

Komplexná požiarna ochrana a bezpečnosť s využitím betónu



PLATFORM
**EUROPEAN
CONCRETE**

Copyright: Európska betonárska platforma, ASBL, April 2007

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť tejto publikácie nesmie byť reprodukováaná, uložená v systéme pre opätovné sprístupnenie alebo prenesená hocijakým spôsobom, elektronicky, mechanicky, fotokopírovaním, zaznamenávaním alebo inak, bez predchádzajúceho písomného súhlasu Európskej betonárskej platformy ASBL. (Členské krajiny ERMCO, ktoré je členom Európskej betonárskej platformy, majú právo vydať túto publikáciu).

Vydané Európskou betonárskou platformou ASBL

Redaktor: Jean-Pierre Jacobs
8 rue Volta
1050 Brusel, Belgicko

Návrh a tlač realizovaná Európskou betonárskou platformou.

Všetky informácie v tomto dokumente sú Európskou betonárskou platformou považované za presné v čase, keď táto publikácia išla do tlače. Je predložená v dobrej viere (v jej pravdivosť a presnosť).

Informácie uvedené v dokumentoch vydaných Európskou betonárskou platformou nevytvárajú žiadnu zodpovednosť jej členov. Zatiaľ čo cieľom je udržiavať stav, aby informácie boli včasné a presné, Európska betonárska platforma to nemôže garantovať. Ak bude upozornená na chyby (v publikácii), budú tieto opravené.

Názory vyjadrené v tejto publikácii sú názormi autorov a Európska betonárska platforma ASBL nemôže niesť zodpovednosť za akékoľvek názory vyjadrené v publikácii.

Všetky rady a informácie z Európskej betonárskej platformy ASBL sú určené tým, ktorý si zhodnotia význam a hranice rozsahu publikácie a prevezmú zodpovednosť za jej použitie a aplikáciu. Nezodpovedáme (vrátane nedbanlivosti) za žiadnu škodu vzniknutú z takejto rady alebo informácie.

Čitatelia by si mali uvedomiť, že publikácie Európskej betonárskej platformy podliehajú z času na čas revízií a preto by sa mali presvedčiť, či sú držiteľmi najnovšej verzie.

Obrázok na prednej strane

(so zvoľením spoločnosti Rastra Corporation, USA)

Komplexná požiarňa ochrana a bezpečnosť s využitím betónu

Tento dokument bol vytvorený asociáciami CEMBUREAU, BIBM a ERMCO. Určený je projektantom špecifikátorom, regulačným orgánom, vlastníkom budov, požiarňým orgánom, poisťovacím spoločnosťami a verejnosťou, ukazuje ako môže byť betón použitý, jednak na zabezpečenie ochrany pred ohňom, vrátane ochrany životov a majetku a ochrany životného prostredia.

Obsah

1. BETÓN POSKYTUJE DÔKLADNÚ OCHRANU PRED OHŇOM.....	4
Komplexný prístup.....	5
2. VLASTNOSTI BETÓNU V PRÍPADE POŽIARU	8
Betón nehorí	8
Betón je ochranný materiál	8
Odlupovanie betónu	10
Betón poskytuje účinné oddelenie úsekov	10
Betón je ľahšie opraviteľný po požiaru.....	11
Prípadová štúdia č.1	11
Požiar vo výškovej budove vo Franfurkte v Nemecku (1973).....	11
3. NAVRH POŽIARNEJ ODOLNOSTI ZA POUŽITIA BETÓNU	13
Projektovanie požiaru odolných budov	13
Prípadová štúdia č.2	15
Požiarne skúšky vykonané na betónovom skelete budovy v skutočnej veľkosti ...	15
Používanie Eurokódu 2	16
4. OCHRANA ĽUDÍ.....	17
Betónové konštrukcie počas požiaru zostanú stabilné.....	17
Prípadová štúdia č.3.....	18
„Veža Windsor“ v Madride v Španielsku (2005).....	18
Betón umožňuje bezpečný únik (osadenstva) a bezpečné hasenie (požiaru).....	20
Prípadová štúdia č.4.....	21
Budovy „Svetového obchodného centra“, New York (2001).....	21
Prípadová štúdia č.5.....	22
Zlepšenie požiarnej bezpečnosti v cestných tuneloch.....	22
Betón zabraňuje znečisteniu životného prostredia.....	24
Požiarňa bezpečnosť v obytných budovách.....	24
Prípadová štúdia č.6.....	27
Požiar na stavenisku drevených konštrukcií, Colindale, Londýn (2006).....	27
Betón zabraňuje šíreniu ohňa po zemetrasení.....	28
5. OCHRANA MAJETKU A OBCHODU.....	28
Betón chráni pred a po požiaru.....	28
Pri použití betónu je protipožiarňa ochrana zdarma.....	29
Nižšie platby za poistenie betónových budov.....	30
Prípadová štúdia č.7.....	30
Poistné sadzby pre obchodné domy vo Francúzsku.....	30
Prípadová štúdia č.8.....	31
Zničenie jatiek, Bordeaux (1997).....	31

Prípadová štúdia č.9.....	32
Požiar v textilnom sklade, Marseille (1996).....	32
Betón pomáha požiarnikom zachraňovať majetky.....	32
Prípadová štúdia č.10.....	33
Medzinárodný trh kvetín, Rungins, Paríž (2003).....	33
6. BETÓN A POŽIARBA BEZPEČNOSTNÁ TECHNIKA.....	34
Ako pôsobí požiarne bezpečnostné inžinierstvo.....	34
Požiarne bezpečnostné inžinierstvo v praxi.....	35
7. PRIDANÁ HODNOTA PRÍNOSOV Z POUŽITIA BETÓNU.....	37
8. LITERATÚRA.....	38

1. BETÓN POSKYTUJE DÔKLADNÚ OCHRANU PRED OHŇOM

Výborná a dokázaná odolnosť betónu voči ohňu, prináša ochranu života, majetku a okolia v prípade vzniku požiaru. Účinne splňuje všetky ochranné ciele stanovené v európskej legislatíve, pričom znamená prínos pre každého z užívateľov, vlastníkov, poisťovateľov obchodných spoločností a obyvateľstva, až po dozorné orgány a požiarnikov. **Či je už použitý pre obytné budovy, priemyselne sklady alebo tunely, betón môže byť navrhnutý a špecifikovaný tak, aby zostal robustným (odolným voči poškodeniu) dokonca aj v extrémnych požiarnej situáciách.**

Každodenné príklady a medzinárodné štatistiky dávajú obsiahly dôkaz o protipožiarnej vlastnostiach betónu a tak vlastníci bytov, poisťovatelia a riadiace orgány si pri výbere čoraz viac vyberajú betón ako materiál, uprednostňujú ho tým pred inými stavebnými materiálmi. Pri voľbe betónu si môžete byť istý, že ste urobili správny výber, pretože tento nezvyšuje požiarne zaťaženie, vytvára pred požiarom chránené únikové cesty, zastavuje šírenie ohňa medzi miestnosťami a oddiaľuje zrútenie každej konštrukcie a vo väčšine prípadov zabraňuje celkovému zrúteniu stavby. **V porovnaní s ostatnými bežnými stavebnými materiálmi, betón ponúka (ľahko a hospodárne) vynikajúce vlastnosti pre splnenie všetkých príslušných požiadaviek z hľadiska požiarnej odolnosti.**

Použitie betónu v konštrukciách a budovách ponúka výnimočnú úroveň ochrany a bezpečnosti v prípade požiaru:

- Betón nehorí a nezvyšuje požiarne zaťaženie
- Betón má vysokú odolnosť voči ohňu a zastavuje šírenie ohňa
- Betón je účinným protipožiarnej štítom, poskytujúcim bezpečný spôsob (únikovú cestu) pre obyvateľov a ochranu požiarnikom
- Betón nevytvára žiaden dym alebo jedovaté plyny, a tak pomáha znížiť riziko pre obyvateľov
- Betón pri požiari neodkvapkáva vo forme roztavených častíc (kvapiek), ktoré môžu ďalej šíriť oheň
- Betón obmedzuje šírenie ohňa a tak znižuje riziko znečistenia životného prostredia
- Betón poskytuje už v ňom zabudovanú (jemu vlastnú) ochranu voči ohňu – preto obyčajne už nevyžaduje žiadnu inú protipožiarnej ochranu
- Betón môže odolávať extrémnym požiarnej podmienkam, čo ho robí ideálnym materiálom pre skladovacie zariadenia s možným vysokým požiarnej zaťažením
- Robustnosť (mohutnosť) betónu v protipožiarnej zariadeniach vytvára požiarnej odolnosť a znižuje riziko zrútenia sa konštrukcie
- Betón je ľahšie možné opraviť po požiari a tak pomáha k rýchlejšej obnove pôvodných činností (vykonávaných v budove)
- Betón nie je postihnutý vodou používanou na hasenie požiaru
- Betónové vozovky vydržia extrémne požiarnej podmienky, ktorým musia čeliť (v prípade požiaru) v tuneloch

Je to proste správny výber, ktorý je treba urobiť – výber, ktorý má ďalekosiahle následky.

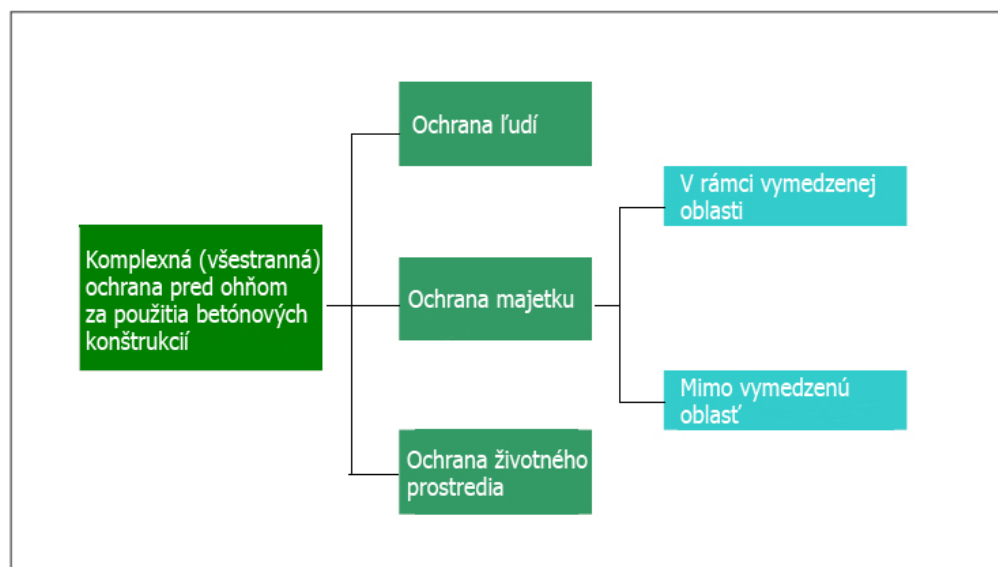
Komplexný prístup

Pre zníženie počtu úmrtí pri požiari a dopadov poškodení počas požiaru je potrebný komplexný (všestranný) prístup k požiarnej bezpečnosti. V roku 1999 World Fire Statistics Centre (Svetové štatistické centrum pre požiare) prezentovalo pre OSN správu Pracovnej skupiny pre bývanie, ktorá zhromaždila medzinárodné údaje o požiaroch v budovách (Neck, 2002). Štúdia zo 16 priemyselne vyspelých krajín zistila, že v počas typického roku bol počet osôb usmrtených počas požiaru: 1 – 2 na 100 000 obyvateľov a celkové škody spôsobené požiarimi dosiahli sumu od 0,2 do 0,3% hrubého domáceho produktu (HDP) – pozri tabuľku 5.1.

Vo väčšine budov musíme byť pripravený na vypuknutie možného požiaru a jeho účinky, jednak na životy ako aj na živobytie. Cieľom je, aby konštrukcie a budovy boli schopné zabezpečiť ochranu ľudí a majetku voči riziku vzniku požiaru. Hoci predpisy pre požiarnu bezpečnosť sú napísané s úmyslom chrániť oboje, je pochopiteľné, že bezpečnosti ľudí sa často dáva väčšia dôležitosť. Ale súkromní vlastníci, poisťovacie spoločnosti a štátne dozorné orgány môžu mať tiež záujem na požiarnej bezpečnosti z iných príčin, akými sú **ekonomické prežitie, ukladanie dát, ochrana životného prostredia a uchovanie veľmi dôležitej (kritickej) infraštruktúry**. Všetky tieto činitele sú vzaté v úvahu v európskej a národnej legislatíve pre požiarnu odolnosť – pozri Obr.1.1.

Opatrenia pre požiarnu odolnosť konštrukcií musia splniť tri ciele:

- **Ochrana osôb**, aby sa chránili životy a zdravie;
- **Ochrana majetku**, aby sa ochránili tovary a ostatné príslušenstvo a to jednak v obytných ako aj komerčných jednotkách, ktoré zachvátil požiar a tiež v susediacich majetkoch;
- **Ochrana životného prostredia**, aby sa minimalizovali nepriaznivé účinky na životné prostredie pôsobením dymu a toxických plynov, rovnako aj znečistenej vody použitej k haseniu požiarov.



Obrázok 1.1: Komplexný (všestranný) prístup k požiarnej bezpečnosti (so zvolením Neck, 2002)

Pri použití betónovej konštrukcie môžu byť dosiahnuté všetky tri ciele. Jeho nehorľavosť a vysoká odolnosť voči ohňu znamenajú, že betón poskytuje dôkladnú ochranu pred ohňom pre **ľudí, majetok a životné prostredie**.

Prirodzené vlastnosti odolnosti betónu voči ohňu sú porovnané s inými stavebnými materiálmi v tabuľke 1.1., ktorá ukazuje ako betón boduje (t.j. jeho „skóre“) voči iným stavebným materiálom v rozsahu viacerých kľúčových vlastností.

Tabuľka 1.1: Prehľad vlastností nechránených stavebných materiálov v prípade vzniku ohňa

Nechránený stavebný materiál	Odolnosť voči ohňu	Horľavosť	Zvýšenie požiarneho zaťaženia	Stupeň zvýšenia teplôt pozdĺž prierezu	V materiáli obsiahnutá odolnosť voči ohňu	Opravitelnosť po požiari	Ochrana evakuovaných osôb a požiarnikov
Drevo	Nízka	Vysoká	Vysoká	Veľmi nízka	Veľmi nízka	Nulová	Nízka
Oceľ	Veľmi nízka	Nulová	Nulová	Veľmi vysoká	Nízka	Nízka	Nízka
Betón	Vysoká	Nulová	Nulová	Nízka	Vysoká	Vysoká	Vysoká



Obrázok 1.2: Pri tomto požiari skladu vo Francúzsku požiarnici boli schopní kryť sa betónovou stenou, aby sa mohli dostať k ohňu dostatočne blízko, a aby tak mohli uhasiť plamene. (so zvolením časopisu „DMB/Fire Press Revue soldats du feu magazine“, Francúzsko)



Obrázok 1.3: Veže „North Galaxy Towers“ v Bruseli. Táto 30-poschodová budova zo železobetónu spĺňa terajšie prísne požiadavky na odolnosť voči ohňu (REI 120); stĺpy sú zhotovené z vysokopevnostného betónu triedy C80/95. (so zvolením ERGON, Belgicko)



© photo-daylight.com, Copyright free for all publications edited by CEMBUREAU/BIBM/ERMCO Members including web sites
Cointe tunnel (link E25-E40) in Liege, Belgium: use of concrete road pavement for improved tunnel safety

Obrázok 1.4: Betónové tunely a povrchy betónových vozoviek odolajú extrémnym požiarным podmienkam vyskytujúcim sa (v prípade požiaru) v tuneloch. „Cointe“ tunel (súčasť E25 a E40 v meste Liege, v Belgicku: použitie betónovej vozovky pre zlepšenie požiarnej odolnosti)

2.VLASTNOSTI BETÓNU V PRÍPADE POŽIARU

Existujú dve kľúčové zložky úspešných vlastností betónu v prípade výskytu požiaru: prvou sú základné vlastnosti betónu ako stavebného materiálu a druhou je jeho funkcia v konštrukcii. Betón je nehorľavý (nehorí) a má nízku rýchlosť nárastu teploty po jeho priereze (je ochranným štítom voči ohňu), čo znamená, že väčšina betónových konštrukcií môže byť použitá bez akejkoľvek prídavnej ochrany voči ohňu. Mnohé z vlastností odolnosti betónu voči ohňu sú zhodné, nezáleží či z hľadiska jeho štruktúry (zloženia) ide o bežný alebo ľahký betón, alebo či je vyrábaný ako betónová omietka alebo ako autoklávovaný prevzdušený betón. V podstate žiaden iný materiál nemôže byť takým komplexným (všestranným) materiálom z hľadiska jeho bezpečnostných vlastností v prípade požiaru (pozri tabuľku 1.1).

Betón nehorí

Betón jednoducho nie je možné zapáliť ako iné materiály (používané) v stavebníctve. Je odolný voči tlejúcim materiálom, ktoré môžu dosiahnuť veľmi vysoké teploty, ktoré zapalujú alebo znovu zapalujú oheň; plamene z horenia nemôžu zapáliť betón. A pretože betón nehorí, betón neemituje žiaden dym, plyny alebo toxické dymy, ak je vystavený ohňu. Nebude tiež „odkvapkávať“ taviace sa častice (zložky), ktoré môžu spôsobiť zapálenie, na rozdiel od niektorých plastov a kovov, ktoré toto robia. **Neexistuje žiaden spôsob, ktorým by betón prispieval k vzniku a šíreniu ohňa alebo zvyšoval požiarne zaťaženie.**

Hodnoverný dôkaz o protipožiarnej odolnosti betónu je uvedený v európskych normách. Všetky stavebné materiály boli klasifikované čo sa týka ich reakcie na oheň a ich odolnosť voči ohňu, ktoré určujú či materiál môže alebo nemôže byť použitý a kedy je treba použiť dodatočnú ochranu voči ohňu. Na základe „Európskej smernice pre stavebné materiály, európskej normy EN 13501-1:2002 „Klasifikácia požiarnej charakteristiky stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň“ rozdeľuje materiály podľa ich reakcie na oheň do siedmych stupňov s označeniami: A1, A2, B, C, D, E a F.

Najvyššie možné označenie je A1 (nehorľavé materiály) a Európska komisia publikovala záväzný zoznam schválených materiálov pre tieto klasifikácie, ktorý zahŕňa rôzne druhy betónov a tiež minerálne zložky betónu. **Betón spĺňa požiadavky triedy A1, pretože jeho minerálne zložky sú fakticky nehorľavé** (t.j. nezapália sa pri teplotách, ktoré sa obvyčajne vyskytujú pri požiaroch).

Betón je ochranný materiál

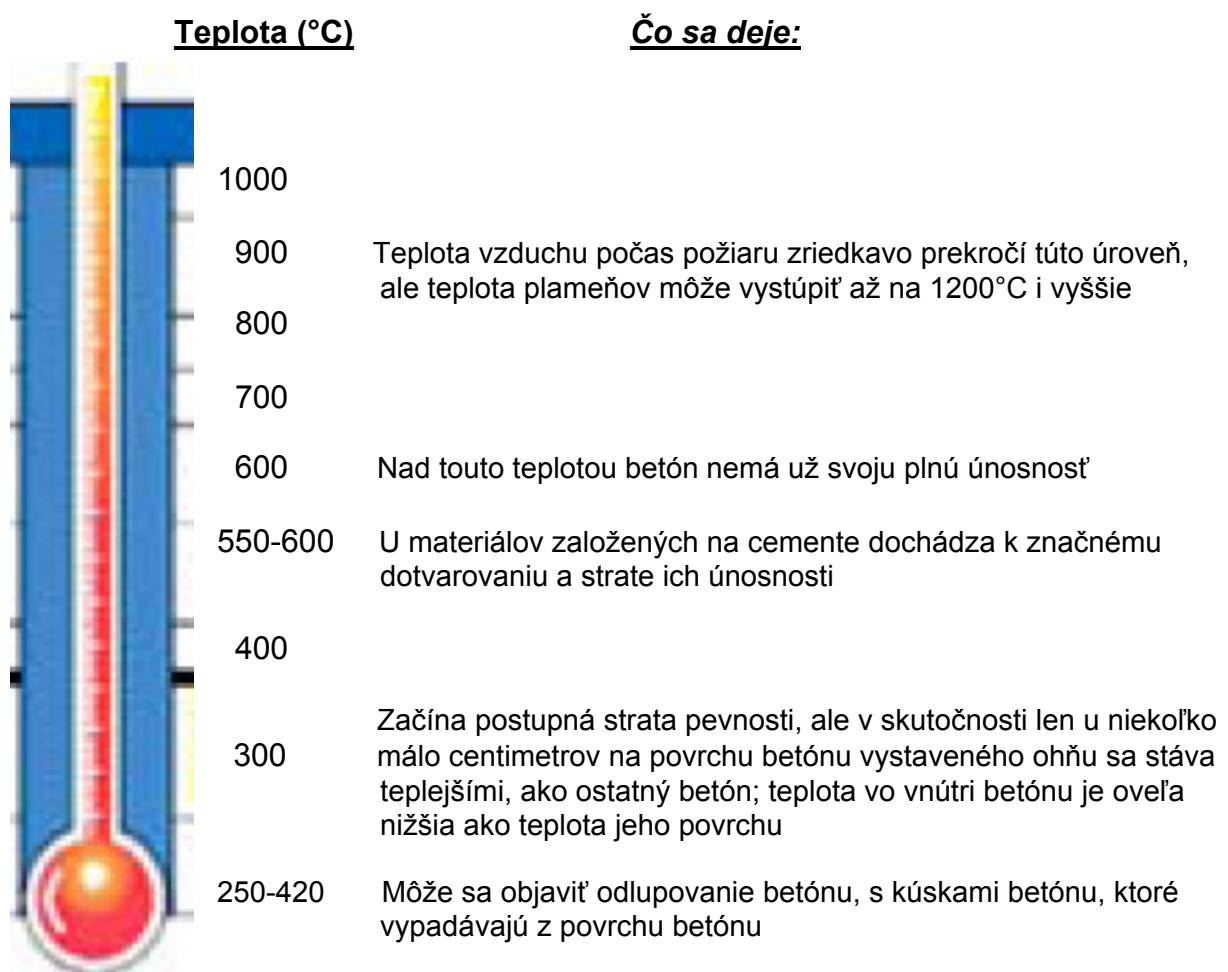
Betón má vysoký stupeň odolnosti voči ohňu a vo väčšine aplikácií môže byť označený ako „ohňovzdorný“, ak je správne navrhnutý. Betón je veľmi účinným protipožiarnej štítom. Masa betónu prepožičiava betónu vysokú kapacitu na skladovanie tepla. Aj jeho pórovitá štruktúra spôsobuje nízky nárast teplôt pozdĺž jeho prierezu. Tieto vlastnosti majú za následok pomaly rast teploty, ktorý umožňuje betónu pôsobiť ako účinný štít voči ohňu.

Vzhľadom na nízky rast teplôt pozdĺž prierezu betónového prvku, vnútorné zóny nedosahujú rovnako vysoké teploty, ako povrch betónu vystavený plameňom. Štandardná skúška odolnosti voči ohňu podľa technickej normy ISO 834 na 160 mm širokom a 300 mm vysokom betónovom nosníku je trojstranne vystavená účinkom ohňa počas jedenej hodiny. Zatiaľ čo sa dosiahla teplota 600°C v hĺbke 16 mm od povrchu (betónového prvku), táto sa znížila na polovicu – na 300°C v hĺbke 42 mm od povrchu, t.j. teplotný gradient (spád) 300°C len v hrúbke 26 mm betónu! (Kordina, Meyer-Ottens, 1981). Toto jasne ukazuje ako má betón relatívne nízky nárast teplôt, čo spôsobuje, že jeho vnútorné zóny (oblasti) zostanú dobre chránené.

Dokonca aj počas dlhšej doby, vnútorná teplota betónu zostáva relatívne nízka; toto mu umožňuje zachovať konštrukčnú únosnosť a vlastnosti protipožiarneho štítu ako **oddeľujúceho prvku**.

Ak je betón vystavený vysokým teplotám ohňa môžu prebehnúť viaceré fyzikálne a chemické zmeny. Tieto zmeny sú ukázané na obrázku 2.1, ktorý tieto zmeny v jeho vlastnostiach vzťahuje k úrovniam teploty v betóne (nie k teplotám plameňov).

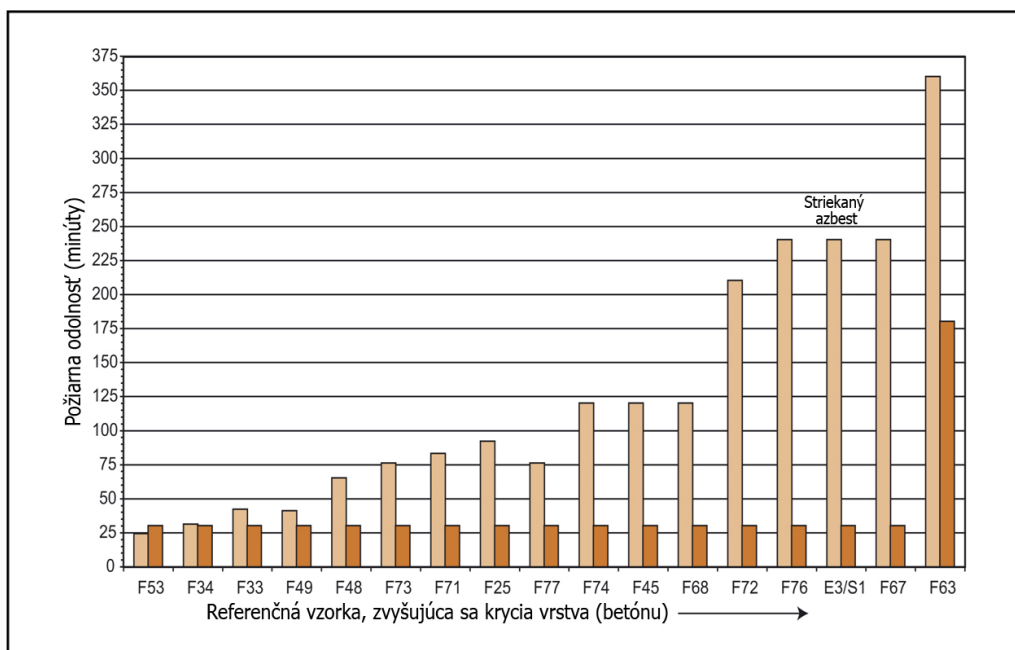
Betón nehorí, netvorí dym alebo neuvolňuje toxické plyny. Poskytuje tiež ochranu voči šíreniu ohňa



Obrázok 2.1: Betón pri požiaru: fyzikálne procesy (Khoury 2000)

Odlupovanie betónu

Odlupovanie betónu je súčasťou normálnej reakcie betónu na vysoké teploty vyskytujúce sa pri požiari. Preto pre bežné budovy a bežné požiare (napr. kancelárskych budov, škôl, nemocníc, obytných budov) návrhové predpisy, akým je napr. Eurokód 2 už zahrňujú účinok odlupovania betónu u týchto aplikácií. Skutočnosť, že na povrchu betónu vzniká odlupovanie je úplne obsiahnutý v návrhových predpisoch, s výnimkou tunelov a požiarov od uhl'ovodíka (ktoré sú diskutované v Kapitole 4 – Ochrana osôb). Napríklad, výskum na pokusných výsledkoch použitých ako základ pre vývoj normy pre navrhovanie betónových konštrukcií vo Veľkej Británii (BS 8110) zistil, že tieto podporované predpokladané obdobia odolnosti voči ohňu boli v mnohých prípadoch konzervatívne (Lennon, 2004). Obrázok 2.2 ukazuje porovnanie medzi vlastnosťami stropnej dosky pri skúškach ohňovzdornosti a ich predpokladanými vlastnosťami podľa BS 8110. Na mnohých skúšaných vzorkách sa vyskytlo odlupovanie ale skutočnosť, že väčšina dosiek prekročila predpokladanú úroveň vlastností je jasným dôkazom, že s odlupovaním sa jednak v návrhových normách počíta a tiež, že toto odlupovanie nemá vážny účinok na odolnosť voči ohňu u bežných požiarov.



Obrázok 2.2: Porovnanie medzi meranou a predpokladanou odolnosťou voči ohňu (oranžová farba), založené na hrúbke krytia (výstuže). (z Lennon, 2004)

Betón poskytuje účinné oddelenie úsekov

Betón chráni pred všetkými škodlivými účinkami ohňa a potvrdil svoju spoľahlivosť a je tak bežne používaný pre zabezpečenie pevného oddelenia úsekov vo veľkých priemyselných budovách a vo viacpodlažných budovách. Rozdelením týchto veľkých budov na oddelenia (požiarne úseky), riziko totálnej straty, v prípade vzniku požiaru je virtuálne odstránené – betónové podlahy a steny znižujú požiarne plochy jednak

horizontálnym smerom (s pomocou stien) a tiež vertikálnym smerom (s pomocou stropov). Betón takto poskytuje možnosť nainštalovať bezpečné oddelenie konštrukcií a to ľahkým a hospodárnym spôsobom; požiar oddelujúce vlastnosti betónu sú prirodzené a nevyžadujú žiadne prídavné materiály brániace šíreniu požiaru alebo jeho zadržiavaniu.



Obrázok 2.3: Prefabrikované steny vytvárajú požiarne úseky tohto skladovacieho zariadenia. (so zvolením BDB, Nemecko)

Betón je ľahšie opraviteľný po požiaroch

Väčšina betónových konštrukcií počas požiaru nie je zničená a tak jednou z veľkých predností betónu je skutočnosť, že tento spravidla môže byť následne ľahko opraviteľný, čím minimalizuje akékoľvek ťažkosti a náklady. Mierne zaťaženie stropov a relatívne nízke teploty zaznamenané počas väčšiny požiarov budov znamenajú, že únosnosť betónu je zväčša zachovaná a to jednak počas ako aj po požiaroch. Z týchto príčin je jediné čo je treba urobiť (po požiaroch), je jednoduché očistenie (betónovej konštrukcie). Rýchlosť opravy a rekonštrukcie je dôležitým činiteľom pri minimalizácii všetkých strát z prerušenia prevádzky spôsobeného veľkým požiarom; zrejme je to viac preferované ako demolácia (budovy) a sanácia.

Prípadová štúdia č.1

Požiar vo výškovej budove vo Frankfurtu v Nemecku (1973)

V noci 22. augusta 1973 vypukol silný požiar na 40. poschodí prvej výškovej budovy vo Frankfurtu. Oheň sa rýchlo šírila do 38. a 41. poschodia, ktoré bolo najvyšším poschodím dvojice výškových blokov tejto 140 metrov vysokej kancelárskej budovy. Všetky zvislé i vodorovné nosné konštrukcie tejto budovy boli zhotovené zo železobetónu, stropné konštrukcie boli vytvorené nosnou konštrukciou vo tvare dvojitého T.

Pretože vodovodné stúpacie potrubia (stupačky) neboli správne spojené, hasenie požiaru mohlo začať až po dvoch hodinách od vypuknutia požiaru. Po troch hodinách sa požiar dostal pod kontrolu. Celkovo bol požiar uhasený za osem hodín (Beese, Kürkchübasche, 1975).

Všetky konštrukčné prvky požiar vydržali hoci boli asi štyri hodiny vystavené plameňom. Na mnohých miestach bol betón odlúpený (odprasknutý) a v niekoľkých prípadoch bola výstuž nielen viditeľná, ale aj plne vystavená (požiaru). Našťastie konštrukcia nezlyhala počas požiaru a následne nebolo potrebné demolovať (zbúrať) celé poschodia, čo by bola hazardná činnosť vo výške viac ako 100 metrov nad zemou. Väčšinu prvkov bolo možné opraviť priamo na mieste, ich znovu použitím, zosilnením výstuže a torkretovaním betónom. Ľahká obnova tejto budovy po požiaru je typickým príkladom vysokej odolnosti betónových konštrukcií (voči požiaru) a spôsobu ako je možné opraviť konštrukciu bezpečným spôsobom.



Obrázok CS1.1: Požiar budovy vo Frankfurtu (so zvolením DBV, Nemecko)



Obrázok CS1.2: Príklad betónových prvkov po požiaru znázorňujúci odlupovanie (odpraskávanie) betónu (so zvolením DBV, Nemecko)



Obrázok CS1.3: Oprava prvkov torkretovaním (za použitia striekaného betónu) (so zvolením DBV, Nemecko)

3. NÁVRH POŽIARNEJ ODOLNOSTI ZA POUŽITIA BETÓNU

Správny návrh a výber materiálov sú rozhodujúce pre zabezpečenie bezpečnosti. Táto kapitola vysvetľuje hlavné zásady návrhu s ohľadom na požiar.

Projektovanie požiaru odolných budov

V minulosti požiadavky na požiarnu odolnosť boli stanovené národnými vládami, ale teraz sú založené na európskych nariadeniach, normách a smerniciach. Existujú štyri základné požiadavky (úlohy), ktoré musia byť splnené pri návrhu budovy z hľadiska požiarnej odolnosti. Betón môže ľahko, hospodárne a s vysokým stupňom spoľahlivosti uspokojiť všetky tieto požiadavky potrebné na dosiahnutie požiarnej odolnosti. Hlavné požiadavky sú zobrazené v obrázku 3.1 a tabuľka 3.1 ukazuje niektoré príklady, ako môžu byť splnené požiadavky pri použití betónových konštrukcií a demonštruje komplexné (všestranné) ochranné funkcie betónových konštrukcií.



Obrázok 3.1:

Konštrukcia by mala:

A - zachovať svoju únosnosť

B - ochraňovať ľudí pred škodlivým dymom a plynami

C - chrániť ľudí pred vysokou teplotou

D - umožniť zásah požiarnikov. (so zvolením „The Concrete Centre, V. Británia)



Obrázok 3.2: Bezpečnosť poskytovaná betónovou konštrukciou – pozri D v predchádzajúcom obrázku 3.1. (*DMB/Fire Press – Revue soldats du feu magazine, Francúzsko*)

Pri návrhu konštrukcie sa musí brať v úvahu päť požiadaviek uvedených v tabuľke 3.1 a toto je základom pre návrhové metódy konštrukčných prvkov s ohľadom na požiaru odolnosť podľa Eurokódov, napr. EN 1992-1-2 (Eurokód 2) Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru.

Tabuľka 3.1: Požiadavky na požiaru odolnosť a ich vzťah k betónu

Úloha	Požiadavka	Použitie betónu
1. Spomaliť šírenie požiaru	Steny, podlahy a stropy by mali byť zhotovené z nehorľavých materiálov	Betón ako materiál je inertný a nehorľavý (trieda A1)
2. Zabezpečiť stabilitu nosných konštrukčných prvkov počas predpísanej doby	Prvky by mali byť z nehorľavého materiálu a mali by mať vysokú požiaru odolnosť	Betón je nehorľavý a vzhľadom na jeho nízku tepelnú vodivosť a pri typickom požiari väčšia časť jeho pevnosti je zachovaná
3. Obmedziť tvorbu a šírenie ohňa a dymu	Požiarne steny a stropy by mali byť nehorľavé a mali mať vysokú požiaru odolnosť	Navyše k vyššie uvedenému, vhodne navrhnuté spoje za použitia betónu, znižujú zraniteľnosť od požiaru a umožňujú plné využitie jeho konštrukčnej kontinuity
4. Napomáhať evakuácii obyvateľov a zabezpečiť bezpečnosť záchranných tímov	Únikové cesty by mali byť zhotovené z nehorľavého materiálu a mať vysokú požiaru odolnosť, aby tak mohli byť bezpečne použité počas dlhšej doby	Betónové jadrá sú extrémne masívne a môžu poskytnúť vysokú úroveň požiarnej odolnosti. Posuvné debnenie alebo spájanie prvkov pomocou spojov sú obzvlášť efektívne metódy výstavby
5. Umožniť zásah záchranných skupín (požiarnikov)	Nosné prvky by mali mať vysokú požiaru odolnosť, aby umožnili účinné hasenie; nemali by vytvárať horiace kvapky	Nosné prvky zachovávajú svoju celistvosť počas dlhej doby a betón nebude vytvárať žiaden roztavený materiál

Nasledujúcim kritériám na ochranu voči požiaru musí byť vyhovené pri každom návrhu podľa Eurokódu 2:

Odpor (R), Oddelovanie (E) a Izolácia (I). Tieto tri kritéria sú vysvetlené v tabuľke 3.2. Písmena návrhu R, E a I sú používané spolu s číslami odkazujúcimi k odporu v minútach, na základe štandardného požiaru podľa ISO. A tak odpor nosnej steny voči ohňu počas 90 minút by mal byť klasifikovaný ako **R 90**; nosná deliaca stena by bola **RE90**; a nosná, deliaca, pred ohňom chrániaca stena by mala byť **REI 90**.

Tabuľka 3.2: Tri hlavné kritéria požiarnej odolnosti prispôbené Eurokódu 2, Časť 1-2

Označenie	Hraničný stav	Kritérium
Résistance (Odpor) (R) <u>Tiež nazývaný:</u> Odpor voči ohňu (požiaru) Únosnosť	Medzná hranica zaťaženia Konštrukcia by mala zachovať svoju únosnosť	Nosný odpor (únosnosť) konštrukcie musí byť zaručený počas stanovenej doby <i>Doba, počas ktorej je zachovaná požiarne únosnosť prvku, ktorá je určená jeho mechanickou pevnosťou pri zaťažení</i>
Etanchéité (Oddeľovanie) (E) <u>Tiež nazývané:</u> Plamene obmedzujúce Separácia Tesnosť	Medzná hranica celistvosti Konštrukcia by mala chrániť ľudí a tovary pred plameňmi, škodlivým dymom a horúcimi plynmi	Nesmie nastať žiadne zlyhanie celistvosti, ktorá zabraňuje prieniku plameňov a horúcich plynov na neexponovanú stranu <i>Doba, počas ktorej okrem požiarnej odolnosti, musí byť zachovaná schopnosť prvku oddeľovať, ktorá je určená tesnosťou jej spojov voči plameňom a plynom</i>
Isolation (Izolácia) (I) <u>Tiež nazývaná:</u> Štít voči ohňu Tienenie vysokých teplôt Oddeľovanie	Medzná hranica izolácie Konštrukcia by mala tieniť ľudí od vysokých teplôt	Nesmie nastať zlyhanie izolácie, ktorá obmedzuje nárast teplôt na neexponovanej strane <i>Doba, počas ktorej navyše okrem požiarnej odolnosti a separácie ohňa, je zachovaná tieniaca spôsobilosť prvku, ktorá je určená dovoleným nárastom teploty na neexponovanej strane</i>
Každý tento vyššie uvedený hraničný stav je vyjadrený v minútach v nasledovných intervaloch: 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360.		

Poznámka: Všimnite si, že písmena R, E, I sú odvodené od francúzskych termínov; zachovávajú sa ako také aj v Eurokóde ako uznanie faktu, že boli po prvýkrát zavedené vo Francúzsku.

Prípadová štúdia č.2

Požiarne skúšky vykonané na betónovom skelete budovy v skutočnej veľkosti

Vlastnosti betónu, s ohľadom na kritéria hodnôt R, E a I, boli podrobené skúške požiarnej odolnosti vykonanej na betónovej skúšobnej budove zhotovenej v skutočnej veľkosti, t.j. konštrukcia bola vyhotovená v mierke 1:1 (pozri obrázok CS2.1) nezávislou organizáciou Building Research Establishment (BRE) – (Stavebné výskumné zariadenie) v Cardingtone v Anglicku, v roku 2001 (Chana and Price, 2003). Výsledky experimentu boli organizáciou BRE zhrnuté nasledovne:

„Skúšky demonštrovali vynikajúce vlastnosti (chovanie sa) budovy navrhnuť na hraničné hodnoty podľa Eurokódu 2. Budova splnila kritéria vlastností únosnosť, izolačná schopnosť a celistvosť, ak bola vystavená prirodzenému požiaru a zaťaženiam. Podlahy (stropy) znášali zaťaženia, bez vykonania nejakej opravy po požiari“.



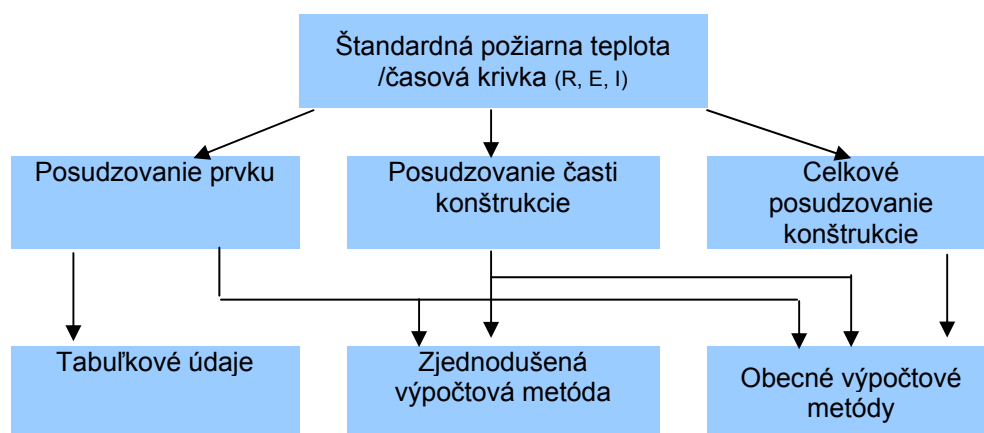
Obrázok CS2.1: Skúška požiarnej odolnosti na betónovom skelete v organizácii BRE (s dovolením Building Research Establishment, V. Británia)

Používanie Eurokódu 2

Eurokód 2, časť 1-2, Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru obsahuje návrh požiarnej odolnosti pri použití betónových konštrukcií, vrátane zahrnutia náhodného vystavenia požiaru, záležitosti pasívnej ochrany voči požiaru a obecnú požiarnu bezpečnosť, tak ako je to kategorizované kritériami pre R, E, I, ktoré boli predtým vysvetlené.

Ako je ukázané na obrázku 3.3, Eurokód 2 umožňuje inžinierom dimenzovať konštrukciu a overiť jej požiarnu odolnosť použitím jednej z troch metód:

1. Stanovenie minimálnych prierezových oboch hodnôt: rozmerov a krycej betónovej vrstvy **z tabuliek**
2. Dimenzovanie prierezu prvku **zjednodušenou metódou** na určenie zostávajúceho, nepoškodeného prierezu, ako funkcie ISO teplotnej krivky
3. Dimenzovanie **obecným spôsobom výpočtu** ako funkcie tepelného namáhania a chovania sa prvku pri jeho vystavení zvyšovaniu teplôt.



Obrázok 3.3: Postup návrhu požiarnej odolnosti konštrukcií

Navyše k všeobecným bodom (klauzulám) pre návrh požiarnej odolnosti, ktoré sú použiteľné po celej Európe, členské štáty Európskej únie majú voľnosť pre stanovenie vlastných hodnôt niektorých dôležitých parametrov (ukazovateľov) alebo postupov vo svojich dokumentoch - národných prílohách k európskej norme (NAD). Dôležité je, aby projektanti konzultovali tieto NAD a tak si zabezpečili, že používajú správny prístup danej krajiny, v ktorej pracujú alebo pre ktorú pripravujú návrh. Doporučené dokumenty akým je Naryanan a Goodchild (2006), ktoré sa zameriavajú na navrhovanie vo Veľkej Británii, budú pôsobiť ako užitočné referenčné práce pre projektantov, ktorí si želajú aktualizovať alebo zlepšiť svoje porozumenie Eurokódu 2. Užitočný je tiež „Komplexný sprievodca pre navrhovanie požiarnej odolnosti pri použití betónu od Denoel/Febelcem“ (2006), ktorý zahŕňa veľký rozsah rôznych návrhových metód, ktoré sú uvedené v Eurokódoch.

4. OCHRANA ĽUDÍ

Oheň veľmi často ohrozuje ľudský život. Tento fakt je ťahúňom zlepšení v požiarnej bezpečnosti a núti nás navrhovať budovy, ktoré sú schopné ochraňovať ľudí a ich majetky proti rizikám spôsobeným ohňom. Betónové konštrukcie a budovy poskytujú osobnú ochranu voči ohňu, chrániac pri tom oboje: život aj zdravie, v súlade s európskou legislatívou pre protipožiaru bezpečnosť. Kapitola 2 tejto publikácie vysvetľuje ako sa betón chová počas požiaru a ako jeho materiálové vlastnosti účinne fungujú v oblasti požiarnej odolnosti.

Ochrana života sa spolieha na robustnosť (masívnosť) betónu (ktorá je mu vlastná), jeho nehorľavosť a teplo tlmiace vlastností, aby sa tak zabezpečilo, že budovy zostanú počas požiaru stabilné. Toto umožní ľuďom prežiť a uniknúť, toto umožní požiarnikom pracovať bezpečne a čo viac, toto zníži dopad na životné prostredie spôsobené produktmi horenia – táto kapitola to vysvetľuje akým spôsobom.

Betónové konštrukcie počas požiaru zostanú stabilné

Pri návrhu požiarnej bezpečnosti funkcie konštrukčných prvkov môžu byť označené ako nosné, oddeľujúce a/alebo oheň tmiace (R, E, I) a sú spravidla udané v číselnej hodnote (v minútach - od 15 do 360 minút), čo je doba trvania počas ktorej sa očakáva, že prvok plní tieto funkcie (na vysvetlenie pozri kapitolu 3). V prípade požiaru, konštrukcia musí plniť (požiadavky) najmenej na úrovni požadovanej legislatívou a navyše, udržiavať stabilitu konštrukcie tak dlho ako je to možné a zrejme aj žiaduce pre prežitie, únik (obyvateľov) a hasenie požiaru. Toto je zvlášť dôležité vo väčších komplexoch (budov) a mnohopodlažných budovách. Konštrukčné skelety zhotovené z betónu sú navrhnuté tak, aby splnili túto požiadavku na celkovú stabilitu v prípade požiaru a v mnohých prípadoch (tieto konštrukcie) presiahnu očakávania. Nehorľavosť a nízka úroveň vzostupu teplôt betónu znamenajú, že betón nebude horieť a jeho pevnosť nebude významne ovplyvnená v prípade typického požiaru budovy. Navyše vrodená odolnosť betónu voči ohňu pôsobí ako dlhodobá, pasívna ochrana – betón je jediným stavebným materiálom, ktorý sa nemusí spoliehať pre zaistenie protipožiarnych vlastností na aktívne opatrenia na hasenie (požiaru), akými sú rozstrekovače.

Ochrana poskytovaná betónom je jasne preukázaná chovaním budovy „Windsor Tower“ („veže Windsor“) v Madride počas katastrofálneho požiaru vo februári 2005.

Betónové stĺpy a monolitické jadra ochránili budovu pred kolapsom a silné betónové priečne nosníky na 16.poschodí zadržovali oheň nad úrovňou tohto poschodia počas siedmych hodín, ako je možné vidieť v prípadovej štúdii č.3.

Prípadová štúdia č. 3

„Veža Windsor“ v Madride, v Španielsku (2005)

Tento požiar za 122 miliónov EUR, ktorý vznikol počas renovácie tejto najväčšej mnoho poschodovej kancelárskej budovy v Madridskom finančnom okrsku (centre) poskytuje výborný príklad ako sa chovajú tradičné betónové skelety počas požiaru. „Veža Windsor“ vybudovaná medzi rokmi 1974 – 1978 pozostáva z 29 kancelárskych podlaží, 5 podzemných úrovní a dvoch „technických podlaží“ nad 3. a 16.podlažím. V čase jej projektovania v španielskej stavebnej norme (nariadení) neboli požadované kropiace zariadenia - rozstrekovače („sprinklery“), ale toto bolo v súlade s neskorším znením noriem (nariadení) pozmenené a preto veža bola renovovaná, aby sa dala do súladu so v súčasnosti platnými normami (nariadeniami). Rozsah prác zahrňoval skúšku požiarnej odolnosti oceľových obvodových stĺpov, pridanie novej fasády a nových vonkajších únikových schodíšť, modernizáciu poplachového a detekčného zariadenia a pridanie ďalších dvoch podlaží. V dobe požiaru zaberala medzinárodná účtovnícka spoločnosť 20 podlaží budovy a dve podlažia boli odovzdané španielskej právnickej firme. Tvar budovy bol prevažne pravouhlý, o rozmeroch 40 m x 26 m - od tretieho podlažia smerom nahor. Konštrukčný skelet využíval v stredovom monolitickom jadre, v stĺpoch a v doskových stropoch, vo väčšine betónových obvodových stĺpov tvoriacich fasádu betón bežnej pevnosti, ale najdôležitejšou charakteristikou veže boli dve betónové „technické podlažia“. Tieto dve „technické“ alebo „zosilnené“ podlažia, každé s ôsmymi obzvlášť vysokými betónovými nosníkmi (merajúcimi 3,75 m po výške; a navyše k tomu ešte výška podlahy stropu), boli navrhnuté tak, aby pôsobili ako masívne priečne nosníky, zabraňujúce postupnému kolapsu, spôsobenému konštrukčnými prvkami padajúcimi zhora.

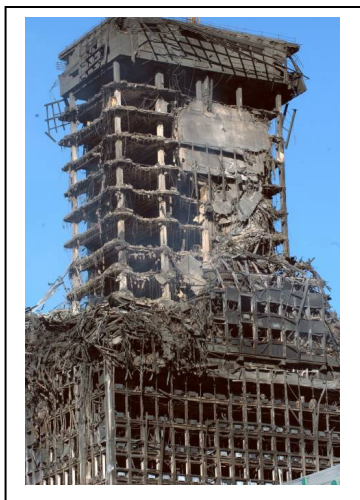
Požiar vypukol neskoro v noci, temer dva roky po začiatku renovácie; budova bola v tom čase neobývaná. Začal na 21.poschodí a rýchlo sa šírilo; oheň sa šírilo smerom nahor cez otvory urobené počas renovácie a cez fasádu (medzi obvodovými stĺpmi a oceľovou/sklenenou fasádou) a smerom nadol cez horiace úlomky fasády, ktoré sa dostávali dovnútra cez nižšie položené okná. Výška, rozsah a intenzita plameňov znamenala, že požiarnici mohli sa len pokúsiť ich zadržiavať a chrániť susediace nehnuteľnosti, a tak oheň „vystrájal“ počas 26 hodín, rozširiac sa temer všetky podlažia (pozri obrázok CS3.2).

Keď bol oheň konečne uhasený, budova bola kompletne vyhorená nad 5.podlažím, väčšina fasády bola zničená a bola obava, že by sa budova mohla zrútiť. Avšak počas požiaru a až do úplného zničenia konštrukcia zostala stáť; len fasáda a podlažia nad horným betónovým „technickým“ podlažím sa zrútili. Pasívny odpor betónových stĺpov a betónové jadro zabránili úplnému zrúteniu, ale úloha dvoch „technických podlaží“ bola kritickou, zvlášť tohto nad 16.podlažím, ktoré bolo vystavené požiaru viac ako sedem hodín. Len po hlavnom kolapse (zrútení podlaží nad horným „technickým podlažím“) nastala situácia, že padajúce trosky spôsobili, že oheň sa začal šíriť do podlaží pod týmto horným „technickým podlažím“. Tieto horeli,

ale opäť - poškodenie bolo obmedzené len na podlažia nad dolným „technickým podlažím“ (ktoré tvorilo 3.podlažie budovy).

Toto je závažný dôkaz, že silné betónové stropy rozložené v pravidelných intervaloch môžu minimalizovať riziko zrútenia budovy a zabrániť šíreniu požiaru. Vypracovaná bola súdno-znalecká správa o chovaní sa budovy „Windsor“ počas požiaru, ktorú vypracovali španielski výskumní pracovníci z „Instituto Técnico de Materials y Construcciones (Intemac)“. Toto nezávislé vyšetrenie sa zameralo na odolnosť voči ohňu a zostatkovú únosnosť konštrukcie po požiari (Intemac, 2005). Medzi zisteniami správy výskumného ústavu „Intemac“ je uvedené nasledovné:

„ Betónová konštrukcia budovy „Windsor“ sa chovala mimoriadne dobre počas mohutného požiaru a jasne oveľa lepšie, ako by sa bolo očakávalo, ak by bola striktnie uplatnená existujúca legislatíva pre betónové konštrukcie. Potreba náležitých skúšok požiarnej odolnosti oceľových prvkov, aby sa tak zaručilo ich chovanie v prípade požiaru, bola znovu potvrdená. Za predpokladu, žeby boli vlastnosti týchto prvkov na poschodiach odskúšané na požiaru odolnosť, je vysoko pravdepodobné, hoci sa to nemôže tvrdiť s absolútnou istotou, že keď oheň vypukol a ak by bola konštrukcia horných podlaží odolná voči požiaru, nebola by sa zrútila a nehoda by veľmi pravdepodobne spôsobila [mala] podstatne menšie poškodenia“.



Obrázok CS3.1 – vpravo

Oheň „vystrájal“ vo veži Windsor, Madrid. (so zvoľením IECA, Španielsko)

Obrázok CS3.2 – vľavo

Fasáda nad „technickým podlažím“ na 16.poschodí bola úplne zničená. (so zvoľením IECA, Španielsko)



Obrázok CS3.3

Plán ukazujúci pozíciu „technického podlažia. (so zvolením OTEP and CONSTRUCCIONES ORTIZ, Španielsko)

Španielske výskumné centrum „Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc) v spolupráci so „Španielskym ústavom cementu a jeho aplikácií“ (IECA), skúmali železobetónové konštrukčné prvky veže „Windsor“. Výskum zahrňoval mikroštruktúrálnu štúdiu týchto prvkov za použitia termickej analýzy a elektronického mikroskopu. Bolo zistené, že teplota, ktorá sa dosiahla vo vnútri betónu bola 500°C vo vzdialenosti 5 cm od povrchu betónu vystavenému ohňu. Tento výsledok potvrdil mohutnosť ohňa vo veži „Windsor“ a dobre vlastnosti krycej vrstvy betónu, pri porovnaní s projekčnými (návrhovými) normami pre požiarnu bezpečnosť betónových konštrukcií.

Betón umožňuje bezpečný únik (osadenstva) a bezpečné hasenie (požiaru)

Skutočnosť, že betónové konštrukcie zostanú stabilnými je obzvlášť dôležitá pre bezpečnú evakuáciu osadenstva budovy a pre činnosti pri hasení požiaru. Betónové šachty (jadrá), podlahy, stropy a steny bránia šíreniu požiaru a pôsobia ako robustné (masívne) deliace prvky a tým poskytujú bezpečné spôsoby úniku (osadenstva budovy) a umožňujú prístup záchranným tímom. Betónové únikové cesty majú stupeň robustnosti (masívnosti) a celistvosti, ktoré sa nedajú vidieť u iných stavebných materiálov, či už sú tieto použité v obytných budovách alebo v takých (ľuďmi) prepchatých miestach, akými sú nákupné centrá, divadlá a kancelárske veže. Použitie betónu znamená tiež, že sa nevytvárajú žiadne kompromisy s bezpečnosťou požiarnikov. Nosné a priestorovo uzavreté časti budov zhotovené z betónu ponúkajú účinnú ochranu požiarnikom, dokonca aj vo vnútri horiacej budovy. Len za týchto podmienok sa so zníženým rizikom môžu vykonávať tieto činnosti. Odporúčania vydané následne po zrútení „World Trade Centre“ („Svetového obchodného centra“) organizáciou „National Institute of Standards and Technology“ – Národný ústav pre normy a technológiu“ (NIST) sú veľmi závažné – pozri prípadovú štúdiu č.4.

Na opačnom konci spektra výškových budov (veží) sú tunely, a tu hrá betón tiež životne dôležitú rolu v záchrane životov – pozri prípadovú štúdiu č.5.

Prípadová štúdia č.4

Budovy „Svetového obchodného centra“, New York (2001)

Správa z prešetrovania, spracovaná organizáciou „National Institute of Standards and Technology“ – Národný ústav pre normy a technológiu“ (NIST) následne po katastrofe „Svetového obchodného centra“ v New Yorku, v septembri 2001 je bez pochyb jednou z najdôležitejších a najvplyvnejších správ, aká kedy bola napísaná o bezpečnosti budov (pre ďalšie informácie pozri – <http://wtc.nist.gov/>). Konečný súbor správ, obsahujúcich 10 000 strán, bol publikovaný v roku 2006, následne po trojročnom prešetrovaní požiaru budovy a požiarnej bezpečnosti budovy, toho čo bolo popísané ako najhoršia katastrofa budovy v histórii, pri ktorej bolo zabitých viacej ako 2800 ľudí. Väčšina týchto ľudí bola živá v čase, keď sa tieto dva budovy zrútili. NIST skúmala faktory, ktoré viedli k pravdepodobným príčinám kolapsu dvoch oceľových nosných konštrukcií kancelárskych veží a (NIST) bol schopný urobiť okolo 30 odporúčaní pre predpisy, normy a pre praktiky v oblasti konštrukčného návrhu a bezpečnosti ochrany životov. Medzi mnohými svojimi odporučeniami správa organizácie NIST vyzýva na:

- **Zvýšenú konštrukčnú integritu (prepojenosť)**; vrátane prevencie postupného zrútenia sa (konštrukcie) a prijatie celoštátne akceptovaných skúšobných noriem.
- **Zvýšenú požiaru odolnosť konštrukcií**; potreba prístupu počas určitej doby a doby na evakuáciu, vyhorenie bez čiastočného zrútenia, určité prekročenie požiadaviek (rezerva) v systémoch ochrany voči ohňu, oddeľovanie (priestorov) a schopnosť (konštrukcie) vydržať bez zrútenia pri maximálne možnom najhoršom scenári požiaru.
- **Nové metódy pre návrh požiarnej odolnosti konštrukcií**; vrátane požiadavky, že pri prepuknutí nekontrolovaného požiaru v budove nedôjde k jej čiastočnému alebo úplnému zrúteniu.
- **Zlepšenú evakuáciu osôb z budovy**; zachovať neporušiteľnosť a prežiteľnosť.
- **Zlepšenú aktívnu ochranu voči ohňu**; poplašné zariadenie, komunikácia, (požiar) tlmiace systémy.
- **Zlepšené technológie a postupy reagujúce na vznik nebezpečia.**
- **Sprísnenie nariadení o kropiacich zariadeniach (rozstrekovačoch) a únikových cestách v existujúcich budovách.**

Dr. Shyam Sunder, ktorý viedol šetrenie v mene NIST bral v úvahu výnimočné okolnosti, ktoré nakoniec viedli k zrúteniu veží, ale vysvetlil, že tím z organizácie NIST bol schopný dať rad najvyšších priorít, reálnych, primeraných, dosiahnuteľných a na potrebné vlastnosti orientovaných doporučení, ako výsledku analýz a vykonaných skúšok. Betón je schopný ľahko splniť tieto požiadavky.

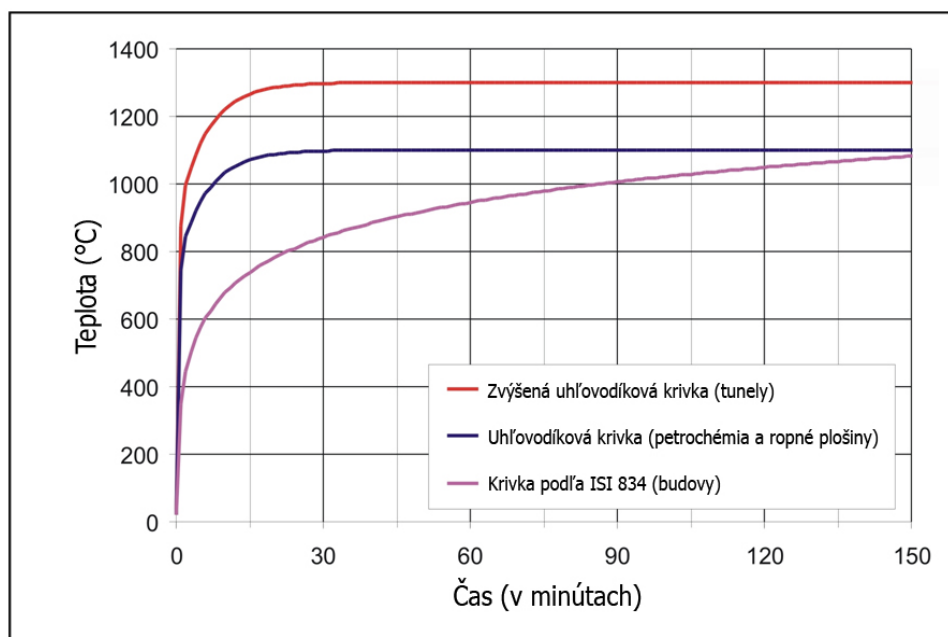
Navyše správa „American Society of Civil Engineers“ – „Americkéj asociácie stavebných inžinierov“ (ASCE) o vlastnostiach (chovaní sa) budovy Pentagonu, ako reakcie na náraz lietadla (na ktorú bolo zaútočené v rovnakom čase) vo svojich záveroch uvádza, že železobetónové konštrukcie mali veľký vplyv pri zabránení

d'alších škôd na budove (ASCE, 2003). Správa uvádza, že „vzájomná previazanosť (kontinuita), určitá rezerva a odrazová pružnosť v konštrukcií prispieva k vlastnostiam budovy“ a odporúča, aby takéto charakteristiky boli zahrnuté do budov v budúcnosti, zvlášť tam, kde sa riziko postupného zrútenia pokladá za dôležité.

Prípadová štúdia č.5

Zlepšenie požiarnej bezpečnosti v cestných tuneloch

V Európe slúži viac ako 15 000 kilometrov cestných a železničných tunelov; tieto sú súčasťou našej dopravnej infraštruktúry a sú zvlášť dôležité v hornatých regiónoch, ale čoraz viac aj vo veľkých mestách, kde tunely môžu odstrániť dopravné zápchy a uvoľniť mestské územia. Problémom je skutočnosť, že dopravné nehody, ktorých účastníkmi bývajú aj automobily môžu spôsobiť výnimočne kruté požiare; požiare v tuneloch majú tendenciu dosahovať vysoké teploty vzhľadom na horiace palivo a automobily, správy hovoria až o teplote 1350°C, ale bežnejšie okolo 1000 – 1200°C. Najvyššie teploty sú v tuneloch dosiahnuté oveľa rýchlejšie v porovnaní s požiarimi v budovách, hlavne kvôli prítomnosti uhľovodíkov v benzínovom a naftovom palive, ale tiež kvôli uzavretým priestorom (pozri obrázok CS6.1).



Obrázok CS5.1: Požiare v tuneloch horia za vysokých teplôt (so zvolením J-F-Denoël/FEBELCEM, Belgicko)

Mníchovská „Reinsurance Group“ (2003) – „Zaisťovacia poisťovňa“ uvádza, že vznik ohňa je 20-krát pravdepodobnejší v cestnom tuneli, ako v železničnom tuneli a tieto mohutné požiare majú často fatálne následky; ak je človek vystavený dymu, predpovedaná doba jeho života bola odhadnutá na menej ako 2 minúty, pretože

plyny vytvárané počas požiaru môžu byť veľmi jedovaté. Okrem toho požiare v dlhých tuneloch na odľahlých miestach môžu horieť počas dlhej doby: tunel Mont Blanc v roku 1999 horel neuveriteľných 53 hodín. A naozaj, veľké nešťastia, akými sú tie v tuneli kanálu La Manche (1996), tuneloch Mont Blanc (1999) a Svätý Gotthard (2001) popísali zničujúce následky požiarov v tuneloch a zvýraznili nedostatky použitých stavebných materiálov a konštrukčných riešení. Výsledkom čoho bolo, že riadiace orgány sa zamerali na zlepšenie podmienok pre evakuáciu a záchranu ľudí zasiahnutých počas nehôd v cestných tuneloch a projektanti sa teraz zameriavajú na bezpečnosť, robustnosť (menšiu citlivosť na požiar) a udržanie stability (konštrukcie).

Nikto však nevenoval dostatočnú pozornosť stavebnému materiálu a jeho vplyvu na požiarne zaťaženie; a tak je potrebné použiť exaktnejší prístup k navrhovaniu tunelov a ich konštrukcie, berúc pri tom v úvahu riešenia za použitia betónu (CEMBUREAU, 2004). V prípade vzniku požiaru v cestných tuneloch, taká nehorľavá a netoxická betónová vozovka prispieva k bezpečnosti jednak posádok vozidiel ako aj záchranných tímov. Betón spĺňa obe tieto kritéria, pretože je nehorľavý (nehorí), nezvyšuje požiarne zaťaženie, nemäkne (a tak nebráni činnosti požiarnikov), nedeformuje sa a neodkvapkáva, nevylučuje škodlivé plyny, bez ohľadu na to, ako je požiar mohutný (zničujúci). Betón môže byť použitý ako tunelové ostenie buď ako jediný materiál alebo v kombinácii s tepelnou izoláciou, ale môže byť použitý aj na zhotovenie betónovej vozovky. Toto je obzvlášť užitočné, pretože môže nahradiť asfalt. V porovnaní s asfaltom betón znamená:

- **Zlepšenú bezpečnosť:** betón nehorí a nevytvára škodlivé plyny (asfalt sa zapáľuje pri teplote okolo 400 až 500°C a v priebehu niekoľkých minút emituje dusivé, karcinogénne výpary, dym, sadze a znečisťujúce látky). Pri požiari v tuneli Mont Blanc, 1200 metrov asfaltovej vozovky horelo s ničivým účinkom zrovnateľným so situáciou, ako keby bolo pri požiari prítomných ďalších 85 áut (CEMBUREAU, 2004).
- **Lepšiu trvanlivosť** vozovky, zariadení a konštrukcie: betón pri zohriatí nemení svoj tvar, zatiaľ čo asfalt sa zapáli, stráca svoj fyzický tvar a prekáža pri evakuácii osôb a záchranných činnostiach.
- **Predĺžené intervaly na údržbu** v porovnaní s asfaltovou vozovkou.
- **Lepšie osvetlenie;** betón je svetlejšej farby a preto je jasnejší, napomáhajúci viditeľnosti a to jednak pri bežnej prevádzke, ako aj v prípade nebezpečných situácií.
- **Zvýšenú robustnosť** (menšiu citlivosť na negatívne vplyvy) betónovej vozovky znižujúcu počet uzatvorení (uzávierok) tunela a opráv vozovky. Uzávierky tunela, so súvisiacimi obchádzkami spôsobujú znečistenie životného prostredia a opravy na cestách (pri neprerušenej prevádzke) vystavujú riziku (pri oprave cesty) pracujúcich robotníkov.

Mnichovská zaisťovacia poisťovňa v obsiahlom sprievodcovi na zníženie rizík v tuneloch (na strane 20) uvádza, že pri dopravných trasách sa musia brať v úvahu nehorľavé materiály (napr. betón namiesto asfaltu). Niektoré riadiace orgány si tiež uvedomili, akú úlohu môže betón hrať pri požiarnej bezpečnosti v tuneloch. Od roku 2001 vydané nariadenie v Rakúsku vyžaduje, aby všetky nové tunely dlhšie ako jeden kilometer používali betónovú vozovku. Slovensko tiež použilo betónové vozovky vo všetkých nových tuneloch a použitie betónu sa odporúča aj pre nové tunely v Španielsku (CEMBUREAU, 2004).



© photo-daylight.com, Copyright free for all publications edited by CEMBUREAU/BIBM/ERMCO Members including web sites
Kinkempols Tunnel (link E25-E40) in Liege, Belgium, using concrete pavement

Obrázok CS5.2: Povrch betónovej vozovky vydrží extrémne teploty, ktorým sa čelí pri požiaroch v tuneloch.
Kinkempols tunel (súčasť E25-E40) v Liege, v Belgicku, využívajúci betónovú vozovku.

Tu treba pripomenúť, že požiare v tuneloch pravdepodobne predstavujú jedny z najkrutejších požiarov s akými sa stretávame. Pri tak vysokých teplotách je treba očakávať určité odlupovanie (odpraskávanie) betónu (pozri kapitolu 2). Veľa výskumného úsilia bolo venované vývoju takých materiálov pre ostenia tunelov, ktoré by minimalizovali účinok odlupovania (odpraskania) povrchu betónov, keď sú vystavené mohutným (zničujúcim) požiarom (napr. Khoury, 2000). Existujú jasné dôkazy, že pridanie monofil polyprénových vlákien do betónovej zmesi je efektívnym riešením a spôsobuje, že betón v prípade požiaru „dýcha“ čo spôsobuje, že sa menej odlupuje (odpraskáva).

Betón zabraňuje znečisteniu životného prostredia

V prípade vzniku požiaru samotný betón nevytvára dym ani otravné plyny a môže napomáhať bráneniu šírenia požiaru škodiaceho životnému prostrediu a šíreniu jeho dymu. Používanie priestorov oddelovaných betónovými prvkami (požiarnych úsekov) a betónových deliacich stien znamená, že len obmedzené množstvo tovarov môže zhorieť, čo znižuje množstvo splodín vzniknutých pri požari, akými sú dym, výpary, otravné plyny a škodlivé zvyšky. V prípade požiaru betónové nádrže alebo nádoby môžu pôsobiť ako ochranná prekážka proti rozliatiu životnému prostrediu škodiacich tekutín alebo vody určenej na hasenie, ktorá sa znečistila. Počas požiaru, betón neukladá (nezadržuje) sadze, ktoré sa ťažko a nebezpečne odstraňujú (po požari).

Požiarne bezpečnosť v obytných budovách

Európske požiadavky pre požiarne bezpečnosť diskutované v kapitole 1 zahrňujú bezpečnosť života, zvlášť sa pri tom spomínajú obytné budovy, pretože tam sú riziká tak významné – domy a bytové budovy môžu byť husto obývané, môžu mať vysoké požiarne zaťaženie od nábytku a zariadenia a nesmieme sa pritom zabudnúť na spiacich ľudí, ktorí sú veľkým rizikom (po ich prebudení). Všetky tieto faktory znamenajú, že obytné zariadenia si zasluhujú osobitnú pozornosť pri návrhu požiarnej bezpečnosti. Zrútenie konštrukcie následkom požiaru nie je tou skutočnosťou, ktorá je zodpovedná za väčšinu úmrtí pri požiaroch obytných budov –

je to vdychovanie dymu alebo plynov z horiacich materiálov s následkom neschopnosti obyvateľov uniknúť z budovy (Neck, 2002).

V Európe boli vytvorené dve dôležité správy, ktoré demonštrujú zlepšenie požiarnej odolnosti pri použití betónových konštrukcií.

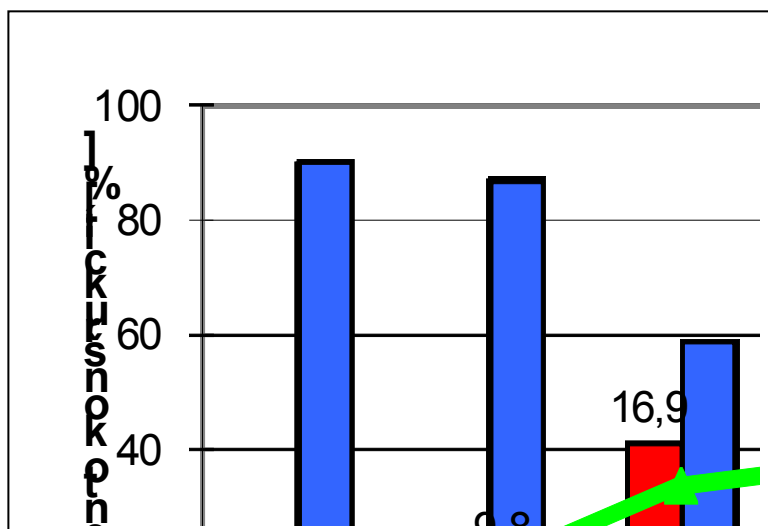
1. Porovnanie požiarnej odolnosti drevených a betónových obytných budov

Pri porovnaní požiarnej bezpečnosti betónovej a drevenej nosnej konštrukcie profesor Ulrich Schneider z Viedenskej technickej univerzity identifikoval sedem špecifických rizík vznikajúcich z použitia zápalného konštrukčného materiálu (akým je drevo) v nosnej stavebnej konštrukcii a obvodových stenách (Schneider a Oswald, 2005); tieto sú uvedené v zozname 1.

Zoznam 1: Riziká použitia horľavého konštrukčného materiálu

1. Zvýšenie požiarneho zaťaženia.
2. Nárast dymových produktov a produktov tepelného rozkladu.
3. Vyššie množstvá kyslíčniku uhoľnatého.
4. Zapálenie ohňa v konštrukčných prvkoch.
5. Zapálenie ohňa vo vnútri dutín konštrukcie.
6. Nebezpečenstvo tlejúcich splodín ohňa a nepozorovateľných rozpálených miest (ložiská pahrieb).
7. Zvýšený výskyt vzbĺknutí.

Prof. Schneider pokračoval skúmaním požiarnej štatistiky z rôznych krajín a stanovil jasné prepojenie medzi počtom obetí požiarov a druhom konštrukčného materiálu použitého na zhotovenie budov, tak ako je ukázané v obrázku 4.1. Jeho podrobná štúdia typických detailov drevenej konštrukcie ukazuje, že zlyhanie spôsobené ohňom sa môže objaviť podpálením a zrušením sa konštrukčných alebo nekonštrukčných prvkov cez kovové spojovacie prvky drevenej konštrukcie, ktoré zoslabnú pri vystavení ohňu a stratia svoju únosnosť. Prof. Schneider tiež zistil, že šírenie ohňa medzi susednými miestnosťami a/alebo bytmi bolo významne zrýchlené v budovách, kde drevený materiál alebo drevená nenosná konštrukcia boli použité ako súčasť vonkajšej steny. Záverom prof. Schneider popisuje drevenú nosnú konštrukciu, ako konštrukciu „majúcu množstvo slabých miest, čo sa týka požiarnej bezpečnosti“ a odporúča aby: *Drevené nosné konštrukcie môžu byť v princípe urobené bezpečnejšími len buď použitím automatického hasiaceho systému alebo použitím nezápalných stavebných materiálov pre zhotovenie obkladov chrániacich pred ohňom všetky zápalné povrchy, ako je to uvedené v novej vzorovej smernici pre drevené nosné konštrukcie* (Schneider a Oswald, 2005).



Obrázok 4.1: Porovnanie úmrtí spôsobených požiarmi podľa druhu použitého konštrukčného materiálu v piatich veľkých krajinách (za roky 1994 – 1996) (Tuw, Viedeň, Schneider a Oswald, 2005).

2. Nezávislé posúdenie škôd spôsobených požiarom

Vo Švédsku pán Olle Lundberg vykonal nezávislý prieskum ceny poškodení spôsobených požiarom vo vzťahu k použitému stavebnému materiálu, z ktorého bol dom zhotovený. Prieskum bol založený na štatistikách z asociácie poisťovní vo Švédsku (*Forsakringsforbundet*). Štúdia bola obmedzená na veľké požiare vo viacbytových budovách, v ktorých hodnota poistenej konštrukcie presiahla 150 000€; zahŕňovala 125 požiarov, ktoré vznikli medzi rokom 1995 a 2004. (Toto predstavovalo 10% požiarov vo viacbytových budovách, ale až 56% veľkých požiarov). Výsledky ukazujú, že:

- Priemerná náhrada vyplatená poisťovňou za jeden požiar a jeden byt v drevenom dome je približne päťkrát vyššia, ako náhrada v betónovom/murovanom dome (približne 50 000€ v porovnaní s 10 000€).
- Veľký požiar vznikne až 11-krát pravdepodobnejšie v drevenom dome, ako v dome zhotovenom z betónu/muriva.
- U vyhoretých domov, až 50% z drevených domov muselo byť zbúraných v porovnaní s len 9% domov z betónu.
- Len v troch z 55 prípadov výskytu požiaru v betónových domoch sa oheň rozšíril do susedných bytov.
- Z 55 požiarov (domov z betónu/muriva), 45 požiarov boli požiare podkrovia alebo striech; typickým príkladom je vznik požiaru v hornom byte, ktorý sa rozšíril do podkrovia a na strechu (z dreva).

Táto výskumná štúdia poskytla dôležitý dôkaz rizík spojených s drevenou nosnou konštrukciou a upozornila na potrebu uvažovania so všetkými prínosmi betónových a murovaných konštrukcií. Ako už bolo predtým diskutované, kombinácia

nehorľavosti betónu a jeho vysoko účinných ochranných vlastností (brániacich šíreniu ohňa) robia ho materiálom prvej voľby pre bezpečné obytné budovy.

Prípadová štúdia č.6

Požiar na stavenisku drevených konštrukcií, Colindale, Londýn (2006)

Počas výstavby nového, veľkého obytného komplexu budov v severnom Londýne vypukol požiar a zapálil viaceré 6-podlažné obytné bloky s drevenou nosnou konštrukciou (pozri Obrázok CS6.1 až CS6.3). Požiar horel päť hodín; bolo potrebných 100 požiarnikov a 20 požiarnych motorových striekačiek, aby sa požiar dostal pod kontrolu. Očití svedkovia opisovali, že jednotlivé bloky boli zničené behom pár minút. Krátko po požiari neďaleká kontrolná stanica kvality ovzdušia zaznamenala významný nárast výskytu otravných častíc PM10, ktoré môžu spôsobiť vážne zdravotné následky ľuďom s dýchacími ťažkosťami. Okolo 2500 ľudí z okolia požiaru bolo evakuovaných, hlavná cesta bola uzavretá počas dvoch hodín a miestna hala strednej školy bola tak poškodená, že študenti sa do nej nemohli vrátiť. Našťastie sídlisko nebolo ešte obývané novými obyvateľmi a stredná škola bola počas prázdnin zväčša prázdna. Napriek tomu porušenie bolo významné. Inšpektor miestnej stavebnej inšpekcie vyjadril obavu poznamenajúc, že „ak máte stropy navrhnuté z betónu a vznikne požiar, potom ma požiar tendenciu oddeľovať sa podľa miestností (bytov). Ak máte stropy z dreva, požiar má tendenciu „prehorieť“ cez konštrukciu“ (časopis „Building Design“ – „Navrhovanie stavieb“, z 21.7.06, strana č.1). V dobe písania tohto článku, musel byť najmenej jeden obytný blok prestavaný – tento krát za použitia betónu.



Obrázok CS6.1: Požiar v Colindale „zúril“ počas piatich hodín v čiastočne dostavaných obytných blokoch s nosnými drevenými konštrukciami a bolo potrebných 100 požiarnikov a 20 požiarnych motorových striekačiek, aby sa požiar dostal pod kontrolu (so zvolením John-Macdonald-Fulton, V.Británia)

Betón zabraňuje šíreniu ohňa po zemetrasení

Uvažovanie seizmických vplyvov pri návrhu (konštrukcie), ktoré sa používa v niektorých krajinách vyžaduje od projektantov, aby dávali pozor na špecifický problém výskytu požiarov po zemetrasení. Toto bolo dané do pozornosti v takých krajinách, akou je aj Nový Zéland, kde sa zistilo, že betónové konštrukcie majú nízku úroveň zraniteľnosti voči šíreniu ohňa následne vznikajúceho po zemetrasení (Wellington Lifelines Group, 2002).

5. OCHRANA MAJETKU A OBCHODU

Betón bráni majetok – požiarna ochrana za použitia betónu znamená bezpečnosť majetku a rýchlu obnovu podnikateľských činností

Betónové budovy a konštrukcie sú schopné chrániť oboje ľudí aj majetky proti riziku ohňa, pochopiteľne ale bezpečnosť ľudí často predstavuje väčšiu dôležitosť v oboch prípadoch: v návrhovom štádiu a aj v nebezpečných situáciách. Avšak požiarna bezpečnosť z hľadiska ekonomického prežitia, ochrany životného prostredia a udržania kritickej infraštruktúry je tiež záujmom súkromných vlastníkov, poisťovacích spoločností a národných riadiacich orgánov. S týmito faktormi sa počíta v európskej legislatíve pre požiarnu bezpečnosť (pozri Kapitolu 1). Jeden z troch ochranných cieľov je založený špeciálne na ochrane majetku, susediacich nehnuteľností a zachovaní budovy ako takej.

Betón chráni pred a po požiaroch

Celkové finančné náklady poškodení spôsobených ohňom sa odhadli od 0,2 do 0,3% hrubého domáceho produktu (HDP) ročne (pozri Tabuľku 5.1). Je jasné, že v európskych krajinách toto môže dosiahnuť mnoho miliónov EUR, ale toto nedáva adekvátny údaj o možných dopadoch požiarov – Denoël/Febelcem (2006). V „Usine enterprise“ (2004) sa uvádza, že viac ako 50% podnikateľských činností zbankrotovalo, ak boli vystavené väčšiemu ohňu. Pre komerčné spoločnosti, akými sú obchodné domy, hotely, závody, kancelárske bloky a distribučné centrá, požiare prerušujú ich funkciu a produktivitu činnosti a prerušujú služby zákazníkom. Toto spôsobuje vážne problémy a môže v krajnom prípade viesť k strate zamestnaní alebo uzavretiu prevádzky. Avšak rozsah dopadu na budovy, ktoré predstavujú kritickú infraštruktúru by mohol mať ešte ďalekosiahlejšie následky; medzi takéto budovy patria nemocnice, železničné stanice, vodárne, elektrárne, vládne budovy, budovy určené na ukladanie dát a telekomunikačné budovy. Porušenie týchto typov budov je nežiaduca a zničujúca možnosť.

Tabuľka 5.1: Medzinárodné štatistické údaje o požiaroch v rokoch 1994 – 1996
(Neck, 2000)

Krajina	Hodnota priamych a nepriamych škôd spôsobených požiarimi (% z HDP)	Počet požiarimi usmrtených osôb za rok na 100 000 obyvateľov	Náklady na opatrenia požiarnej ochrany (% z HDP)	Hodnota škôd a protipožiarneho opatrení (% z HDP)
Rakúsko	0,20	0,79	neudané	neudané
Belgicko	0,40 ⁽¹⁹⁸⁸⁻⁸⁹⁾	1,32	neudané	0,61
Dánsko	0,26	1,82	neudané	neudané
Fínsko	0,16	2,12	neudané	neudané
Francúzsko	0,25	1,16	2,5	0,40
Nemecko	0,20	0,98	neudané	neudané
Taliansko	0,29	0,86	4,0	0,63
Nórsko	0,24	1,45	3,5	0,66
Španielsko	0,12 ⁽¹⁹⁸⁴⁾	0,77	neudané	neudané
Svédsko	0,24	1,32	2,5	0,35
Švajčiarsko	0,33 ⁽¹⁹⁸⁹⁾	0,55	neudané	0,62
Holandsko	0,21	0,68	3,0	0,51
V. Británia	0,16	1,31	2,2	0,32
USA	0,14	1,90	neudané	0,48
Kanada	0,22	1,42	3,9	0,50
Japonsko	0,12	1,69	2,5	0,34

Pri použití betónu je protipožiarne ochrana zdarma

Možno že to prichádza ako prekvapenie, pretože celkové údaje o hodnote (cene) protipožiarneho opatrení uvádzajú, že okolo 2 až 4% zo stavebných nákladov sa v typickom prípade vynaloží na protipožiarne opatrenia (pozri Tabuľku 5.1), ale pri využití betónu na protipožiarne ochrany je táto ochrana jeho integrálnou súčasťou a preto prínosom, ktorý sa dostáva navyše. V skutočnosti má betón rezervu v požiarnej odolnosti, ktorá je účinná dokonca aj po zmene vo využití budovy alebo ak je budova prestavovaná.

Protipožiarne vlastnosti budovy sa časom nemenia a zostávajú rovnaké bez zvyšovania nákladov na údržbu.

Vrodené protipožiarne vlastnosti betónových prvkov im umožňujú úplne naplňovať požiadavky protipožiarnej ochrany hospodárnym spôsobom; tiež umožňujú vyhovieť budúcim malým zmenám v protipožiarnej legislatíve. Avšak, ak prepukne požiar, investícia do betónovej budovy bude mať skutočne zmysel. Či už doma alebo v práci, pokračovanie spoločenských a obchodných činností je prioritou a v tomto smere vlastnosti betónu pri požiaroch dávajú okamžité a významné prínosy:

- Protipožiarne vlastnosti betónu znamenajú, že hocikaký oheň by mal byť **obmedzený na malú plochu**, izbu alebo byt, minimalizujúc tak rozsah a mieru potrebných opráv.
- **Opravy betónových budov vystavených účinkom požiaru sú spravidla menšie**, jednoduché a nie nákladné, pretože sú to často len malé plochy

povrchu betónu, ktoré vyžadujú opravu – čiastočná alebo úplná demolácia sú zriedkavé (pozri Kapitulu 2)

- **Betónové steny a stropy bytu zabraňujú šíreniu ohňa**, a tak susedné priestory v závode, sklade, kancelárii alebo v susedné byty vo vnútri obytnej budovy, by mali byť v stave pokračovať vo svojej bežnej funkcii, keď nebezpečenstvo (požiaru) pomíne, bez ohľadu na stav požiarom postihnutej oblasti.
- V priemyselných a obchodných zariadeniach **betónové protipožiarne deliace steny zabraňujú strate cenných majetkov**, strojov, zariadení, surovín, čím obmedzujú dopad (požiaru) na podnikateľskú činnosť a znižujú úroveň podaných požiadaviek na poistné náhrady škôd.
- Skúsenosti ukazujú, že po požari v betónových budovách poškodenia od vody (použiteľ na hasenie požiaru) sú zanedbateľné.

Nižšie platby za poistenie betónových budov

Každý požiar spôsobuje ekonomické straty a vo väčšine prípadov sú to poisťovne, ktoré musia uhradiť škody spôsobené požiarom. Z týchto príčin poisťovacie spoločnosti udržiavajú podrobné a presné databázy o chovaní sa (vlastnostiach) všetkých stavebných materiálov v prípade vzniku požiaru – vedia, že betón ponúka výbornú ochranu pred ohňom a to sa odráža v znížených poistných sadzbách (v zníženom poistnom). Po celej Európe poistné sadzby (poistné) u betónových budov majú tendenciu byť menšími, ako sú tieto sadzby pre stavby zhotovené z iných materiálov (ktoré sú oveľa častejšie veľmi poškodené alebo dokonca zničené pri požari). Vo väčšine prípadov betónové budovy sú klasifikované v najvýhodnejšej kategórii pre poistenie v prípade požiaru, vzhľadom na ich dokázanú ochranu pred ohňom a odolnosť voči ohňu. Samozrejme, každá poisťovacia spoločnosť bude mať svoje vlastné individuálne predpisy a prehľad poistných sadzieb (poistného); toto sa líši podľa krajín, ale vzhľadom na dobré výsledky betónu, väčšina poisťovacích spoločností ponúka výhodnejšie poisťovacie sadzby vlastníkom betónových budov. Pri výpočte poistovacej sadzby (poistného) poisťovateľa budú brať v úvahu nasledujúce faktory:

- Konštrukčný materiál
- Druh materiálu použitého na zhotovenie strechy
- Druh činnosti vykonávanej v budove/použitie budovy
- Vzdialenosť od susedných budov
- Druh konštrukčných prvkov
- Druh vykurovacieho systému
- Elektrická inštalácia(e)
- Ochrana a očakávania (pripravenosť)

Prípadová štúdia č.7

Poistné sadzby pre obchodné domy vo Francúzsku

Nanešťastie je verejne dostupných len málo údajov o poistných nákladoch, existujú však určité porovnávacie štúdie. Vo Francúzsku CIMbéton (2006) zverejnil prehľad a poisťovací model nákladov založený na názoroch poisťovateľov na poistenie jednopodlažných skladov/priemyselných budov. Štúdia vysvetľuje, že poistné sadzby

(poistné) sú založené na viacerých faktoroch, vrátane vykonávanej činnosti vo vnútri budov a na stavebnom materiáli. Stavebný materiál je prirodzene dôležitý – konštrukcia, vonkajšie steny, počet stropov, strešná konštrukcia a nábytky, toto je všetko brané v úvahu vo výpočtoch. Výsledky jasne ukazujú do akého rozsahu je betón výhodnejší ako ostatné materiály, akými sú oceľ a drevo, pre všetky časti budov. Napríklad výberom betónovej nosnej konštrukcie a betónových stien pre jednopodlažný sklad znamená možné 20% zníženie „bežnej“/priemerne platenej sadzby (poistného). Zmenou týchto konštrukcií na oceľové konštrukcie a voľba (protipožiarna) ochrany týchto konštrukcií zvýši poistné sadzby (poistné) o 10 až 12% oproti „bežnej“/priemerne platenej sadzbe (poistného) a vytvára tak najmenej 30%-ný celkový rozdiel. Pri rozhodovaní o konečnej poistnej sadzbe (poistnom) berú poisťovatelia v úvahu bezpečnostné zariadenie, prevenciu proti požiaru a opatrenia na zadržiavanie požiaru, ktoré zahŕňujú vytváranie oddelených požiarnych úsekov – protipožiarna opatrenie, pre ktoré sa výborne hodí betón.

Tabuľka 5.2: Poistné sadzby (poistné) pre sklad o rozlohe 10 000 m² (jednopodlažný, bez nábytku); celková suma, na ktorú je sklad poistený = 25 miliónov EUR (CIMbéton, 2006)

Konštrukcia	Ročné poistné (bez dane). Bežné priemerné ročné poistné = 50 000 EUR
Betón	40 000 EUR (o 20% nižšie ako je priemer)
Oceľ	56 000 EUR (o 12% vyššie ako je priemer)

Prípadová štúdia č.8

Zničenie jatiek, Bordeaux (1997)

Požiar spôsobený krátkym spojením v strope spôsobil, že tento oheň sa šírila veľmi rýchlo, pohltiac plochu 2000 m² počas 10 minút. Požiarnikom trvalo 3 hodiny, kým dostali oheň pod kontrolu, ale v tomto čase už polovička budovy o ploche 9000 m² bola zhorená. Toto extrémne rýchle šírenie požiaru bolo spôsobené zapálením horľavého izolačného materiálu obsiahnutého v sendvičových paneloch použitých pre zhotovenie fasády budovy – požiarnici neboli schopní zabrániť šíreniu ohňa pozdĺž 130 metrov dlhej fasády (tak ako je ukázané na Obrázku CS8.1). Zrejme je, že rozdelenie budovy na požiarna úseky za použitia betónových stien a použitie betónových panelov na vytvorenie fasády budovy by zamedzilo šíreniu tohto ohňa.

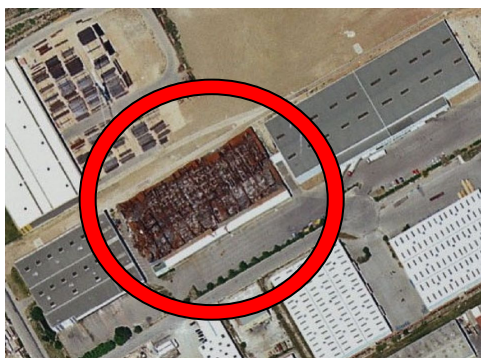


Obrázok CS8.1: L'ahké sendvičové kovové panely zlyhali pri požiari jatiek v Bordeaux (Francúzsko) v januári 1997. Oheň sa šíril po budove a tiež do susediacich budov. (so zvolením SDIS 33, Fire and Rescue Service, Gironde, Francúzsko)

Prípadová štúdia č.9

Požiar v textilnom sklade, Marseille (1996)

V tomto sklade oblečenia a športovej výbavy, v ktorom v čase požiaru pracovalo 40 zamestnancov sa oheň šíril veľmi rýchlo; počas piatich minút horela celá budova, horiace tovary vytvárali veľké množstvo dymu a tepla. Neboli tam žiadne kropiace zariadenia (rozstrekovače vody), ani deliace steny (požiarnych úsekov) a konštrukcia budovy nebola stabilná v prípade vzniku požiaru, čo malo za následok úplne zrútenie budovy, tak ako je ukázané na Obrázku CS9.1. Šíreniu požiaru napomáhal vietor, čo ohrozovalo vedľa postavené sklady vo vzdialenosti 10 metrov, ktorých osadenstvo muselo byť evakuované. Tieto vedľa postavené budovy boli zachránené len vďaka tomu, že požiarnici neustálym striekaním vytvárali deliacu vodnú clonu.



Obrázok CS9.1: Letecký pohľad na vyhorený sklad severne od mesta Rognac, blízko Marseille, ukazujúci ako sa požiar šíril v budove, ktorá nemala žiadne betónové deliace steny. (so zvolením SDID 13 Fire and Rescue Service, Bouches du Rhone, Francúzsko)

Betón pomáha požiarnikom zachraňovať majetky

Napriek európskej legislatíve požadujúcej ochranu ľudí, majetku a životného prostredia, vo väčšine prípadov zrejmu a praktickou prioritou požiarnych oddielov je záchrana ľudského života a tak záznamy o ich vstupe do horiacich budov majú tendenciu uvádzať na prvom mieste záchranu životov obyvateľov, s následnou (na druhom mieste) záchranou majetku a ochranou životného prostredia. Napríklad požiarnici smú byť extrémne neochotní vstúpiť do budovy, ak jej všetko osadenstvo bolo evakuované. Ale budú sa vždy snažiť dostať sa k budove tak blízko ako je to možné za účelom účinného boja proti požiaru. Betónové fasády poskytujú ochranu, ktorá dovoľuje takýto prístup. Keď sú (požiarnici) spokojní, že všetko osadenstvo je v bezpečí, požiarnici sa môžu viacej venovať prevencii šírenia ohňa do susediacich objektov a hodnoteniu ľubovoľných rizík pre životné prostredie, spôsobených

spločinami horenia. Tento pochopiteľný prístup zdôrazňuje potrebu, aby ľudia mohli bezpečne uniknúť z budovy, prinajmenšom počas stanovenej doby požiarnej odolnosti (budovy).

Výskum vo Francúzsku ukázal, že z 13 000 požiarov počas roka, 5% sa objavuje v priemyselných budovách a veľké požiare môžu mať za následok prevádzkové straty vo výške 2 miliónov EUR (CIMbéton, 2006). Skladovaný tovar v týchto budovách môže byť vysoko zápalný a nachádzajúci sa tam vo veľkom množstve, čo vytvára veľmi významné riziko zrútenia sa v prípade požiaru, pokiaľ nie sú vytvorené oddeľovacie steny (požiarne úseky), ktoré účinne oddeľujú tovary a tak aj požiarne zaťaženie. Potom uvažujme s príkladom vlastníka skladu, ktorý by veľmi rád minimalizoval poškodenie tovaru v prípade požiaru, ktorý však vie, že hasiči môžu trvať na hasení požiaru z bezpečnej vzdialenosti, z vonkajšej strany budovy. V tomto prípade betón môže poskytnúť markantné výhody:

1. V závislosti od druhu tovaru a veľkosti požiarneho úseku požiarne zaťaženie v tejto budove môže byť veľmi vysoké. Pravidelne rozložené vnútorné oddeľujúce betónové steny **znižia riziko šírenia ohňa** z jedného priestoru do druhého a tým minimalizujú úroveň spôsobeného poškodenia.
2. U jednopodlažných budov s veľkým rozpätím a jednoduchými oddeleniami existuje zvlášť vysoké riziko skorého, neočakávaného zrútenia strechy. **Betónové steny udržia ich stabilitu** a dokonca aj keď sa strešný priehradový nosník zrúti, steny by sa nemali skriviť a zrútiť sa, vystaviac tak riziku susedné priestory.
3. Požiaru odolné fasády z betónu (klasifikované ako REI 120) bránia šíreniu ohňa a chránia požiarnikov (pozri Obrázok 1.2). **Betónové fasády umožnia požiarnikom dostať sa do o polovicu menšej vzdialenosti k ohňu**, pretože fungujú ako tepelná clona.
4. **Betónové vonkajšie steny sú tak účinné v bránení šíreniu sa ohňa** medzi nehnuteľnosťami (majetkami), že predpisy v niektorých krajinách (napr. vo Francúzsku) dovoľujú znížiť vzdialenosť medzi susednými budovami, oproti tejto vzdialenosti požadovanej pre iné materiály užívané na zhotovenie stien.
5. **Betónové strechy budú nehorľavé**, t.j. triedy A-1 odolnosti voči plameňom a nebudú z nich odkvapkávať taviace sa časti.

Prípadová štúdia č.10

Medzinárodný trh kvetín, Rungins, Paríž (2003)

Tento betónový sklad s baliacimi zariadeniami o ploche 7200 m² zväčša prežil ničivý požiar v roku 2003. Steny a strop odolávali dobre ohňu, ktorý vytváral veľa tepla a plameňov, keď materiály používané na viazanie a balenie vzplanuli a boli podporované aromatickými olejmi nachádzajúcimi sa v rastlinnom materiály. Keď bola plocha s tovarom a zariadeniami na rozlohe 1600 m² zničená, celá južná časť Paríža bola zasiahnutá dymom. Zrútila sa tiež budova o rozlohe 100 m², požiar sa obmedzil na plochu, kde vznikol a o šesť mesiacov neskôr, napriek dlho trvajúcim hodnoteniam vzniknutých škôd, budova bola opravená a prevádzka (budovy a zariadení) pokračovala.



Obrázok CS10.1 vľavo: Vonkajší pohľad na sklad kvetín v Rungis, ktorý obnovil prevádzku šesť mesiacov po požiari. (so zvolením CIMbéton, Francúzsko)

Obrázok CS10.2 vpravo: Zničený interiér skladu, ktorý bol rýchlo opravený. (so zvolením CIMbéton, Francúzsko)

6. BETÓN A POŽIARNA BEZPEČNOSTNÁ TECHNIKA

Betón ponúka už jemu vlastnú odolnosť voči ohňu, a tak majitelia budov sa nemusia spoliehať na aktívne systémy pre ochranu života a majetku

Ako pôsobí požiarne bezpečnostné inžinierstvo

Požiarne bezpečnostné inžinierstvo (FSE) je pomerne novým spôsobom, akým môžu byť vypočítané protipožiarne opatrenia, je založené skôr na základe metód vychádzajúcich z vlastností, ako na predpísaných údajoch z tabuliek. Bolo použité hlavne u veľkých, zložitých konštrukcií (akými sú letiská, nákupné centrá, výstavné haly a nemocnice), za účelom minimalizovania požiadaviek na protipožiarne opatrenia. Neexistuje jednoduchá definícia požiarneho bezpečnostného inžinierstva (FSE), ale technická norma ISO ho definuje ako „ Použitie inžinierskych metód, založených na vedeckých princípoch pre vývoj alebo posúdenie návrhov v budovanom prostredí, analýzou určitých scenárov (vzniku) požiarov, alebo kvantifikáciou rizík požiaru pre skupinu scenárov požiarov“ (ISO/CD).

Návrhový proces používaný v požiarom bezpečnostnom inžinierstve berie v úvahu nasledovné faktory (súčinitele) pri výpočte návrhovej hodnoty požiarneho zaťaženia, z ktorého môžu byť posudzované jednotlivé konštrukčné prvky a môže byť stanovená celková pravdepodobnosť poškodenia konštrukcie spôsobenej požiarom:

- Charakteristická hustota zaťaženia požiarom na jednotku plochy podlažia (tieto hodnoty sú dané v Eurokóde 1, časť 1-2).
- Očakávané požiarne zaťaženie spôsobené spálením obsahu (faktor - súčiniteľ spálenia).
- Riziko požiaru vzhľadom na veľkosť oddeleného priestoru (požiarneho úseku), pričom väčším oddeleným priestorom (požiarnym úsekom) je daný vyšší rizikový faktor (súčiniteľ).
- Pravdepodobnosť vzniku požiaru založená na osadenstve (budovy) a druhu použitia budovy (faktor - súčiniteľ použitia).
- Podmienky vetrania a odvádzanie tepla.

Výpočtová metóda potom využíva výhodu všetkých aktívnych protipožiarnych opatrení v budove, ktoré sú spojené v jeden celok, aby tak určili piaty a konečný faktor (súčiniteľ) pre výpočet požiarneho zaťaženia, ktorý zahrňuje:

- Automatické hlásenie o vzniku požiaru (napr. teplotné poplašné zariadenia (alarmy), dymové poplašné zariadenia, automatický prenos poplachu do požiarnej stanice).
- Automatické potláčanie požiaru (napríklad kropiace/vodné hasiace systémy, dostupnosť nezávislej dodávky vody).
- Ručné potláčanie požiaru (existujú miestni hasiči, rýchly zásah externých/miestnych hasičov).

Požiarne bezpečnostné inžinierstvo v praxi

Bežné pravidlá pre požiarne bezpečnostné inžinierstvo neexistujú, vhodný softvér pre tento účel je zatiaľ len vo vývoji a existujú významné rozdiely v prístupoch, skúsenostiach a stupňoch akceptácie dozornými orgánmi (inštitúciami). Požiarne bezpečnostné inžinierstvo (FSE) by malo byť opatrne používané príslušnými expertmi a musia byť správne hodnotené jeho predpoklady. Vznikli vážne obavy o platnosť a presnosť výpočtov, založených na teórii pravdepodobnosti, s kritikami uvádzajúcimi, že chybné výpočty požiarneho bezpečnostného inžinierstva by mohli viesť ku katastrofe. Iní vyjadrili obavu, že pokusy používať požiarne bezpečnostné inžinierstvo bez patričných skúseností a výpočty vykonávať nie expertmi, by mohli viesť k nesprávnemu pochopeniu výpočtov a ku zlým výsledkom. Veľká variabilita parametrov v predpokladoch podporujúcich výpočty, by mohla zahrňovať (ale nie sa obmedzovať) nasledovné hľadiská:

- **Stupeň úspešnosti požiarnej jednotky:** opäť sú k dispozícii priemerne hodnoty, ale je jasné, že sa nemôžu aplikovať vo všetkých budovách; budú existovať významné variácie vo výkonnosti.
- **Ľudské chovanie:** urobené sú predpoklady na základe odhadu, ako sa ľudia budú chovať v prípade nebezpečenstva.
- **Spoľahlivosť kropiaceho systému:** dané sú priemerné hodnoty, ale existuje veľa typov systémov hodiacich sa pre všetky druhy budov.
- **Podpaľnosť alebo úmyselný požiar** (t.j. spôsobený kriminálnym úmyslom) – tieto nie sú dostatočne pokryté. Niektoré budovy a lokality budú prirodzene zraniteľnejšie kriminálnymi činmi.

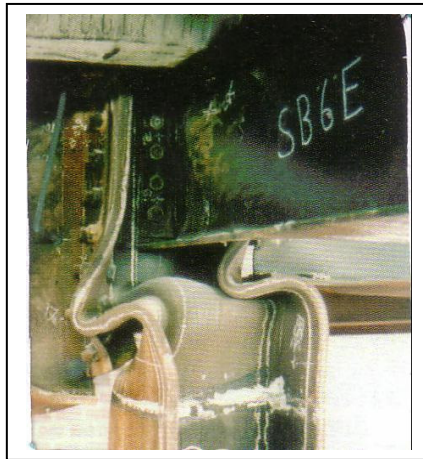
Niektoré štatistiky o zistenej výkonnosti systémov kropiacich zariadení („sprinkler“) ukazujú nízku úroveň spoľahlivosti. Febelcem (2007) a PCI (2005) uvádzajú zistenia z USA, v ktorých „National Fire Protection Association“ - „Národná asociácia požiarnej ochrany“ udáva, že kropiace zariadenia zlyhali v 20% nemocníc/kancelárskych priestoroch, v 17% hotelových požiarov, v 13% bytových požiarov a v 26% požiarov verejných budov, čo vedie k celoštátnemu priemeru zlyhania v 16% prípadov (údaje z roku 2001). Údaje z Európy citované v tej istej publikácii líčia o niečo lepší obraz. Úspešnosť kropiacich zariadení analyzovaná na základe tried rizika ukazuje nasledovné:

Kancelárske priestory (nízke riziko) – 97,4%-ná úspešnosť)

Podnikateľské priestory (stredné riziko) – 97,2%-na úspešnosť)

Drevársky priemysel (vysoké riziko) – 90,8%-na úspešnosť)

Iné zdroje tvrdia, že mnoho takých zlyhaní vzniká kvôli ľudským zásahom do hlavíc kropiacich zariadení (napríklad prekrytím maľovkou, zavesenými vecami, atď.). Pri tom všetkom, účinnosť kropiacich systémov môže byť ovplyvnená vnútornými problémami zapríčinenými vzájomným pôsobením medzi dymovým (ventilačným) systémom a kropiacim systémom. Mnohé štúdie zistili, že voda z kropiacich zariadení ochladzuje prúdenie dymu, ničiak tak jeho ťah smerom nahor; dym preto nestúpa, čo spôsobuje stratu viditeľnosti počas evakuácie (Heselden, 1984; Hinkley and Illingworth, 1990; Hinkley a kolekt., 1992). Navyše, pohyb pruhov dymu smerom nahor, ťahaných automatizovanou, mechanickou dymovou ventiláciou, bráni vodným kvapkám z kropiacich zariadení účinne klesať a hasiť požiar.



Obrázok 6.1: Po požari silne deformovaná hlava oceľového stĺpu (so zvolením „Building Research Establishment“ – „Stavebného výskumného ústavu“, V. Británia)

Postupy pri navrhovaní za použitia požiarneho bezpečnostného inžinierstva (FSE) sú založené na predpoklade, že zahrnutie rôznych aktívnych protipožiarnych opatrení znižuje pravdepodobnosť, že oheň spôsobí poškodenie konštrukcie; kombinácia týchto opatrení má viacnásobný efekt, ďalej znižujúci intenzitu predpokladaného požiarneho zaťaženia v budove. Táto výpočtová metóda preto znižuje požiarne ochranu zjavne potrebnú v budove. Výsledkom je fakt, že niektoré stavebné materiály, ktoré sú v skutočnosti v prípade požiaru nedostatočné a úplne závislé na aktívnych protipožiarnych opatreniach, sa môžu javiť ako konštrukčne vhodné voľby. V požiarne bezpečnostnom inžinierstve sa protipožiarne odolnosť (únosnosť) konštrukcie získava uvažovaním hasiaceho zariadenia a použitej ochrany konštrukcie. Ale požiarne bezpečnostné inžinierstvo môže zlyhať pri ochrane budovy, jej osadenstva a jej obsahu (vybavenia). Príčiny sú ukázané v Zozname č.2.

Zoznam č.2: Prečo stratégie požiarnej bezpečnostnej techniky nemusia fungovať

Požiar hasiaci systém nemusí byť účinný pretože:

- Zlyháva alebo
- Nie je adekvátny pre požiar

Ochrana voči požiaru nemusí fungovať pretože:

- Zlyháva
- Zastarala
- Kazí sa alebo
- Nie je adekvátna pre požiar

V tomto štádiu požiarne únosnosť konštrukcie sa znovu vráti k materiálu vlastnej požiarnej odolnosti, ktorý vytvára konštrukciu, či už je to betón, drevo, tehla alebo oceľ. V takomto prípade stratégia požiarneho bezpečnostného inžinierstva môže okamžite zlyhať, pretože nechránené oceľové a drevené prvky neudržia svoju (požiarne) únosnosť bez plne funkčných aktívnych protipožiarneho systémov.

V bežnom prípade je betón **jediným** materiálom, ktorý môže poskytnúť mohutnú protipožiarne odolnosť bez podpory aktívnych opatrení; je pasívnym protipožiarne opatrením, ktoré bude spoľahlivo fungovať, ak aktívne opatrenia zlyhajú. Požiarne bezpečnostné inžinierstvo môže podceňovať pasívne opatrenia, ktoré nevyžadujú údržbu, akým je použitie betónovej konštrukcie a môže viesť k nešťastnému spoľahnutiu sa na nespoľahlivé aktívne systémy, potenciálne ohrozujúce životy a majetok.

Pri použití betónu opatrenia požiarnej bezpečnosti sa budú stále uplatňovať, aj keď nastala zmena vo využití konštrukcie, pretože betón je neodstrániteľne odolný voči ohňu. Ak je ochrana (budovy) zabezpečovaná na základe použitia požiarneho bezpečnostného inžinierstva, toto bude možné použiť len v situáciách, kde sa využitie budovy nezmení. Je to preto, že opatrenia požiarneho bezpečnostného inžinierstva sú stanovené tak, že sa berie v úvahu (spôsob budúceho) využitia budovy. Ak sa niečo zmení, napríklad požiarne zaťaženie, potom ochrana poskytovaná kropiacimi zariadeniami alebo ochranné protipožiarne nátery nemusia byť naďalej postačujúce.

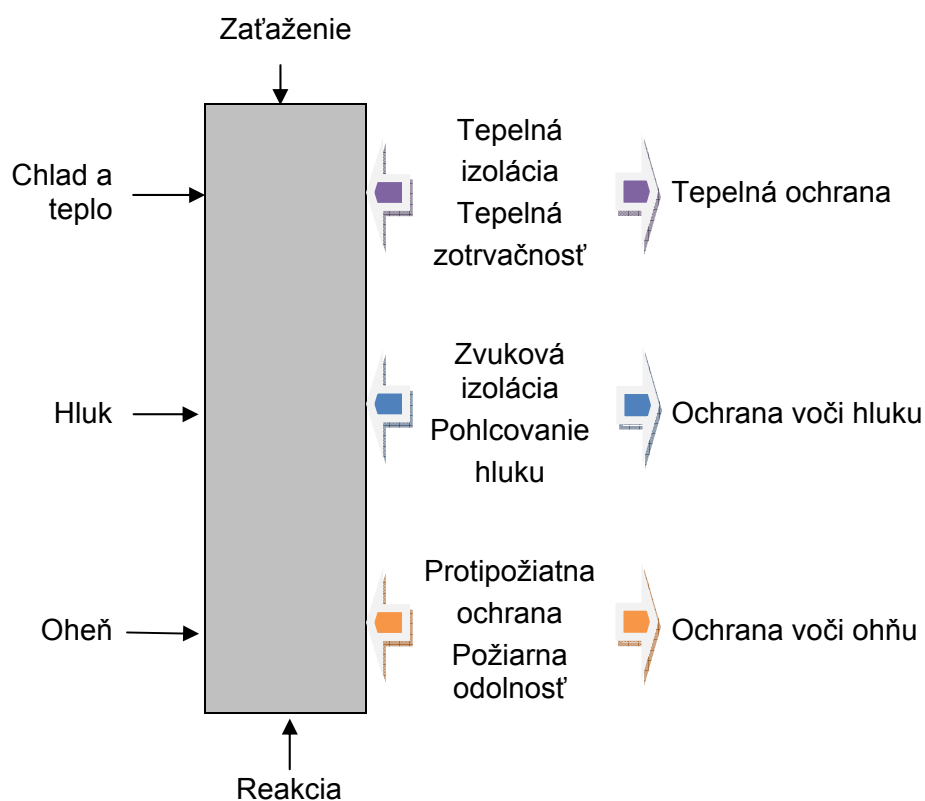
7. PRIDANÁ HODNOTA PRÍNOSOV Z POUŽITIA BETÓNU

Betón poskytuje dokonca viacej ako rozsiahlu požiarne ochranu

Výborné a dokázané vlastnosti betónu v požiarnej odolnosti dávajú ochranu života, majetkov a životného prostredia v prípade vzniku požiaru. Efektívne zodpovedajú všetkým ochranným cieľom stanoveným v európskej legislatíve, vytvárajúc pritom prínos pre každého od užívateľov budovy, vlastníkov, podnikateľov a osadenstva až po poisťovateľov, riadiace a regulačné orgány a požiarnikov. Či už je použitý pre obytné budovy, priemyselné sklady alebo tunely, betón môže byť navrhnutý a špecifikovaný tak, aby zostal robustným (pevným) dokonca aj v najextrémnejších požiarne situáciách.

Nielen že má betón vlastnosti výbornej požiarnej odolnosti, ale tiež poskytuje tepelnú zotrvačnosť a zvukovo izolačné vlastnosti.

Kombinácia týchto troch priaznivých výkonných vlastností umožňuje projektantovi maximalizovať možné prínosy. Napríklad osadenie betónových deliacich stien medzi susednými požiarne oddeleniami (úsekmi) poskytne potrebnú požiarne ochranu, zvýši tepelnú zotrvačnosť (tepelnú masu), ktorá napomáha udržiavať teploty a vytvorí akustické oddelenie medzi priestormi. Toto všetko je možné za použitia len jedného materiálu bez toho, aby sa muselo spoliehať na aktívne opatrenia, pridanie ďalšej izolácie alebo zosilňujúcich materiálov, prinášajúcich častú údržbu alebo renováciu. Je jasné, že betón má v tomto ohľade veľkú dlhodobú prednosť, ale čo je dôležitejšie, má prednosť dlhodobej požiarnej bezpečnosti.



Obrázok 7.1: Pridaná hodnota prínosov z použitia betónu (so zvolením Neck, 1999).

8. LITERATÚRA

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (2003) The Pentagon building performance report, ASCE, Washington, USA. 64 pp.

Americká spoločnosť stavebných inžinierov (2003) Správa o chovaní sa budovy Pentagónu, ASCE, Washington, USA, 64 strán

BEESE G and KÜRCHÜBASCHER R. (1975). Hochhaus Platz der Republik in Frankfurt am Main. Teil III Der Brand vom 22 August 1973. Beton- und Stahlbetonbau, 70 (1975) H. 8, S. 184/188. Germany.

BEESE G a KÜRCHÜBASCHER R. (1975). Výšková budova na Námestí republiky vo Frankfurtu, Diel III. Požiar zo dňa 22. Augusta 1973, časopis Beton- und Stahlbetonbau, 70 (1975) 8.ročník, strana 184/188, Nemecko

CEMBUREAU (2004). Improving fire safety in tunnels: the concrete pavement solution, CEMBUREAU, Brussels, Belgium. 8 pp.

CEMBUREAU (2004). Zlepšenie požiarnej bezpečnosti v tuneloch: riešenie za použitia betónovej vozovky, CEMBUREAU, Brusel, Belgicko, 8 strán

CHANA P and PRICE B (2003). The Cardington fire test, Concrete – the magazine of The Concrete Society, January, pp. 28 – 33. Camberley, UK.

CHANA P and PRICE B (2003). Cardingtonova skúška požiarnej odolnosti, Concrete (Betón) – časopis Betonárskej spoločnosti, január, strana 28 – 33, Camberley, Veľká Británia

CEN EN 1991–1–2 (2002). Eurocode , Part 1–2: Actions on structures – General actions – Actions of structures exposed to fire. CEN, Brussels, Belgium.

CEN EN 1991–1–2 (2002). Eurokód, Časť 1 – 2, Správanie sa konštrukcií – Všeobecné správanie sa – Správanie sa konštrukcií vystavených požiaru

CEN (2004). EN 1992–1–2 (2004) Eurocode 2 Part 1–2: Design of concrete structures – General rules – Structural fire design. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (2004). EN 1992–1–2 (2004) Eurokód, Časť 1 – 2, Navrhovanie konštrukcií – Všeobecné pravidlá – Návrh požiarnej odolnosti. CEN, Brusel, Belgicko

CEN (2002) EN 13501–1. Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using test data from reaction to fire tests. CEN, Brussels, Belgium.

CEN (2002) EN 13501–1. Klasifikácia stavebných výrobkov a častí stavieb z hľadiska požiaru – Časť 1: Klasifikácia za použitia skúšobných údajov o reakcii pri požiarnej skúške. CEN, Brusel, Belgicko

CIMbéton (2006). Conception des bâtiments d'activités en béton: Murs séparatifs coupe-feu et façades

à fonction d'écran thermique en béton (B67), CIMbéton, Paris, France. 111 pp.

CIMbéton (2006). Projektovanie stavieb z betónu: Požiarne deliace steny a fasády fungujúce ako betónový tepelný štít. CIMbéton, Paríž, Francúzsko. 111 strán

DENOËL J-F (2006). Dossier ciment 37: La protection incendie par les constructions en béton, Febelcem, Brussels, Belgium. 20 pp.

DENOËL J-F (2006). Súbor cementu 37: Požiarne ochrana betónových konštrukcií, Febelcem, Brusel, Belgicko. 20 strán

DENOËL J-F (2006). Fire safety and concrete structures, Febelcem, Brussels, Belgium. 80 pp (French, Dutch versions downloadable from www.febelcem.be).

DENOËL J-F (2006). Požiarne bezpečnosť betónových konštrukcií, Febelcem, Brusel, Belgicko. 80 strán (vo francúzštine)

HESELDEN A J M (1984). The interaction of sprinklers and roof venting in industrial buildings: the current knowledge. BRE, Garston, UK.

HESELDEN A J M (1984). Interakcia kropičov (sprinklerov) a strešného odvetrávania v priemyselných budovách: súčasný stav znalostí. BRE, Garston, V. Británia

HINKLEY P L and ILLINGWORTH P M (1990). The Ghent fire tests: observations on the experiments, Colt International, Havant, Hants, UK.

HINKLEY P L and ILLINGWORTH P M (1990). Požiarne skúšky v Ghente: pozorovania pri experimentoch, Colt International, Havant, Hants, V. Británia

HINKLEY P L, HANSELL G O, MARSHALL N R, and HARRISON R (1992). Sprinklers and vent interaction, Fire Surveyor, 21 (5) pp. 18–23. UK.

HINKLEY P L, HANSELL G O, MARSHALL N R, a HARRISON R (1992). Interakcia kropičov (sprinklerov) a strešnej ventilácie, časopis Fire Surveyor, ročník 22, číslo 5, strana 18 – 23, V. Británia

HORVATH, S (2002). Fire safety and concrete: fire safety and architectural design, CIMbéton, Paris, France. 13 pp. presented at 1st Advanced Seminar on Concrete in Architecture, Lisbon, Portugal.

HORVATH, S (2002). Požiarne bezpečnosť a betón: požiarne bezpečnosť a architektonický návrh, CIMbéton, Paríž, Francúzsko. 13 strán. Prezentované na 1. seminári pre pokročilých o betóne a architektúre, Lisabon, Portugalsko

INTEMAC (2005). Fire in the Windsor Building, Madrid. Survey of the fire resistance and residual bearing capacity of the structure after fire, Notas de Información Técnica (NIT), NIT-2 (05), (Spanish and English). Intemac (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones), Madrid, Spain. 35 pp.

INTEMAC (2005). Požiar v budove Windsor v Madride. Prehľad o požiarnej odolnosti a zostatkovej únosnosti konštrukcie po požiari. Technické informačné poznámky (NIT), NIT-2 (05), (v španielčine a angličtine). Intemac (Technický ústav materiálov a konštrukcií), Madrid, Španielsko. 35 strán

ISO/CD 23932. Fire safety engineering – General principles. (under development).

ISO/CD 23932. Inžinierstvo (technika) požiarnej bezpečnosti – Všeobecné princípy. (v príprave)

KHOURY G. (2000). Effect of fire on concrete and concrete structures, Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 2, pp. 429–447.

KHOURY G. (2000). Účinok ohňa na betón a betónové konštrukcie. Progres v konštrukčnej technike a materiáloch, Diel 2, strany 429-447

KORDINA K and MEYER-OTTENS C. (1981). Beton-Brandschutz–Handbuck. Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, Germany.

KORDINA K a MEYER-OTTENS C. (1981). Príručka požiarnej ochrany betónu. Vydavateľstvo Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf, nemecko

LENNON T (2004). Fire safety of concrete structures: background to BS 8110 fire design, Building Research Establishment (BRE), Garston, Watford, UK. 41 pp.

LENNON T (2004). Požiarne bezpečnosť betónových konštrukcií: podklad pre BS 8110 návrh požiarnej odolnosti, Zariadenie pre výskum budov (BRE), Garston, Watford, V. Británia, 41 strán

LUNDBERG O. (2006) Brandrapport 2006, Undersökning av bränder I flerbostadshus, Available at: <http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf> Betongforum, Danderyd, Sweden. 12 pp.

LUNDBERG O. (2006) Brandrapport 2006, Undersökning av bränder I flerbostadshus, dostupné na http://www.betong.se/brandrapport2006.pdf Betongforum, Danderyd, Švédsko. 12 strán (v švédštine)

MUNICH RE (2003). Risk management for tunnels, Munich Re group, Munich, Germany. 55 pp.

MUNICH RE (2003). Riadenie rizík pre tunely, Munich Re group, Mníchov, Nemcko. 55 strán

NARYANAN, N, and GOODCHILD, C H (2006) Concise Eurocode 2, The Concrete Centre, Camberley, UK. 107 pp.

NARYANAN, N, a GOODCHILD, C H (2006) „Zhutnený“ (Výber najdôležitejšieho z) Eurokód 2, Betonárske centrum, Camberley, V. Británia, 107 strán

NECK, U (1999). Comprehensive performance of precast concrete components through integrated utilization of the material and component properties. Proceedings of BIBM 16th International Congress of the Precast Concrete Industry in Venice. pp. I-69-74. Milan, ASSOBETON, National Precast Concrete Association.

NECK, U (1999). Komplexné vlastnosti (chovanie sa) zložiek prefabrikovaného betónu pomocou integrovaného využitia materiálov a vlastností zložiek. Zborník BIBM 16. medzinárodný kongres priemyslu prefabrikátov v Benátkach, strana I-69-74. Miláno, ASSOBETON, Národná asociácia výrobcov prefabrikátov.

NECK U (2002). Comprehensive fire protection with precast concrete elements – the future situation in Europe, Proceedings of BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry. Session 5, 8 pp. Ankara, Turkish Precast Concrete Association. (CD only).

NECK U (2002). Komplexná protipožiarne ochrana za použitia prefabrikovaných betónových prvkov – budúca situácia v Európe, Zborník BIBM 17. medzinárodný kongres priemyslu prefabrikátov v Ankare, Turecko, Sekcia 5, 8 strán. Turecká asociácia výrobcov prefabrikátov (len na CD)

NIST. Federal Building and Fire Safety investigation of the World Trade Centre disaster: Final report of the National Construction Safety Team on the collapse of the World Trade Center Tower. NCSTAR 1

NIST. Federálne vyšetrovanie katastrofy budovy a požiarnej bezpečnosti Svetového obchodného centra: Záverečná správa kolektívu Národnej bezpečnosti v stavebníctve o zrútení veže Svetového obchodného centra. NCSTAR 1

SCHNEIDER U and OSWALD M (2005). Fire safety analysis in concrete and timber frame construction

(German/English), Institute for Building Construction and Technology, Vienna University of Technology, Vienna, Austria. 42 pp.

SCHNEIDER U and OSWALD M (2005). *Analýzy požiarnej bezpečnosti betónových a drevených rámových konštrukcií (v nemčine/angličtine). Inštitút stavebných konštrukcií a technológie, Viedenská univerzita technológií, Viedeň, Rakúsko. 42 strán*

STOLLARD P and ABRAHAMS J (1995). Fire from first principles: a design guide to building fire safety (2nd edition), E&FN Spon, London, UK. 192 pp

STOLLARD P a ABRAHAMS J (1995). *Prvé princípy požiaru: sprievodca pre návrh ako vytvoriť požiaru bezpečnosť (2.vydanie), vydavateľstvo E&FN Spon, Londýn, V.Británia. 192 strán*

SZOKE S S. (2005). Are we protected from fire in buildings? PCI Journal, January – February 2005. PCI, United States.

SZOKE S S. (2005). *Sme chránení pred požiarom v budovách? PCI Journal, január – február 2005, PCI, USA*
Usine entreprise (Factory business) no. 3031, November 2004. Brussels, Belgium.

Podnik Usine časopis Factory business č. 3031, November 2004, Brusel, Belgicko

WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002). Fire following earthquake: identifying key issues for New Zealand. Wellington Lifelines Group, Wellington, New Zealand. 41 pp.

WELLINGTON LIFELINES GROUP (2002). *Požiar nasledujúci po zemetrasení: identifikácia kľúčových problémov pre Nový Zéland. Lifelines Group, Wellington, Nový Zéland. 41 strán*