

Požární odolnost stavebních konstrukcí v ČSN a Eurokódech

Isabela Bradáčová

Zaváděním soustavy harmonizovaných evropských norem (zatím v podobě předběžných norem ČSN P ENV 199x) vzniká nová situace v oblasti posuzování požární odolnosti nosných stavebních konstrukcí. Tato problematika bude uvedena z hlediska obecnějších požadavků na kvalitu a vlastnosti stavebních výrobků.

A new situation in assessing the fire resistance of the load-bearing building structures is caused by introducing a set of harmonized European Standards (in the meantime in a form of pre-standards ČSN P ENV 199x). This topic will be described from the point of view of the more general requirements concerning the quality and properties of construction products.

Varovné následky požárů poznamenané úmrtím lidí, materiálními ztrátami a často též dopadem na životní prostředí neustále evokují činnosti a opatření v legislativě, navrhování a provádění staveb směřující k jejich protipožárnímu zabezpečení. Odrazem tohoto úsilí na poli mezinárodní spolupráce je směrnice Rady EHS č. 89/106/EHS z 27. 12. 1988 o sblížování právních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků a navazující interpretací dokument č. 2 komise EU, kde jsou formulovány základní požadavky na výrobky zabudovávané ve stavbách.

Jsou to: ♦ mechanická odolnost a stabilita,
♦ požární bezpečnost,
♦ hygiena, ochrana zdraví a životního prostředí,
♦ bezpečnost při užívání,
♦ ochrana proti hluku,
♦ úspora energie.

Uvedené požadavky jsou v ČR zakotveny v § 47 zákona č. 50/76 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) ve znění pozdějších předpisů. Způsob stanovení (určování) technických požadavků na výrobky, které by mohly ohrozit zdraví a bezpečnost osob, majetek nebo přírodní prostředí a práva a povinnosti osob, které výrobky uvádějí na trh nebo se věnují státnímu zkušebnictví, budou pravděpodobně nově upraveny zákonem již v tomto kalendářním roce. Hlavním záměrem uvedených dokumentů je sjednocení požadavků na výslednou kvalitu stavby na postupně vytvářeném jednotném evropském trhu. Sledované vlastnosti výrobků budou prokazovány standardními zkouškami nebo jinými postupy, které si budou vzájemně uznávat státy Evropské unie.

Požadavek na zajištění *požární bezpečnosti* znamená, že každá stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby v případě požáru:

- byla po předepsanou dobu zachována nosnost a stabilita konstrukcí,
- byl omezen rozvoj a šíření požáru uvnitř stavebního objektu,
- bylo omezeno šíření požáru na sousední objekty,
- mohly stavbu opustit osoby (nebo mohly být jiným způsobem zachráněny),
- byla brána v úvahu bezpečnost záchranných jednotek.

Splnění takto formulovaných základních požadavků na stavbu lze zajistit buď aktivními požárně bezpečnostními zařízeními, jako

je elektrická požární signalizace, stabilní hasicí zařízení a zařízení pro odvod kouře a tepla, nebo pasivními (stavebními) opatřeními. Stavební opatření se úzce dotýkají nejen urbanistického a dispozičního návrhu (příjezdy, odstupy mezi objekty, únikové cesty, požární úseky), ale i konstrukčního a materiálového řešení. Konkrétní požadavky na požární bezpečnost nově navrhovaných nebo rekonstruovaných či modernizovaných staveb stanoví projektant – specialista požární ochrany s odpovídající odbornou způsobilostí (vysoká nebo střední škola v oboru požární ochrany a bezpečnosti průmyslu, autorizace v oboru požární bezpečnosti staveb při ČKAIT, popř. odborná způsobilost podle novelizovaného zákona ČNR č. 133/1985 Sb. o požární ochraně). Při posuzování stavebních konstrukcí a hmot se požární specialista zabývá jejich požárně technickými charakteristikami, tzn. určením požadavků na jejich kvalitu a kvantitu, prokazováním reálných vlastností použitých konstrukcí, popřípadě návrhem jejich úprav. Požadavky na požárně technické vlastnosti se určují z požárního rizika daného požárního úseku s přihlédnutím k dalším charakteristickým znakům objektu (výška, zvolený konstrukční systém aj.) postupem zakotveným v souboru projektových norem požární bezpečnosti staveb, především v ČSN 73 0802 [1], ČSN 73 0804 [2] a dalších. Dosažení předepsaných vlastností se prokazuje různým způsobem: standardními zkouškami ve státě akreditovaných zkušebních (dosud nejužívanější postup), použitím tabulkových hodnot sestavených z výsledků zkoušek popř. teoreticko-experimentálních prací, anebo výpočetními postupy (u požární odolnosti), pokud lze všechny důležité vstupní údaje matematicky formulovat. Do budoucna se počítá s tím, že úroveň požadavků bude věcí předpisů jednotlivých zemí EU, kdežto průkaz jejich skutečných vlastností bude mít obecnou platnost ve všech zemích, které přistoupí k používání harmonizovaných technických předpisů.

Požárně technické vlastnosti stavebních hmot a konstrukcí

Požárně technickými vlastnostmi rozumíme vlastnosti stavebních hmot a konstrukcí, které se projeví v podmínkách požáru popř. hasebního zásahu. U nosných stavebních konstrukcí jde především o hořlavost stavebních hmot, index šíření plamene po povrchu hmot a požární odolnost stavebních konstrukcí.

Hořlavost stavebních hmot je schopnost stavební hmoty (látky) vznítit se, hořet nebo žhnout účinkem zdroje vznícení. Ověřuje se zkouškou dosud prováděnou podle ČSN 73 0862 [3], popř. u nehořlavých hmot podle ČSN 73 0861 [4]. Podstatou zkoušky je stanovení časové závislosti uvolňování tepla ze zkušebního vzorku při daném tepelném namáhání. Uvolňování tepla je charakterizováno vzrůstem teploty spalných zplodin, které vzorek produkuje. Stavební hmoty, které při tepelném namáhání zpěňují a stavební hmoty chráněné těmito hmotami se zkoušejí odlišně a zařídění hmoty do příslušného stupně hořlavosti se děje podle úbytku hmotnosti zkušebního vzorku v procentech.

Podle výsledků zkoušky hořlavosti se stavební hmoty zařídí do stupňů hořlavosti takto (ČSN 73 0823 [5]):

- nehořlavé (např. keramické výrobky, betony, malty bez organických příměsí),
- nesnadno hořlavé (např. Akumin, Velox, dřevocementové desky),
- těžce hořlavé (např. dřevo listnaté, překližka),

C2 – středně hořlavé (např. dřevo jehličnaté, dřevotřískové desky),

C3 – lehce hořlavé (např. dřevovláknité desky, pryž, Kovral).

Použití hořlavých hmot v nosných konstrukcích zajišťujících stabilitu objektu je přípustné pouze do určité „bezpečné“ výšky zástavby. Další omezení se týká konstrukcí v podzemních podlažích, požárně dělicích stěn mezi objekty, požárních úseků s vyšším požárním rizikem a vyšším stupněm požární bezpečnosti. Použití hořlavých hmot i v nenosných konstrukcích je omezováno např. v prostorech s vysokým požárním rizikem, nebo v prostorech užívaných velkým počtem lidí, popř. osobami se sníženou pohyblivostí a omezeným zrakovým či sluchovým vnímáním. Hmot o vyšším stupni hořlavosti se nemá používat také u dodatečných zateplovacích systémů a tzv. požárních pásů ve fasádách.

Šíření plamene po povrchu stavebních hmot se vyjadřuje indexem šíření plamene i_s [mm.min⁻¹] a udává se relativní hodnotou, která vyjadřuje schopnost stavební hmoty vznítit se a šířit po svém povrchu plamen – viz ČSN 73 0863 [6]. Výsledky zkoušek této charakteristiky jsou shrnuty v ČSN 73 0822 [7], popř. se uvádějí ve zkušebních protokolech nově ověřovaných hmot. Indexu šíření plamene se užívá při hodnocení požární bezpečnosti povrchů stěn, podhledů, nášlapných vrstev podlah a povrchových vrstev požárních pásů, popř. stěn v požárně nebezpečném prostoru jiného objektu. Kromě této charakteristiky se u podhledů posuzuje též možnost jejich odpadávání a odkapávání při požáru.

Hořlavé hmoty mohou být použity v homogenních např. celodřevěných konstrukcích, ještě častěji se však s nimi setkáme u vícevrstvých (sendvičových) konstrukcí, kde tvoří potřebné tepelně a zvukově izolační vrstvy nebo lícové (pohledové) vrstvy. Podle vlivu hořlavých hmot na únosnost a stabilitu a na intenzitu požáru uvnitř hořícího prostoru se *konstrukční části a dílce* třídí na druhy D1, D2 nebo D3.

Tab. 1 – Třídění konstrukčních částí a dílců / Classification of structural parts and elements

Hořlavá hmota v konstrukční části nebo dílci má vliv na:	D1	D2	D3
únosnost a stabilitu	ne	ano	ano i ne
intenzitu požáru	ne	ne	ano

Požární odolnost stavební konstrukce je doba (t) v minutách, po kterou je stavební konstrukce schopna odolávat teplotám vznikajícím při požáru, aniž by došlo ke ztrátě její funkce. Pro klasifikaci a označování požární odolnosti konstrukcí byly v návaznosti na směrnici Rady EU č. 89/106 v ČSN 73 0810 [8] nově zavedeny následující mezní stavy, jejichž kritéria určuje ČSN 73 0851 [9], popř. další předpisy:

$R(t)$ – mezní stav únosnosti nebo stability, kterého může být v průběhu požáru dosaženo zřícením konstrukce, překročením mezního průhybu $l/25$ mm, překročením mezní rychlosti přírůstku průhybu $l^2/9000 h$ [mm.min⁻¹], překročením podélné deformace $l/100$ [mm] nebo překročením přírůstku deformace $l/300$ [mm.min⁻¹], kde l značí rozpětí (délku) a h výšku prvku v mm;

$E(t)$ – mezní stav celistvosti, tj. stav, kdy v konstrukci vzniknou větší trhliny nebo otvory, jimiž trvale pronikají zplodiny hoření nebo plamen;

$I(t)$ – mezní stav teplot na odvráceném (neohřívaném) povrchu konstrukce, kdy se proti počáteční teplotě T_0 (obvykle 20 °C) zvýší průměrná teplota podle EN o 140 K a podle ČSN 73 0851 o 160 K nebo lokální maximální teplota pod-

le EN o 180 K a podle ČSN 73 0851 o 190 K, popř. dosáhne teploty 220 °C;

$W(t)$ – mezní stav hustoty tepelného toku, který nesmí v prostorech mimo únikové cesty překročit hodnotu 15 kWm⁻² ve vzdálenosti 1,2 m od líce stěny nebo v ose únikové cesty 10 kWm⁻² po dobu 5 sekund;

$M(t)$ – mezní stav odolnosti proti mechanickým vlivům, tj. proti vodorovnému zatížení, musí vykazat požární stěny jednopodlažních skladů, stěny mezi objekty o tloušťce menší než 100 mm a stěny v provozech, kde mohou být vystaveny nárazům.

Stavební konstrukce musí podle své funkce vyhovět požadavkům jednoho nebo více mezních stavů:

- ◆ nosné konstrukce bez požárně dělicí funkce – $R(t)$;
- ◆ požární stropy (s požárně dělicí funkcí) – $REI(t)$;
- ◆ užité stropy uvnitř požárního úseku (bez požárně dělicí funkce) – $RE(t)$;
- ◆ nosná konstrukce střechy – $RE(t)$;
- ◆ stropy půdních vestaveb buď jako požární strop – $REI(t)$, nebo jako podhled – $EI(t)$;
- ◆ požární stěny s nosnou a požárně dělicí funkcí a stěny mezi objekty – $REI(t)$;
- ◆ požární stěny nenosné (příčky) s požárně dělicí funkcí – $EI(t)$;
- ◆ nenosné stěny uvnitř požárního úseku, pokud oddělují prostory bez požárního rizika – $EI(t)$, popř. $EW(t)$; pokud oddělují předstíň v chráněných únikových cestách – $S(t)$, popř. $E15$;
- ◆ obvodové stěny
 - a) vystavené požáru z vnitřní strany:
 - zajišťující stabilitu objektu – $REW(t)$
 - nezajišťující stabilitu objektu – $EW(t)$
 - b) vystavené požáru z vnější strany:
 - zajišťující stabilitu objektu – $REI(t)$
 - nezajišťující stabilitu objektu – $EI(t)$
 - c) v podzemních podlažích na styku se zeminou – $R(t)$
- ◆ schodiště uvnitř požárního úseku na nechráněných únikových cestách – $R(t)$.

Požadavky na mezní stavy dalších konstrukcí (podhledů, zvyšených podlah, zasklených konstrukcí, střešních pláštů aj.) jsou obsaženy v ČSN 73 0810.

Prokazování dosažené požární odolnosti lze provést obdobně jako u jiných požárně technických vlastností zkouškami, pomocí tabulkových hodnot anebo výpočtem.

Pro zkoušky nosných konstrukcí ve zkušebních pecích – u nás v jediné autorizované zkušebně PAVÚS ve Veselí nad Lužnicí – platí ČSN 73 0851 a ČSN 73 0855 [10], které jednoznačně upřednostňují takto získané výsledky jak před tabulkovými hodnotami, tak před výpočtem požární odolnosti. Nespornou výhodou zkoušek je možnost sledování a měření prakticky všech mezních stavů požární odolnosti.

Tabulkové hodnoty požární odolnosti byly odvozeny na základě teoreticko-experimentálních prací a uvedeny v ČSN 73 0821 [11]. Postupně jsou aktualizovány a doplňovány o výsledky nových provedených zkoušek – viz např. směrnice [12] a [13].

Určení požární odolnosti výpočtem je nejvýhodnější a nejperspektivnější metodou. Nespornou výhodou je možnost početně stanovit požární odolnost prvku, části konstrukce nebo konstrukce jako celku při určení reálného zatížení, způsobu upnutí do navazujících konstrukcí, postupná optimalizace návrhu změnami vstupních údajů apod. Prakticky neomezené možnosti početního ověřování požární odolnosti byly rozpoznány již v minulosti, o čemž svědčí např. literatura [14] až [18]. Návrhový formát – po určení požadavků na požární odolnost při zadaných podmínkách požáru v požárním úseku – sestával z následujících kroků:

- ♦ výpočet nestacionárního teplotního pole v konstrukci pomocí Fourierovy parciální diferenciální rovnice šíření tepla;
- ♦ kontrola mezního stavu I, tj. teplot na odvráceném povrchu konstrukce;
- ♦ správný výběr zatížení a jejich kombinace v návaznosti na ČSN 73 0031 [19] pro nehodovou návrhovou situaci při požáru;
- ♦ určení odezvy konstrukce;
- ♦ stanovení odporu konstrukce ze znalosti pevnostních a přetvárných charakteristik materiálů při okamžité teplotě;
- ♦ formulování výsledné podmínky spolehlivosti.

Přestože byly propracovány metody početního posouzení pro mezní stavy únosnosti i použitelnosti pro různé druhy nosných konstrukcí (betonové, dřevěné aj.), jejich využití v praxi bylo velmi omezené, zejména pro poměrnou obtížnost řešení nestacionárních teplotních polí v konstrukcích a nedostatečnou podporou normami.

Zavedení soustavy *harmonizovaných norem* ČSN P ENV [20] až [24] legalizuje cestu k posuzování požární odolnosti nosných konstrukcí výpočtem. Příslušné metody jsou zapracovány do souboru norem pro navrhování konstrukcí, které je možno použít pouze ve spojení s ČSN P ENV 1991-2-2 [25].

Spolehlivost betonové konstrukce pro nehodovou situaci při působení požáru se ověřuje v obecné metodě výpočtu pomocí vztahu:

$$E_{d,fi}(t) \leq R_{d,fi}(t),$$

kde $E_{d,fi}(t)$ je účinek výpočtového zatížení za požáru, určený podle základního pravidla daného v ČSN P ENV 1991-2-2 včetně nepřímého zatížení,

$R_{d,fi}(t)$ odpovídající výpočtová únosnost (odpor) při zvýšené teplotě,

t doba plně rozvinutého požáru.

Únosnost na pravé straně podmínky spolehlivosti plně odpovídá dosavadnímu pojetí v ČR, kde se uplatní snížené pevnosti betonu a výztuže při nalezene teplotě. V ČSN P ENV 1991-2-2 se pro mimořádnou návrhovou situaci při požáru předepisuje levá strana podmínky spolehlivosti pro výpočet odezvy konstrukce na účinky zatížení při požáru $E_{d,fi}(t)$ v symbolické formě:

$$\sum \gamma_{GA} \cdot G_k + \Psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \Psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} + \sum A_d(t),$$

kde se zavádějí:

- stálá zatížení G_k se součinitelem spolehlivosti zatížení $\gamma_{GA} = 1,0$;
- nahodilá zatížení Q_k bez součinitelů spolehlivosti zatížení (tzn. $\gamma_{GA} = 1,0$);
- kombinační součinitel pro dominantní nahodilé zatížení ($\Psi_{1,1}$) má hodnoty pro užitná zatížení budov v rozmezí od 0,5 do 0,9; pro dopravní zatížení 0,5 a 0,7; pro zatížení sněhem 0,2 a pro vítr nebo teplotu 0,5;
- ostatní nahodilá zatížení se zavádějí s kombinačním součinitelem ($\Psi_{2,i}$) pro užitná zatížení budov v rozmezí od 0,3 do 0,8; pro dopravní zatížení 0,3 a 0,6; zatížení sněhem, větrem nebo teplotou jako druhé a další nahodilé zatížení se neuvažuje;
- snížení „odhořelého“ užitného zatížení se nemusí uvažovat;
- lze provést rozbor potřeby zavedení zatížení sněhem do výpočtu i jako dominantního užitného zatížení podle bodu (c) – např. s ohledem na jeho tání při požáru;
- nezavádějí se do výpočtu nahodilá zatížení související s výrobním procesem, který se při požáru zastaví (např. vodovodné účinky jeřábů).

Dále jsou uvedeny hlavní zásady posuzování požární odolnosti jednotlivých druhů stavebních konstrukcí.

Požární odolnost ocelových konstrukcí

Tabulkové hodnoty požární odolnosti ocelových konstrukcí jsou v technických předpisech ČR sestaveny v závislosti na tvarovém součiniteli O/F [m⁻¹], kde O [m] je obvod ohřivaného průřezu a F [m²] jeho průřezová plocha. Tvarový faktor charakterizuje rychlost zahřívání ocelových prvků, která má vliv na mechanické a tepelně technické vlastnosti oceli. S rostoucí teplotou klesají mez kluzu, modul pružnosti a tepelná vodivost oceli – a naopak roste teplotní roztažnost a poměrné přetvoření. To vše v důsledku negativně ovlivňuje požární odolnost ocelové konstrukce, která je velmi nízká a s rostoucí hodnotou O/F klesá.

Tab. 2 – Požární odolnost ocelové konstrukce v závislosti na O/F / Fire resistance of steel structure

O/F [m ⁻¹]	≥ 100	$> 100 \leq 150$	$> 150 \leq 300$	> 300
R [min]	$> 15^*$	15	10	7

* Požární odolnost je nutno prokázat zkouškou

V Eurokódu 3 [21] se hodnotí požární odolnost ocelových konstrukcí pomocí obdobného součinitele průřezu, který je dán poměrem plochy exponovaného povrchu k objemu exponovaného prvku na jednotku délky.

Pro dosažení vyšších hodnot požární odolnosti je třeba ocelové konstrukce opatřit vhodnými *protipožárně ochrannými vrstvami*. Užívaných technologií a materiálů je celá řada. Patří k nim jednak úpravy prováděné „mokřím“ způsobem, tj. klasické omítky, protipožární omítkoviny (Terfix, Porfix, Termo, Pyrotherm, Pyroizol aj.), zpěňující nátěry (např. Barrier All Acqua, Barrier 95, Pittura, Flammstop, Flammoplast, Promapaint, Ekodexamin), obetonování, obezdění (nejlépe lehkými tvarovkami) a dále technologie suchých obkladů, tj. obklady z desek Cetris, Fireboard Knauf K252, Knauf GKF, Promatect – H, Promatect – L, Promaclad, Thermax SL aj.

V roce 1984 vydal VÚPS Praha směrnici [26] pro početní určení požární odolnosti ocelových konstrukcí. V současné době již můžeme postupovat podle ČSN P ENV 1993-1-2 [21]. Podle tohoto předpisu se lze zaměřit na návrh celé konstrukce, vhodně volené části konstrukce nebo návrh prvků. Nejsložitější je návrh celé konstrukce. Podmínkou je, že navrhovaný účinek zatížení včetně vlivu tepelných prodloužení a deformací pro zadanou požární situaci musí být v rovnováze s navrhovanou odolností při zvýšených teplotách. Jednodušší je metoda návrhu prvků, kdy lze vnitřní síly a momenty na koncích prvků určit pro běžné teploty a považovat je za neměnné. Je však nutné uvážit vliv tepelných deformací způsobených rozdílem teplot po průřezu, kdežto účinek tepelné roztažnosti lze zanedbat. ČSN P ENV 1993-1-2 uvádí hodnoty změn mechanických a tepelných vlastností oceli v závislosti na teplotě. Vlastní návrh konstrukcí na účinky požáru lze provést pomocí jednoduchých nebo zpřesněných výpočetních modelů, a to pro nechráněné i chráněné ocelové konstrukce. Požární odolnost může být prokázána i určením kritické teploty v závislosti na stupni statického využití průřezu. Uveden je také návrh posouzení požární odolnosti venkovních ocelových konstrukcí umístěných v požárně nebezpečném prostoru.

Požární odolnost dřevěných konstrukcí

Požární odolnost dřevěných konstrukcí, uváděná tabulkovými hodnotami v bulletinech [12] a [13] závisí na rozměrech dřevěného průřezu. Rozšířené tabulkové hodnoty jsou uvedeny též v publikaci Vladimíra Reichla [14].

Zvýšení požární odolnosti dřevěných prvků lze dosáhnout nejčastěji zvětšením rozměrů prvků, protipožárním obkladem obdobně jako u ocelových konstrukcí, popř. speciálními nátěry na dřevo

(HCA TR, HCA WL, Dexaryl B, Promadur aj.), jimiž se dosahuje i snížení stupně hořlavosti.

Již před vydáním ČSN P-ENV 1993-1-2 [20] byly u nás provedeny pokusy o početní určení požární odolnosti dřevěných konstrukcí. Jako první práci v tomto oboru je třeba uvést publikaci Vladimíra Reichla [14], jehož tabulkové hodnoty pro sloupy a nosníky se užívají dodnes.

Autorka článku prezentovala v příspěvcích [17], [18] ucelenou metodu výpočtu požární odolnosti dřevěných konstrukcí s rozbohem zatížení za nehodové návrhové situace při požáru podle zásad ČSN 73 0031. Nedořešená zůstala problematika výpočtu požární odolnosti spojů dřevěných konstrukcí. Dále jsou výpočtové metody dpracovány v předběžné ČSN P ENV 1995-1-2 [16], která je doplněna Národním aplikačním dokumentem (NAD). Jsou zde uvedeny tři výpočetní metody různé složitosti. První nejjednodušší metoda počítá s normovou teplotní křivkou požáru a analýzou konstrukčních prvků. Nepřímé účinky požáru (tj. vlastní teplotní přetvoření prvků) se zanedbávají. Únosnost se počítá pro účinný průřez zmenšený požárem za předpokladu, že pevnosti dřeva a tuhosti prvku nejsou požárem ovlivněny. Metoda dává bezpečné, ale méně hospodárné výsledky. Druhá složitější metoda vychází z analýzy části konstrukce nebo prvku. Uvažuje se únosnost zbytkového průřezu vzniklého odhořením dřevní hmoty za daných podmínek, a to i při parametrickém požárním namáhání. Uvažuje se zhoršená pevnost a tuhost dřevěného prvku. Tato metoda klade vyšší požadavky na projektové práce, obvykle však vede k hospodárnějšímu návrhu konstrukcí. Obecná metoda představuje plně analytický přístup. Při návrhu na účinky požáru se má uvážit okamžitá teplota a vlhkost v libovolném bodě zbytkového průřezu. Pro složitost řešení se však dosud obecná metoda nepoužívá a není také v uvedené ČSN P ENV 1993-1-2 podrobněji rozpracována.

Požární odolnost zděných konstrukcí

Tabulkové hodnoty požární odolnosti zděných konstrukcí lze nalézt v bulletinu [12] nebo v NAD Eurokódu 6 ČSN P ENV 1996-1-2 [22].

Požární odolnost zděných stěn závisí především na druhu kusového staviva, objemu dutin v jeho struktuře a je podstatně ovlivněna povrchovou úpravou zdiva (bez omítek nebo s oboustrannou omítkou). Omítky se třídí podle tepelně izolační schopnosti ovlivňující požární odolnost zděné konstrukce do tří skupin. Jejich přídržnost k podkladu lze zvýšit vloženým pletivem. V Eurokódu 6 bude možné přihlížet i ke statickému využití nosného zděného prvku vyjádřeného podílem N_{rd}/γ_f , kde N_{rd} je návrhová únosnost stěny včetně vlivu štíhlosti a výstřednosti a γ_f průměrná hodnota dílčího součinitele zatížení. V Eurokódu 6 je popsána metoda výpočtu požární odolnosti zděných konstrukcí jak pro normovou teplotní křivku, tak pro jiné nominální (parametrické) závislosti teploty na čase. V současnosti však nelze výpočtové metody použít a navrhování vychází z tabulkových údajů obsažených v NAD nebo z výsledků zkoušek požární odolnosti. Z toho vyplývá, že práce na Eurokódu 6 nejsou doposud ukončeny, ale jsou již definovány cíle, postupy a kritéria hodnocení požární odolnosti zděné konstrukce.

Požární odolnost betonových konstrukcí

Tabulkové hodnoty požární odolnosti betonových konstrukcí závisí na rozměrech prvku, jeho statickém působení, druhu betonu a krytí nosné výztuže. Najít je můžeme opět v bulletinu [12], [13] popř. ve zkušebních protokolech PAVÚS Praha. Řadu odlišně pojatých tabulkových hodnot požární odolnosti betonových konstrukcí přináší i předběžná ČSN P ENV 1992-1-2 [23], která se nyní připravuje do tisku. Jsou sestaveny pro normovou teplotní křivku požáru v závislosti na rozměrech průřezu a osově vzdálenosti nosné výztuže od ohřivaného povrchu. Příznivějších výsledků lze docílit i vyjádřením stupně statického využití prvku nebo dodržením některých doporučených konstrukčních zásad.

Výpočet požární odolnosti je založen na znalosti vývoje teplot plynů v hořícím prostoru (normová nebo parametrická závislost), výpočtu nestacionárního šíření tepla v konstrukci a na znalosti měnicích se pevnostních a přetvárných vlastností materiálů v závislosti na okamžité teplotě. Jednodušeji lze počítat kritickou teplotu výztuže v rozhodujících průřezích nebo podrobněji sníženou únosnost průřezu prvku v teplotním poli. Práci k uvedené problematice bylo publikováno více např. [14], [15], [16], [27], [28], v současné době se nabízí využití ČSN P ENV 1992-1-2. V tomto dokumentu lze hodnotit požární odolnost betonové konstrukce buď jako celku vhodně volené části konstrukce nebo jednotlivých nosných prvků – viz též [29]. Nejjednodušší je posouzení požární odolnosti prvků při použití normové teplotní křivky požáru. Přitom lze využít ověřených tabulkových hodnot, nebo zjednodušené i obecné metody výpočtu. U zjednodušené metody výpočtu se určuje mezní únosnost otepleného průřezu, kde při známém rozložení teplot v průřezu (při normové nebo parametrické závislosti teplot plynů v hořícím prostoru a okamžitém teplotním poli v konstrukci) dochází ke zmenšení betonové části průřezu a redukci pevnosti a krátkodobého modulu pružnosti betonu a výztuže. Takto stanovený odpor konstrukce, odpovídající požární odolnosti R při zvýšené teplotě, musí splňovat podmínku spolehlivosti ve vztahu k účinku zatížení pro mimořádnou návrhovou situaci při požáru. Nepřímé účinky požáru (tj. vlastní teplotní přetvoření prvků) lze většinou zanedbat.

Obecná (globální) metoda výpočtu se dosud používá zcela výjimečně. Musí popsat vývoj teploty v konstrukci a její mechanické chování jako celku. Vychází z očekávaného způsobu porušení, znalosti teplotně závislých vlastností materiálů a vyjádření přímých i nepřímých účinků požáru.

Závěr

Požární odolnost stavební konstrukce jako významná vlastnost, podílející se na bezpečnosti stavebního díla, se dosud ověřuje téměř výhradně zkouškami. Uvedení výpočetních postupů v souboru Eurokódů pro navrhování nosných stavebních konstrukcí vytváří kvalitativně zcela novou situaci, ve které se budou muset stavební projektanti co nejrychleji orientovat. Na rozdíl od současného stavu, kdy zodpovědnost za parametry nosných prvků ve vztahu k jejich požární odolnosti většinou přebírá požární specialista bez informací o ostatních požadavcích na nosné konstrukce, ukládají Eurokódy tuto povinnost stavebnímu projektantovi. Současně se tím otevírá cesta k výstižnějšímu a hospodárnějšímu posuzování tím, že lze přesněji simulovat chování stavebního prvku jako součásti celého nosného systému při teplotní expozici – požáru.

Všechny výpočetní postupy – zjednodušené či obecné – mají dvě části. V první (požární) části se z požárního rizika, případně rovnice energetické rovnováhy uvnitř požárního úseku, určí teplota plynů hořícího prostoru buď normovou nebo parametrickou závislostí teploty na době trvání požáru (tj. druh teplotní křivky požáru). Dále sem patří požadavky na mezní stav, popř. kombinaci mezních stavů požární odolnosti stavební konstrukce. Tato první část je doménou požárních specialistů. Druhá část, spočívající v průkazu požární odolnosti dané konstrukce, je bližší projektantům statickým, ať již jde o dosažení mezního stavu selhání prvku nebo jeho průhybu, popř. podélné deformace a jejich přírůstků. Mezní stav teplot na odvráceném povrchu lze posoudit již řešením teplotního pole v konstrukci, mezní stav celistvosti se výpočtem neprokazuje.

Bylo by proto žádoucí vážně usilovat o ustálení – obdobně jako u jiných oborů – profesního rozhraní mezi požárním specialistou a stavebním projektantem, kdy „interface“ představují druh teplotní křivky a požadavky na požární odolnost určené požárním specialistou. Stavební projektant by následně provedl výpočet nestacionárních teplotních polí v konstrukci, určil přímá i nepřímá zatížení a odezvu konstrukce na tato zatížení. Zná-li teplotně závislé vlastnosti materiálů konstrukce, dokáže stanovit její odpor tak, aby byly splněny podmínky spolehlivosti pro nehodovou (pod-

le Eurokódů mimořádnou) návrhovou situaci při požáru. Tento postup umožňuje optimalizaci návrhu konstrukce, jejíž požární odolnost je pouze jednou – i když neoddělitelnou – stránkou bezpečně a ekonomicky navržené stavební konstrukce.

Přitom si své nezastupitelné místo v systému prokazování požární odolnosti i nadále podrží zkoušky v autorizované zkušební především pro ověřování požární odolnosti hromadně vyráběných prvků a pro ověřování spolehlivosti početních metod.

Literatura

- [1] ČSN 73 0802 Požární bezpečnost staveb. Nevýrobní objekty.
- [2] ČSN 73 0804 Požární bezpečnost staveb. Výrobní objekty.
- [3] ČSN 73 0862 Stanovení stupně hořlavosti stavebních hmot.
- [4] ČSN 73 0861 Požární bezpečnost staveb. Zkoušení hořlavosti stavebních hmot. Nehořlavé hmoty.
- [5] ČSN 73 0823 Požární bezpečnost staveb. Stupeň hořlavosti stavebních hmot.
- [6] ČSN 73 0863 Požárně technické vlastnosti hmot. Stanovení šíření plamene po povrchu stavebních hmot.
- [7] ČSN 73 0822 Požárně technické vlastnosti hmot. Šíření plamene po povrchu stavebních hmot.
- [8] ČSN 73 0810 Požární bezpečnost staveb. Požadavky na požární odolnost stavebních konstrukcí.
- [9] ČSN 73 0851 Stanovení požární odolnosti stavebních konstrukcí.
- [10] ČSN 73 0855 Požární bezpečnost staveb. Stanovení požární odolnosti obvodových stěn.
- [11] ČSN 73 0821 Požární bezpečnost staveb. Požární odolnost stavebních konstrukcí.
- [12] Hodnoty požární odolnosti – svislé konstrukce. Aktual bulletin speciál č. 7, Hlavní správa Sboru PO MV ČR, Praha 1994.
- [13] Hodnoty požární odolnosti – vodorovné konstrukce. Aktual bulletin speciál č. 9, MV – ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR 1995.
- [14] Reichel, V.: Hodnoty požární odolnosti stavebních konstrukcí. VÚPS Praha 1971.
- [15] Bradáč, J. – Bradáčová, I.: Výpočet požární odolnosti železobetonových konstrukcí. In: Sborník 2. mezinárodní vědecké konference VŠB Ostrava 1980.
- [16] Bradáčová, I.: Stanovení požární odolnosti železobetonových konstrukcí výpočtem. /Kandidátská dizertační práce/. VŠB HGF, Ostrava 1989.
- [17] Bradáčová, I.: Požární odolnost dřevěných konstrukcí. In: Horenie dreva, Štrbské Pleso. DT ČSVTS, Žilina 1988.
- [18] Bradáčová, I.: Hodnoty požární odolnosti dřevěných konstrukcí podle ČSN 73 0821 a možnosti jejich zpřesnění výpočtem. In: Drevostavby 1989. DT ČSVTS Žilina 1989.
- [19] ČSN 73 0031 Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových púd. Základní ustanovení pro výpočet.
- [20] ČSN P ENV 1995-1-2 Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2 Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [21] ČSN P ENV 1993-1-2 Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-2 Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [22] ČSN P ENV 1996-1-2 Navrhování zděných konstrukcí. Část 1-2 Obecná pravidla pro pozemní stavby. Navrhování požární odolnosti zděných konstrukcí.
- [23] ČSN P ENV 1992-1-2 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1-2 Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [24] ČSN P ENV 1994-1-2 Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Část 1-2 Navrhování konstrukcí na účinky požáru.
- [25] ČSN P ENV 1991-2-2 Zásady navrhování a zatížení konstrukcí. Část 2-2 Zatížení konstrukcí – Zatížení konstrukcí namáhaných požárem.
- [26] Karpaš, J.: Směrnice pro výpočet požární odolnosti ocelových konstrukcí. VÚPS, Praha 1984.
- [27] Reichel, V.: Analýza problému požární odolnosti betonových deskových konstrukcí. Stavebnický časopis, r. 30, č. 9, 1982.
- [28] Karpaš, J. - Zoufal, R.: Požární odolnost ocelových a železobetonových konstrukcí. Zabraňujeme škodám, sv. 28, ČSP Praha 1989.
- [29] Bradáč, J.: Požární odolnost betonových konstrukcí podle Eurokódu 2. In: Seminář Eurocodes 1, 2, 6 PROCON, Praha a Brno 1993.

Ing. Isabela Bradáčová, CSc., Vysoká škola báňská – TU Ostrava, Institut bezpečnostního inženýrství, tř. 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava – Poruba a VUT FAST, ústav pozemního stavitelství Brno

Italské věže

Kdo jen trošku nahlédl do Itálie, toho jistě zaujalo zcela neobvyklé množství rozmanitých věží a věžiček. Zcela převážně jde o historické stavební památky nesmírné ceny, které v minulosti sloužily mnoha účelům: zprvu jako úkryty městských obyvatel před drancujícími nájezdníky, později k větší slávě Boží anebo prostě jako památník velkorysosti toho či onoho knížete, dóžete nebo krále. Monumentální díla starých stavitelů, vesměs z nepřilíhajícího zdíva, působí našim italským kolegům mnoho starostí, a to zejména od doby, kdy se 14. července 1902 náhle zřítily zvonice – Campanile – na náměstí sv. Marka v Benátkách (dnešní zvonice, jejíž výšku 99 m obdivujeme, je replikou z r. 1912).

Není jistě třeba se rozepisovat o nakloněné věži v Pise (54 m), která je nepochybně turistickým evergreenem již od středověku; jejím zajištěním se kdysi zabývali i čeští inženýři. Zmíjme se o Městské věži v Pávii (Torre Civica, 63 m; její počátky jsou již někde ve 12. století), která se náhle, podobně jako Campanile v Benátkách, sesula bez varování 17. března 1989. Zbyla z ní prostá hromada rumu, ve které se celkem nikdo nevyznal. Podrobná studie, při níž se použilo především metody konečných prvků, ukázala, že příčinou zhroutení byl zcela jednoduše zub času, jenž zapracoval na poměrně značně nekvalitním zdívu. Místy se vlastně o zdívu ani nedalo hovořit. Nepravidelnosti v půdorysných řezech způsobily takovou koncentraci napětí, že zdívo po několika staletích dosáhlo své trvalé pevnosti.

Pávijská nehoda upozornila, že nic nemusí být věčné, a stala se signálem k prověřování i jiných štíhlých věží. Především k nim patří zvonice katedrály v Parmě (64 m, rovněž 12. století), která byla podrobena seizmické analýze. I když na zvonici nejsou známky poškození, spolehlivostní rozbor vedl k závěru, že je zapotřebí nějaká preventivní opatření udělat.

Milovníkům středověkého stavitelství můžeme doporučit zájezd do malebného městečka San Gimignano (nedaleko Florencie). Vyznačuje se celou rodinou věží, jež obyvatelstvu sloužily jako zásobárny a současně útočiště v nouzi. Za pozornost stojí, že se velice podobné věže stavěly se stejným účelem v malém knížectví Svanetii (Gruzínsko); doufáme, že tam dosud stojí.

Nakonec ještě zmínku o turínské dominantě Mole Antonelliana, která je nejvyšší zděnou stavbou v Evropě (167,5 m). Její stavba byla zahájena v roce 1863. Jde o objekt, který stojí za vidění.

Dr. Nicholas Bricklayer