

VPLYV OCEĽOVEJ VÝSTUŽE NA ŠÍRENIE TEPLA V PRIEREZOCH SPRIAHNUTÝCH KONŠTRUKCIÍ

THE INFLUENCE OF REINFORCEMENT ON HEAT PROPAGATION IN THE COMPOSITE STEEL AND CONCRETE HOLLOW CROSS SECTIONS.

ROMANA ERDÉLYIOVÁ¹, BOHUŠ LEITNER²,

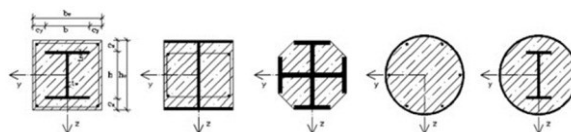
Abstract – The thesis is focused on the influence of reinforcement on heat propagation in the composite steel and concrete hollow cross sections. Composite structures, such as steel and concrete, are often used in construction. The common use of steel and concrete has many advantages. The thesis is focused on the influence of reinforcement on heat propagation in the composite steel and concrete hollow cross sections. It summed up the behaviour of composite columns at ambient and elevated temperatures and thermal properties of materials of composite columns under fire. To analyse the effect of reinforcement on the propagation of heat is prepared the FEM model, which is validated with experimental from literature and verified to design the tables from standard STN EN 1994-1-1.

Keywords – Ansys; composite materials; concrete; heat propagation; fire

ÚVOD

Medzi hlavné materiály používané v súčasnom stavebníctve patrí betón a oceľ. Konštrukcie tvorené iba z ocele vynikajú veľkou únosnosťou, ale ich tuhosť je často nepostačujúca. Zásadnou nevýhodou betónových konštrukcií je zase pevnosť v ťahu. Keď spojíme tieto dva materiály do jednej konštrukcie vznikajú takzvané kompozitné alebo spriahnuté konštrukcie, u týchto konštrukcií o pevnosti v ťahu v podstate už neuvažujeme a ťah v betónových konštrukciách preberá oceľová výstuž. Kompozitné konštrukcie využívajú kladné konštrukčné vlastnosti oboch materiálov akými sú tuhosť betónu, únosnosť ocele a naopak sa odstraňujú záporné konštrukčné vlastnosti samostatne pôsobiacich materiálov.[1] Kompozitné konštrukcie získavajú priaznivé vlastnosti i pri zvýšených teplotách vplyvom požiaru. V prípade vystavenia konštrukcie požiarom, oceľ stráca svoju únosnosť a betón je ovplyvnený podobne, ale vďaka pomalému ohrevu dochádza aj pomalšiemu nástupu degradácie. Vďaka tomu je oceľobetónová konštrukcia odolnejšia než samostatne pôsobiace oceľové prvky. Táto skutočnosť umožňuje využitie oceľobetónových prvkov napríklad vo výškových budovách, ktoré si vyžadujú zvýšené požiadavky na protipožiaru odolnosť. Významným prvkom využívajúci výhody spolupôsobenia ocele a betónu sú stĺpy. Často sú tvorené valcovaným profilom s vybetónovaným priestorom medzi pásnicami, alebo s

tuhou výstužou. Betónové jadro významne zvyšuje požiaru odolnosť stĺpov, ďalej sa zvyšuje tuhosť a tým sa znižuje štiňosť a zvyšuje únosnosť v centricky a excentricky pôsobiacom tlaku.[2]



Obr. 1.: Typické prierezy spriahnutých oceľobetónových stĺpov podľa STN EN 1994-1-1[1]

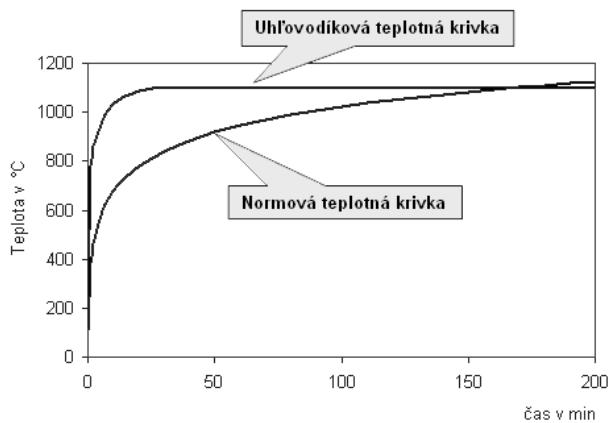
1. TEPLOTNÉ KRIVKY

K modelovaniu požiaru sú k dispozícii štyri druhy nominálnych teplotných kriviek. Tieto krivky určujú teplotu plynov v danom požiarne zaťaženom priestore. Teplota týchto kriviek je funkcia závislosti na čase. Druhy teplotných kriviek sú:

Normová teplotná krivka, Teplotná krivka vonkajšieho požiaru, Krivka pomalého ohrevu, Uhl'ovodíková teplotná krivka.[3] Na obrázku 2 sú znázornené normová a uhl'ovodíková teplotná krivka, používané pri modelovaní požiarneho zaťaženia konštrukcií. Krivky sú znázornené v závislosti na čase.

¹ Romana Erdélyiová, Ing., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, romana.erdelyiova@fbi.uniza.sk

² Bohuš Leitner, doc., Ing., PhD., Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra technických vied a informatiky, bohus.leitner@fbi.uniza.sk



Obr. 2.: Normová a uhl'ovodíková teplotná krivka [3]

2. TEPLTNÁ ANALÝZA PRVKU

Teplotná analýza bola spracovaná pomocou programu Ansys Mechanical, ktorý využíva metódy konečných prvkov pre určenie šírenia tepla v danom priereze.

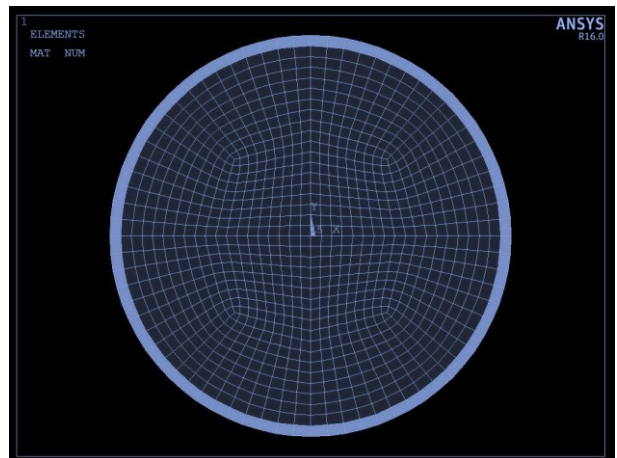
Metoda konečných prvkov je numerická metóda slúžiaca k simulácii priebehu napätí, deformácií, prúdenia tepla a iných dejov na vytvorenom fyzikálnom modeli. Princíp metódy spočíva v diskretizácii spojitého kontinua do určitého (konečného) počtu prvkov, pričom zisťované parametre sú určované v jednotlivých uzlových bodoch. Presnosť konečných výsledkov je závislá na hustote výpočtovej siete.[4] V prípade vytvorenia riedkej siete sú výsledky nepresné, ak však vytvoríme príliš hustú sieť sú výsledky presné, ale doba spracovania výsledkov je časovo náročná a zvyšujú sa tým nároky na výkon použitého zariadenia. Preto je potrebné zvoliť takú hustotu siete, na základe ktorej bude presnosť výsledkov dostatočujúca a výpočet nebude technicky a časovo náročný.[5]

Pre test vplyvu hustoty siete na korektnosť teplotných výsledkov bol zvolený kruhový prierez oceľobetónového stĺpu s rozmermi 300 x 8 mm. Tento prierez bol testovaný na základe použitia niekoľkých sietí (Tabuľka 1) aby bola určená optimálna hustota siete pre prijateľnú mieru odchýlenia. Pre porovnanie výsledkov boli zvolené 3 body. Bod č. 1 bol umiestnený v strede prierezu, bod č. 2 v polovici priemeru betónového jadra (71 mm od stredu), bod č. 3 je umiestnený na okraj betónového jadra (142 mm od stredu prierezu).

Tab. 1.: Porovnanie závislosti hustoty siete na presnosti výsledkov

	Vzdialenosť medzi bodmi [mm]	Počet uzlov	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	Odhýlka
1	1	63617	233,573	381,231	1033,600	0%
2	2	15401	233,487	381,167	1033,610	0,03%
3	4	4105	233,518	381,167	1033,630	0,03%
4	6	1872	233,685	381,280	1033,660	0,05%
5	8	1081	233,923	381,434	1033,680	0,15%
6	10	673	234,286	381,675	1033,710	0,30%
7	12	505	234,628	381,915	1033,730	0,45%
8	14	361	235,216	382,320	1033,790	0,70%
9	18	241	236,348	383,162	1033,900	1,19%

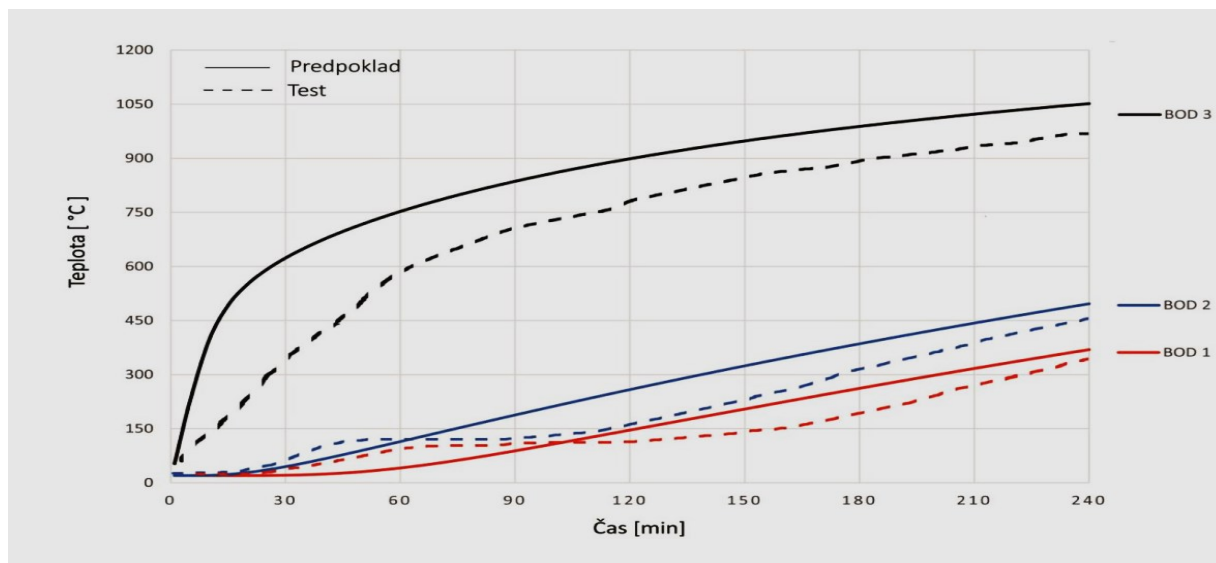
Testovaných bolo 9 sietí, pre ktoré bola určená percentuálna odchýlka od najpresnejších hodnôt, ktoré vytvorila sieť číslo 1. Prijateľná odchýlka pre testy bola určená do 0,2 % a tejto požiadavke vyhovelo 5 sietí. Posledná vyhovujúca sieť (Obr.: 3) je tvorená 1081 uzlami, a bola ňou vytvorená podmienka minimálnej hustoty siete pre ďalšie výpočty.



Obr. 3.: Sieť číslo 5

Boli skúmané teplotné vlastnosti oceľového dutého profilu o priereze 300 x 8 mm/ 600 x 16 mm / 300x5mm vyplneného samozhutiteľným betónom. Tieto stĺpy boli vystavené 60, 90 a 120 min. požiaru podľa normovej teplotnej krivky (test). K overeniu správnosti získaných teplotných vlastností stĺpu bola vypočítaná jednoduchým výpočtovým modelom ich únosnosť stĺpov troch stupňoch zaťaženia R60, R90 a R 120 (predpoklad) . Získané únosnosti stĺpu boli porovnané s únosnosťami pomocou tabuliek z normy EN 1994-1-2.

2.1 Štvorcový prierez 315 x5 mm

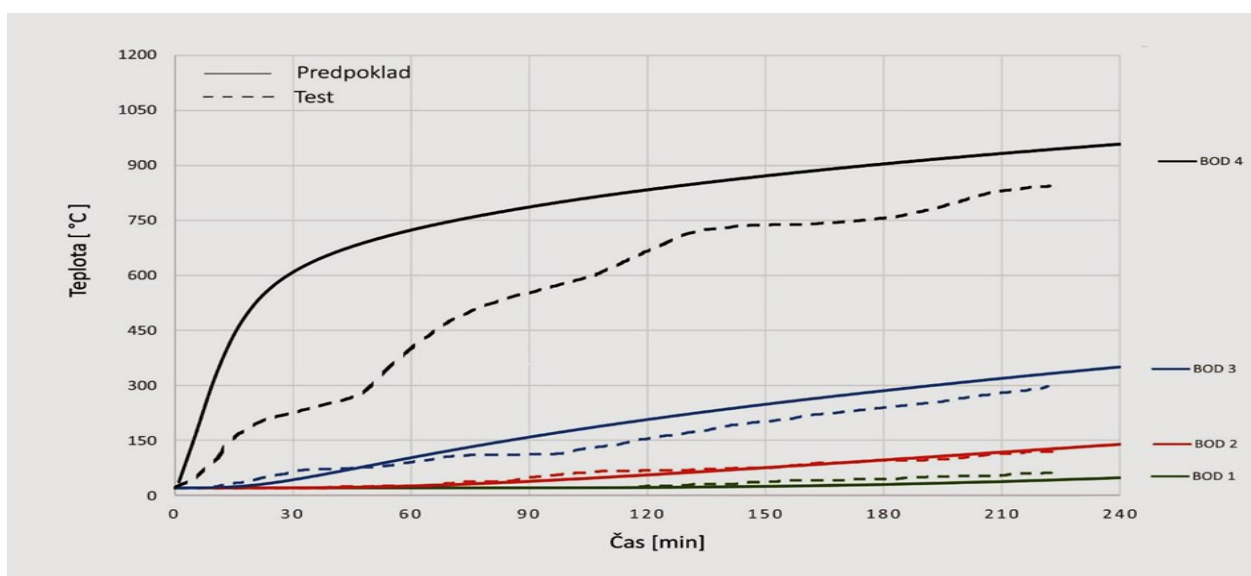


Obr. 4.: Graf pre predpokladaný a testovaný priebeh teplôt vo vybraných bodoch pri teplotnom zaťažení prierezu 315 x 5

Stĺp bol vystavený požiaru podľa normovej teplotnej krivky po dobu 240 min. a bol centricky zaťažený na 15% svojej únosnosti za bežnej teploty. Obrázok 4 nám popisuje priebeh teploty v troch vybraných bodov. Plné čiary určujú predpokladaný priebeh teploty určený pomocou softvérového nástroja, šrafované čiary určujú priebeh teploty získané pomocou reálnych požiarnych skúšok. Bod č. 3 sa nachádza pod oceľovým plášťom a je najviac vystavený účinkom požiarneho zaťaženia, preto krivka kopíruje štandardnú normovú teplotnú krivku. Bod č. 2 bol umiestnený v polovici polomeru prierezu a bod č. 1 uprostred prierezu.

Zo šrafovaných kriviek je možné vyčítať vo fáze 40-50 min. horenia náhly nárast teploty v betónovom jadre a s tým spojenú čiastočnú stratu teploty v oceľovom plášti oproti predpokladanému priebehu teploty. Tento jav vzniká príčinou odparovania vody vo vnútri betónového jadra. Vodné pary nám rýchlejšie ohrievajú betónové jadro a zároveň ochladzujú oceľový plášť. Po odparení väčšiny voľnej vody sa priebeh teplôt ustáli a pokračuje nárast teploty

2.2 Štvorcový prierez 630 x 10 mm

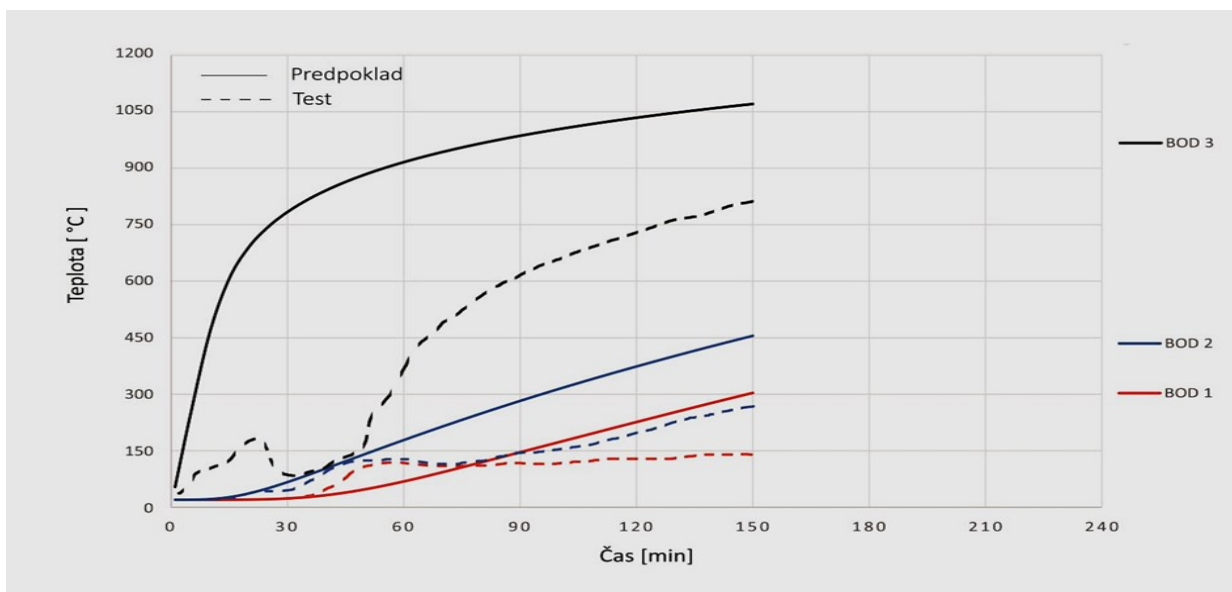


Obr.5 Graf pre predpokladaný a testovaný priebeh teplôt vo vybraných bodoch pri teplotnom zaťažení prierezu 630 x 10 mm

Hranol 630 x 10 mm vyplnený prostým betónom bol vystavený požiaru podľa normovej teplotnej krivky po dobu 240 min a zaťažený axiálnym zaťažením rovnajúcemu sa 0,3 násobku únosnosti stĺpu za bežnej teploty. Profil si kvôli svojej veľkosti vyžadoval pridať jeden bod merania na viac. Priebehy jednotlivých kriviek z väčšej časti zodpovedajú predpokladanému priebehu. Vďaka masívnemu prierezu sa voda odparuje postupne

v celej dĺžke požiarneho zaťaženia. Bod č. 1 nedosahuje vysokých teplôt a preto nepredpokladáme úplné odparenie vody z prierezu.

2.3 Kruhový prierez 300 x 5 mm



Obr.: 1 Graf pre predpokladaný a testovaný priebeh teplôt vo vybraných bodoch pri teplotnom zaťažení prierezu 300 x 5

Stĺp kruhového prierezu bol vystavený požiaru podľa normovej teplotnej krivky po dobu 150 min. a zaťažený axiálnym zaťažením rovnajúcemu sa 0,3 násobku únosnosti stĺpu za bežnej teploty. Pri testovaní došlo k porušeniu vzorky. Testovanie stĺpu sa dá rozdeliť do troch fáz: V prvej fáze (0 -20 min.) sa ohrieva vonkajší plášť a narastá teplota podľa predpokladu. V druhej fáze (20- 50 min.) dochádza k odparovaniu voľnej vody z betónu, ktorá nám expanduje medzi betón a oceľový plášť. V tretej fáze (50 – 150 min.) je takmer všetka voda odparená a pokračuje nárast teploty podľa predpokladu

ZÁVER

Práca sa zaoberala vplyvom výstuže na šírenie tepla v prierezoch oceľobetónového stĺpa. Bol pripravený model rozvoja tepla v priereze pomocou softvérového nástroja Ansys. Vplyv hustoty siete na presnosť predpovede bol skúmaný na kruhovom priereze 300 x 5 mm. Pre výpočet vhodnej hustoty siete bola využitá metóda konečných prvkov a dostačujúca plocha pripadajúca na jeden prvok bola stanovená na 65,4 mm².

Ďalší výskum ukázal že najväčší vplyv na prehriatie betónového jadra oceľobetónového kruhového prierezu má výstuž tvorená valcovaným profilom HEB. Táto výstuž sa ohrieva na koncoch svojho profilu a vďaka tepelnej vodivosti ocele prenáša teplo do stredu prierezu. To má za následok rýchlejšie prehrievania prierezu.

U štvorcových prierezov výskum ukázal že výstuž tvorená valcovaným profilom HEB nemá na prehriatie taký vplyv ako u kruhových prierezov. Nárast najnižšej teploty pre R60 27% , pre R90 35%, R120 je 27% oproti teplote prierezu z prostého betónu.

V ďalšom výskume je možné sa vďaka metóde MKP a softvérovému nástroju Ansys venovať 3D modelom zobrazujúcim šírenie tepla a nerovnomerné ohrievanie stĺpu po výške.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená internou grantovou schémou Fakulty bezpečnostného inžinierstva Žilinskej Univerzity z grantu č. 201910.

ZOZNAM LITERATÚRY

- [1] EN 1994-1-2 Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design ISBN: 9781585034000
- [2] BUJŇÁK, J., 2014. Nosné konštrukcie hál z ocele. Žilina: EDIS. ISBN: 9788055409139
- [3] DEKÁNEK, J., 2009. Skúška požiarnej odolnosti podľa uhľovodíkovej teplotnej krivky. [online]. 2009,. [cit. 2019-10-14]. Dostupné na:
<http://www.seidl.cz/cz/publikace/skuska-poziarnej-odolnosti-podla-uhlovodikovej-teplotnej-krivky-75.html>
- [4] KUČERA, P., PEZDOVÁ, Z., 2010. Základy matematického modelování požárů. - 1. vyd. Ostrava: SPBI. ISBN 978-80-7385-095-1
- [5] LAWRENCE, K., 2007. ANSYS Tutorial Release. Schroff Development Corporation.

