

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA BRATISLAVE
STAVEBNÁ FAKULTA
KATEDRA STAVEBNEJ MECHANIKY

SvF-13416-38918

Ing. Maroš Klabník

**Termomechanická analýza bezpečnosti a spoľahlivosti
kompozitných železobetónových konštrukcií**

Autoreferát k dizertačná práca

Na získanie akademického titulu philosophiae doctor – PhD.

v doktorandskom študijnom programe:

5.1.7. aplikovaná mechanika

2017 Bratislava

Dizertačná práca bola vypracovaná v dennej forme doktorandského štúdia na Katedre stavebnej mechaniky, Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

Predkladateľ: **Ing. Maroš Klabník**
Katedra stavebnej mechaniky,
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: **Prof. Ing. Juraj Králik, PhD.**
Katedra stavebnej mechaniky,
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Oponenti: **Prof. Zbyněk Keršner**
Ústav stavebnej mechaniky Stavebná fakulta
Výsoké učení technické v Brne
Veveří 95, Brno 66237, Česká republika

Doc. Ing. Eva Kormaníková, PhD.
Ústav inžinierskeho staviteľstva,
Stavebná fakulta TU v Košiciach
Vysokoškolská 4, 042 00 Košice

Ing. Miroslav Šimonovič, PhD.
Autorizovaný inžinier
Nitrianska 166/37, 949 01 Nitra

Autoreferát bol rozoslaný:

.....

Obhajoba dizertačnej práce sa koná

.....o.....hod.

na Katedre stavebnej mechaniky Stavebnej fakulty STU v Bratislave.

prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD. Dekan Stavebnej fakulty STU v Bratislave

Abstrakt - Bezpečnosť a spoľahlivosť konštrukcií za extrémneho zaťaženia

Rozvoj požiarného inžinierstva z hľadiska spoľahlivosti a bezpečnosti konštrukcií založenom na vedeckých a inžinierskych princípoch nastal v posledných rokoch vo Veľkej Británii a v Európe. Po 10. výročí kolapsu budovy „Word Trade Center“ v septembri 2001 došlo k dramatickému nárastu záujmu o problematiku požiarnej bezpečnosti budov zo strany inžinierov, architektov, podnikateľov, vlády a ďalších.

Predkladaná práca sa zaoberá požiarnou odolnosťou železobetónových a spriahnutých konštrukcií – stĺpov z hľadiska teplotných, termo-mechanických a pravdepodobnostných analýz. Transientná teplotná analýza sleduje v čase do 2,5 hodín šírenie tepla v spriahnutých stĺpoch. Súčasťou teplotných výpočtov je aj parametrická štúdia vedenia tepla, zameraná na zisťovanie vplyvu teplotných materiálových charakteristík a zavedenia konvencie a radiácie do výpočtu. Vedenie tepla diferenčnou metódou je spracované vlastným programom, vytvoreným v jazyku PHP. Ekvivalentné napätia a deformácie za požiaru boli vyšetrované pomocou zjednodušenej termo-mechanickej analýzy s využitím dvoch rôznych nelineárnych materiálových modelov pre spriahnutý železobetónový, železobetónový a oceľový stĺp. Posledná kapitola sa venuje pravdepodobnostnému posúdeniu oceľového stĺpa pri teplote 500°C.

Abstract - Safety and reliability of structures under extreme loads

The development of fire engineering in terms of reliability and design safety based on scientific and engineering principles has occurred in recent years in the UK and Europe. After the 10th anniversary of the collapse of the Word Trade Center in September 2001, there has been a dramatic increase in interest in the fire safety of buildings by engineers, architects, entrepreneurs, governments, and others.

This work deals with the fire resistance of reinforced concrete and coupled structures - columns in terms of temperature, thermomechanical and probability analyses. Transient temperature analysis monitors heat dissipation in coupled columns within 2.5 hours. Part of the thermal calculations is a parametric heat conduction study, focused on detecting the influence of thermal material characteristics and the introduction of convection and radiation into the calculation. Heat management by the differential method is processed by a custom program created in PHP. Equivalent stresses and deformations under fire were investigated using simplified thermomechanical analysis using two different nonlinear material models for the coupled reinforced concrete, reinforced concrete and steel columns.

The last chapter deals with the probability assessment of the steel column at 500 ° C.

1. Úvod

S požiarmi sa ľudstvo stretáva od nepamäti. Boli súčasťou jeho života ešte skôr, ako sa naučilo silu ohňa využívať vo svoj prospech. Aj napriek vysokému stupňu vedecko-technického rozvoja nás oheň v podobe požiaru ohrozuje aj dnes.

Pôvod požiaru je rôzny. Jedným z tých prirodzených môže byť seizmicita, blesk alebo i prirodzené vysoké klimatické zaťaženie. Požiar v stavebných konštrukciách vzniká, rozvíja sa a dohorieva podľa množstva uvoľnenej energie pri horení, typu paliva, podmienok ventilácie, geometrickej charakteristiky požiarneho úseku a v neposlednom rade aj aktívnych protipožiarnych zabezpečovacích zariadení. Priebeh požiaru možno rozčleniť do troch !!!všade ďalej uvádzate, že štyroch základných etáp: rozhorievanie, plne rozvinutý požiar a dohorievanie. Najväčší nárast teploty sa predpokladá po celkovom vzplanutí, kedy samovoľne horia všetky organické látky v požiarom úseku. Celkové vzplanutie nastáva po prekročení 400 až 600°C, kedy sa uvoľňuje najrýchlejšie teplo z podlahy a to rýchlosťou 20kW/m²s. Existuje už len malá šanca na záchranu života osôb, ktorým sa pred celkovým vzplanutím nepodarilo uniknúť z požiarom zasiahnutého úseku. Teplota pred celkovým vzplanutím je relatívne nízka a požiar je lokalizovaný v ohnisku vzniku, kedy je možný zásah požiarnych jednotiek a evakuácia osôb.

Nové technológie prinášajú nové riziká šírenia požiaru – používanie polyuretánu a polystyrénu, ako príklad novodobého materiálu s vysokou reakciou na oheň, čo sa spočiatku značne podceňovalo. Z hľadiska požiaru, nové nebezpečenstvo predstavujú aj sklady toxických materiálov i jadrových zariadení. Vysoký dôraz na požiaru bezpečnosť by mal byť kladený aj na typologické stavby pre veľké masy ľudí. V prípade výškových budov môžu byť naraz ohrozené tisíce životov, o čom svedčia aj udalosti z 11. septembra 2001 v New Yorku.

Straty na životoch sa podľa medzinárodných štatistík pohybujú v rozmedzí 0,0004-0,04%. V prípade finančných strát ide o čiastky 1,6-5,9% z hrubého národného produktu. Štatistiky ďalej uvádzajú, že v 85 % prípadov, k strate ľudského života dochádza v obytných budovách a v zostávajúcich 15 % ide o verejné priestranstvá.

S prihliadnutím na všetky skutočnosti, treba pri návrhu stavebných konštrukcií brať do úvahy aj požiaru bezpečnosť. Mala by sa stať jednou z dominant v rannom štádiu navrhovania, pretože môže mať veľký vplyv konštrukčnú formu a celkový typologický návrh.

2. Súčasný stav

Vo svete neexistuje žiadny globálny štandard pre posudzovanie požiarnej bezpečnosti. Väčšina vyspelých krajín má svoje národné zákony a normy. Vysoko rozvinutý súbor požiarnych predpisov má Čína.

Rozvoj požiarneho inžinierstva z hľadiska spoľahlivosti a bezpečnosti konštrukcií založenom na vedeckých a inžinierskych princípoch nastal v posledných rokoch vo Veľkej Británii a v Európe. Po 10. výročí kolapsu budovy „World Trade Center“ v septembri 2001 došlo k dramatickému nárastu záujmu o problematiku požiarnej bezpečnosti budov zo strany inžinierov, architektov, podnikateľov, vlády a ďalších [80, 82].

Rozvoj požiarneho inžinierstva z hľadiska spoľahlivosti a bezpečnosti konštrukcií založenom na vedeckých a inžinierskych princípoch nastal v posledných rokoch vo Veľkej Británii a v Európe. Po 10. výročí kolapsu budovy „World Trade Center“ v septembri 2001 došlo k dramatickému nárastu záujmu o problematiku požiarnej bezpečnosti budov zo strany inžinierov, architektov, podnikateľov, vlády a ďalších [2, 18].

V rokoch 2006-2010 sa 26 krajín EU zúčastnilo na projekte COST26. Z oblasti požiarnej bezpečnosti stavieb to bol jeden z významných výskumných projektov. V rámci európskeho vedeckého projektu „COST TU0904: Integrated Engineering and Response“ došlo ku komplexnej integrácii poznatkov v tejto oblasti [80]. Na základe skúseností z praxe z reálnych požiarnych situácií a výsledkov experimentálneho, analytického a numerického bádania sa definuje prijateľné riziko kolapsu budov v závislosti na scenári požiaru, definovania výpočtových modelov a metód posudzovania spoľahlivosti a odolnosti konštrukcií za uvažovania teplotne závislých materiálových charakteristík [30, 31, 42, 80]. Vedúcimi výskumníkmi v rámci projektu sú profesor Wald z ČVUT Praha a profesor Burgess z University of Sheffield. V rámci týchto výskumných aktivít sa spresňujú scenáre požiarov v závislosti od ich príčin a možností ich rozvoja v danom prostredí, spresňujú sa materiálové modely za pôsobenia vysokých teplôt a chovania sa konštrukčných prvkov a systémov pri rôznych scenároch požiaru. Rozvíjajú sa nové materiály a prvky zvyšovania požiarnej odolnosti konštrukcií. V roku 2006 v rámci výskumnej skupiny bol realizovaný požiarne experiment na oceľovej hale, pri ktorom sa skúmali globálne i lokálne prejavy správania sa konštrukcie

Materiálovými charakteristikami betónu za vysokých teplôt sa zaoberali viacerí autori na základe experimentálnych štúdií [18, 24, 44, 46, 55]. Komplexný prehľad literatúry k problematike materiálových charakteristík betónu za vysokých teplôt je v prácach [31, 54].

Pre navrhovanie a posudzovanie odolnosti stavebných konštrukcií na požiarne zaťaženie sa v Európe postupuje podľa odporúčaní Eurokódov [9, 21, 45, 49, 53, 59, 70, 76] a v USA podľa AISC a ASCE [6, 7, 52].

V súvislosti s množstvom neurčitostí v scenári požiarnej situácie [80, 29, 59, 60, 46, 32, 40], modelových a materiálových vstupných parametrov došlo k rozvoju pravdepodobnostných metód výpočtu spoľahlivosti a bezpečnosti konštrukcií a rizika kolapsu konštrukcie [1, 24, 42, 46, 52, 60, 61, 74,].

Špecifickými problémami požiarnej bezpečnosti ocel'obetónových konštrukcií z hľadiska spolupôsobenia konštrukčnej ocele, betonárskej výstuže a betónu sa zaoberali viacerí autori vo svojich publikáciách a praktických návodoch [1, 10, 14, 19, 30 - 38].

Viacero autorov sa venuje v rámci svojho výskumu téme požiarnej odolnosti v interakcii s pravdepodobnostnými analýzami. Vývoju numerických modelov, problémom prenosu tepla radiáciou spolu s rizikovými analýzami sa venuje S. Hostikka z University of Technology v Helsinkách. Rizikovým požiarnym scenárom zahŕňajúcim progresívny kolaps výškových konštrukcií sa venuje A. Usmani z University of Edinburgh. Svojou prácou nadväzuje na udalosť z 11. septembra 2001. K zdokonaľovaniu rizikových požiarnych scenárov dochádza aj vďaka prácam M. Hurleyho a Bukowskeho z University of Maryland, ktorá bola prvou školiacou organizáciou venujúcou sa požiarnej ochrane na svete.

Problematike požiarnej odolnosti z pohľadu termodynamického namáhania spriahnutých ocel'obetónových stĺpov a vplyvu nerovnomerného tepelného namáhania sa venujú aj na Univerzite Timisoara v Rumunsku. V rámci riešiteľského kolektívu Zaharia a Pintea, zdokonaľujú numerické experimenty simulujúce rôzne požiarne scenáre. Vo Švédsku sa téme tepelného toku v transientných analýzach venuje Wickstorm a Vekjkovič.

V rámci územia Slovenskej republiky nemožno zabudnúť na mená spojené s aktívnym výskumom a pôsobnosťou v oblasti požiarnej bezpečnosti ako sú Prof. Osvald, Prof. Štefko, Prof. Králik, Doc. Olbřímek, Doc. Štujberová, Ing. Bellová a iní.

Rezervy v rámci slovenského výskumu by bolo možné nájsť v experimentálnom overovaní konštrukcií ako i vo využití informatiky pri teplotných analýzach. Slovenská aj česká prax v súčasnej dobe nemá, na rozdiel od susedných krajín, národne overené výpočtové programy pre modelovanie tepla a dymu pri požiari. Zavedením európskych požiarnych noriem a s tým spojené využívanie poznatkov z oblasti informatiky prinesie zvýšenie spoľahlivosti pri návrhu konštrukcií.

3. Predmet a ciele dizertačnej práce

Predmetom dizertačnej práce je skúmanie problému šírenia tepla a statickej odozvy v spriahnutých a železobetónových konštrukciách – stĺpoch pri požiarom zaťažení. Práca sa hlbšie zaoberá problematikou vplyvu rôzneho požiarneho zaťaženia, okrajových podmienok, ako i materiálových charakteristík na vedenie tepla a následnú statickú odozvu konštrukcie.

Z predmetu záverečnej doktorandskej práce vyplývajú nasledovné ciele:

- Podat' stručný prehľad o požiarom zaťažení, spôsobe výpočtu teploty železobetónových a spriahnutých oceľobetónových prvkov,
- Spracovať modelovanie spriahnutých stĺpov pomocou metódy konečných prvkov pri požiaroch podľa Eurokódov,
- Analyzovať vplyv nerovnomerného šírenia teploty z hľadiska geometrie prvku, ako aj z hľadiska materiálovej skladby v oceli a v betóne, po priereze v prípade vnútorných a stenových stĺpov,
- Zhodnotiť spoľahlivosť zjednodušených výpočtových metód v porovnaní s podrobnými transientnými analýzami v procese teplotného výpočtu,
- Analyzovať parametre vplývajúce na šírenie tepla v priereze spriahnutých stĺpov,
- Porovnať výsledky získané založené na rôznych výpočtových metódach,
- Analyzovať požiaru odolnosť spriahnutých a železobetónových stĺpov s využitím materiálovej aj geometrickej nelinearity,
- Analyzovať požiaru odolnosť konštrukcií pravdepodobnostnými metódami.

4. Metodika záverečnej práce

Pre vytýčený predmet a cieľ dizertačnej práce boli aplikované nasledovné vedecko-výskumné metódy:

- Analýza súčasného stavu poznania predmetu dizertačnej práce vo svete a na Slovensku,
- Vytvorenie prehľadu o legislatívnych predpisoch na Slovensku, výpočte požiarneho zaťaženia, teplotných a mechanických vlastnostiach materiálov za účelom konfigurácie výskumu stanoveného predmetu dizertačnej práce,
- Vykonanie numerických experimentov – teplotných a konštrukčných výpočtov spriahnutých a železobetónových stĺpov a odladenie týchto simulácií na základe experimentov a príslušných požiarnych eurokódov.

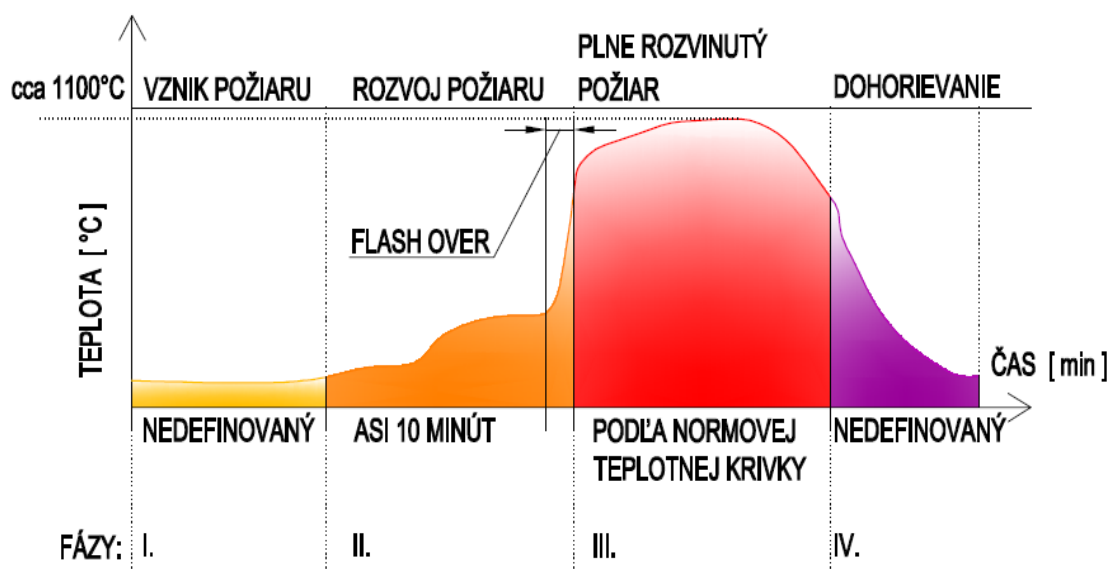
Analýza výsledkov skúšok a ich interpretácia pre rozvoj vednej disciplíny a použitie v spoločenskej praxi.

Vychádzajúc z predmetu, cieľov a metodiky dizertačnej práce som záverečný referát rozdelil do 14 kapitol vrátane úvodu a záveru, v nich sú obsiahnuté všetky zásadné aspekty súvisiace s predmetom mojej práce. Prvé časti sú zamerané teoreticky, za nimi nasledujú kapitoly obsahujúce aplikáciu teoretických poznatkov a východísk z teoretickej časti a završené sú prezentáciou dosiahnutých výsledkov. Požiarna odolnosť stavebných prvkov je hodnotená z troch rôznych aspektov, čo som zahrnul aj do riešenia predmetnej problematiky a venoval som sa teplotnej analýze, termo-mechanickej analýze a pravdepodobnostnej analýze.

5. Požiarna bezpečnosť stavieb

Definícia fáz požiaru:

- 1.fáza – vznik požiaru (iniciácia),
- 2.fáza - rozvoj požiaru,
- 3.fáza - plne rozvinutý požiar,
- 4.fáza - dohorievanie (resp. prerušenie procesu horenia).



Obr.1. Fázy požiaru

Vznik požiaru (procesu horenia)- prvá fáza

V prípade ak je materiál namáhaný požiarom, je zahriaty na kritickú teplotu degradácie materiálu a rýchlosť uvoľňovania prchavých produktov (horľavých plynov a pár) je

dostatočná k vytvoreniu horľavej zmesi s oxidovadlom (kyslíkom), vzniká prvá fáza požiaru- zahajuje sa proces horenia.

Rozvoj požiaru (propagácia)- druhá fáza

Za predpokladu dostatku oxidovadla, kým nie sú zabezpečené podmienky k prehrievaniu paliva pokračuje druhá fáza následne za prvou fázou procesu horenia. Zväčša prebieha horenie na malej ploche (časti) paliva, ktorá je odizolovaná od okolitého priestoru. Požiar prechádza do jeho tretej fázy pri dostatočnej koncentrácii prchavých produktov (horiacich plynov) a pary, nastáva zóna kritickej teploty a koncentrácie týchto produktov horenia v priestore, ktorý sa vznieti. Teplota v druhej fáze dosahuje okolo 400°C – 600°C.

Plne rozvinutý požiar -tretia fáza

Predpokladá sa, že vo fáze plne rozvinutého požiaru bez zásahu hasičských jednotiek zhorí 80% paliva, ktoré tvorí požiarne zaťaženie. Teplota dosahuje cca 1 000°C podľa normovej teplotnej krivky.

Dohoríevanie (prerušenie procesu horenia) -štvrtá fáza

Vplyvom nedostatku oxidovadla alebo po vyhorení väčšiny paliva nastáva prerušenie procesu horenia a fáza je charakterizovaná poklesom teplôt. V tejto fáze prebieha aj tlenie nezhorených skrytých ohnísk dreva a pod.

Požiar na dynamiku

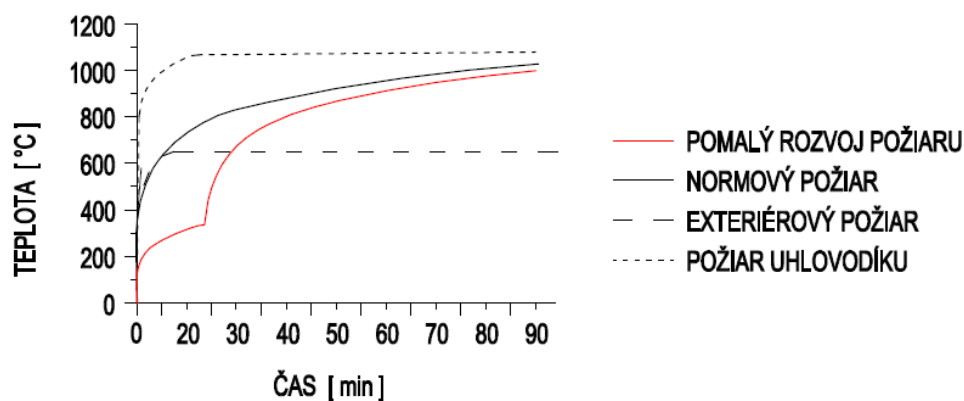
Dynamika požiaru v odvetví požiarneho inžinierstva slúži na získanie číselného vyjadrenia parametrov potrebných ku správne mu návrhu požiarnej bezpečnosti. S tým súvisí aj pojem požiar na scenár, ktorý je podkladom, pre zvolený návrhový lokálny požiar charakterizovaný:

- veľkosťou požiaru;
- rýchlosťou uvoľňovania tepla (HRR – heat_release rate);
- teplotou plynov v priestore;
- intenzitou tvorby dymu;
- dobou rozhodujúcich udalostí.

V uzavretom priestore dynamika požiaru predstavuje požiar na scenár vo vnútri stavby. Vznik požiaru je idealizovaný ako bodový zdroj horenia, umiestnený v miestnosti na podlahe, je charakterizovaný rýchlosťou uvoľnenej energie a produkciou produktov horenia. Vztlakový efekt vzniká rýchlosťou prúdenia produktov horenia, rastie vďaka zväčšujúcim sa rozdielom

teplôt a hustoty medzi produktmi horenia a vonkajším okolím. Keď dymový stĺpec dosiahne strop, začnú tieto splodiny horenia prúdiť pod stropom, akumulovať sa pod stropom a vyplňať priestor. Medzi horúcou a studenou vrstvou vzduchu sa v miestnosti vytvorí jasné rozhranie. Ak sa horúca vrstva dostane pod úroveň otvorov začnú horúce plyny nimi vychádzať [49].

V ISO/TS 16733 sú opísané jednotlivé scenáre požiaru a priebeh ich nominálnych kriviek je znázornený na Obr. 2.



Obr.2. Nominálne teplotné krivky požiarneho scenára

6. Aplikácie

Požiarne odolnosť stavebných prvkov je hodnotená z troch rôznych aspektov. Nasledujúca časť práce je rozdelená do 3 kapitol – teplotné analýzy, termo-mechanické analýzy a pravdepodobnostné analýzy.

Prvá spomínaná kapitola pojednáva o teplotných analýzach. Transientná teplotná analýza sleduje v čase do 2,5 hodín šírenie tepla v spriahnutých stĺpoch a vplyv okrajových podmienok na výpočet na rôznych modelových prípadoch. Súčasťou teplotných výpočtov je aj parametrická štúdia vedenia tepla, zameraná na zisťovanie vplyvu teplotných materiálových charakteristík a zavedenia konvekcie a radiácie do výpočtu. Vedenie tepla diferenčnou metódou je spracované vlastným programom, vytvoreným v jazyku PHP.

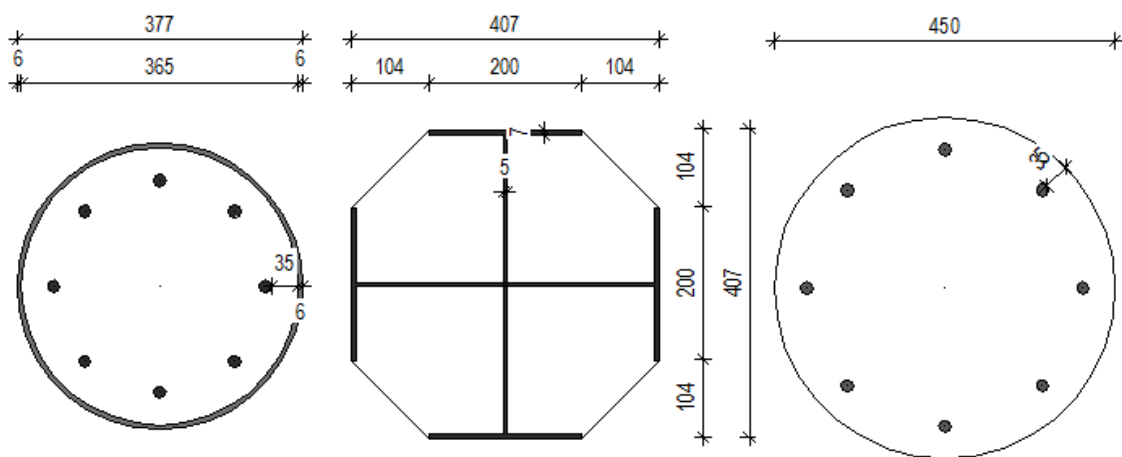
Časť práce je venovaná termo-mechanickým výpočtom. Ekvivalentné napätia a deformácie za požiaru boli vyšetrované pomocou zjednodušenej termo-mechanickej analýzy s využitím nelineárnych materiálových modelov využívajúcich Drucker-Pragerovu podmienku plasticity pre spriahnutý železobetónový, železobetónový a oceľový stĺp.

Posledná časť sa venuje pravdepodobnostnému posúdeniu oceľového stĺpa pri teplote 500°C

7. Transientná teplotná analýza

Prvým krokom pri posúdení stavebného prvku z hľadiska požiarnej odolnosti je teplotný výpočet. Pre detailný reálny priebeh teplôt je nutné použiť analýzu reflektujúcu rozdelenie teplôt po priereze ako aj po výške konštrukčného prvku. Tri stĺpy – železobetónový, rúra vyplnená betónom a obetónovaný oceľový profil boli skúmané teplotne v čase. Veľkosť teplotného zaťaženia v čase rástla. Teplotné krivky mali len stúpajúcu vetvu. Správnosť riešenia priestorového modelu bola overená na zjednodušenom plošnom modeli so zhodnými okrajovými podmienkami. Výsledky z transientných teplotných analýz tvoria podklady pre stanovenie priemerných teplôt pre zjednodušené termo-mechanické výpočty, resp. môžu byť vstupom do transientných štrukturálnych výpočtov.

Jednotlivé modely boli kombináciou prútových, plošných a priestorových prvkov. Betónová časť vo všetkých modeloch, s príslušnými materiálovými charakteristikami, bola vytvorená z prvkov SOLID70. Oceľová rúra, tzv. plášť stĺpa, v modeli M1 bola modelovaná plošným prvkom SHELL77. Oceľový profil v tvare kríža bol v modeli M2, taktiež pomocou SOLID70. Pre betonársku výstuž sa použil v modeloch prvok LINK34. Kombinácia priestorových, plošných a prútových prvkov sa využíva z dôvodu optimalizácie uzlov konštrukcie a počtu elementov pre dosiahnutie kratších výpočtových časov.



Obr.3. Geometria prierezov jednotlivých stĺpov – a) stĺp S1- oceľová rúra vyplnená betónom b) stĺp S2- obetónovaný oceľový profil v tvare kríža c) stĺp S3 – železobetónový stĺp

8. Parametrická štúdia šírenia tepla

Parametrická štúdia sa venuje problematike 2D šírenia tepla v spriahnutom priereze v závislosti od materiálových charakteristík a okrajových podmienok. Šírenie tepla bolo simulované v programe ANSYS v čase do 180 minút. Na deviatich rôznych modeloch sa skúmal vplyv zmeny teplotných materiálových charakteristík, ako je merná tepelná kapacita

alebo súčiniteľ teplotnej vodivosti na priebeh a rozdiel teplôt v betónovom priereze, ako i porovnanie výsledkov pri použití konštantných a nelineárnych hodnôt daných veličín. Cieľom parametrickej štúdie je definovanie možných chýb v procese modelovania požiaru na stavebnom prvku, stanovenie vplyvu jednotlivých parametrov na celkový priebeh teplôt.

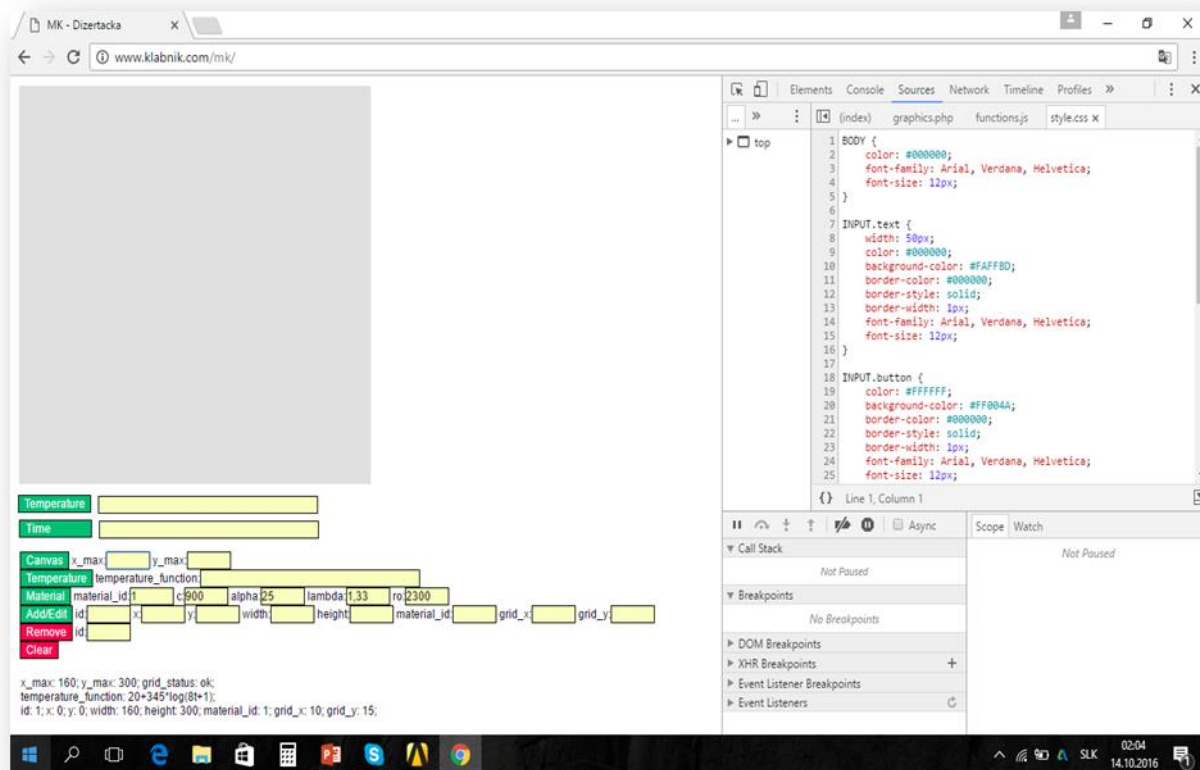
MODEL		VLHKOSŤ BETÓNU	OKRAJ. PODMIEN.	MERNÁ TEPLENÁ KAPACITA		OBJEMOVÁ HMOTNOSŤ		SÚČINITEĽ TEPLITNEJ VODIVOSTI	
				J.kg-1.C-1		kg.m-3		W.m-1.C-1	
				BETÓN	OCEĽ	BETÓN	OCEĽ	BETÓN	OCEĽ
MODEL 1	NELIN.	0,0	ISO	900 ~ 1100	437 ~ 2273	2300 ~ 2024	7850	1,333 ~ 0,594	53,33 ~ 27,3
MODEL 2	NELIN.	1,5	ISO	900 ~ 1100 c.peak=1470	438 ~ 2273	2300 ~ 2024	7850	1,333 ~ 0,595	53,33 ~ 27,3
MODEL 3	NELIN.	3,0	ISO	900 ~ 1100 c.peak=2020	439 ~ 2273	2300 ~ 2024	7850	1,333 ~ 0,596	53,33 ~ 27,3
MODEL 4	KONŠT.	0,0	ISO	900	437	2300	7850	1,11	45
MODEL 5	KONŠT.	0,0	ISO	900	600	2300	7850	1,11	45
MODEL 6	NELIN.	0,0	R=0,7 C=25	900 ~ 1100 c.peak=1470	437 ~ 2273	2300 ~ 2024	7850	1,333 ~ 0,595	53,33 ~ 27,3
MODEL 7	NELIN.	0,0	R=0,8 C=25	900 ~ 1100 c.peak=2020	438 ~ 2273	2300 ~ 2024	7850	1,333 ~ 0,596	53,33 ~ 27,3
MODEL 8	KONŠT.	0,0	R=0,7 C=25	900	600	2300	7850	1,11	45
MODEL 9	KONŠT.	0,0	R=0,8 C=25	900	600	2300	7850	1,11	45

Tab. 1. Charakteristika modelov – teplotné vlastnosti materiálov použité vo výpočte

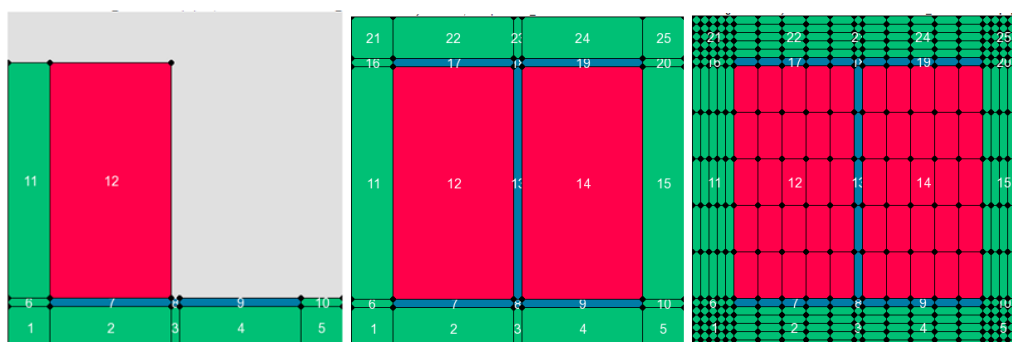
9. Analýza šírenia tepla diferenčnou metódou

Na základe vonkajšieho teplotného namáhania konštrukcie, ktoré je väčšinou uvažované normovým priebehom, je potrebné stanoviť priebeh teploty vo vnútri prierezu alebo vo vopred stanovených kritických bodoch, ako je napríklad ťahaná výstuž. Analýzu možno vykonať pomocou počítačov na báze metódy konečných prvkov, alebo pre rýchlu orientáciu a odhad možno použiť empirické vzťahy pre bežné prierezy. Analýza MKP je zložitá a vyžaduje dobrú znalosť problematiky MKP ako aj znalosť samotného výpočtového programu. Empirické vzťahy a dostupné teplotné profily z euro kódov sú zasa častokrát nepostačujúce z hľadiska počtu ponúkaných prierezov, resp. vyžadovaného času. Pre výpočet teploty prierezu ľubovoľného pravouhlého stavebného prvku z rôznych materiálov a rôznymi okrajovými podmienkami pre návrh vhodnej požiarnej ochrany v podobe izolačných vrstiev je diferenčná metóda ideálnym riešením.

používať aj na vývoj aplikácií s užívateľským rozhraním (GUI).



Obr.4. Užívateľské prostredie programu pre výpočet tepla v programovacom jazyku PHP

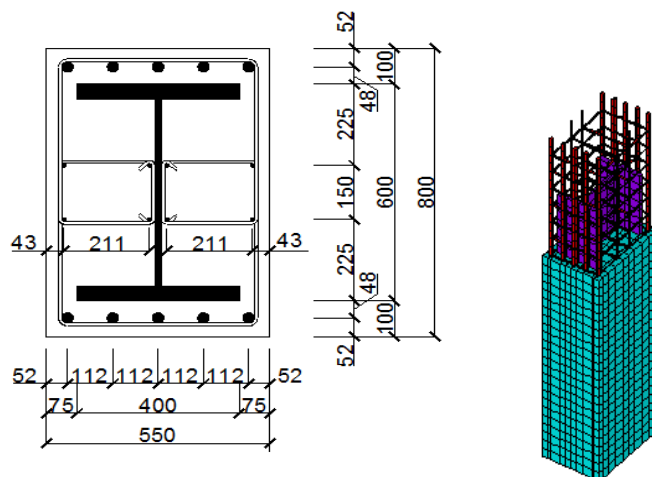


Obr.5. Možnosti vytvárania modelu chráneného prierezu s TI v grafickom rozhraní programovacieho jazyka PHP

10. Zjednodušená termo-mechanická analýza požiarnej odolnosti stĺpov

Ekvivalentné napätia a deformácie za požiaru pre spriahnutý železobetónový, železobetónový a oceľový stĺp boli vyšetrované pomocou zjednodušenej termo-mechanickej analýzy s využitím nelineárnych materiálových modelov využívajúcich Drucker-Pragerovu podmienku plasticity. Plasticita nie je závislá na čase a je charakteristická nevratnou trvalou deformáciou. Skúmaný bol jeden model železobetónového stĺpa, jeden model oceľového stĺpa a dva modely spriahnutých stĺpov. Analyzovaná požiarne odolnosť bola vyšetrovaná aplikovaním požiaru, t.j. zvýšených teplôt, na celý prierez rovnomerne. Mechanické zaťaženie bolo reprezentované percentuálnym podielom návrhovej odolnosti jednotlivých prvkov a to, t.

j. $20\%N_{Rd}$, $40\%N_{Rd}$, $60\%N_{Rd}$, $80\% N_{Rd}$ v kombinácii s teplotným zaťažením pre teplotné úrovne 20, 200, 400, 500, 700, 900 stupňov Celzia. Pre každý model bola určená maximálna prípustná teplota, pri ktorej výpočet prebehol korektne. V okamihu keď nedošlo ku konvergencii celého výpočtu, čo znamenalo, že prvok sa porušil, tak sa zaťaženie teplotou lineárne interpolovalo a to medzi poslednou korektnou a nekorektnou hodnotou.



Obr.6. Model spriahnutého železobetónového stĺpa – betón, I-profil, výstuž

11. Pravdepodobnostná analýza požiarnej odolnosti

V rámci problematiky pravdepodobnostných posudkov bol posúdený v programe FReET oceľobetónový stĺp vystavený účinkom požiaru zjednodušeným normovým postupom podľa EN 1994-1-2.

Konštrukčná výška stĺpa je 3,7m. Vzperná dĺžka je uvažovaná ako 0,7 násobok skutočnej dĺžky. Celková osová sila pôsobiaca na daný stĺp, s uvažovaním redukcie vplyvom požiarnej udalosti je 9030 kN. Prierez stĺpa má rozmery 800 / 400 mm a použitý bol betón triedy C30/37. Oceľová časť prierezu je tvorená zvaraným I profilom s rozmermi 600 / 400 mm s hrúbkou pásnic 40 mm a hrúbkou steny 16mm. Návrh stĺpu vychádza z požiadavky na požiarnu odolnosť R90. Vyšetrovaný bol však pre teploty od 20 do 900 °C. Pre jednotlivé požiarne zaťaženia sa redukujú vlastnosti materiálov podľa normy EN 1994-1-2.

Pravdepodobnostná analýza bola realizovaná pre teplotné zaťaženie 500 °C metódou Monte Carlo s 400 000 simuláciami. Vzhľadom na malú štíhlosť spriahnutého stĺpa boli ako premenné vstupné parametre zvolené pevnostné charakteristiky jednotlivých materiálov redukované príslušným koeficientom a geometrické rozmery - šírka, hrúbka betónovej a oceľovej časti. Rozdelenie pravdepodobnosti, histogramy, stredné hodnoty a smerodajné odchýlky pre posudzovanie požiarnej odolnosti vychádzajú z EC 1990 a EC 1991 ako aj publikácie vydanej CEN Handbook Fire.

Odolnosť stĺpu [st.C]	Stredná hodnota [kN]	Smerodajná odchýlka [kN]	Variačný koeficient	Sklon histogramu	Minimálna hodnota [kN]	Maximálna hodnota [kN]	Rozptyl [kN]
500	19981	1564.5	0.078302	0.12767	14177	25609	11432

Tab. 2. Výsledky pravdepodobnostnej analýzy

12. Záver

Pri zhodnotení výsledkov mojej dizertačnej práce vychádzam z jej hlavných cieľov a sústredím sa na najzávažnejšie prínosy. Keďže problematika obsiahnutá v práci je veľmi široká a výsledky, ktoré som dosiahol, sú zhodnotené v dielčích záveroch jednotlivých kapitol, tu uvediem len tie výsledky a závery, ktoré považujem za najdôležitejšie z pohľadu vedeckého ako aj prínosu pre odbornú prax.

1. Zostavil som vlastný program na výpočet šírenia tepla a topológie teploty v prierezoch stavebných prvkov rôzneho tvaru, materiálu, s možnosťou zadania rôznych teplotných kriviek, s uvažovaním nelineárnych hodnôt teplotných materiálových charakteristík. Program ponúka možnosť rýchleho overenia teploty prvku pre prierezy a časy, ktoré nie sú obsiahnuté v Eurokódoch.
2. Spracoval som parametrickú štúdiu vedenia tepla, zameranú na vplyv jednotlivých teplotných parametrov, či už konštantných alebo nelineárnych na konečný priebeh teplôt v prierezoch spriahnutých stĺpov. Z nej vyplýva, že zmena funkcie parametrov nemá výrazný vplyv na štrukturálnu analýzu v začiatočnom štádiu požiaru.
3. Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať, že z praktického hľadiska nie je účelné použitie transientnej teplotno-štrukturálnej analýzy, ktorá vyžaduje množstvo vstupných veličín, často zložito implementovaných, ako aj vysokú programovú gramotnosť, naopak použitie zjednodušenej termomechanickej analýzy pri známých spresnených priemerných teplotách v stĺpoch dáva spoľahlivé výsledky i za predpokladu nelineárneho správania sa materiálu.

Možné smery ďalšieho výskumu týkajúceho sa tejto témy:

- Rozšírenie vlastného výpočtového programu o časť so štrukturálnymi výpočtami, ktorá zohľadňuje zmenu ohybovej tuhosti v závislosti na teplote konštrukcie,

- Vykonanie experimentov za účelom získania nových dát, ktoré poslúžia k overeniu už jestvujúcich výpočtov
- Použitie zostaveného programu na vytvorenie knižnice teplôt často používaných prierezov, ktorých tvary nie sú obsiahnuté v Eurokódoch.

13. Zoznam použitej literatúry

- [1] Al-Jabri, K.S. The Behaviour of Steel and Composite Beam to Column Connections in Fire, PhD Thesis, University of Sheffield, Sheffield, UK, 1999.
- [2] Annamalai K. Puri I.K. Advanced Thermodynamics Engineering, CRC Press LLC, London, 2002.
- [3] Antal, Š.: Termodynamika, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2009, ISBN 978-80-227-3212-3
- [4] Antal Š. Al-Shafei M.: Termomechanika : zbierka príkladov, Vydavateľstvo STU, 2010, ISBN 978-80-227-3270-3
- [5] Ansys Inc. Theory Reference.
- [6] AISC, "AISC Construction Manual, Appendix 4: Structural Design for Fire Conditions," 14th Ed. American Institute of Steel Construction Steel, Chicago, IL, USA, 2011.
- [7] ASCE 7, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2010.
- [8] Bayer P.-Matesová D.: Vliv endotermických reakcí rozkladu fází cementového tmelu v betonu na jeho pórovou strukturu, Sborník přednášek z II. konference s mezinárodní účastí, FAST VUT, Brno, 2006, ISBN 80-214-3251-9
- [9] Bellová, M. Olbřímek, J. Osvald, A. Procházka, J. Štefan, R. Štujberová, M. Navrhovanie konštrukcií na požiaru odolnosť podľa Eurokódov. Teória: Zavádzanie Eurokódov do praxe. Bratislava : Inžinierske konzultačné stredisko Slovenskej komory stavebných inžinierov, 2010. 218 strán. ISBN 978-80-89113-69-9.
- [10] Benča Š.: Výpočtové postupy MKP pri riešení lineárnych úloh mechaniky, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2006, ISBN 80-227-2404-1
- [11] Brožovský J.: Fyzikálne nelineární modelování stenových železobetonových konstrukcií, Sborník semináře Problémy lomové mechaniky, VUT, Brno, , 2001, IBSN 80-214-1906-7.
- [12] Buchanan A.: Structural Design For Fire Safety, Wiley, New York, 2001, ISBN 0 471 88993 8

- [13] Čermák V.: Diskrétní a spojitá rozdělení, VŠE, Praha, 1993, ISBN 80-7079-711-8
- [14] EC3 (2001). Design of Steel Structures — Part 1.2: General Rules — Structural Fire Design, European Committee for Standardization, DD ENV 1993-1-2:2001, CEN, Brussels
- [15] Flint, G.R. et al.: Structural response of tall buildings to multiple floor fires, Journal of Structural Engineering, ASCE, 133, 1719-1732, 2007.
- [16] Frydryšek K.: Pravděpodobnostní výpočty v mechanice 1, VŠB TU Ostrava, 2010, ISBN 978-80-248-2314-0
- [17] Gallagher R.: Finite Element Analysis, Springer, Berlín, 1975, ISBN 3-540-07740-5
- [18] Gambarova P.G. et al. Fire Design of Concrete Structures: What now? What next?, Proc. 2nd International Workshop, Milan University, Italy, Dec. 2-3, 2004.
- [19] Ilčíková K., Metodika modelování tepelných procesů v pecních vozech, Dizertační práce, Brno, 1996
- [20] Ilkovič D.: Fyzika, Alfa, Bratislava, 1958, ISBN 65-551-72-05
- [21] Johnson R.P.: Composite Structures of Steel and Concrete, Volume 1, Beams, Slabs, Columns, and Frames for Buildings, Blackwell Scientific Publications, Londýn, 1994, ISBN 0-632-02507-7
- [22] Jansson B.: Random Number Generators, Almqvist, Stockholm, 1966
- [23] Johnson, R. P. Composite Structures of Steel and Concrete, Blackwell, 2004.
- [24] Chladná M.: Požiarne odolnosť spriahnutých oceľobetónových stropných konštrukcií, Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2006, ISBN 978-80-227-2617-7
- [25] Hamins, A. et al. Report of Experimental Results for the International Fire Model Benchmarking and Validation Exercise #3, NIST Special Publication 1013-1, U.S. Department of Commerce 2003.
- [26] Handbook 2: Implementation Of Eurocodes Reliability and Statistical Methods In Engineering Design. Guide of the basic structural reliability and risk engineering related to Eurocodes, Leonardo Da Vinci Project, Praha, 2005
- [27] Haldar A., Mahadevan S.: Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design, Wiley, New York, 2000
- [28] Holický et al.: Handbook 5. Design of Buildings for the Fire Situation. Project CZ/02/B/F/PP – 134007, 2005
- [29] Holický M., Marková J.: Zásady navrhování stavebních konstrukcí, ČKIAT, Praha, 2007, ISBN 978-80-870-9327

- [30] HSE Books, Probabilistic methods: Uses and abuses in structural integrity, CRR398/2001, UK, www.hse.gov.uk, ISBN 0 7176 2238 X.
- [31] Hurt J.: Simulační metody, SPN, Praha, 1982
- [32] Karlsson B. Quintiere J.G. Enclosure Fire Dynamics, CRC Press LLC, US, ISBN 0-8493-1300-7, 1999.
- [33] Králik J.: Probability Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Containment Damage due to High Internal Overpressure. Engineering mechanics, Brno 2005, ISSN 1210-2717
- [34] Králik,J.: Safety and Reliability of Nuclear Power Buildings in Slovakia. Earthquake-Impact-Explosion. Monograph. Vydavateľstvo STU Bratislava, 2009, ISBN 978-80-227-3112-6
- [35] Králik,J.-Varga,T. Probability and Sensitivity Analysis of Fire Resistance of a Steel Frame. In: International Conference on Computing, Communications and Control Technologies: CCCT'04, Sponsored by: The University of Texas at Austin and The International Institute of Informatics and Systemics (IIIS) August 14-17, 2004 - Austin, Texas, USA, Editors Chu,HW, Savoie,M;Sanchez,B., Vol 4, Proc.85-90.pp.8,
- [36] Králik,J.-Varga,T. Safety and Reliability Analysis of the Steel Frame Fire Resistance. In: Sympozijum Trvalość Matreriálow I Konstrukcji Budowlanych. Kamień Śląski, 14-15.07.2005. Wydział Budownictwa Politechniki Opolskiej, No.GIMA-CT-2002-04058, pp. 80-83
- [37] Králik,J.-Varga,T. Deterministic and Probability Analysis of Fire Resistance of a Steel Portal Frames with Tapered Members. In: Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2006, ESREL 2006, Safety and Reliability for Managing Risk. Estoril, Portugal, 18-22 sept.2006. Balkema, Taylor&Francis Group, London, pp. 2081-2086. ISBN 978-0-415-42315-1.
- [38] Králik,J. Probabilistic Safety Assessment of the Fire Resistance of Steel Portal Frame. In proc.: International Scientific Conference on CzechSTAV 2011. Inovation in Building Construction. October 24-28, 2011, Hradec Králové, MAGNANIMITAS, ISBN 978-80-904877-5-8, ETTN 040-11-11009-11-1, p.47-56.
- [39] Králik,J., Klabník,M. Deterministic and Probabilistic Analysis of Seismic and Fire Resistance of Cable Way Structures, In Proc. II. ročník mezinárodní stavební konference, konané v rámci projektu „Tvorba a internacionalizace špičkových vědeckých týmů a zvyšování jejich excelence na Fakultě stavební VŠB – TU Ostrava,

- STRUCTURA 2012, 8-9.11.2012, FS VSB Ostrava, pp.28-33, ISBN 978-80-248-2879-4.
- [40] Králík, J. A RSM Approximation in Probabilistic Nonlinear Analysis of Fire Resistance of Technology Support Structures, In: Advanced Materials Research Vol. 969 (2014) pp 1-8, © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.969.1.
- [41] Králík, J., Klabník, M., Grmanová, A. Probability Analysis of a Composite Steel and Concrete Column Loaded by Fire, Applied Mechanics and Materials Vol. 769 (2015) pp 126-132, © (2015) Trans Tech Publications, Switzerland, doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.769.126.
- [42] Králík, J., Klabník, M., Grmanová, A. Nonlinear Analysis of Steel Concrete Columns Fire Resistance, In Engineering mechanics 2016 : book of full texts. 22nd International conference. Svratka, ČR, 9. - 12. 5. 2016. 1st. ed. Praha : Institute of Thermomechanics Academy of Sciences of the Czech Republic, 2016, S. 343-346. ISSN 1805-8248. ISBN 978-80-87012-59-8.
- [43] Králík, J., Tirpáková, M. Nonlinear Analysis of Steel Concrete Column Fire Resistance, , In proc. Modelování v mechanice 2013, 22-23. máj 2013, Ostrava, pp.11, ISBN 978-80-248-2985-2.
- [44] Kucbel J.: Požiarna ochrana budov, Vydavateľstvo a distribúcia technickej literatúry Kucbel, Bratislava, 1993
- [45] Laušová L. Chování ocelových konstrukcí během požáru, Disertační práce, VŠB-TU Ostrava, 2013.
- [46] Lišková, Z., Olbřímek, J. Analysis of safe distance of flue from combustible construction parts in terms of fire safety in the European standards. In Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies. s. 57--59.
- [47] Lundin J. Model Uncertainty in Fire Safety Engineering, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, Rep.1020, ISSN: 1402-3504, 1999.
- [48] Maraveas Ch. Fire Resistance of Metal Framed Historical Structures, University of Manchester, Doctor of Philosophy Dissertation, 2015.
- [49] Naus, D. J. The Effect of Elevated Temperature on Concrete Materials and Structures, A Literature Review, NUREG/CR-6900, US NRC, 2005.
- [50] Olbřímek, J., Jankovič, D., Leitnerová, S., Tkáč, J. Analysis of fire ETICS in Bratislava in Slovak republic. Advanced Materials Research, 1057. s. 180--187.

- [51] Okten G.: Contribution to the theory of Monte Carlo and Quasi Monte Carlo methods, North-Holland Clarendon, 2004
- [52] Ondráček E.: Výpočtové modely v technické praxi, SNTL, Praha, 1990
- [53] Phan, L.J. McAllister, T.P. Gross, J.L. Hurley, M.J. Best Practice Guidelines for Structural Fire Resistance Design of Concrete and Steel Buildings, NIST Technical Note 1681, U.S. Department of Commerce, NIST 2010.
- [54] Procházka, J. a kol. Navrhování betonových konstrukcí I – Prvky z prostého a železového betonu, ISBN 978-80-903807-5-2, Praha ČBS Servis, 2009.
- [55] Purkiss, J.A. Long-Yuan, L. Fire Safety Engineering Design of Structures, Third Edition, CRC Press London, Taylor&Francis Group, 2016.
- [56] Rozsypalová, I. Daněk, P. Šimonová, H. Keršner, Z. Experimental Study of Measurements Techniques of Residual Properties of Concrete Subjected to High Temperature. 24th International Conference on Materials and Technology. Ljubljana, Slovenia: 2016. s. 181-181. ISBN: 978-961-94088-0-3.
- [57] Rosowsky D.: Structural Reliability, CRC Press LLC, Londýn, 1999, ISBN 978-11-380-0086-5
- [58] Quiter J. et al.: Guidelines for Designing Fire Safety in Very Tall Buildings, Public Review Draft, Mnichov, 2012
- [59] Studnička J.: Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1994 – 1 – 1, ČKIT Praha, 2009, ISBN 978-80-87093-85-6
- [60] Schleich, J.B. Performance based design for the fire situation, leading to economic and safe fire resistance. 17th Congress of IABSE, Creating and Renewing Urban Structures. Chicago: IABSE, 2008.
- [61] Schleich, J.B. et al. Handbook 5, Design of Buildings for the Fire Situation. Leonardo da Vinci Pilot Project CZ/02/B/F/PP-134007, Development of skills facilitating implementation of Eurocodes: 250 pages. Prague: Czech Technical University, Luxemburg, 10/2005.
- [62] Stadler M. Design of Composite Slab Systems in Case of Fire Using Simplified Finite Element Analyses, TU Munchen, Doctor of Philosophy Dizertation, 2012.
- [63] STN EN 1991-1 Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií - Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia – hustoty, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia pozemných stavieb
- [64] STN EN 1991-2 Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií - Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia – zaťaženie konštrukcií namáhaných požiarom

- [65] STN EN 1991-1-1 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií - Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby
- [66] STN EN 1991-1-2 Eurokód 2: Navrhovanie betónových konštrukcií - Časť 1-2: Navrhovanie konštrukcií na požiar
- [67] STN EN 1994-1-1 Eurokód 2: Navrhovanie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií - Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby
- [68] STN EN 1994-1-2 Eurokód 2: Navrhovanie spriahnutých ocelobetónových konštrukcií - Časť 1-2: Navrhovanie konštrukcií na požiar
- [69] STN 920201 -1 : Požiarne bezpečnosť stavieb, Spoločné ustanovenia, Časť 1 : Požiarne riziko, veľkosť požiarneho úseku
- [70] STN 920201 -1 : Požiarne bezpečnosť stavieb, Spoločné ustanovenia, Časť 2 : Stavebné konštrukcie.
- [71] Studnička, J. Sprážené ocelobetonové konstrukce, Nakladatelství CVUT Praha, 2009.
- [72] Teplý B.: Spolehlivost stavebních konstrukcí, Cerm, Brno, 2004, ISBN 80-214-2577-6
- [73] Twist L: Fire resistance of cast iron structures in historic building maintenance , COST C5, Delft University of Technology, Delft, 1999
- [74] Tvrdá K.: Nové Aspekty v optimálnom návrhu nosných konštrukcií, Vydavateľstvo STU, Bratislava 2014, ISBN 978-80-227-4180-4
- [75] Usmani, A.S. Fire Induced Progressive Collapse of Tall Building, Proc. In COMPDYN 2009, ECCOMAS Thematic Conference, Rhodes, 2009.
- [76] Wald F.: Výpočet požiarnej odolnosti stavebných konštrukcií, Vydavateľstvo ČVUT, Praha, 2005, ISBN 80-01-03157-8
- [77] Wald F., Beneš M.: Navrhování ocelových konstrukcí na účinky požáru podle Euro kódů, Doporučený technický standart, ČKAIT , Praha, 2004
- [78] Wald, F a kol. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, ISBN 80-0103157-8, Praha, Nakladatelství CVUT Praha, 2005.
- [79] Wang, Y. Burgess, J. I. Wald, F. Gillie, M. Performance-Based Fire Engineering of Structures, CRC Press, Taylor&Francis Group, 2012.
- [80] Wang Y., Lemnon T, Moore D.: The Behaviour of Steel Frames Subject To Fire, Journal of Constructional Research, č. 35, 1995, s291-322
- [81] Wang Y.: Steel And Composite Structures, Behaviour And Design For Fire Safety, Spon Press, Londýn, 2002, ISBN 0-415-24436-6
- [82] Wang, Y. Burgess, J. I. Wald, F. Gillie, M. Performance-Based Fire Engineering of Structures, CRC Press, Taylor&Francis Group, 2012.

- [83] Wang Y., Lemmon T, Moore D.: The Behaviour of Steel Frames Subject To Fire, Journal of Constructional Research, č. 35, 1995, s291-322
- [84] World Trade Centre Building Performance Study: Data collection, preliminary observations and recommendations. Technical Report FEMA 403, 2002.

14. Zoznam publikačnej činnosti

Pracovisko: V250 - SvF. Katedra stavebnej mechaniky

Autor: Klabník, Maroš

Ďalšie spracovanie: NOT e~f

Zobrazovací formát: Zoznam dokumentov podľa ISO690

Štatistika: Kategória publikačnej činnosti

Triedenie: Kategória publikačnej činnosti

Voľby: Číslovanie kategórií publ.činnosti, Číslovanie ohlasu poradovými číslami, Odsadenie ohlasov doprava, Zobrazit' iba ohlasy daného roku, Zobrazit' len ohlasy danej kategórie, Zobrazit' ohlasy len z danej databázy, Podčiarknuť domácich autorov, Nezobrazovať číslo archívnej kópie, Odsadenie celého záznamu doprava, Skryť červené chybové správy, Rozšírený výpis selekčných kritérií

ADE Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch

- ADE01 KLABNÍK, Maroš - KRÁLIK, Juraj. Heat Transfer in a Concrete Composite Cross-Section. In *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series [elektronický zdroj]*. Vol. 16, no. 2 (2016), online, s. 61-66. ISSN 1804-4824.
- ADE02 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - KLABNÍK, Maroš. Nonlinear Analysis of the Failure of Nuclear Hermetic Reinforced Concrete Structure Due to Extreme Pressure and Temperature. In *Transactions of the VŠB - Technical University of Ostrava, Civil Engineering Series [elektronický zdroj]*. Vol. 16, no. 2 (2016), online, s. 72-84. ISSN 1804-4824.

AFC Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách

- AFC01 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš. Deterministic and Probabilistic Analysis of Seismic and Fire Resistance of Cable Way Structures. In *Structura 2012 : 2. ročník*

Mezinárodní stavební konference. Ostrava, ČR, 8.-9.11.2012. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2012, s.28-33. ISBN 978-80-248-2879-4.

- AFC02 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš. Deterministická a pravdepodobnostná analýza požiarnej odolnosti viacpodlažného oceľového rámu. In *Modelování v mechanice 2013 [elektronický zdroj] : Sborník příspěvků vědecké konference. Ostrava, ČR, 22.-23.5.2013. 1.vyd. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013, s.CD-ROM, [9]s. ISBN 978-80-248-2985-2.*
- AFC03 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - KLABNÍK, Maroš. Nonlinear Analysis of the Failure Temperature of NPP Hermetic Structures. In *Modelování v mechanice 2015 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků vědecké konference. Ostrava, ČR, 28. - 29. 5. 2015. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015, CD-ROM, [15] s. ISBN 978-80-248-3756-7.*
- AFC04 KLABNÍK, Maroš - LEITNEROVÁ, Soňa. Priebeh teplôt v betónovom priereze za požiaru. In *Modelování v mechanice 2015 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků vědecké konference. Ostrava, ČR, 28. - 29. 5. 2015. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2015, CD-ROM, [7] s. ISBN 978-80-248-3756-7.*
- AFC05 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš - GRMANOVÁ, Alžbeta. Nonlinear Analysis of Steel Concrete Columns Fire Resistance. In *Engineering mechanics 2016 : book of full texts. 22nd International conference. Svratka, ČR, 9. - 12. 5. 2016. 1st. ed. Praha : Institute of Thermomechanics Academy of Sciences of the Czech Republic, 2016, S. 313-316. ISSN 1805-8248. ISBN 978-80-87012-59-8. V databáze: WOS: 000379986700075.*
- AFC06 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš. Šírenie tepla v spriahnutom priereze. In *Spolehlivost konstrukcí 2016 & Modelování v mechanice 2016 [elektronický zdroj] : sborník příspěvků vědecké konference. Ostrava, ČR. 26. - 27. 5. 2016 = Structural Reliability 2016 & Modelling in Mechanics 2016, proceedings of conference. 1. vyd. Ostrava : Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2016, USB klíč, [7] s. ISBN 978-80-248-3918-9.*

AFC07 KLABNÍK, Maroš. Riešenie vedenia tepla v PHP. In *Juniorstav 2017 [elektronický zdroj]* : 19. odborná konference doktorského studia. Brno, ČR, 26. 1. 2017 = Juniorstav 2017, 19th International Conference of PhD Students. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2017, USB kľúč, [9] s. ISBN 978-80-214-5473-6.

AFD Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách

AFD01 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš. Posúdenie zaveseného nosného systému na účinky vodorovných zaťažení. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj]* : 10th International Conference. Bratislava, Slovak Republic, 3.-5.10.2012. Bratislava : STU v Bratislave, 2012, s.243-246. ISBN 978-80-227-3786-9.

AFD02 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš. Numerické metódy pre riešenie spoľahlivosti konštrukcií. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings : proceedings of 11th International Conference. Bratislava, SR, 3. - 4. 10. 2013*. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology, 2013, s.117-120. ISBN 978-80-227-4040-1.

AFD03 KLABNÍK, Maroš. Pravdepodobnostné posúdenie požiarnej odolnosti. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj]* : 23rd Annual PhD student conference. Bratislava, SR, 30. 10. 2013. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2013, s.CD-ROM, s.105-111. ISBN 978-80-227-4102-6.

AFD04 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - BARAN, Michal - KLABNÍK, Maroš. Motivation and experience from stress test of NPP safety in Slovakia. In *Vedecko - pedagogické aspekty stavebnej mechaniky. [elektronický zdroj]* : Stretnutie katedier a ústavov stavebnej mechaniky SR a ČR. Medzinárodný seminár. Vysoké Tatry, SR, 25.-27.11.2013. Košice : Technická univerzita v Košiciach, 2013, s.online, [5] p. ISBN 978-80-553-1496-9.

AFD05 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - KLABNÍK, Maroš - GRMANOVÁ, Alžbeta. Experiences with the enhancement of the NPP safety in Slovakia 2014. In

New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj] : proceedings of 12th International Conference. Bratislava, SR, 16. - 17. 10. 2014. 1. vyd.

Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014, CD ROM, [10] s.
ISBN 978-80-227-4259-7.

AFD06 KRÁLIK, Juraj - GRMANOVÁ, Alžbeta - KLABNÍK, Maroš.

Pravdepodobnostná analýza spriahnutého oceľobetónového stĺpa na účinky požiaru. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj] : proceedings of 12th International Conference. Bratislava, SR, 16. - 17. 10. 2014. 1. vyd.* Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014, CD ROM, [6] s. ISBN 978-80-227-4259-7.

AFD07 KLABNÍK, Maroš. Použitie metódy M-C pri výpočte priehybu dosky. In *Advances in architectural, civil and environmental engineering [elektronický zdroj] : 24rd Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying, Geodesy, and Applied Mathematics. 1. vyd.* Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2014, CD-ROM, s. 95-99. ISBN 978-80-227-4301-3.

AFD08 KRÁLIK, Juraj - KLABNÍK, Maroš - GRMANOVÁ, Alžbeta. Probability Analysis of a Composite Steel and Concrete Column Loaded by Fire. In *Applied Mechanics and Materials : Trends in Statics and Dynamic of Construction - selected, peer reviewed papers from the 12th International Conference, Bratislava, SR, 16. - 17. 10. 2014. Vol. 769, (2015), s. 126-132. ISSN 1660-9336.*

AFD09 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - KLABNÍK, Maroš - GRMANOVÁ, Alžbeta. Nonlinear Probabilistic Analysis of the Failure Pressure of NPP Hermetic Cover. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj] : proceedings of 13th International Conference. Bratislava, Slovakia, 15. - 16. 10. 2015. 1. vyd.* Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2015, CD-ROM, [16] s. ISBN 978-80-227-4463-8.

AFD10 KLABNÍK, Maroš. Nehránený betónový prierez za požiaru. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj] : proceedings of 13th*

- International Conference. Bratislava, Slovakia, 15. - 16. 10. 2015. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2015, CD-ROM, [6] s. ISBN 978-80-227-4463-8.*
- AFD11 KLABNÍK, Maroš. Overenie teplotného profilu betónového prierezu. In *Advances in architectural, civil and environmental engineering [elektronický zdroj] : 25rd Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying, Geodesy, and Applied Mathematics. Bratislava, SR, 28. 10. 2015. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2015, CD-ROM, s. 109-114. ISBN 978-80-227-4514-7.*
- AFD12 KRÁLIK, Juraj - KRÁLIK, Juraj ml. - KLABNÍK, Maroš - GRMANOVÁ, Alžbeta. Nonlinear Probabilistic Analysis of the Failure Pressure of NPP Shielding Plate. In *Applied Mechanics and Materials [elektronický zdroj] : Trends in Statics and Dynamics of Construction II. Selected, peer reviewed papers from the 13th International Conference on New Trends in Statics and Dynamics of Buildings, Bratislava, SR, 15. - 16. 10. 2015. Vol. 837, (2016), CD-ROM, s. 214-221. ISSN 1660-9336.*
- AFD13 KLABNÍK, Maroš - KRÁLIK, Juraj. Nonlinear Analysis of Composite Columns Fire Resistance. In *Young Scientist 2016 [elektronický zdroj] : 8th International scientific conference of Civil Engineering and Architecture for PhD Students and Young scientists below 35 years old. Štrbské Pleso, Slovakia, 14.-15. 4. 2016. 1. vyd. Košice : Technical University, 2016, CD ROM, [11] s. ISBN 978-80-553-2537-8.*
- AFD14 KLABNÍK, Maroš - KRÁLIK, Juraj. Equivalent Stress and Strain of Composite Column under Fire. In *SPACE 2016. Structural and Physical Aspects of Construction Engineering [elektronický zdroj] : 3rd International Conference. Proceedings. High Tatras, Štrbské Pleso, Slovakia, November 9 - 11, 2016. 1. vyd. Košice : Technical University of Košice, 2016, CD-ROM, [2] s. ISBN 978-80-553-2643-6.*

- AFD15 KLABNÍK, Maroš - KRÁLIK, Juraj. Nestacionárne vedenie tepla v programovacím jazyku PHP. In *New Trends in Statics and Dynamics of Buildings [elektronický zdroj] : conference proceedings. 14th International Conference. Bratislava, Slovakia, 13. - 14. 10. 2016*. 1. vyd. Bratislava : Slovak University of Technology in Bratislava, 2016, CD-ROM, [6] s. ISBN 978-80-227-4613-7.
- AFD16 KLABNÍK, Maroš. Riešenie úlohy vedenia tepla v PHP. In *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering [elektronický zdroj] : 26th Annual PhD Student Conference on Architecture and Construction Engineering, Building Materials, Structural Engineering, Water and Environmental Engineering, Transportation Engineering, Surveying, Geodesy, and Applied Mathematics. 26. October 2016, Bratislava*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2016, CD-ROM, s. 104-111. ISBN 978-80-227-4645-8.

AFG Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií

- AFG01 KRÁLIK, Juraj - GRMANOVÁ, Alžbeta - KLABNÍK, Maroš. Nonlinear Analysis of Fire Resistance of Composite Steel-Concrete Tube Column. In *Engineering mechanics 2015 : extended abstracts. 21st International conference. Svratka, ČR, 11. - 14. 5. 2015*. 1st. ed. Praha : Institute of Theoretical and Applied Mechanics, 2015, P. 158-159. ISSN 1805-8248. ISBN 978-80-86246-42-0.

Štatistika: kategória publikačnej činnosti

ADE	Vedecké práce v ostatných zahraničných časopisoch	2
AFC	Publikované príspevky na zahraničných vedeckých konferenciách	7
AFD	Publikované príspevky na domácich vedeckých konferenciách	16
AFG	Abstrakty príspevkov zo zahraničných konferencií	1
Súčet		26