

POŽIARNA SKÚŠKA NA EXPERIMENTÁLNO M OBJEKTE V MOKRSKU

M. Štujberová¹, F. Wald² a P. Kallerová²

ABSTRACT

This paper provides information on fire experiment organized by the Faculty of Civil Engineering, Prague, which took place in Mokrsko on September 18, 2008. The structure represented one floor of typical administrative building with three types of floor structure (two composite and one prestressed concrete panels) and all columns, primary and edge beams protected against fire. Mechanical loading was typical for administrative building and was created by sand bags. Fire loading of 620 MJ/m² was created by timber battens. During the experiment were measured temperatures of gas, structural members, horizontal and vertical deformations and strains of the beams. The load-bearing structure reached the fire resistance R60. The experiment was terminated by a collapse, which allows to verify the prediction models.

1 ÚVOD

Pri navrhovaní oceľových rámových budov so spriahnutými stropmi je dnes bežnou praxou, že všetky požiaru vystavené oceľové časti - stĺpy, prievlaky a stropné nosníky - sa chránia požiarne ochrannými materiálmi. Tento postup je zakotvený aj v normách na navrhovanie oceľových a spriahnutých oceľobetónových konštrukcií na účinky požiaru. Postupy v normách sú založené predovšetkým na normových skúškach izolovaných prvkov, ktoré nezohľadňujú spolupôsobenie medzi jednotlivými časťami konštrukcie. Je to metóda bezpečná, ale veľmi konzervatívna, pretože zanedbáva vlastnú požiaru odolnosť konštrukcie ako celku. Toto oceľovú konštrukciu v porovnaní s betónovými konštrukciami značne predražuje.

Z tohto dôvodu sa v posledných rokoch začal výskum zameriavať na podrobnejšie skúmanie spolupôsobenia jednotlivých konštrukčných prvkov. Pri prechode od navrhovania

¹ Ing. Magdaléna Chladná, PhD. - Katedra kovových a drevených konštrukcií SvF STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava 1

² prof. Ing. František Wald, CSc. – Katedra oceľových a drevených konštrukcií, FSv ČVUT Praha, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6

² Ing. Petra Kallerová – Katedra oceľových a drevených konštrukcií, FSv ČVUT Praha, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6

jednotlivých prvkov k ekonomickejšiemu a spoľahlivejšiemu navrhovaniu konštrukcie ako celku, sú požiarne skúšky na celých konštrukciách nevyhnutným zdrojom poznania. Základom bolo sedem veľkých požiarnych skúšok v laboratóriu v Cardingtone vo Veľkej Británii v rokoch 1998 až 2003, po ktorých nasledovalo niekoľko ďalších. Skúška v Mokrsku na tieto skúšky nadväzuje a jej cieľom je rozšírenie doterajších poznatkov.

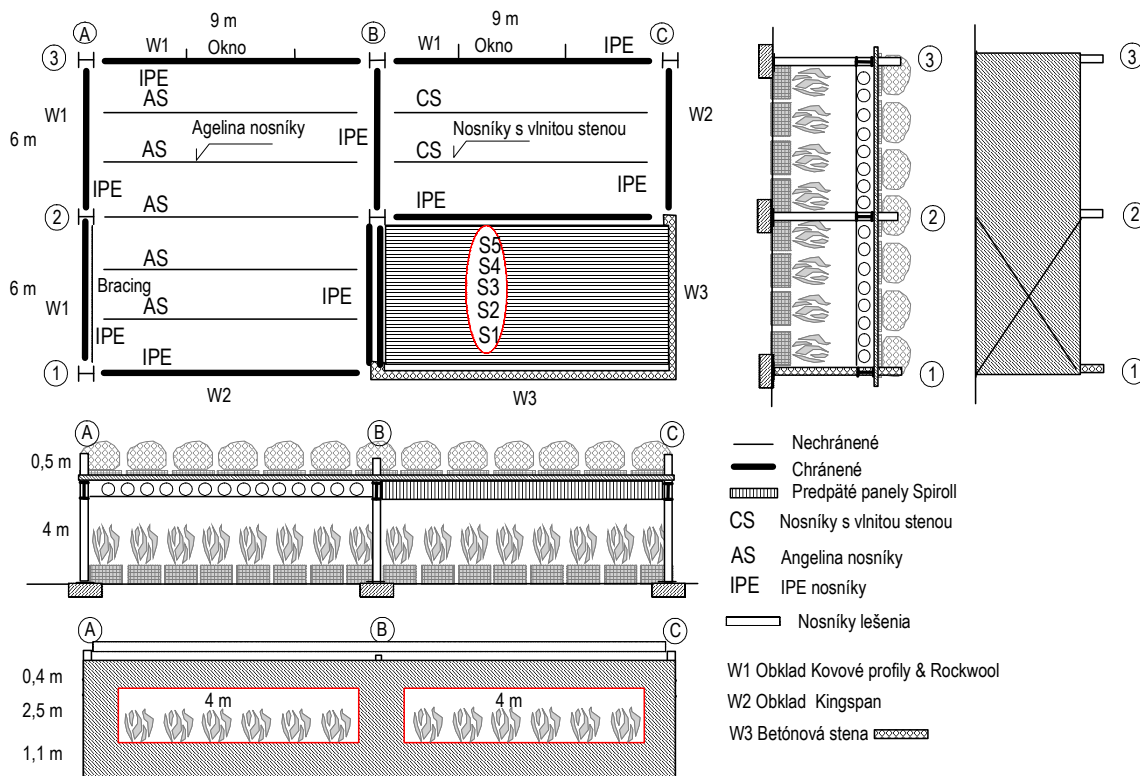
2 PRÍPRAVA SKÚŠKY

Cieľom požiarnej skúšky bolo overenie správania sa konštrukcie ako celku za skutočného požiaru vo fáze ohrievania ako aj vo fáze chladnutia. Skúmali sa tri rôzne typy stropnej konštrukcie, pričom pri dvoch spriahnutých oceľobetónových doskách sa overovalo zvýšenie požiarnej odolnosti pôsobením membránových napätí. Oceľobetónové stropné dosky boli spriahnuté s dvomi typmi oceľových nosníkov – s prelamanými nosníkmi a s nosníkmi s vlnitou stenou. Prípoje nosníkov boli optimalizované metódou komponentov a čiastočne chránené betónovou doskou. Tretí typ stropnej konštrukcie bol z predpätých železobetónových panelov. Steny skúšobnej konštrukcie boli tvorené nosnými kazetami, trapézovými plechmi a sendvičovými panelmi, na ktorých sa skúmal prestup tepla a správanie sa pri vysokých teplotách a betónom, kde sa merala vlhkosť, teplota a napätia počas prirodzeného požiaru.

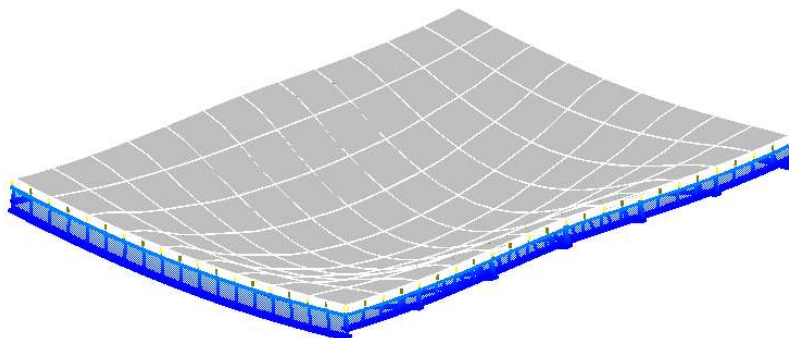
2.1 *Popis konštrukcie*

Objekt predstavuje časť jedného podlažia administratívnej budovy s rozmermi 18 x 12 m (Obr. 1). Oceľobetónová doska je navrhnutá na rozpätie 9 x 6 a 9 x 12 m. Stĺpy z profilu HEB 180 sú chránené proti požiaru. Prelamované nosníky majú výšku 395 mm a sú vyrobené z IPE 270. Nosníky s vlnitou stenou majú pásnice široké 220 mm s hrúbkou 15 mm. Stena je z plechu hrúbky 2,5 mm s výškou 500 mm. Okrajové nosníky sú z profilu IPE 400. Vodorovná tuhosť rámu je zabezpečená betónovou stenou s hrúbkou 250 mm a dvomi priehradovými vystužovadlami z uholníkov L 80 x 8. Prípoj čelnej dosky so zvýšenou požiarou odolnosťou je z plechu 10 mm a so štyrmi skrutkami M16. Dve vrchné skrutky sú zabetónované v doske. Jednoducho podopretá železobetónová doska sa betónovala do trapézových plechov CF46 (Cofraplus 0,75 mm) s celkovou hrúbkou 120 mm (60 + 60 mm). Kocková pevnosť použitého betónu bola 25 MPa a pevnosť výstužnej siete \varnothing 5 mm 100/100mm bola 500 MPa. Predpäté duté panely Spiroll s výškou 320 mm boli navrhnuté na rozpätie 9 m. Dve obvodové steny boli tvorené nosnými kazetami vyplnenými minerálnou vlnou a s vonkajšími trapézovými plechmi a ďalšie dve steny tvorili sendvičové panely vyplnené minerálnou vlnou s hrúbkou 150 mm. Požiarna ochrana stĺpov, priedlakov, okrajových nosníkov a vystužovadiel bola navrhnutá na požiaru odolnosť R60.

Vhodne navrhnutá oceľobetónová doska, aj s požiarne nechránenými nosníkmi, výrazne zvyšuje požiaru odolnosť nosnej konštrukcie. Na jej jednoduchý a spoľahlivý požiaru návrh je v súčasnosti zameraných niekoľko európskych projektov. Okrem riešenia požiarnej odolnosti styčníc môže požiaru experiment priniesť zásadné poznatky o jej chovaní sa v spojení s prelamanými nosníkmi a nosníkmi s vlnitou stenou. Okrem návrhu stropu na ČVUT v Prahe bola požiaru odolnosť dosky riešená aj prof. Ianom Burgessom z The University of Sheffield (obr. 2) a Ing. Magdalénou Štujberovou, PhD. z STU Bratislava. Výstupy z programu VULCAN (prof. Ian Burgess). Očakávaný maximálny priehyb oceľobetónovej dosky 9 x 12 m bol približne 700 mm.



Obr. 1 Schéma konštrukcie pri požiarnej skúške na experimentálnom objekte



Obr. 2 Deformácia oceľobetónovej dosky 9 x 12 m (program VULCAN, The University of Sheffield, prof. Ian Burgess)

2.2 Zaťaženie

Mechanické zaťaženie bolo navrhnuté tak, aby zodpovedalo bežnej administratívnej budove, kde sa premenné zaťaženie pohybuje v rozmedzí 2,5 až 3,5 kN/m². Je štatisticky overené, že mechanické zaťaženia za požiarnej situácie nedosahujú najväčších hodnôt. Skutočná vlastná tiaž skúšanej konštrukcie predstavuje 2,6 kN/m². Premenné zaťaženie 3,0 kN/m² bolo pri skúške tvorené vrecami s pieskom (78 vriec, každé okolo 900 kg) (Obr. 3). Toto zaťaženie zodpovedá pri návrhu na medzný stav únosnosti za normálnej teploty premennému zaťaženiu 3,0 kN/m² a zaťaženiu podlahami a priečkami 1,0 kN/m², v charakteristických hodnotách. Použitie zaťaženie prekročí predpokladanú únosnosť za požiarnej situácie, ktorá je pre zjednodušený model stropnej konštrukcie vypočítaná na 3,49 kN/m², o 67%.

Požiarne zaťaženie bolo tvorené drevenými hranolmi 50 x 50 x 1000 mm. V požiarom úseku bolo rozmiestnených 50 hraníc (Obr. 4), t.j. asi 35,5 kg/m² dreva, čo zodpovedá asi 620 MJ/m². Požiarne zaťaženie bežnej administratívnej budovy je stanovené na 420 MJ/m². Navrhnuté množstvo paliva presahovalo množstvo, ktoré sa nachádza v budove tohto určenia, asi o 50%. Vetrание bolo zabezpečené okennými otvormi, ktoré zodpovedajú modernej viacpodlažnej budove. Parapet dosahoval do výšky 1 m a okná mali výšku 2,54 m a celkovú dĺžku 8,00 m. V oknách nebola sklenená výplň. Maximálna teplota plynu 1057°C predpovedaná parametrickou teplotnou krivkou mala byť dosiahnutá po 60 min požiaru (obr. 3). Fáza chladnutia bola spočítaná na približne 90 min.



Obr. 3 Mechanické zaťaženie



Obr. 4 Požiarne zaťaženie

2.3 Meranie

Na meranie teplôt bolo plánovaných 136 termočlánkov, z toho na meranie teploty plynu 12 kusov, styčnikov 31 kusov, stropníc 13 kusov, stien 9 kusov, stĺpov 9 kusov, betónovej dosky 14 kusov a ohraničujúcich konštrukcií 56 kusov. Deformácie sa merali na desiatich miestach konštrukcie z lešenia, ktoré bolo umiestnené 1,5 m nad stropom skúšobnej budovy. Geodeticky sa deformácie merali trigonometricky pomocou ôsmich tyčí na strope. Sedem tenzometrov, ktoré mali merať pomerné deformácie pri teplotách do 1200 °C, bolo pripojených na steny nosníkov na stanovenie rozvoja vnútorných síl v konštrukcii pri požiaru. Päť videokamier a tri termokamery umožnili záznam správania sa konštrukcie a rozvoja teplôt v konštrukcii a v stenách.

2.4 Partneri projektu

Nositelia výskumných projektov: ČVUT v Prahe, ÚTAM AV ČR, PAVUS a.s.,

The University of Sheffield, STU Bratislava

Partneri projektu: GŘHZS MV ČR, PKPO

Partneri pre konštrukciu: ArcelorMittal Long Carbon R&D Centre, EXCON a.s., Rockwool a.s., Promat s.r.o., HAIRONVILLE VIKAM s.r.o., Metrostav a.s., TBG Metrostav s.r.o., DYWIDAG PREFA a.s., Kovové profily s.r.o., Kingspan a.s., HILTI ČR spol. s r.o., SGB Hünnebeck CZ s.r.o., Skála a Vít s.r.o.

Mediálny partner: Konstrukce

3 PRIEBEH EXPERIMENTU

Samotný experiment sa konal 18. 9. 2008. Požiarna zaťaženie bolo zapálené o 13⁰⁰. Do 60. minúty prebiehal experiment podľa očakávaní, teploty plynu boli o niečo nižšie ako predpovedané, postupne dochádzalo k deformáciám stropných konštrukcií, v 55. minúte bola deformácia stropu s prelamanými nosníkmi 606 mm. Počas požiaru dochádzalo aj k explozívnemu odpraskávaniu betónu z betónovej steny a stĺpa až do vzdialenosti 12 m (Obr. 8). V 63. min došlo k náhlemu kolapsu konštrukcie, keď došlo k zrúteniu stropnej dosky s prelamanými nosníkmi (Obr. 6), chráneného prievlaku B1-B2 (Obr. 1) a následne predpätých stropných panelov, ktoré boli na ňom uložené.



Obr. 5 Rozvinutý požiar



Obr. 6 Zrútená konštrukcia



Obr. 7 Šmykové pole nosníka
s vlnitou stenou



Obr. 8 Obnažená výstuž betónovej steny
a betónového stĺpa

4. ZÁVERY

Počas experimentu bola dosiahnutá požiarna odolnosť nosnej konštrukcie R60. O príčinách kolapsu je zatiaľ predčasné hovoriť, podrobná analýza bude možná až po vyhodnotení všetkých meraní a pozorovaní. V každom prípade tento experiment rozšíril poznanie o správaní sa konštrukcie, ako aj nových typov konštrukčných prvkov pri požiaroch a dá sa

predpokladať, že prispeje k bezpečnejšiemu a hospodárnejšiemu navrhovaniu konštrukcií na účinky požiaru.

Projekt bol podporovaný Grantovou agentúrou Českej republiky, číslo grantu GAČR 103/07/1142.

LITERATÚRA

- [1] Wald, F.: Požární zkouška na experimentálním objektu v Mokrsku. Program zkoušky 18.9.2008. Praha, srpen 2008, 30 strán, ISBN 978-80-01-04146-8.
- [2] Sokol, Z. - Wald, F. Variations of Forces in a Real Steel Structure Tested in Fires. In: Urban Habitat Constructions under Catastrophic Events. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007, p. 80-85. ISBN 978-80-01-03583-2.
- [3] Uhlíř, A. - Kallerová, P. - Wald, F. Fire Test on Industrial Building. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Steel Structures. Singapore: Research Publishing Services, 2007, vol. 3, p. 757-762. ISBN 978-981-05-9365-0.
- [4] Wald, F. - Pultar, M. - Chlouba, J. - Uhlíř, A. Temperature of External Steelwork Under Natural Fire. In: Proceedings of the Fifth International Conference on Advances in Steel Structures. Singapore: Research Publishing Services, 2007, vol. 3, p. 712-717. ISBN 978-981-05-9365-0.
- [5] Pašek, J. - Wald, F. - Uhlíř, A. Experience with Thermo Imaging Cameras on Fire Tests. In: Proceedings of the Fourth International Workshop Structures in Fire. Aveiro: University of Aveiro, 2006, p. 1059-1064. ISBN 972-789-190-X.
- [6] Wald, F. - Chladná, M. - Moore, D. - Santiago, A. - Lennon, T. Temperature Distribution in a Full-scale Steel Framed Building Subject to a Natural Fire. In: Steel and Composite Structures. 2006, vol. 6, no. 2, p. 159-182. ISSN 1229-9367.
- [7] Wald, F. - Simões da Silva, L. - Moore, D. - Lennon, T. - Chladná, M. - et al. Experimental Behaviour of a Steel Structure Under Natural Fire. In: Fire Safety Journal. 2006, vol. 41, no. 7, p. 509-522. ISSN 0379-7112.
- [8] Chladná, M. - Wald, F. Composite Slab Behaviour in Cardington Fire Test. In: 51-st Scientific Conference, Part III. Gdańsk: EDIS sp. Z.o.o., 2005, p. 189-196. ISBN 83-921478-9-8.
- [9] Sokol, Z. - Wald, F. Stresses in Steel Columns under Natural Fire. In: Improvement of Buildings' Structural Quality by New Technologies - Proceedings. Leiden: A. A. Balkema Publishers, 2005, p. 259-266. ISBN 04-1536-609-7.
- [10] Wald, F. - da Silva, L.S. - Moore, D. - Santiago, A. Experimental Behaviour of Steel Joints under Natural Fire. In: Connections in Steel Structures V, Behaviour, Strength and Design. Zoetermeer: Bouwen met Staal, 2005, p. 393-402.
- [11] Wald, F. - Sokol, Z. Structural Integrity of Multi-Storey Building under Natural Fire. In: Eurosteel 2005 - 4th European Conference on Steel and Composite Structures. Maastricht: DV Mainz, 2005, vol. 5.1, p. 103-110. ISBN 3-86130-812-6.
- [12] Wald, F. - da Silva, L.S. - Moore, D.B. - Lennon, T. Structural Integrity Fire Test. In: 10th Nordic Steel Construction Conference, Proceeding Book. Copenhagen: Danish Steel Institute, 2004, p. 577-588.
- [13] Chlouba, J. - Wald, F. - Zíma, P. - Štujberová, M.: Požární experiment na budově před demolicí. In: Experiment 07. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, s. 109-114. ISBN 978-80-7204-543-3.