

POŽÁRNÍ EXPERIMENT NA OSMIPODLAŽNÍM OBJEKTU V CARDINGTONU

M. Beneš¹, F. Wald¹, P. Hřebíková¹, M. Chladná² a J. Pašek³

¹ČVUT, Fakulta stavební, Katedra ocelových konstrukcí,
Thákurova 7, 166 29 Praha, ČR
Martin.Benes@fsv.cvut.cz
Wald@fsv.cvut.cz
Petra.Hrebikova@fsv.cvut.cz

²STU, Stavebná fakulta, Katedra kovových a drevených konštrukcií,
Radlinského 11, 813 08 Bratislava, SR
Chladna@svf.stuba.sk

³ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb,
Thákurova 7, 166 29 Praha, ČR
Jan.Pasek@fsv.cvut.cz

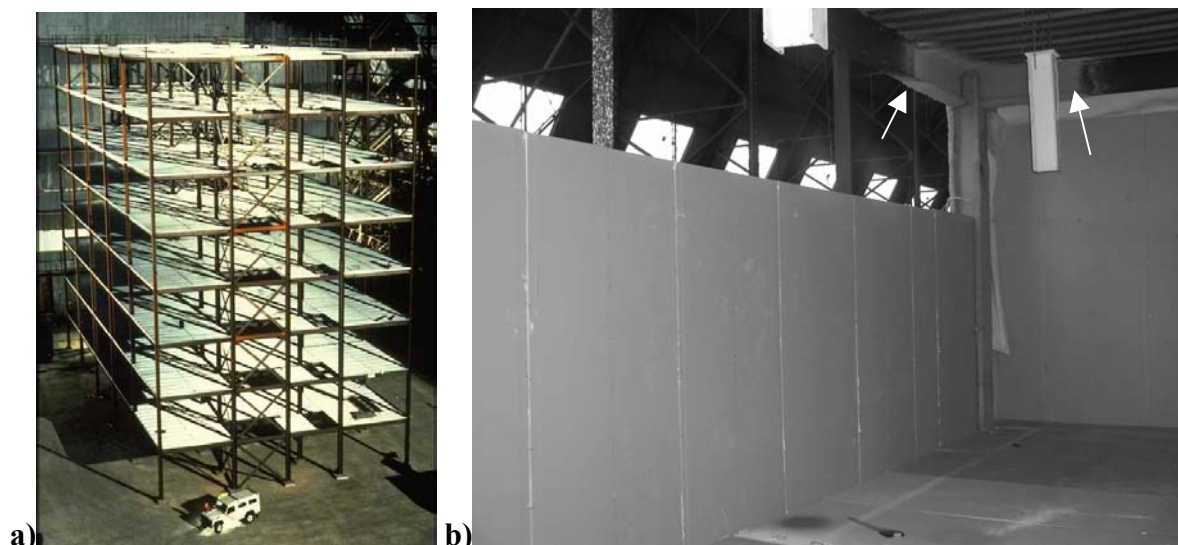
ABSTRACT

This paper presents the fire test conducted in the Large Building Test Facility in Cardington by Czech Technical University in Prague, British Research Establishment, University Coimbra, Technical University in Bratislava and University of Sheffield under the EU Fifth framework program HPRI – CV 5535 on January 16th 2003. The test was performed on the full-scale eight-story building, which had been designed and constructed as a typical multi-storey office building, see Fig. 1. This seventh fire test on the building was designed to investigate the temperature distribution and internal forces in connections as well as the behaviour of the composite floor slab. The paper is focussed to the test preparation, execution and the major observations. The behaviour of the connections observed during the test is discussed.

ÚVOD

Laboratoř pro zkoušky velkého rozsahu (LBTF) v Cardingtonu je unikátní zkušební prostor o rozměrech 48 m x 65 m x 250 m umístěný v bývalém hangáru pro vzducholoď, viz obr. 1a [1]. V hale je kromě dalších menších experimentálních staveb šestipodlažní dřevěný, sedmipodlažní železobetonový a osmipodlažní ocelobetonový objekt. Zkoušky na budovách ve skutečném měřítku jsou zaměřeny na spolupůsobení prvků, na konstrukční celistvost při

výbuchu a na zkoušky požární spolehlivosti, viz [2], na zkoušky, které na částech konstrukce nelze provést.



Obr. 1: a) Pohled na zkoušený objekt a b) do požárního úseku pro zkoušku celistvosti, šipkami označen rozsah tepelné protipožární izolace nosné konstrukce

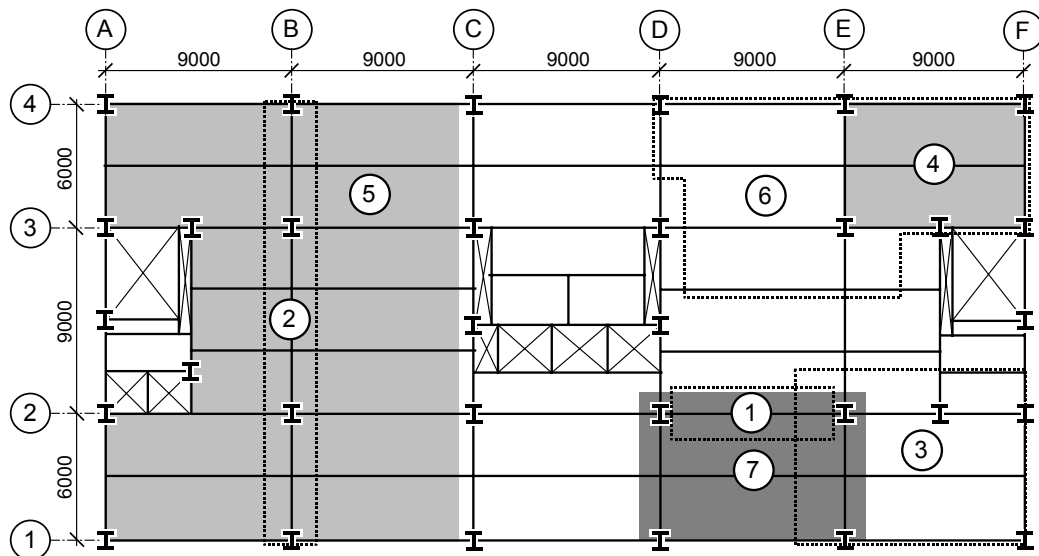
Ocelobetonový objekt je navržen jako typická moderní administrativní budova o užitné ploše 945 m², viz obr. 1. Objekt je vysoký 33 m o půdorysných rozměrech 21 m x 45 m se třemi trakty 6 m + 9 m + 6 m o pěti polích rozpětí 9 m. Konstrukce je v obou směrech ztužena diagonálními ztužidly umístěnými kolem tří přístupových svislých šachet, viz obr. 2 [1]. Ocelové nosníky jsou navrženy z otevřených profilů I jako prostě uložené a jsou spřaženy trny s plechobetonovou deskou o tloušťce 130 mm z profilovaných plechů a betonu s lehkým kamenivem. Deska je vyztužena jednou vrstvou sítí trhlinové výztuže.

Tabulka 1: Přehled požární experimentů na spřaženém ocelobetonovém objektu v laboratoři LBTF v Cardingtonu

Zkouška	Organizace	Zaměření experimentu	Plocha (m ²)	Podlaží
1	British Steel	Únosnost nosníku v konstrukci	24	7
2	British Steel	Chování jedné příčné vazby	53	4
3	British Steel	Rohový požární úsek	76	2
4	BRE	Rohový požární úsek	54	3
5	BRE	Rozsáhlý požární úsek	340	3
6	British Steel	Přírozený požár kanceláře	136	2
7	ČVUT	Konstrukční celistvost	77	3

Na ocelobetonovém objektu bylo provedeno sedm hlavních požárních experimentů [3]. Jejich cílem bylo sledovat chování objektu vystaveného požární situaci, viz tab. 1 a tab. 2. První experiment byl zaměřen na nosník za vysokých teplot při skutečných okrajových podmínkách. Při experimentu č. 2 byla zatížena teplotou jedna celá příčná vazba. Pro tyto zkoušky se zahřívalo plynovými hořáky, viz [4]. Pro další zkoušky byly spalovány dřevěné hranoly nebo kancelářské vybavení, zkouška č. 6. Zkoušky č. 3 až č. 6 prověřovaly působení ocelobetonové stropní desky a vedly ke zvýšení spolehlivosti tohoto typu konstrukcí. Mechanické zatížení bylo vnášeno pytlí s pískem. Průběh hoření u zkoušky č. 3 až 5 byl ovlivněn omezením přívodu kyslíku. U požární spolehlivosti se vycházelo z moderní koncepce, kdy se tlačené prvky (sloupy) chrání tepelně izolačním materiálem, viz [5],

a ocelobetonové stropy a ohýbané konstrukční prvky požární vyhoví bez ochrany. Při všech zkouškách se potvrdilo dobré chování ocelové konstrukce zatížené přirozeným požárem. Mezi typické poruchy styčniců za vysokých teplot patří boulení tlačené pásnice, ztráta únosnosti šroubů ve smyku u přípojů s deskou na stojině nosníku a přetržení jedné strany čelní desky ve fázi chladnutí konstrukce bez ztráty její únosnosti ve smyku. Na experimentech byly ověřeny modely rozložení teploty ve styčnicích, viz [6]. Hlavní přínos experimentů na skutečných objektech lze spatřovat v popisu chování ocelobetonové desky za vysokých teplot. Zkouška navržená pod vedením pracovníků z ČVUT navázala na poznatky z kolapsu WTC 11. září 2001 a zaměřila se na konstrukční celistvost objektu při zatížení požárem, viz [7].



Obr. 2: Půdorys typického podlaží se schematickým označením umístění požárních experimentů, zkouška ČVUT v Praze je označena ⑦

Tabulka 2: Hlavní charakteristiky experimentů na spráženém ocelobetonovém objektu

Zkouška	Zatížení		Teploty (°C)		Deformace (mm)		Čas (min.)
	požární	G + %Q	vzduchu	oceli	největší	zbytkové	
1	plynem	30%	913	875	232	113	170
2	plynem	30%	820	800	445	265	125
3	45 kgm ⁻²	30%	1020	950	325	425	75
4	45 kgm ⁻²	30%	1000	903	269	160	114
5	40 kgm ⁻²	30%	-	691	557	481	70
6	46 kgm ⁻²	30%	-	1060	610	-	40
7	40 kgm ⁻²	56%	1108	1088	~1220	925	55

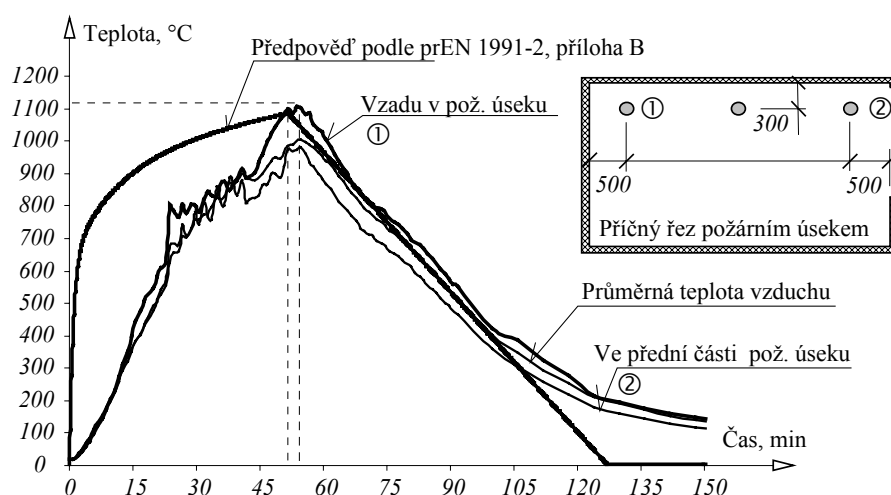
ZKOUŠKA KONSTRUKČNÍ CELISTVOSTI

Hlavními cíli zkoušky bylo získání poznatků o rozvoji teploty ve styčnicích konstrukce, o vnitřních silách ve styčnicích a o chování sprážené desky, viz [8]. Pro experiment byl na třetím podlaží vytvořen požární úsek o rozměrech 7 m x 11 m, viz obr. 2, zkoušena byla stropní deska nad třetím podlažím. Stěny úseku byly navrženy 1 m vně sloupů. Byly tvořeny příčkami ze sádkartonových desek (tloušťky 15 + 12,5 + 15 mm, tepelné vodivosti $\lambda_p = 0,20 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) na ocelových tenkostěnných profilech. Sádkartonové desky byly ukončeny 0,5 m pod stropem. Mezera byla uzavřena rohoží z křemičitých vláken, tak aby

byla umožněna volná deformace stropu. U obvodového pláště byl vytvořen ventilační otvor o výšce 1,27 m a délce 9 m nad sádkartonovou příčkou, obr. 1.

Sloupy uvnitř požárního úseku byly ochráněny protipožárním nástřikem (Cafco 300) o tloušťce 15 mm na bázi vermiculitu (o tepelné vodivosti $\lambda_p = 0,078 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$) – vnitřní sloupy (D2, E2) pod styčníky s nosníky a vnější sloupy (D1, E1) až ke stropní desce včetně částí připojovaných nosníků o délce 1,2 m. Ocelová konstrukce stropu v požárním úseku byla bez tepelné izolace. Budova byla navržena na $3,65 \text{ kN/m}^2$ stálého zatížení a $3,5 \text{ kN/m}^2$ nahodilého zatížení. Pytle s pískem, každý o tíže 11 kN, představovaly ve čtvrtém podlaží na ploše $18 \text{ m} \times 10,5 \text{ m}$ během zkoušky plně stálé a dlouhodobé nahodilé zatížení včetně 56% krátkodobého nahodilého zatížení. Požární zatížení 40 kg/m^2 tvořilo celkem 32 hranic z dřevěných hranolů $50 \times 50 \times 1000 \text{ mm}$ o vlhkosti 11,8%.

K měření bylo použito přes 250 snímačů. Pro stanovení teplot v požárním úseku, na nosnících a styčnicích a v betonové desce zaznamenávalo 148 termočlánků. Vnitřní síly ve styčnicích byly určovány z deseti vysokoteplotních tenzometrů (HITEC PRODUCTS, INC., HBWAH-12-250-6NL). Napjatost v tepelně izolovaných sloupech a v ocelobetonové desce byla vyšetřována 57 tenzometry. 37 induktivních snímačů deformací zachycovalo změnu geometrie konstrukce. Snímače byly propojeny s ústřednou Orion Delta, která data odečítala, převáděla a zaznamenala. Data byla ukládána k vyhodnocení připojeným osobním počítačem. K popisu průběhu hoření a deformace sloupů a stropní desky sloužilo deset videokamer. Dvě termokamery (FLIR 695 PM) s objektivy o úhlu 6° zaznamenávaly teploty na styčnicích a konstrukci s rozlišením $24 \times 24 \text{ mm}$. Na přípravě zkoušky se po dobu tří a půl měsíce podílelo 19 pracovníků (dva doktorandi a čtyři pracovníci z Českého vysokého učení technického v Praze, osm pracovníků z British Research Establishment v Watfordu, dva doktorandi a jeden pracovník z University v Coimbre, jedna doktorandka z Technické university v Bratislavě a jeden kolega z University v Sheffieldu).

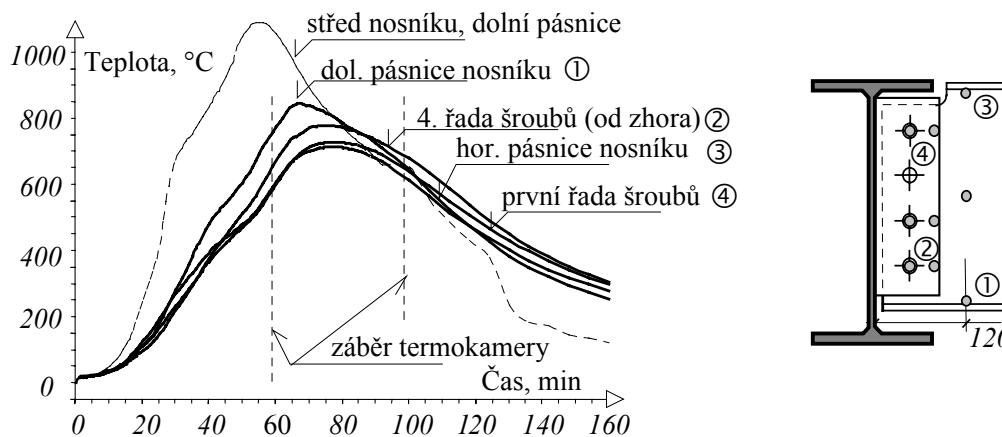


Obr. 3: Porovnání předpovědi teploty v požárním úseku, prEN 1991-2, příloha B, s naměřenými hodnotami

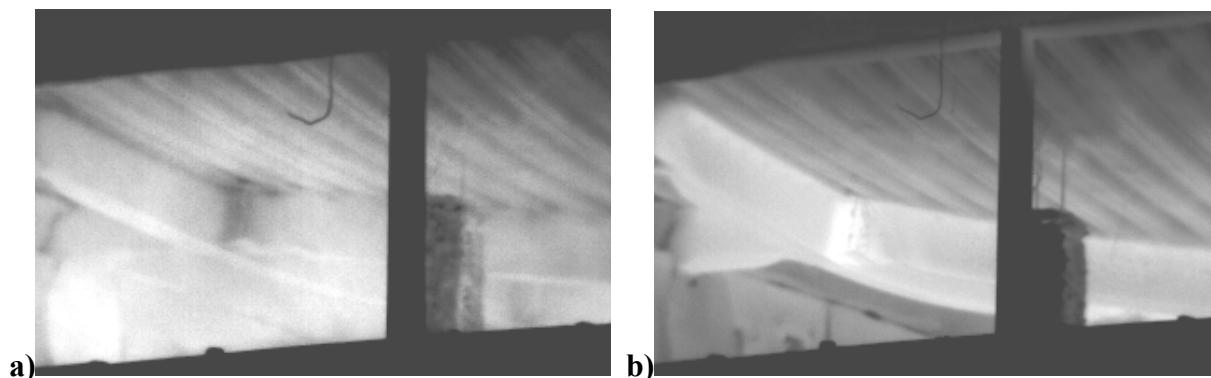
TEPLOTY V POŽÁRNÍM ÚSEKU A STYČNÍKU

Vhodnou volbou požárního zatížení a velikostí otvorů bylo dosaženo dlouhého požáru s pozvolným rozvojem bez výrazného přeskočení (flashover) při omezeném rozvoji kouře. Průběh hoření byl řízen ventilací. Obr. 3 zachycuje předpověděný a skutečný průběh teplot

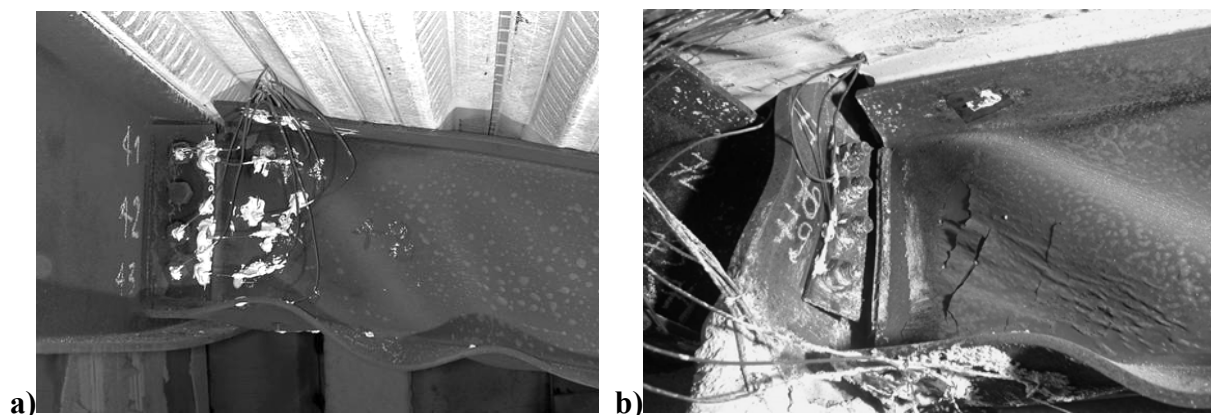
v požárním úseku (teplota je měřena 0,3 m pod stropem ve středu požárního úseku; vzadu 0,5 m od zadní stěny; ve středu a 0,5 m od čela budovy). Nejvyšší naměřená teplota vzduchu, 1108°C, v úseku byla v 55 minutě. Nejvyšší teplota v ocelové konstrukci byla naměřena v 57 minutě, 1088°C, ve středu nosníku. Největší průhyb stropní desky se nepodařilo zaznamenat průhyboměry (s rozsahem 1000 mm). Ze záznamu z videokamery lze odečíst přibližně 1220 mm. Zbytkový průhyb konstrukce byl změřen po vychladnutí konstrukce po 48 hodinách a dosahoval 925 mm. Koncentrací hmoty jsou styčníky konstrukce během zahřívání chladnější vzhledem k nosníkům. Při chladnutí se stávají teplejšími, viz grafy na obr. 4 a záběry z termokamery na obr. 5.



Obr. 4: Rozložení teplot ve styčníku nosníku na průvlak deskou na stojině



Obr. 5: Záběry z termokamery při a) zahřívání (teplota horního šroubu ve styčníku 664°C); b) chladnutí (teplota horního šroubu ve styčníku 687°C)



Obr. 6: a) Ovalizace otvorů u přípoje nosníku na průvlak deskou na stojině; b) porušení přípoje nosníku na sloup čelní deskou jejím přetržením na jedné straně

ZÁVĚRY

V průběhu testu nedošlo k progresivnímu kolapsu konstrukce, přestože mechanické zatížení překročilo výrazně návrhové hodnoty (56% užitného) a teplota v ocelových nosnících překročila 1000°C. Během chladnutí konstrukce došlo k porušení styčnicků prasknutím poloviny čelní desky podél svaru a ovalizací otvorů pro šrouby u styčnicků plechy na stojině, viz obr. 6. K porušení šroubů ani ke ztrátě smykové únosnosti přípoje nedošlo.

Naměřené vnitřní síly ve styčnicích potvrdily předpoklady z numerických simulací problematiky, viz [9], a z požadavků na celistvost konstrukce při mimořádných situacích. Prokázal se příznivý vliv spřažené betonové desky na únosnost stropní konstrukce, viz [10].

Lokální boulení dolní pásnice ve styčnicích konstrukce za běžných teplot nerozhoduje a při návrhu se uvažuje zjednodušeně. Za vysokých teplot lokální boulení je třeba zohlednit, protože oblast styčnicku ovlivňuje přerozdělení vnitřních sil a degradace materiálových vlastností. Na tuto problematiku se zaměří další výzkumné práce.

OZNÁMENÍ

Autoři děkují za podporu této práce grantem pátého rámcového programu Evropské unie č. HPRI – CV 5535 a grantem Grantové agentury České republiky č. 103/01/0708.

LITERATURA

- [1] Armer, G. S. T. - Moore, D. B.: *Full-Scale Testing on Complete Multi-storey Structures*. Structural Engineer, Vol. 72, No. 2, 1994, pp. 30-31
- [2] Bailey, C. G. - Lennon, T. - Moore, D. B.: *The behaviour of full-scale steel framed buildings subjected to compartment fires*. Structural Engineer, Vol. 77, No. 8, 1999, pp. 15-21
- [3] Lennon, T.: *Cardington fire tests: instrumentation locations for large compartment fire test*. Report N100/95, Building Research Establishment, Watford, 1996
- [4] Moore, D. B. - Lennon, T.: *Fire Engineering Design of Steel Structures*. Progress in Structural Engineering and Materials, Vol. 1, No. 1, 1997, pp. 4-9
- [5] Newman, G. M. - Robinson J.T. - Bailey C.G.: *A New Approach to Multi-Storey Steel-Framed Buildings*. SCI Publication 288, The Steel Construction Institute, Ascot, 2000
- [6] O'Connor, M. A. - Martin, M. D.: *Behaviour of a Multi-storey Steel Framed Building Subjected to Fire Attack*. J. Construct. Steel Res., Vol. 46, No. 1-3, 1998, Paper No. 169.
- [7] Beneš, M. - Wald, F. - Pascu, H. E. - Sokol Z.: *Numerical Study to Structural Integrity of Multi-Storey Buildings Under Fire*. Proc. EUROSTEEL (ed. A. Lamas and L. Simoes da Silva), CMM, Coimbra, 2002, pp.1401-1410. ISBN 972-98376-3-5
- [8] Wald, F. a kol.: *Structural Integrity Tests CV5535 Cardington - Part 1-4*. Internal report, ČVUT, Praha, 2003
- [9] Sokol, Z. - Wald, F. - Pultar, M. - Beneš, M.: *Numerical simulation of Cardington fire test on structural integrity*. Proc. MCM (ed. M. Kočandrlová and V. Kellar), CTU, Praha, 2003, pp.339-343. ISBN 80-7015-912-X
- [10] British Steel: *The Behaviour of Multi-storey Steel Framed Buildings in Fire*. British Steel plc., Swinden Technology Centre, 1999. ISBN 0 900206 50 0