcie** môžeme použiť vždy. Zohľadňuje zodpovedajúci spôsob porušenia pri požari, závislosť materiálových vlastností a tuhosti prvku od teploty, účinky tepelnej rozťažnosti a deformácií.

**Analýza častí konštrukcie** sa môže použiť, ak je daná časť vystavená požiaru a posudzuje sa podľa zásad globálnej analýzy. Spolupôsobenie s ostatnými časťami konštrukcie sa zohľadní okrajovými podmienkami a podmienkami podopretia nemennými počas požiaru. Účinky zafaznení v podperách a na okrajoch podsystému sa taktiež uvažujú za požiaru nemenné.

**Analýza prvku** je postačujúca na overenie normových požiadaviek požiarnej bezpečnosti jednotlivých konštrukčných prvkov.

Ako alternatívu k predošlým trom metódam možno použiť **výpočet založený na výsledkoch experimentov**.

Redukované hodnoty medze klzu, medze úmernosti a modulu pružnosti pre ľubovoľnú teplotu sa získajú prenášobami hodnôt za normálnej teploty príslušným redukčným súčiniteľom udaným v norme. Tepelné vlastnosti, ako merná tepelná kapacita a koeficient tepelnej vodivosti, sú tiež závislé od teploty, vzťahy pre ich výpočet v závis-

losti od teploty prvku sú uvedené v norme. V predchádzajúcich verziách eurokódu bolo možné pre zjednodušený výpočet uvažovať s konštantnými hodnotami tepelných charakteristík, v najnovšej verzii už táto možnosť nie je.

Predpoklady pri ohrievaní ocelových prvkov sú:

- vnútri prvku sa netvorí žiadne teplo,
- materiál je izotropický,
- tepelná vodivosť je dostatočne vysoká na to, aby sa mohlo predpokladať, že teplo je rozložené rovnomerne po prvku. Z tohto dôvodu sa pri ocelových prvkoch tepelný gradient naprieč a pozdĺž prvku zanedbáva a diferenciálna rovnica vedenia tepla sa zjednoduší na rovnicu pre jednorozmerné vedenie tepla, preto norma umožňuje priamo vypočítať teplotu nechráneného alebo chráneného ocelového prvku v ľubovoľnom čase prírastkovou metódou.

Správanie sa konštrukcie pri požari sa určí jednou z nasledujúcich metód, alebo ich kombináciou:

- jednoduché výpočtové modely pre určité typy konštrukčných prvkov,
- zdokonalené výpočtové modely pre simuláciu chovania sa celej konštrukcie, častí konštrukcie alebo jednotlivých prvkov,
- požiarne skúšky.

Jednoduché výpočtové modely dávajú konzervatívne výsledky. Keď sa nedajú aplikovať, je nutné použiť návrhové metódy založené na zdokonalených výpočtových modeloch alebo na požiarnej skúškach.

### Jednoduché výpočtové modely

Jednoduché výpočtové modely sú založené na normovom požari podľa ISO 834 alebo na skutočných požiaroch, ktoré zohľadňujú hustotu požiarneho zafaznenia a ventilačné podmienky.

Vlastné posúdenie môže mať časovú, pevnostnú alebo teplotnú formu. EN 1993-1-2 používa pevnostnú a teplotnú formu posúdenia.

Podľa pevnostného posúdenia prvok vyhovuje, ak je odolnosť daného prvku pre požiaru situáciu v čase  $t$  väčšia ako účinok zafaznenia v požiarnej situácii určený podľa EN 1991-1-2. Zafaznenie sa považuje za nemenné počas pôsobenia požiaru. Požiarne odolnosť prúta sa určí pre dané rozdelenie teploty po prvku ako pre návrh za normálnej teploty podľa EN 1993-1-1 tak, že sa zohľadnia zmenené mechanické vlastnosti pri zvýšených teplotách.

Prierezy sa klasifikujú podobne ako pri návrhu za normálnej teploty. Postup pre výpočet prierezov triedy 4 je uvedený v osobitnej prílohe.

Odolnosť fahaných prvkov s nerovnomerným rozdelením teploty po priereze sa určí ako súčet odolností jednotlivých častí s rovnakou teplotou. Konzervatívne je možné uvažovať s konštantnou teplotou rovnajúcou sa maximálnej.

Návrh tlačných prvkov je obdobný ako za normálnej teploty, len vzperná dĺžka sa určí s nasledujúcou výnimkou:

Pri rámoch s neposuvnými styčníkmi sa stĺp v uvažovanom podlaží, ktorý je priebežný nad a pod podlažím, môže považovať za votknutý, ak je požiarne odolnosť stropov oddeľujúcich toto podlažie aspoň taká, ako požiarne odolnosť stĺpa. V prípade rámov, kde jednotlivé podlažia tvoria samostatné požiarne úseky to znamená, že vzperná dĺžka stĺpov v medziľahlých podlažiach sa rovná polovici systémovej výšky podlažia a pri poslednom poschodí je to 0,7-násobok.

Ohýbané prvky sú často na hornej pásnici chránené stropnou konštrukciou, takže teplotný gradient po výške môže byť dosť výrazný. Tento vplyv je možné zohľadniť faktorom prispôsobenia  $\kappa$ .

Pre posúdenie prvkov tlačných a ohýbaných platia vzťahy známe z návrhu na normálnu teplotu, upravené na požiarne podmienky.

### Kritická teplota - teplotná forma posúdenia prvkov

V prípade prvkov, u ktorých nejde o stabilitný problém, alebo ak sa nemusia zohľadňovať deformačné kritériá, norma povoľuje urobiť posúdenie jednotlivých prvkov zjednodušene pomocou kritickej teploty.

Kritická teplota je taká teplota, pri ktorej sa pre danú úroveň zafaznenia očakáva, že nastane porušenie ocelového prvku pri rovnomernom rozložení teploty (príslušná odolnosť klesne na úroveň účinku zafaznenia).

Kritická teplota daného prvku sa vypočíta ako funkcia stupňa využitia prierezu za požiaru.

EN 1993-1-2 obsahuje päť príloh, z toho dve sú normatívne (A: Samospevnenie ocele pri zvýšených teplotách a B: Prestup tepla k vonkajšej ocele konštrukcii) a tri informatívne (C: Nehrdzavejúca oceľ D: Spoje a F: Prierezy triedy 4).

*Ing. Magdaléna Štujberová, PhD.  
SvF STU Bratislava*