

133PSBZ

Požární spolehlivost betonových a zděných konstrukcí

Přednáška A1

ČVUT v Praze, Fakulta stavební
katedra betonových a zděných konstrukcí

Obsah přednášky

- Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb
- Chování betonových a zděných konstrukcí při požáru

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární ochrana

Dvě základní složky požární ochrany [1]:

- Požární prevence - předcházení vzniku požáru, omezení rozsahu a následků vzniklého požáru
- Požární represe - účinné zdolávání požáru

Řešení požární bezpečnosti staveb patří do oblasti požární prevence.[1]

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární bezpečnost staveb

Norma ČSN 73 0802 [3] definuje požární bezpečnost jako:
„schopnost stavebních objektů bránit ztrátám na životech a zdraví osob, popř. zvířat a ztrátám na majetku v případě požáru“.

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární bezpečnost staveb

Pro zajištění požární bezpečnosti staveb se využívají [1]:

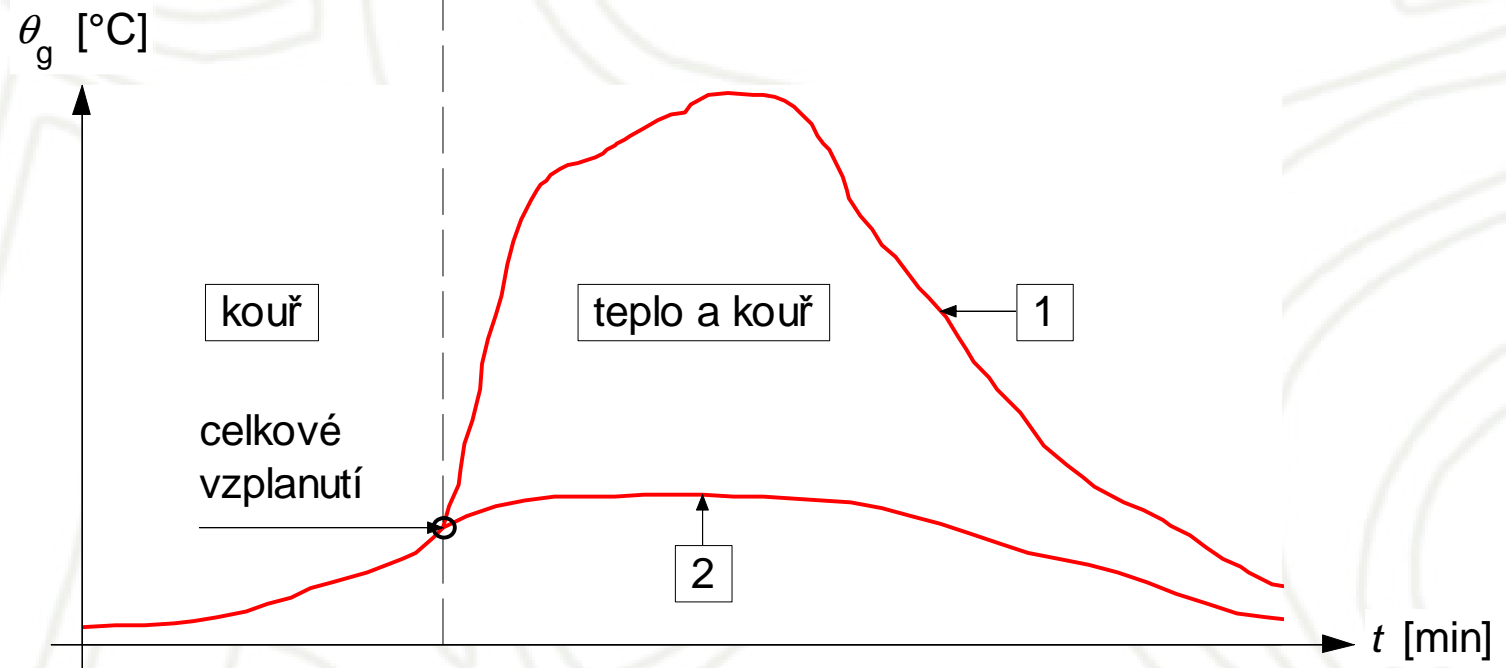
- Aktivní protipožární opatření
 - samočinná stabilní hasicí zařízení
 - zařízení dálkového přenosu informací
 - zařízení pro odvod kouře a tepla
 - elektrická požární signalizace
 - jednotky hasičského záchranného sboru
- Pasivní protipožární opatření
 - dělení na požární úseky
 - **požární odolnost nosných, požárně dělicích a obalových konstrukcí**
- Jejich kombinace

Aktivní požární ochrana

- samočinná stabilní hasící zařízení
- zařízení dálkového přenosu
- zařízení pro odvod kouře a tepla
- elektrická požární signalizace
- jednotky hasičského záchranného sboru

Pasivní požární ochrana

- dělení na požární úseky
- požární odolnost nosné konstrukce
- požární odolnost požárně dělicích konstrukcí
- požární odolnost obalových konstrukcí



- 1 teplota v požárním úseku při plně rozvinutém požáru v případě selhání aktivních protipožárních opatření
- 2 teplota v požárním úseku pro nerozvinutý požár při užití aktivních protipožárních opatření

[1,4]

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požárně bezpečnostní řešení

- Nedílná součást stavební dokumentace
- Podrobné zhodnocení požadavků na požární bezpečnost objektu, prokázání splnění těchto požadavků včetně návrhu jednotlivých požárně bezpečnostních opatření

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požárně bezpečnostní řešení

- Zahrnuje [4,5]:
 - seznam podkladů
 - popis stavby
 - rozdělení stavby do požárních úseků
 - stanovení požárního rizika, stanovení stupně požární bezpečnosti
 - posouzení velikosti požárních úseků
 - **zhodnocení navržených stavebních konstrukcí** a požárních uzávěrů z hlediska jejich požární odolnosti
 - zhodnocení navržených stavebních hmot
 - zhodnocení možnosti provedení požárního zásahu, evakuace
 - stanovení a zhodnocení odstupových a bezpečnostních vzdáleností
 - vymezení požárně nebezpečného prostoru
 - určení způsobu zabezpečení stavby požární vodou
 - vymezení zásahových cest

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požárně bezpečnostní řešení

- zhodnocení příjezdových komunikací a nástupních ploch
- stanovení počtu, druhů a způsobu rozmístění hasicích přístrojů
- zhodnocení technických a technologických zařízení stavby
- stanovení zvláštních požadavků
- posouzení požadavků na zabezpečení stavby požárně bezpečnostními zařízeními
- stanovení rozsahu a způsobu rozmístění výstražných a bezpečnostních značek a tabulek
- výkresy požární bezpečnosti

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

Zhodnocení požární odolnosti navržených stavebních konstrukcí je důležitou součástí požárně bezpečnostního řešení budovy.

Norma ČSN 73 0802 [3] definuje požární odolnost jako dobu *„po kterou je konstrukce schopna odolávat teplotám vznikajícím při požáru, aniž by došlo k porušení její funkce“*.

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

Zhodnocení požární odolnosti = porovnání **skutečné požární odolnosti** konstrukce s **požadovanou požární odolností**

Požadovaná požární odolnost se určí s ohledem na [3]:

- výpočtové požární zatížení požárního úseku
- druh konstrukčního systému budovy (nehořlavý, smíšený, hořlavý)
- požární výšku objektu, ve kterém se požární úsek nachází

Skutečná požární odolnost se stanoví:

- zkouškou požární odolnosti
- výpočtem (případně s využitím tabulkových hodnot)
- kombinací zkoušek a výpočtů

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

V současnosti se pro stanovení skutečné požární odolnosti konstrukcí využívají výhradně evropské návrhové normy (Eurokódy) řady **ČSN EN 199x-1-2** (+ příslušné základní normy).

- zatížení ČSN EN 1991-1-2
- beton ČSN EN 1992-1-2
- ocel ČSN EN 1993-1-2
- ...
- zdivo ČSN EN 1996-1-2
- ...

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

Označuje se

- písmennou značkou - vyjadřuje funkci (vlastnost) konstrukce, ke které se hodnota odolnosti vztahuje
- číselnou hodnotou - udává dobu požární odolnosti v minutách

např. **R 60**

Označení požární odolnosti se může dále doplňovat označením druhu konstrukce z hlediska použitých materiálů (DP1, DP2, DP3), případně také označením požární křivky, ke které se příslušná hodnota vztahuje (např. „ef“ pro křivku vnějšího požáru, „HC“ pro uhlovodíkovou křivku apod).

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

Základní kritéria požární odolnosti

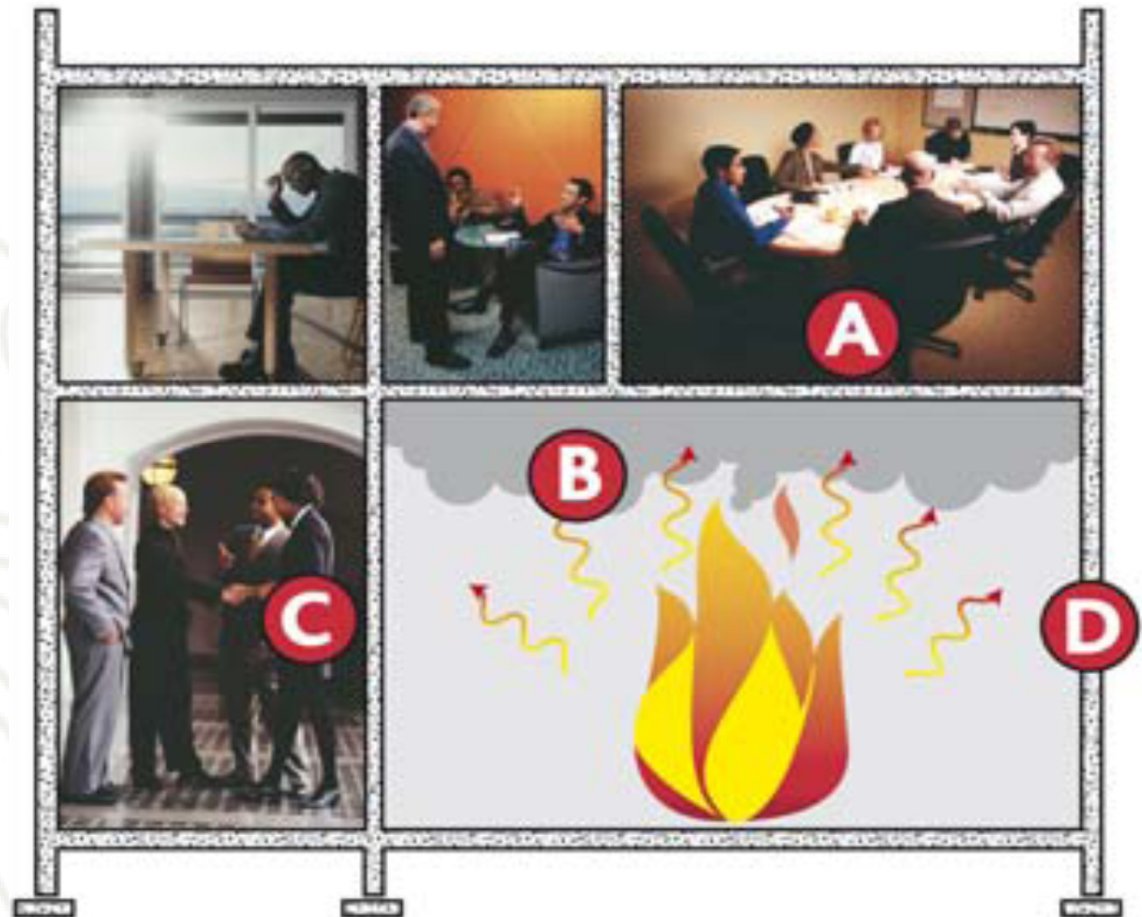
- R kritérium únosnosti
- E kritérium celistvosti
- I kritérium izolační schopnosti
- M kritérium mechanické odolnosti vůči nárazu

Spojením kritérií EI se vyjadřuje **požárně dělicí funkce** konstrukce.

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

- A únosnost stropní konstrukce
- B ochrana lidí před kouřem a plyny
- C ochrana lidí před nadměrným teplem
- D usnadnění zásahu hasičů



[6]

Úvod do problematiky požární bezpečnosti staveb

Požární odolnost konstrukce

Požárně dělicí stěny



[6]

Chování betonových a zděných konstrukcí při požáru

Příklad požáru skutečného objektu

Windsor Tower, Madrid
12. února 2005

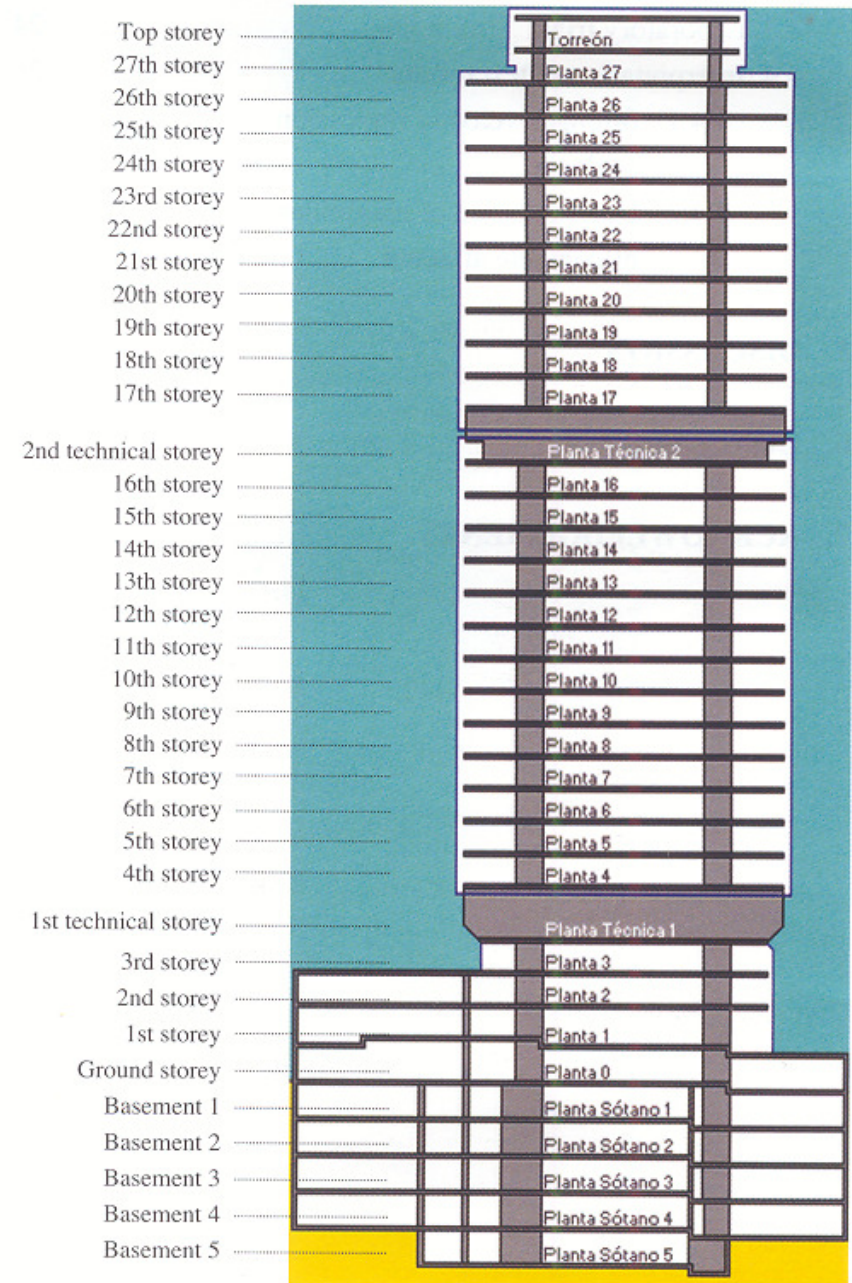


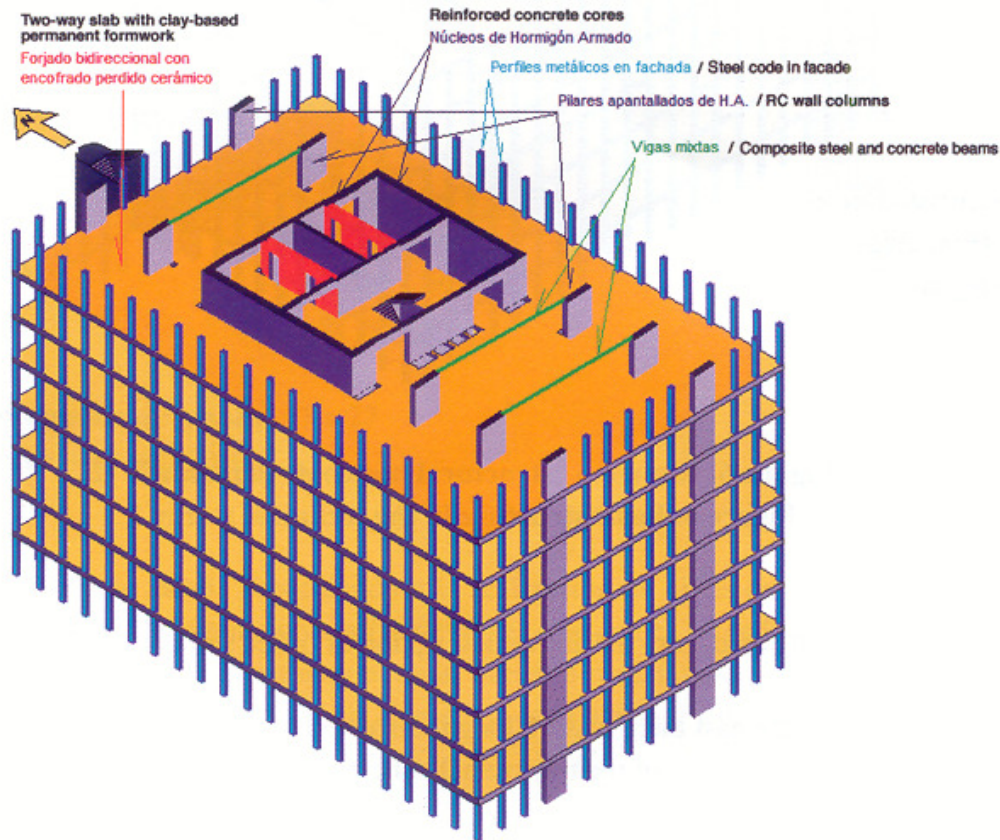
Windsor Tower - svislý řez

- 5 podzemních podlaží
- přízemí
- 27 podlaží - kanceláře
- 2 technická podlaží
- horní podlaží
- střecha

- dolní podlaží - lichoběžník
- od 3. podlaží - obdélník
40 m x 26 m

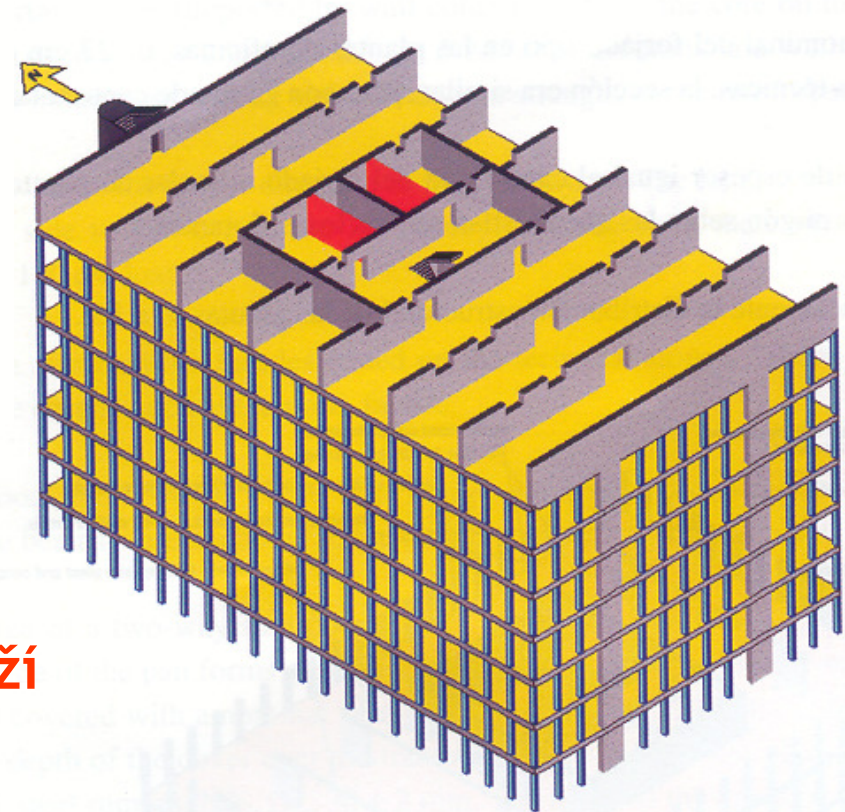
- postavena v letech 1974-1979



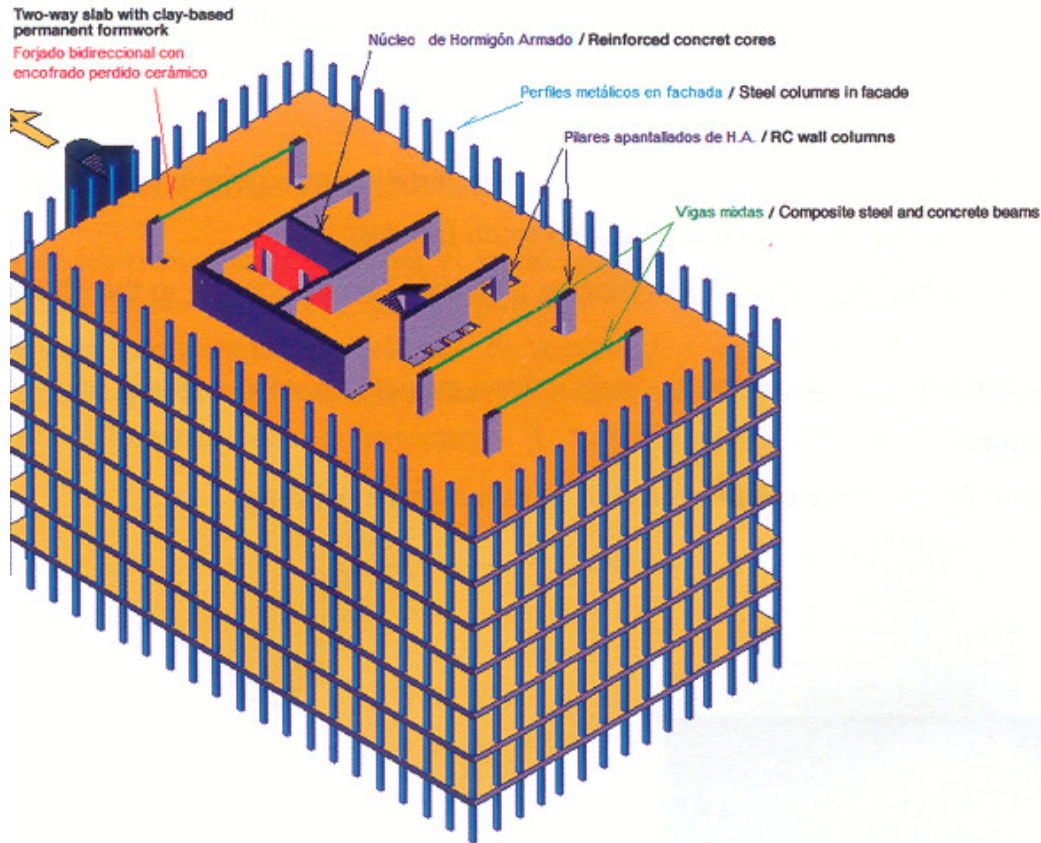


4.-16. podlaží

Beton: jádro, portálové rámy, široké sloupy ve fasádě
Ocel: sloupy ve fasádě



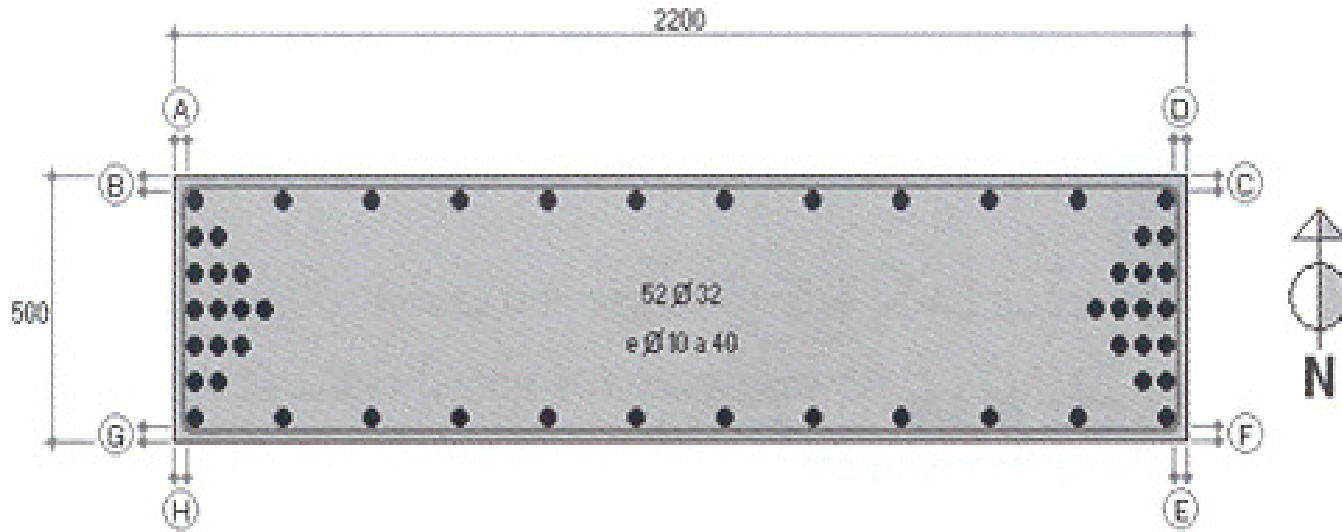
2. technické podlaží (nad 16. podlažím)



17.-27. podlaží

Beton: sloupy a stěny $f_{ck} = 25$ MPa; vysoké nosníky $f_{ck} = 30$ MPa;
stropní konstrukce $f_{ck} = 17$ MPa

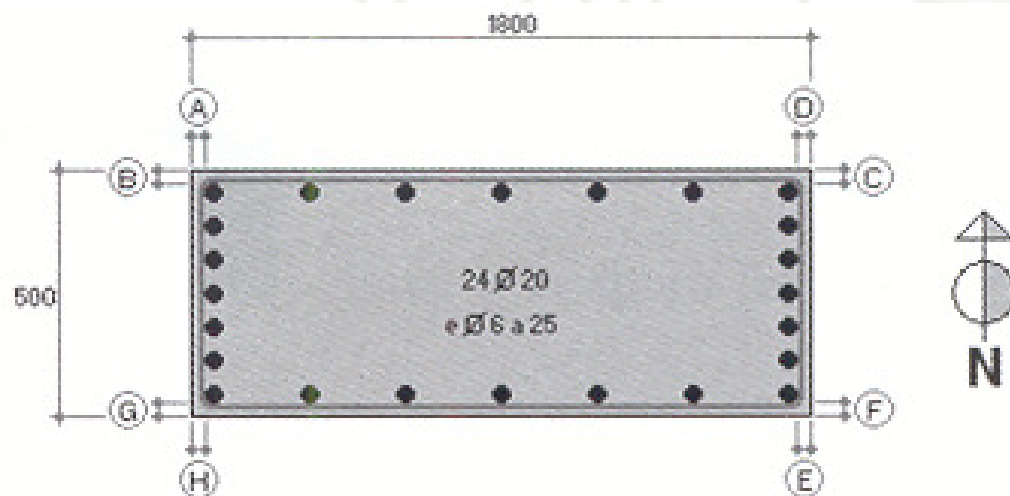
Výztuž: $f_{yk} = 500$ MPa



Sloupy

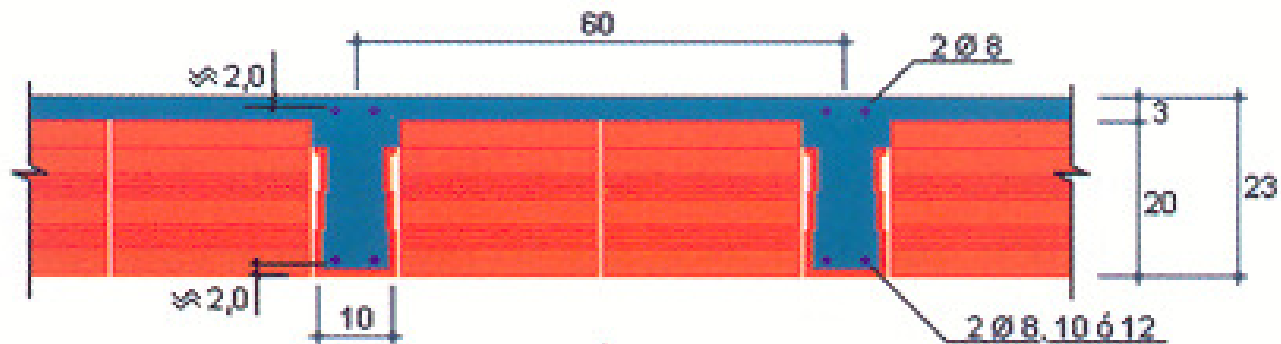
4.-16. podlaží $h = 2200$ mm

17.-27. podlaží $h = 1200$ mm

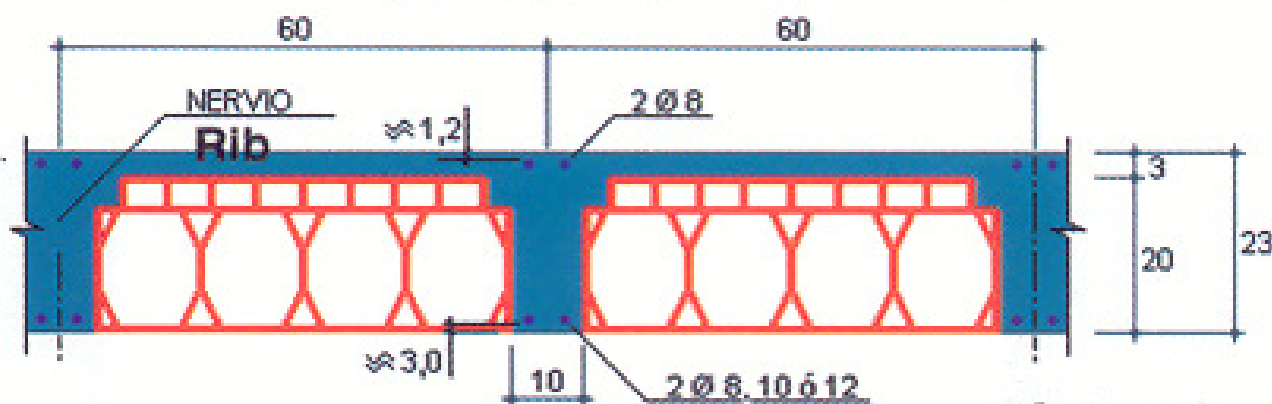


Fasádní sloupy

$b = 500$ mm, $h = 1800$ mm



SECCIÓN E/W
E/W cross-section



SECCIÓN N/S
N/S cross-section

Cotas en cm
Dimensions in cm

Stropní konstrukce

žebrové desky nosné ve dnu směrech - v technických podlažích tloušťka 25 (20+5), v jádru plná deska stejné tloušťky

12. 2 . 2005

- 23:05 bezpečnostní systém signalizoval požár v 21. podlaží
- 23:25 příjezd hasičů
- 23:25 21. podlaží plně v plamenech

13. 2 . 2005

- 00:20 požár dosáhl 28. podlaží
- 01:00 požár se rozšířil do dolních podlaží
- 01:15 severovýchodní roh budovy se zřítíl na horní technické p.
- 03:00 hořící segmenty padaly i vně budovy
- 07:00 požár dosáhl do 5. podlaží

14. 2 . 2005

- 01:00 požár uhašen

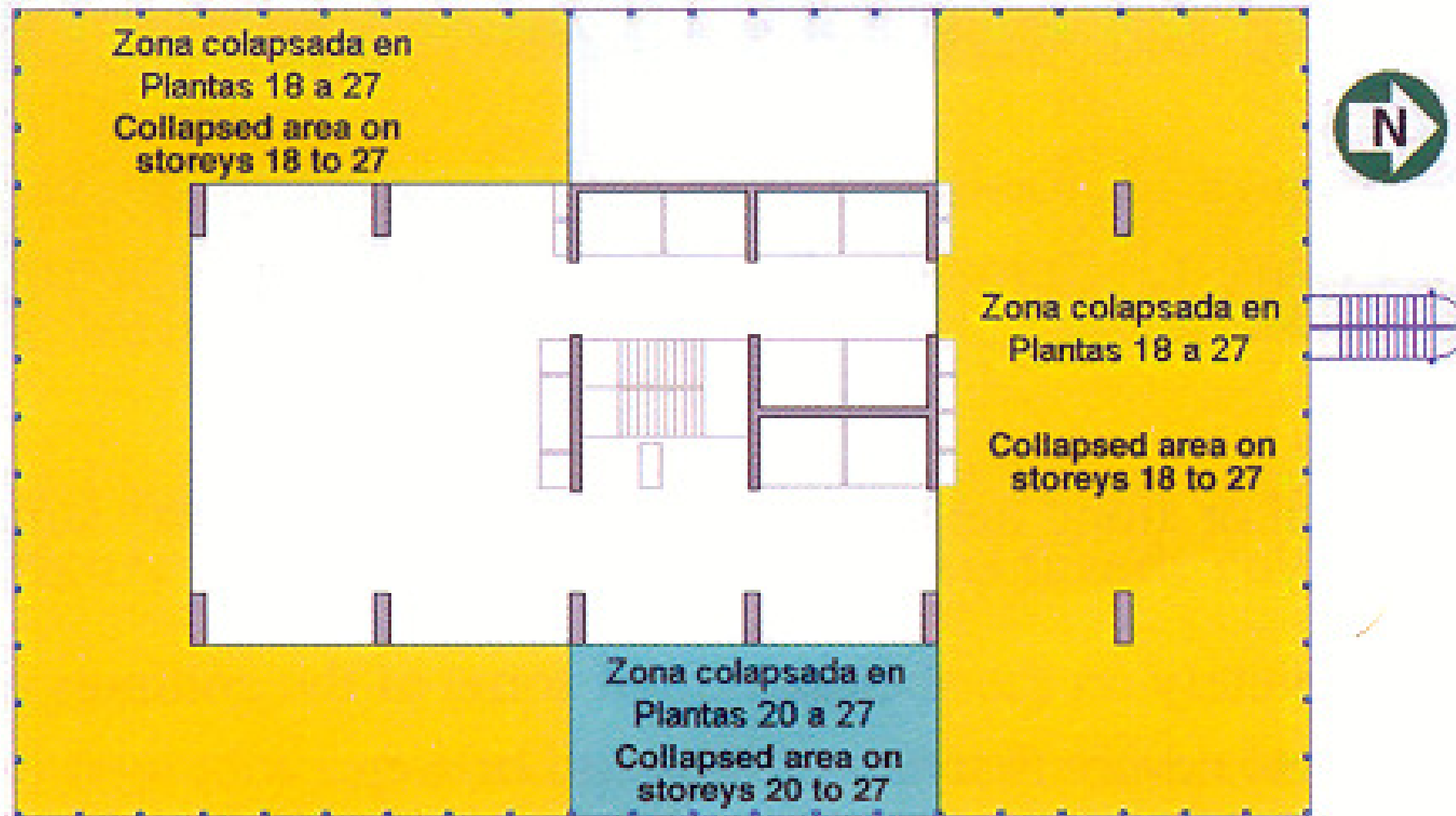




13. 2 . 2005 03:00



budova po požáru



plochy podlaží zřícených na 2. technické podlaží

Následky požáru budovy Windsor Tower

Demolice - nebezpečná operace, třeba stanovit postup

Všeobecná prohlídka budovy 24. 2. 2005 k získání prvotních informací o stavu budovy

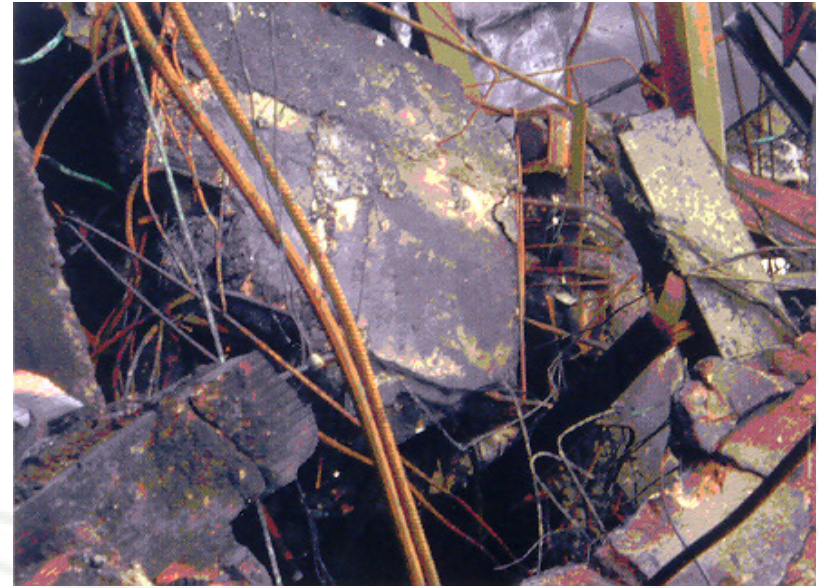
Výsledky prohlídky

- Zřícení ocelových sloupů (neochráněných proti požáru) zapříčinilo zřícení přilehlých stropů v 18. - 27. podlaží, 17. podlaží bylo prakticky nepřístupné - sut'
- Všechny zřícené betonové sloupy měly vodorovné trhliny, betonové sloupy v nižších podlažích měly diagonální a svislé trhliny, na kratších straně sloupů odpadla krycí vrstva a někde i vybočila výztuž (přetržení třmínků), schodišťové stěny a jádra výtahů porušeny jen mírně, většina fasádních ocel. sloupů v nižších podl. vybočila

- Ocelové kotevní desky mezi ocelobetonovými spřaženými nosníky byly poškozeny - 56% svarů přerušeno, desky značně deformovány, u několika trámů zjištěna značně nestejná požární ochrana, zčásti se odlupující
- Zavěšené podhledy většinou ve všech podlažích opadaly, uvolnily se a zřítily i keramické vložky
- Po oddělení desek keramických vložek odpadla i krycí vrstva výztuže žeber a výztuže, ztratila soudržnost výztuže s betonem
- Skutečnost, že povrch betonu nebyl zbarven kouřem bylo znamením, že krycí vrstva musela odpadnout po požáru při ochlazování konstrukce



Suť propadlá z 18. podl. na 17. podl.



Zbytky zříceného ŽB stropu



Vybočení ocelových sloupů v 9. podlaží, sloupy požárně nechráněny





Trhliny ve sloupech v 16. podlaží



Vybočené pruty v 8. podlaží



Přetržené třmínky



Utržená kotva

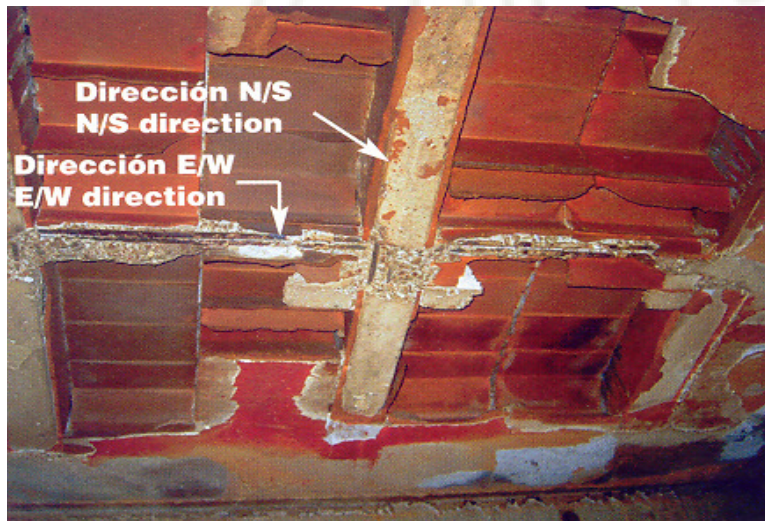
17. a 16. podlaží



Porušení ohnivzdor. ochr. spřaž. nosníku



Odpadnutí podhledu a vložek



Odpadnutí podhledu a keram. vložek



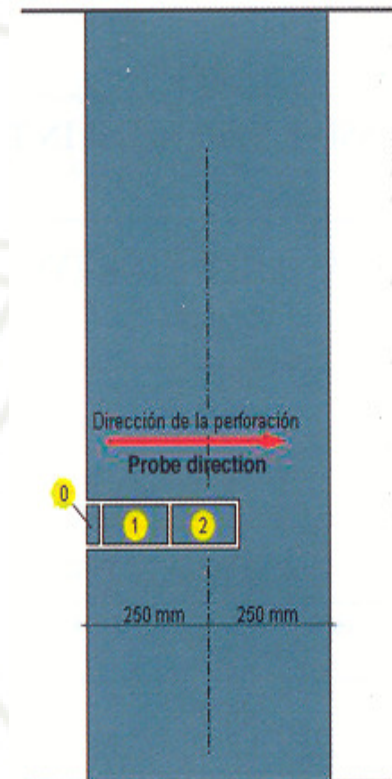
Odpadnutí krycí vrstvy výztuže

Provedené zkoušky a průzkumy

- Zjištění zbytkové pevnosti materiálů k získání údajů pro stanovení bezpečnosti během různých fází demolice budovy
- Staveništní průzkumy: tloušťka krycí vrstvy: hlavní výztuže sloupů a horní výztuže desek, kontrola rozměrů desek
- Ultrazvukové měření: na všech přístupných svislých prvcích a v místech odebraných vývrtů (po mechanických zkouškách pro stanovení závislosti mezi pevností a rychlostí impulzů - porovnání i s betonem nenarušeným požárem)
- Odebírání a zkoušení vývrtů

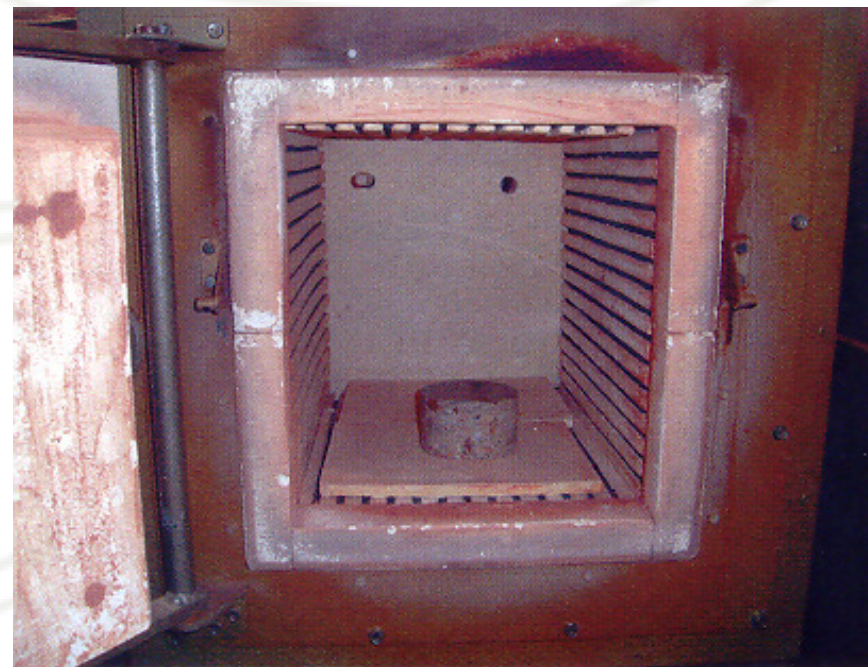
- Interpretace výsledků zkoušek
 - pevnost - regresní analýza rychlosti impulzů
 - stanovení hloubky poškozeného betonu (pro zjištění ztráty soudržnosti betonu s výztuží) - zkoušky potvrdily dobrou shodu reziduálních pevností při vyšších teplotách betonu s údaji uvedenými v EN 1992-1-1
- Stanovení teploty v požárním úseku bylo provedeno pro dvě extrémní situace: kanceláře bez a se skladovanými spisy a dva scénáře obvodových stěn (porušení 30 a 65 % plochy fasády); skladované spisy a dodávaný kyslík - prudké celkové náhlé vzplanutí, křivka ISO 834

Zkoušení sloupů



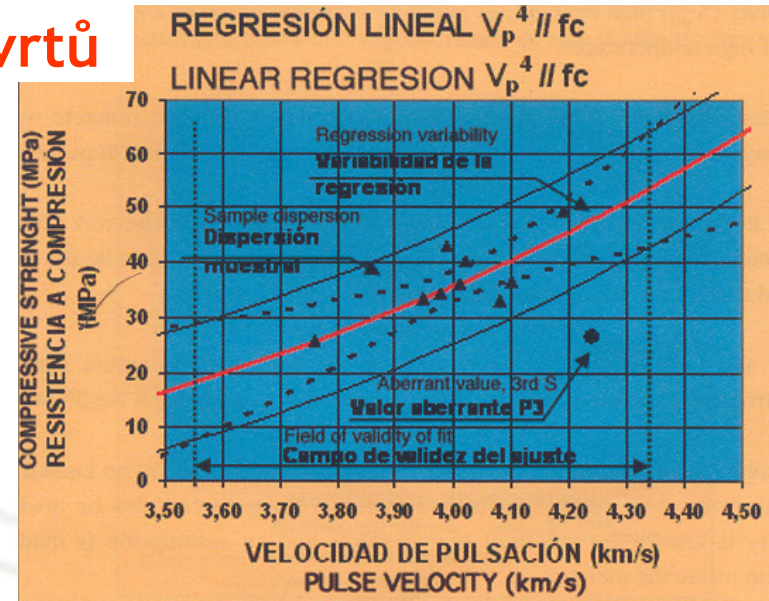


Tlakové zkoušky vzorků

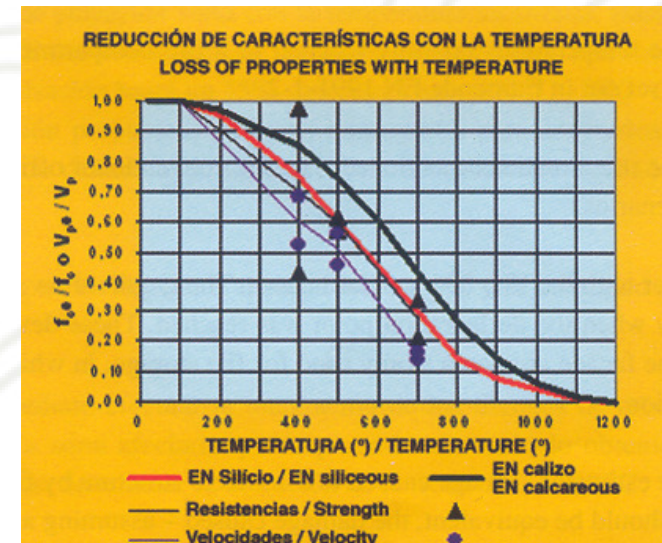
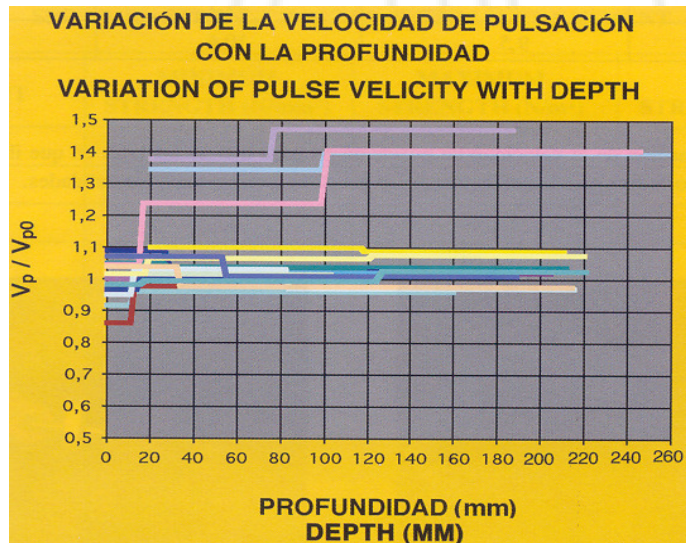


Zkoušky vzorků v požární peci

Dynamické zkoušky vývrtů

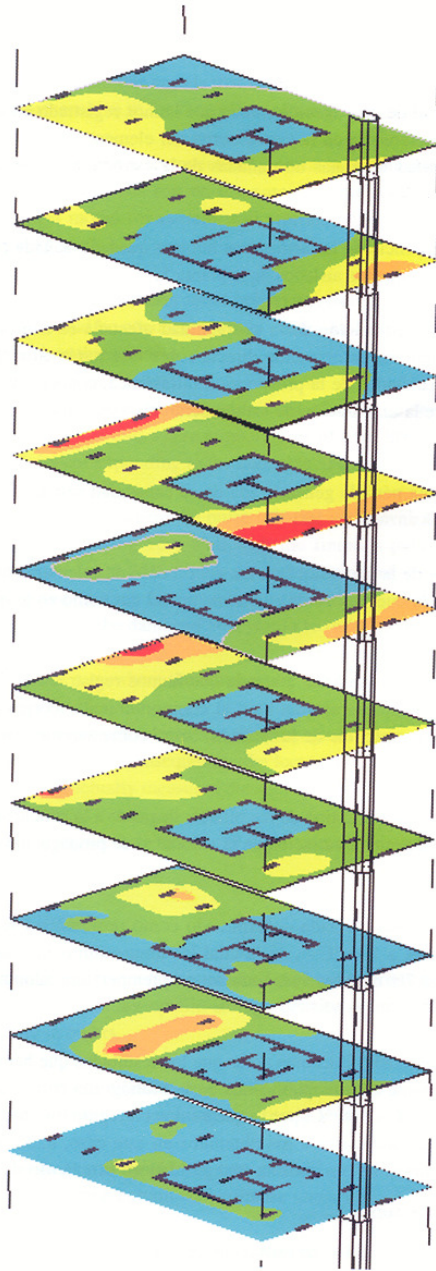


Poměrná změna rychlosti impulzů s hloubkou



Závislost rychlosti impulzů na hloubce

Vliv teploty na rychlost impulzů



Techo de planta 14^a
14th storey ceiling

Techo de planta 13^a
13th storey ceiling

Techo de planta 12^a
12th storey ceiling

Techo de planta 11^a
11th storey ceiling

Techo de planta 10^a
10th storey ceiling

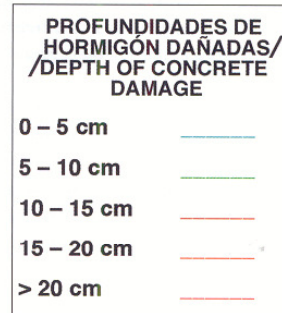
Techo de planta 9^a
9th storey ceiling

Techo de planta 8^a
8th storey ceiling

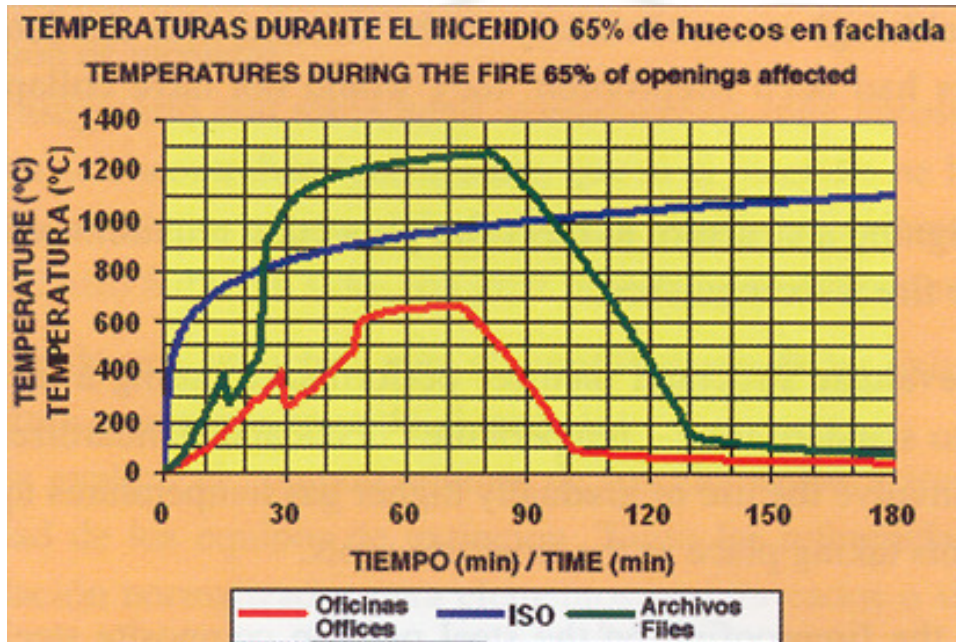
Techo de planta 7^a
7th storey ceiling

Techo de planta 6^a
6th storey ceiling

Techo de planta 5^a
5th storey ceiling

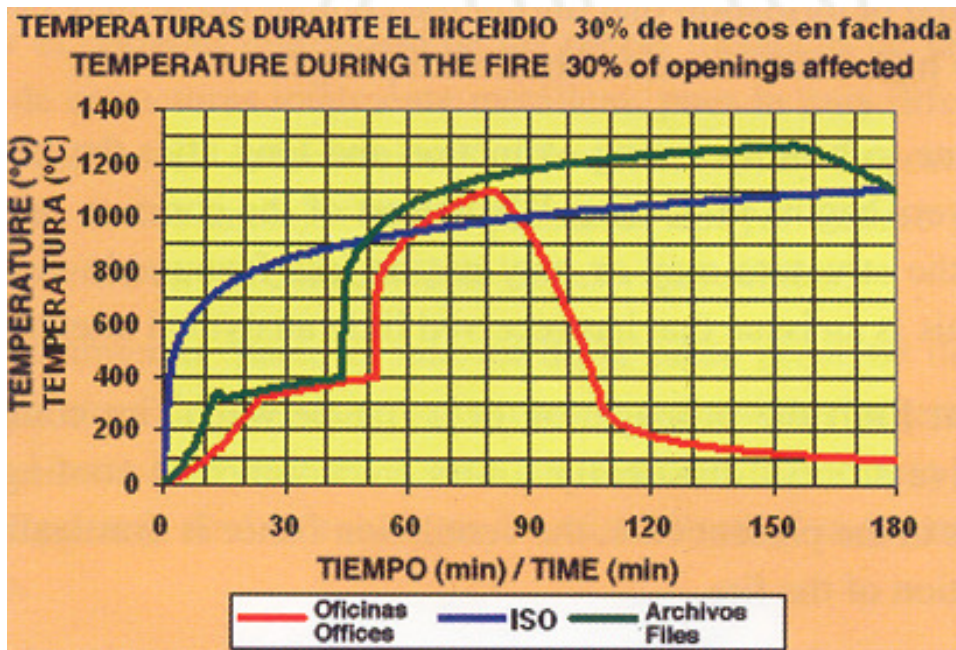


Odhad hloubky poškození stropních konstrukcí v 5.-14. podlaží



Teoretická teplota v požárním úseku

65 % otvorů



30 % otvorů

Závěry

Na základě provedených zkoušek a studií bylo možné:

- Stanovit zbytkovou únosnost konstrukce a vhodně rozmístit prostředky k demolici
- Určit rizikové oblasti - práce s nejvyšší opatrností
- Navrhnout a ověřit metody založené na nedestruktivních zkouškách pro stanovení hloubky ve které poškození betonu by mohlo ovlivnit jeho únosnost
- Provedený výzkum ověřil i vhodnost požadavků norem na požární odolnost

Chování betonových a zděných konstrukcí při požáru

Příklady experimentů betonových prvků a konstrukcí

Zkouška požární odolnosti panelu TT



Příklady experimentů betonových prvků a konstrukcí

Zkouška požární
odolnosti stěny



Příklady experimentů betonových prvků a konstrukcí

Ukončení zkoušky
požární odolnosti
stěny



Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu

Budova

- půdorysná plocha 675 m²
- pole 7,5 x 7,5 m
- počet podlaží 7
- požární odolnost 60 minut



Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu

Požární zkouška - 1. podlaží

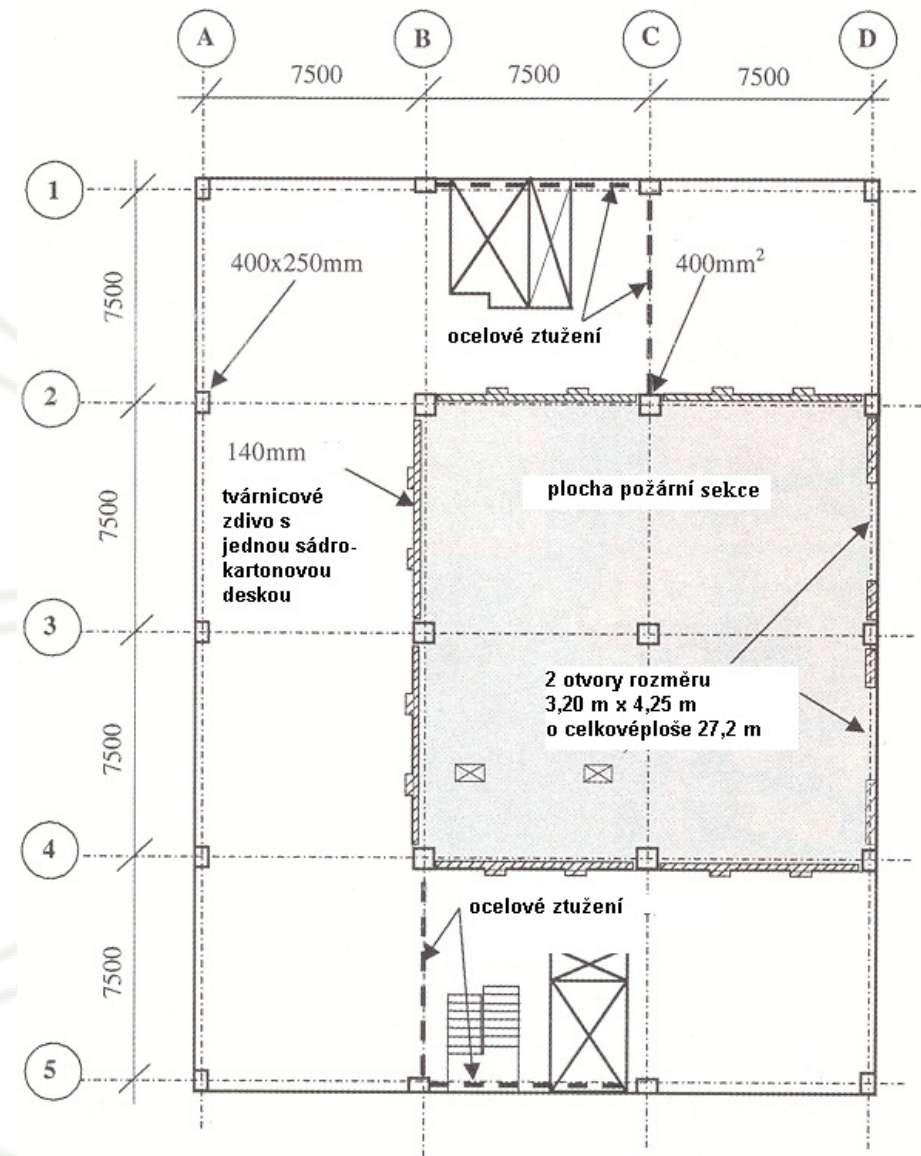
plocha požární sekce 225 m²

stropní deska

- tloušťka 250 mm, krytí 20mm
- beton $f_c = 74$ MPa
- vlhkost 3,8 % hmotnosti
- zatížení nahoře 3,25 kN/m²

sloup

- 0,4m x 0,4 m, 0,4 m x 0,25 m
- světlá výška 4250 mm
- krytí 40 mm
- beton $f_c = 103$ MPa
- polyp. vlákna 2,7 kg/m³
- vlhkost 4,2 % hmotnosti
- přetížení vyvolá sílu $N = 925$ kN



Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Před požárem - požární zatížení 40 kg/m^2 (720 MJ/m^2),
podepření pro případ havárie - bez dotyku s deskou

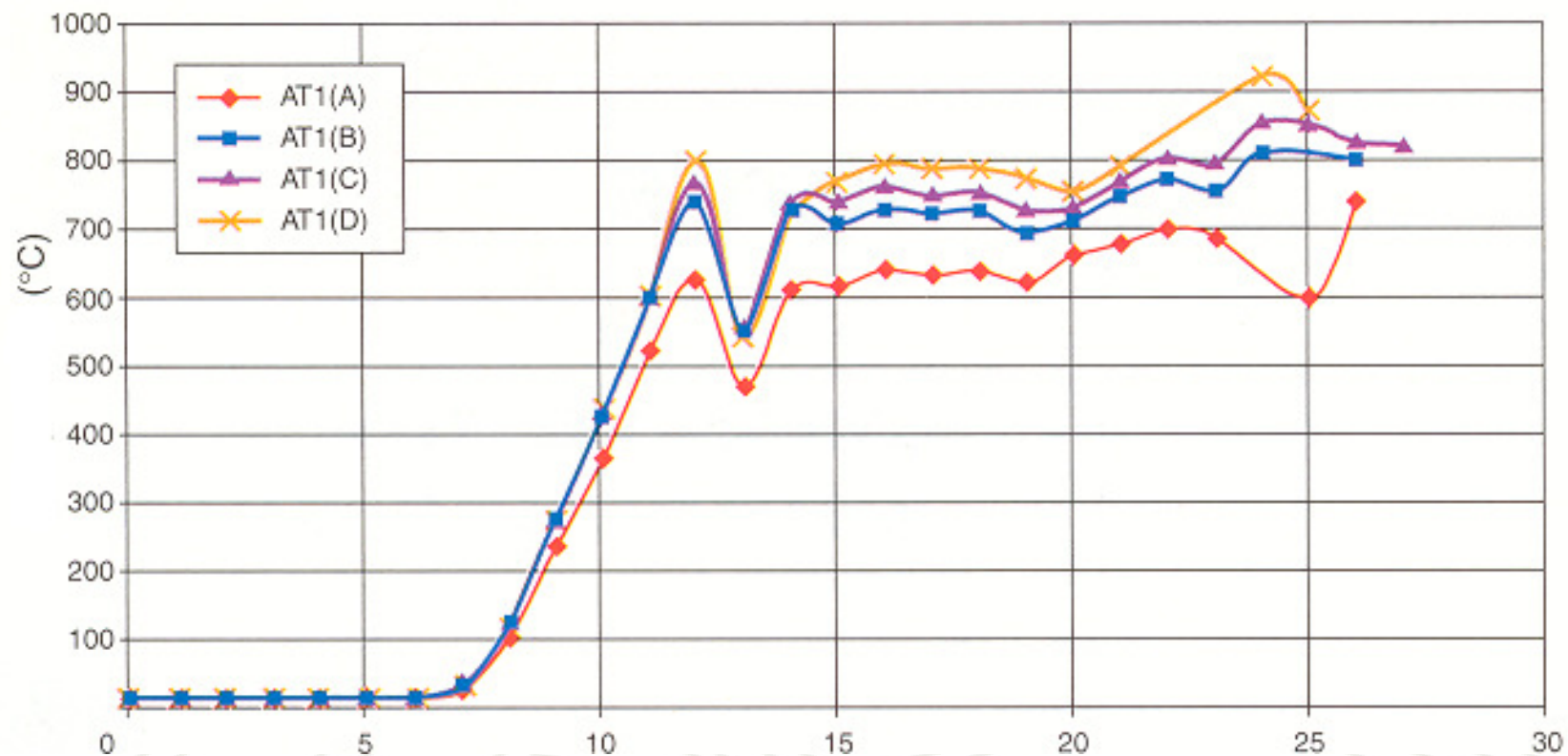
Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu

Plně rozvinutý požár

po 10 min. odštěpování
betonu ze spodního líce
desky



Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Průběh teploty za požáru

Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Po požáru - rozsah odštěpení betonu

Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Zkouška požární odolnosti stopní desky

Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



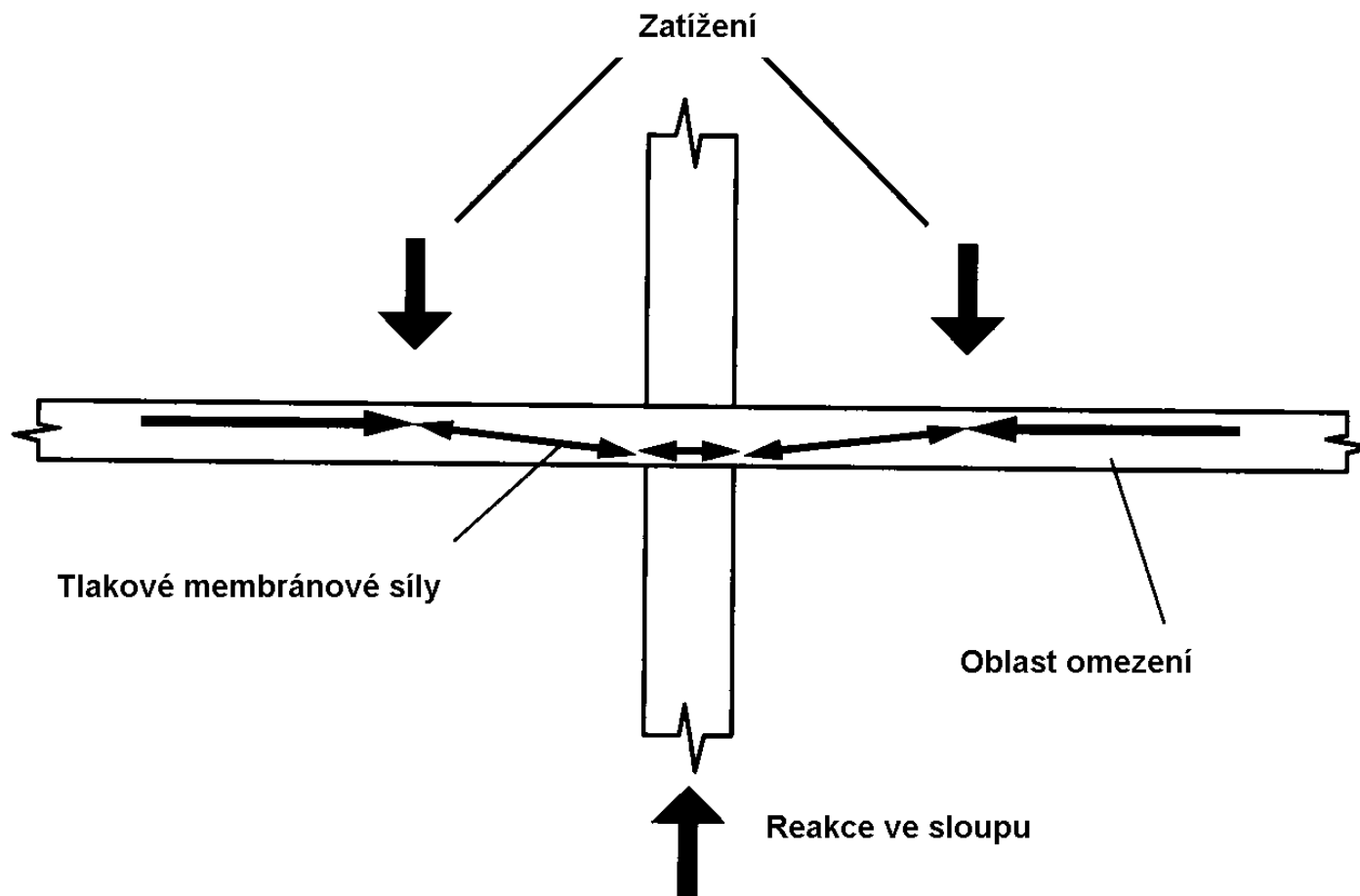
Zkouška požární odolnosti sloupu

Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Sloup z vysokopevnostního betonu po požáru
beton s přísadou polypropylénových vláken 2,7 kg/m² betonu

Požární zkouška betonové konstrukce v Cardingtonu



Tlakové membránové působení



Děkuji za pozornost!

Seznam použitých zdrojů

- [1] Wald, F. a kol. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí. Praha: ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03157-8.
- [2] Směrnice Rady 89/106/EHS, o sblížení právních a správních předpisů členských států týkajících se stavebních výrobků, ze dne 21. prosince 1989.
- [3] ČSN 73 0802. Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. Praha: ÚNMZ, 2009.
- [4] Procházka, J. a kol. Navrhování betonových a zděných konstrukcí na účinky požáru. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04613-5.
- [5] Vyhláška Ministerstva vnitra č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ze dne 29. června 2001.
- [6] Comprehensive fire protection and safety with concrete. Brussels: European Concrete Platform ASBL, April 2007. Český překlad dostupný na:
<http://www.betontks.cz/downloads/Komplexni-pozarni-ochrana.pdf>

© Radek Štefan, Jaroslav Procházka 2011-2016

Poslední úprava: 4. 10. 2016

Připomínky a návrhy na vylepšení prezentace zasílejte prosím na adresu radek.stefan@fsv.cvut.cz

Upozornění:

Materiál slouží pouze pro studijní a výukové účely v rámci předmětů vyučovaných na Fakultě stavební ČVUT v Praze!