

NAVRHOVANIE KONŠTRUKCIÍ NA ÚČINKY POŽIARU

ČASŤ 2 – EN 1992-1-2, EN 1994-1-2, EN 1995-1-2, EN 1996-1-2 A ENV 1999-1-2

Časti 1-2 všetkých konštrukčných eurokódov majú spoločné princípy a metódy navrhovania konštrukcií na účinky požiaru. Použitý výpočtový model musí vždy odrážať očakávané správanie sa konštrukcie počas požiaru. Pre analýzu konštrukcie je možné použiť jednu z troch metód (popísaných v časti 1 tohto článku): Globálnu analýzu konštrukcie, Analýzu častí konštrukcie, Analýzu prvku. Ako alternatívu k predošlým trom metódam možno použiť výpočet založený na výsledkoch experimentov.

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

- **jednoduché výpočtové modely** pre určité typy konštrukčných prvkov,
- **spresnené výpočtové modely** na simuláciu chovania sa celej konštrukcie, častí konštrukcie alebo jednotlivých prvkov,
- **osvedčené riešenia** („tabuľkové riešenia“ alebo skúšky) pre betónové, spriahnuté oceľobetónové, drevené a murované konštrukcie.

Jednoduché výpočtové modely dávajú konzervatívne výsledky. Keď sa nedajú aplikovať, je nutné použiť návrhové metódy založené na spresnených výpočtových modeloch alebo na požiar-nych skúškach.

Všeobecné princípy týkajúce sa mechanických a tepelných vlastností materiálov a ohrievania prierezov pri vystavení požiaru boli uvedené v 1. časti v minulom čísle.

Prvky vo všeobecnosti musia spĺňať tri kritériá:

- **R – Kritérium odolnosti prvku** – porušenie konštrukcie zodpovedá strate rovnováhy a môže byť spôsobené prasknutím prierezu, vydúvaním, vytvorením plastického kĺbového mechanizmu, atď.)
- **E – Kritérium celistvosti prvku** – po dobu 30, 60... min. nedôjde k porušeniu celistvosti trhlinami, dierami alebo inými otvormi, ktoré sú dostatočne veľké na preniknutie ohňa horúcimi plynmi alebo plameňmi
- **I – Izolačné kritérium** – po dobu 30, 60...min. nedôjde k nárastu teploty na povrchoch nevystavených ohňu nad dovolenú hodnotu.

Ak majú prvky len nosnú funkciu, stačí ak spĺňajú kritérium **R**. Ak majú

prvky iba deliacu funkciu, musia spĺňať kritériá **E** a **I**. Prvky, ktoré majú nosnú aj deliacu funkciu, musia spĺňať všetky tri kritériá.

EN 1992-1-2: 2005 Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

Kvôli masívnosti betónových prierezov a tepelným vlastnostiam betónu nie je možné vypočítavať teploty v betóne jednoduchou analytickou rovnicou. Teploty v betóne je možné počítať napr. metódou konečných prvkov alebo diferenciálnou metódou. EN 1992-1-2 v Prílohe A udáva teploty jednotlivých typov nosných prvkov pre normalizovanú teplotnú krivku ISO 834 a pre trvanie požiaru 30 - 240 min. Preto podľa EN 1992-1-2 nie je možné priamo vypočítavať požiar- nú odolnosť prvku, ale len posúdiť, či vyhovuje požadovanej požiarnej odolnosti 30 - 240 min.

Keďže betónové konštrukcie môžu tvoriť aj hranice požiar-nych úsekov, okrem nosnej funkcie musia spĺňať aj funkciu deliacu a izolačnú. V EN 1992-1-2 sú uvedené mechanické a tepelné vlastnosti obyčajného betónu s kremičitým alebo vápencovým kamenivom, betonárskej a predpínacej výstuže pri zvýšených teplotách.

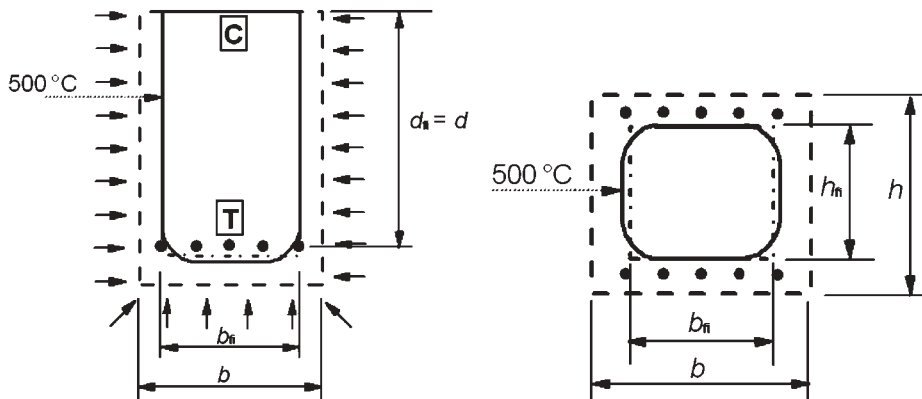
Tabuľkové hodnoty sú použiteľné pre vystavenie normalizovanému požiaru a platia pre obyčajný betón s kremičitým kamenivom a pre požiarne odolnosti R30 - R240. Sú uvedené pre stĺpy (len pre vystužené rámy); steny (nosné, nenosné, požiarne deliace); tahané prvky; nosníky (jednoducho podopreté aj spojité) a dosky (jednoducho podopreté aj spojité, ploché aj rebrované).

V norme sú uvedené dve základné jednoduché výpočtové metódy - „Metóda izotermy 500°C“ a „Zónová metóda“.

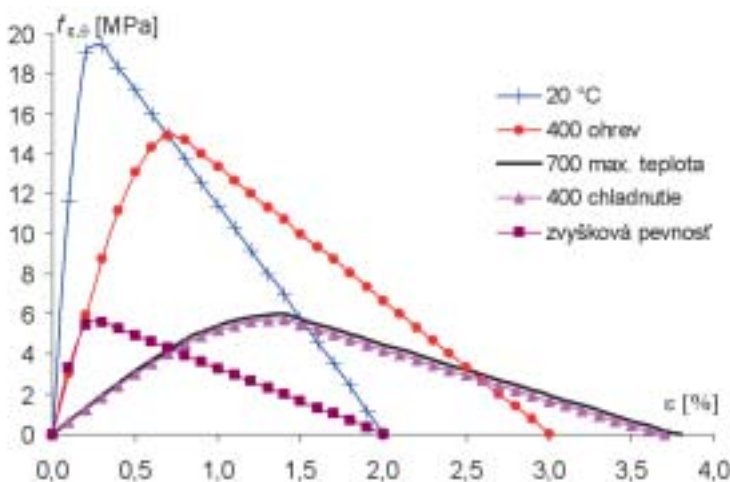
Metóda izotermy 500°C je použiteľná pre normalizovanú požiar- nú krivku aj pre parametrické teplotné krivky. Princípom metódy je, že časť betónového prierezu s teplotou 500°C a viac sa vylúči z výpočtov, zvyšná časť sa započítava s plnou pevnosťou a modulom pružnosti. Teplotu výstuže je potrebné určiť aj v rámci účinného prierezu, môže sa započítavať aj výstuž z oblastí s teplotami nad 500°C - do výpočtu sa zavádza s redukovanými hodnotami pevnosti a modulu pružnosti. Odolnosť prierezu sa vypočítava bežnými metódami.

V prípade **Zónovej metódy** sa vytvorí redukovaný prierez tak, že sa z únosnosti vylúči vrstva poškodená požiarom. Zvyšný prierez sa rozdelí na paralelné zóny (minimálne tri) rovnakej hrúbky, pre každú sa určí teplota a tomu zodpovedajúca pevnosť a modul pružnosti. Táto metóda dáva presnejšie výsledky ako „Metóda izotermy 500°C“ (najmä v prípade stĺpov), hoci je o niečo prácnejšia. Zónová metóda platí len pre normalizovanú požiar- nú krivku a je použiteľná pre steny, dosky, nosníky a stĺpy.

V prípade betónových konštrukcií treba venovať pozornosť odpraskávaniu betónu. Explosívne odpraskávanie nastáva pri vyššom obsahu vlhkosti v betóne (viac ako 3 %) a závisí aj od typu kameniva, pórovitosti betónu a rýchlosti ohrievania. Pri explosívnom odpraskávaní dochádza k oddeľovaniu kusov betónu z povrchu prvku, čím sa redukuje prierez a obnažuje výstuž, ktorej teplota narastá a následne klesá odolnosť prvku. Preto je potrebné mu predchádzať, alebo ho zohľadniť vo výpočtoch.



1 Porovnanie koeficientu tepelnej vodivosti ocele, hliníka a betónu



2 Zníženie pevnosti betónu po predošlom ohriatí

K odpadávaniu betónu v neskorších fázach požiaru dochádza pri dlhom vystavení požiaru. Takisto mu treba predchádzať vhodným konštrukčným riešením (množstvom a umiestnením výstuže), alebo ho zohľadniť vo výpočtoch.

EN 1994-1-2: 2005 Navrhovanie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

Použitie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií je veľmi vhodným spôsobom zvýšenia požiarnej odolnosti, pretože betón plní nosnú aj izolačnú funkciu. Takisto nie je možné priamo vypočítať požiaru odolnosť prvku, ale len posúdiť, či vyhovuje požadovanej požiarnej odolnosti 30 - 120 min.

Návrhové postupy platia len pre určité typy priečných rezov, pričom sa uvažuje, že dosky sú ohrievané z jednej strany, stĺpy rovnomerne zo všetkých štyroch strán a nosníky z troch strán. Pokiaľ ide o nosníky podopierajúce dosky z profilovaných plechov, možno

uvažovať, že sú ohrievané z troch strán vtedy, keď plech priamo pokrýva aspoň 90 % hornej pásnice. Mechanické vlastnosti oboch materiálov sa s nárastom teploty redukujú. Pokles medze klzu ocele aj pevnosti betónu v závislosti od teploty a je veľmi podobný. Rozdiel je však v tom, že betón sa vďaka svojim priaznivým tepelným vlastnostiam a masívnosti prierezov ohrieva oveľa pomalšie, a teda aj k poklesu pevnosti dochádza neskôr a pomalšie stráca svoje mechanické vlastnosti.

Nevýhodou betónu je fakt, že po predchádzajúcom zahriatí na vysoké teploty po ochladnutí už nenadobúda svoju pôvodnú pevnosť. Veľkosť zvyškovej pevnosti závisí od maximálnej dosiahnutej teploty pri ohrievaní (obr. 2). Údaje o zvyškovej pevnosti betónu sa nachádzajú len v EN 1994-1-2, v EN 1992-1-2 sa nenachádzajú.

Tabuľkové hodnoty sú platné len pre podmienky normalizovaného požiaru a pre rámy s neposuvnými styčníkmi.

Jednoduché výpočtové modely umožňujú posudzovať nechránené aj chránené, prosté aj spojité spriahnuté plecho-

betónové vystužené dosky, spriahnuté oceľobetónové nosníky s oceľovým nosníkom bez betónovej výplne, spriahnuté nosníky s čiastočne obetónovaným oceľovým nosníkom a stĺpy. Účinok teploty na materiálové charakteristiky je zohľadnený redukciou rozmerov častí priečného rezu alebo úpravou mechanických vlastností redukčným súčiniteľom.

EN 1995-1-2: 2004 Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

Drevo je prírodný horľavý materiál. Prispieva k rozvoju požiaru, šíri požiar. Hlavné zložky dreva degradujú pri rôznych teplotách, ktoré ovplyvňujú celý proces horenia. Z pohľadu požiarnej odolnosti je to materiál s pozitívnymi vlastnosťami a s pomerne dobrou požiarou odolnosťou (v porovnaní s oceľovými a hliníkovými konštrukciami).

Pri predstavení tepelných vlastností dreva pre potreby protipožiarnej ochrany sa musí vychádzať z jeho tepelnej degradácie. Je to dané jeho prírodným charakterom, chemickým zložením (hemiceľulózy, celulóza a lignín), nadmolekulovou, morfológickou, makroskopickou štruktúrou. Každá uvedená hladina štruktúry má pozorovateľný vplyv na termický rozklad dreva. Je inak významná pri jednotlivých druhoch dreva. Hlavne chemické zloženie dreva spôsobuje to, že pozorujeme určité fázy horenia dreva - termického rozkladu dreva. Z pohľadu dobrých výsledkov požiarnej odolnosti je najdôležitejšia posledná etapa termickej degradácie dreva, pri ktorej vzniká zuhoľnatá vrstva s autoretardačnými účinkami termického rozkladu dreva, ktorá do istej miery chráni ďalšie vrstvy dreva pred účinkami požiaru. Rýchlosti uhoľnatenia sú pre rôzne druhy dreva rôzne. Mechanické vlastnosti dreva sa nemenia štandardne na základe nárastu teploty, nenastáva zmena fyzikálnych vlastností podľa určitého predpokladu, ktorá ovplyvňuje aj mechanické vlastnosti. Zmena prebieha v určitých etapách a mechanické vlastnosti dreva pri požiaru mení hlavne zmena prierezu prvku konštrukcie spôsobená požiarom.

Požiarou odolnosť nosných drevených prvkov dostatočne veľkých prierezov sa môže vypočítať na základe predpovedateľnej rýchlosti uhoľnatenia. Hranica medzi zuhoľnatou a nezuhoľnatou vrstvou je určená dosiahnutím teploty 300°C. Pod zuhoľnatou vrstvou je oblasť, ktorá je ovplyvnená

vysokou teplotou, jej hrúbka je približne 35 mm. Teplotu pod zuhoľnatou vrstvou pre prvok dostatočne veľkého prierezu je takisto možné vypočítať. Norma udáva dve metódy výpočtu požiarnej odolnosti - „Metódu účinného prierezu“ a „Metódu redukovanej pevnosti a tuhosti“.

Pri **Metóde účinného prierezu** je výpočet založený na predpoklade, že nezuhoľnatý prierez pozostáva z vrstiev, ktorých pevnosť v ťahu, tlaku a modul pružnosti sú znížené oproti hodnotám pri normálnych teplotách. Z týchto postupov bol odvodený aj model využívajúci princíp ekvivalentnej vrstvy s nulovou pevnosťou, ktorá sa pridá k zuhoľnatej vrstve a po odčítaní od pôvodných rozmerov prvku dostaneme účinný prierez bez ovplyvnenia mechanických vlastností teplotou.

V prípade **Metódy redukovanej pevnosti a tuhosti** sa vychádza z predpokladu, že požiarou odolnosť je limitovaná dosiahnutím medzného stavu straty nosnosti. Drevená nosná konštrukcia v podmienkach požiaru stráca nosnosť vtedy, ak sa plocha prierezu vplyvom zuhoľnatia zmenší natoľko, že konštrukcia už nie je schopná ďalej prenášať zaťaženie. Jeden zo zvyčajných postupov je založený na predpoklade, že celý zostávajúci prierez pod zuhoľnatou vrstvou má rovnaké vlastnosti. Tieto vlastnosti sú znížené oproti vlastnostiam pri bežných teplotách vynásobením koeficientom α . Odolnosť v ohybe, tlaku a ťahu je možné vypočítať pri použití zostatkového prierezu.

EN 1996-1-2: 2005 Navrhovanie murovaných konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

EN 1996-1-2 rozoznáva okrem kritérií **R**, **E** a **I** aj kritérium **M** (mechanická odolnosť). Kritérium **M** sa uplatní vtedy, ak je na prvok kladená požiadavka odolnosť rázu - to je napríklad v prípade požiarnej stien, ktoré oddeľujú požiarne úseky alebo budovy. Pri posudzovaní murovaných prvkov sa priebeh teplôt uvažuje podľa normalizovanej teplotnej krivky, podľa krivky pre vonkajší požiar alebo podľa parametrickej teplotnej krivky.

V norme sú uvedené postupy na určenie požiarnej odolnosti stien, pričom sa rozlišujú nenosné a nosné steny a deliace a nedeliace steny. Pri deliacich stenách sa uvažuje s ohrievaním z jednej strany a v prípade nedeliacich nosných stien s vystavením požiaru z dvoch alebo viacerých strán. V prípa-

de požiarnej stien treba vziať do úvahy aj použitie nehorľavých materiálov, vplyv teplotných reakcií alebo rozťažnosti naviazujúcich stavebných konštrukcií na stabilitu požiarnej steny a vplyv teplotných posunov naviazujúcich stĺpov a nosníkov pri požiaru na stabilitu požiarnej stien.

Správanie sa murovanej steny pri požiaru závisí od materiálu murovacích prvkov (íl, hlina, piesok, vápno, autoklávovaný alebo betón z hutného/pórovitého kameniva, umelý kameň); skupiny murovacích prvkov (plné alebo dierované; typ dierovania; podiel dutín na objeme); hrúbky vonkajších a vnútorných rebier; druhu malty (obyčajná, pre tenké škáry alebo ľahká malta); pomeru skutočného zaťaženia steny voči jej návrhovej únosnosti; štíhlosti steny; excentricity zaťaženia; objemovej hmotnosti murovacích prvkov; typu steny podľa funkcie; druhu povrchových úprav.

Podľa jednoduchého výpočtového modelu sa určí požiarou odolnosť efektívneho prierezu. Pri stanovení efektívneho prierezu sa určí časť prierezu s teplotou θ_0 , nad ktorou materiál nemá žiadnu reziduálnu pevnosť a časť s teplotou θ_1 , do ktorej možno použiť pevnosť muriva pri bežných teplotách; časť prierezu s teplotami medzi θ_0 a θ_1 sa uvažuje s redukovanou pevnosťou. Rozloženie teplôt v priereze murovanej konštrukcie je možné získať z výsledkov skúšok alebo z diagramov v Prilohe C.

ENV 1999-1-2: 2002 Navrhovanie hliníkových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru

Navrhovanie hliníkových konštrukcií na účinky požiaru je principiálne veľmi podobné ako navrhovanie oceľových konštrukcií, s malými rozdielmi. V prípade hliníkových prvkov prichádzajú do úvahy všetky tri kritériá: **R**, **E** aj **I**. ENV 1999-1-2 sa priamo zaoberá len kritériom **R**, kritérium **I** sa považuje za splnené, ak sa priemerná teplota na celom povrchu, ktorý nie je vystavený požiaru, nezvýši o viac ako 140 K a najvyššia teplota v ľubovoľnom bode na tomto povrchu neprekročí 180 K. ENV 1999-1-2 používa iba pevnostnú formu posúdenia, pri výpočte odolnosti sa tam, kde je to potrebné, zohľadní vplyv HAZ zmäknutia (HAZ - teplom ovplyvnená oblasť).

*Ing. Magdaléna Štujberová, PhD.
SvF STU Bratislava
Prof. Ing. Anton Osvald, PhD.
DF TU Zvolen*