Diagnostika, skúšky, modelovanie a statická analýza aktuálneho stavu nosnej oceľovej konštrukcie poškodenej účinkami požiaru

Cieľom príspevku je charakterizovať diagnostiku, globálnu analýzu a návrh opatrení potrebných pre sanáciu požiarom poškodených oceľových strešných väzníkov, vychádzajúc z podrobnej statickej analýzy nosnej oceľovej konštrukcie objektu. Požiar s teplotou nad 1 000 °C a dĺžkou trvania do cca 20 min sa rozšíril po celej výške objektu, to znamená, že dosiahol úroveň strešnej konštrukcie vo výške 23,70 m.

Základným predpokladom realistického statického zhodnotenia stavebného objektu poškodeného požiarom je poznanie aktuálneho stavu fyzikálnych vlastností materiálov jednotlivých prvkov konštrukcie a ich vzájomného statického pôsobenia v nosnom systéme. Uvedené aktuálne parametre je potrebné implementovať do teoretického výpočtového modelu, aby bolo možné dosiahnuť optimálnu zhodu medzi reálnym správaním konštrukcie a teoretickou odozvou získanou na základe statického výpočtového modelu.

Prezentovaná je aj štúdia odolnosti nosnej oceľovej konštrukcie pri požiari za účelom simulácie teplotného účinku požiaru. Podľa STN EN 1993-1-2 [5] bola posúdená odolnosť konštrukcie a bol určený čas pri ktorom konštrukcia stratila svoju odolnosť.

MECHANICKÉ A KREHKOLOMOVÉ VLASTNOSTI VYŠETROVANÝCH OCELÍ

Najdôležitejšou materiálovou charakteristikou ocelí odolných proti požiaru je teplotná závislosť medze klzu, resp. medze pevnosti. V norme [5] sú uvedené minimálne hodnoty jednotlivých redukčných faktorov [kap. 6 – rovnice (2), (3), (4)], ktoré charakterizujú pomer danej veličiny pri sledovanej teplote vzhľadom k hodnote tejto veličiny pri laboratórnej teplote.

Krehkolomové charakteristiky sú overované skúškou vrubovej húževnatosti, to znamená rázom v ohybe na skúšobných tyčiach s V-vrubom. Pri skúške sa zdôrazňuje vplyv rázového zaťaženia a koncentrácie napätí okolo vrubu ako aj spôsob porušenia.

AKTUÁLNY STAV NOSNEJ OCEĽOVEJ KONŠTRUKCIE PO POŽIARI

Predmetný halový objekt bol postavený a daný do užívania v roku 1965, obr. 1. Nosný systém haly tvoria oceľové stĺpy zo zváraných profilov I-1 100 s priečnymi výstuhami, situované po jednej strane obvodovej roviny objektu a železobetónové stĺpy osadené na druhej strane objektu. Nosnú konštrukciu zastrešenia tvorí oceľový priehradový väzník. Hlavný nosník žeriavovej dráhy je vytvorený z oceľového zváraného prierezu I-1 200, [1].

Diagnostika oceľovej konštrukcie

Predmetom diagnostiky, prieskumu a statického posudku bolo:

- zistenie aktuálneho technického stavu a posúdenie odolnosti tvoriacich prvkov nosnej oceľovej konštrukcie objektu po požiari;
- diagnostikovanie miery poškodenia a návrh takých opatrení, ktoré umožnia bezpečné a spoľahlivé užívanie objektu.

Experimentálne vyšetrovanie „in situ“ a „in labo“

S cieľom stanoviť mieru poškodenia nosnej oceľovej konštrukcie stavebného objektu po požiari boli realizované nasledovné nedeštruktívne vyšetrovania „in situ“ a deštruktívne skúšky „in situ“ a „in labo“:

- zisťovanie aktuálnych mechanických vlastností materiálu nosnej oceľovej konštrukcie stavebného objektu, pričomboli odobraté vzorky z vybraných prvkov oceľovej konštrukcie (zo stĺpov, strešných väzníkov a stužidiel, nosníkov žeriavovej dráhy);
- magnetodefektoskopická kontrola zvarov;
- meranie hrúbok tvoriacich častí prierezov vybraných prvkov oceľovej konštrukcie;
- geodetické meranie tvaru zdeformovaných oceľových strešných priehradových väzníkov a ich priehybov ako aj meranie vyosenia koľajnice žeriavovej dráhy.

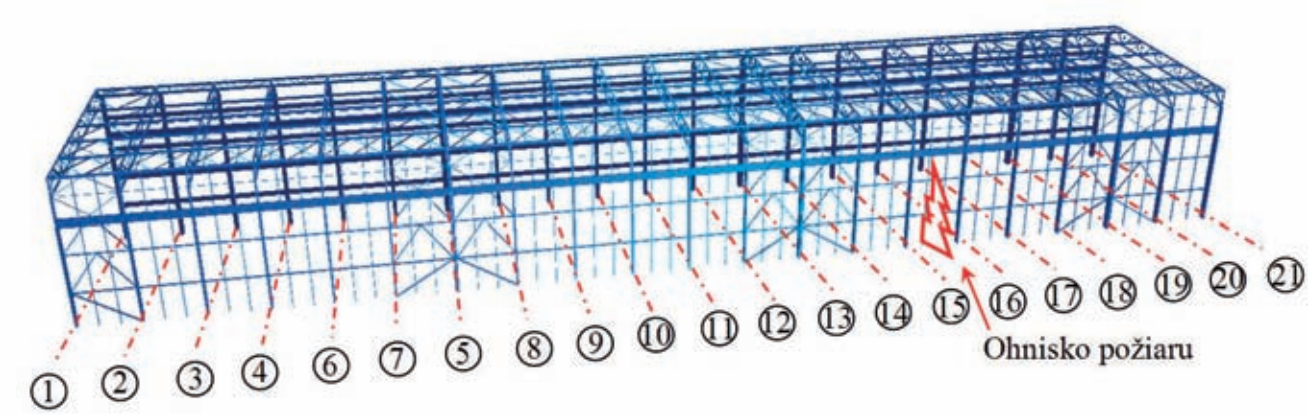
V článku sú prezentované niektoré vybrané výsledky z komplexnej analýzy mechanických vlastností materiálov prvkov nosnej oceľovej konštrukcie vystavenej účinkom teploty pri požiari.

Odobraté vzorky ocele boli následne skúšané v akreditovaných skúšobniach a laboratóriach. Pre porovnanie aktuálnych mechanických vlastností materiálov oceľovej konštrukcie zasiahnutej a nezasiahnutej požiarom boli vzorky odobraté:

- z oblasti priamo zasiahnutej požiarom (v ohnisku) – medzi osami 15–16;
- z oblasti nepriamo zasiahnutej požiarom (v blízkosti ohniska) – medzi osami 13–14–15;
- z oblasti nezasiahnutej požiarom (mimo ohniska) – medzi osami 1 až 13.

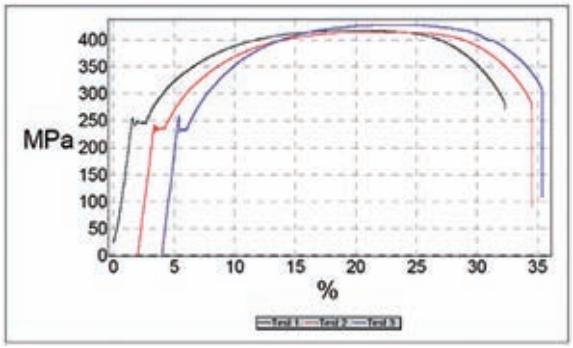
Na vzorkách boli vykonané:

- statická skúška ťahom s určením medze klzu f_y, medze pevnosti f_u, ťažnosti A_5 a kontrakcie Z;
- stanovenie modulu pružnosti v ťahu E (na vybraných vzorkách);
- skúška vrubovej húževnatosti (Charpy V na vybraných vzorkách).



Obr. 1 – Model haly s vyznačenými osami jednotlivých väzieb a ohniskom požiaru

name	Spec. No.	Rp0.2 [MPa]	ReH [MPa]	ReL [MPa]	Rm [MPa]
Test 1	1-1	242	254	241	417
Test 2	1-2	238	243	228	415
Test 3	1-3	231	259	230	428



Obr. 2 – Valcové skúšobné telesá a ťahový diagram ($R_{p0,2} \rightarrow f_{y0,2}$, $R_{eH} \rightarrow f_{yH}$, $R_{eL} \rightarrow f_{yL}$, $R_m \rightarrow f_u$)

Celkove bolo odskúšaných 49 skúšobných telies, pričom každú oblasť reprezentovali minimálne 3 vzorky materiálu. Statická skúška v ťahu bola realizovaná normovaným spôsobom na trhacom stroji ZWICK 1387 – Hegewald & Peschke, Meß- und Prüftechnik GmbH (inspekt retrofit), Nossen. Na meranie modulu pružnosti E bol použitý špeciálny snímač deformácie ZWICK 7852 s vysokou presnosťou. Riadenie a vyhodnocovanie skúšok bolo realizované pomocou softvéru Labmaster, ktorý numericky a graficky vyhodnocuje všetky relevantné veličiny, ktorými sú hodnota medze klzu $f_{y0,2}$, hornej medze klzu f_{yH}, dolnej medze klzu f_{yL} a hodnota medze pevnosti f_u, obr. 2.

Charakter lomov jednotlivých skúšobných telies odpovedal ich stanoveným mechanickým vlastnostiam, pričom neboli zaznamenané žiadne anomálie. Ťahové diagramy odpovedajú vlastnostiam nespevnenej nízkouhlíkovej konštrukčnej oceli používanej na zvárané konštrukcie.

Skúšobné telesá na skúšku vrubovej húževnatosti s vrubom V (Charpy V, hl. 2 mm) boli odobraté a vyrobené v rovnakom smere ako telesá na skúšku v ťahu. Skúška vrubovej húževnatosti bola realizovaná pri teplote okolia cca 20 °C na kyvadlovom kladive PS 30.

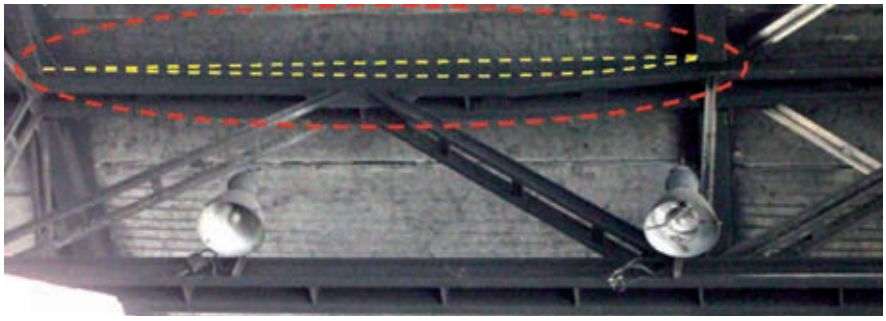
VÝSLEDKY ZÍSKANÉ OBHLIADKOU, DIAGNOSTIKOU A PRIESKUMOM

Na základe obhliadky nosnej oceľovej konštrukcie haly je možné konštatovať niektoré nasledujúce skutočnosti:

- diagnostikou a prieskumom boli zistené plastické deformácie horných pásov väzníkov v osi 15 a 16 a ich priestorové vybočenie – posuny v horizontálnom smere, obr. 3;
- v spodných pásoch väzníkov v osiach 15 a 16 sú lokálne plastické deformácie prierezov pri podperách (pri oceľových stĺpoch);
- na stĺpe v osi 16 je zdeformovaná vydutá stena medzi výstuhami;
- hlavný nosník žeriavovej dráhy nie je zdeformovaný (odklonenie priamosti osi koľajníc, ktoré boli získané meraním je kompenzované pomocou rektifikácie);
- vertikálne pozdĺžne stužidlá (medzi väzníkmi v osiach 15–16) sú zdeformované;
- krajné horizontálne stužidlá v strešnej rovine nie sú zdeformované.

Na základe vykonaných skúšok na odobraných vzorkách (skúška ťahom, skúška rázom v ohybe), kontroly zvarov, merania hrúbok prierezov tvoriacich prvkov a geodetických meraní je možné konštatovať niektoré nasledujúce skutočnosti:

- výsledky ťahových skúšok vzoriek materiálu (ocele) odobratých zo stĺpov v mieste požiaru (v osi 15 a 16), v miestach v blízkosti požiaru (v osi 13 a 14) a v miestach vzdialených od požiaru (v osi 6) nepreukázali zmeny v mechanických vlastnostiach ocele;
- výsledky ťahových skúšok vzoriek ocele odobratých zo strešných horizontálnych stužidiel v mieste požiaru (medzi osami 16–15), v miestach v blízkosti požiaru (medzi osami 14–15) vykazujú v priemere do 10 % pokles mechanických vlastností ocele v porovnaní s vlastnosťami vzoriek v miestach vzdialených od požiaru (medzi osami 7–8);
- výsledky ťahových skúšok vzoriek ocele odobratých z priečnych výstuh nosníka žeriavovej dráhy v mieste požiaru (medzi osami 15–16) vykazujú v priemere do 10 % pokles mechanických vlastností ocele v porovnaní s vlastnosťami vzoriek v miestach vzdialených od požiaru (medzi osami 10–11 a 11–12);
- výsledky skúšok vrubovej húževnatosti vzoriek ocele odobratých zo stĺpa v mieste požiaru (os 16) nepreukázali pokles húževnatosti;
- výsledky skúšok vrubovej húževnatosti vzorky ocele odobratej zo strešného horizontálneho stužidla v mieste požiaru (medzi osami 15–16) nepreukázali pokles húževnatosti;
- magnetodefektoskopická kontrola zvarov dolného a horného pásu väzníka v osi 15 a 16, na stĺpe v osi 16 a nosníka žeriavovej dráhy medzi osami 15–16 potvrdila, že zvary neboli porušené;
- meraním hrúbok kovov vybraných prierezov prvkov neboli zistené výrazné odchýlky od hodnôt uvedených v projektovej dokumentácii;
- priebežné geodetické merania vybraných bodov horných a dolných pásov priehradových strešných väzníkov v osiach 15 a 16 ukázali na progresívny nárast posunov (deformácií) v horizontálnom priečnom smere v priebehu štyroch dní, to znamená v mieste horného zdeformovanéhopásu (väzník v osi 16) predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 35 mm a v strede rozpätia dolného pásu väzníka v osi 15 predstavoval prírastok horizontálneho posunu cca 70 mm;
- hlavný nosník žeriavovej dráhy nie je zdeformovaný (odklonenie priamosti osi koľajníc, ktoré boli získané meraním bolo kompenzované pomocou rektifikácie).



Obr. 3 – Zdeformovaný vybočený horný pás väzníka (nad ohniskom požiaru)

STATICKÝ VÝPOČET

Konštrukcia bola navrhnutá v roku 1964 podľa vtedy platných noriem. Stanovenie zaťaženia a posúdenie bolo realizované podľa v súčasnosti platných noriem STN 73 0035 „Zaťaženie stavebných konštrukcií" a STN 73 1401 „Navrhovanie oceľových konštrukcií".

Z projektovej dokumentácie nebolo možné zistiť triedu ocele. Vstupné hodnoty mechanických vlastností materiálu nosnej oceľovej konštrukcie stavebného objektu (modul pružnosti, medza klzu) boli vo výpočtovom modeli definované z experimentálne zistených hodnôt.

Posúdenie väzníkov bolo vykonané pri minimálnom zaťažení jestvujúceho stavu, teda bol uvažovaný iba účinok stáleho zaťaženia.

Výpočtový model a statický výpočet

Bol vytvorený 3D priestorový prútový model oceľovej konštrukcie haly (obr. 1) v programe SCIA IDA NEXIS (model obsahuje 2 423 uzlov a 3 952 prvkov).

V priestorovom prútovom modeli oceľovej konštrukcie haly:

- boli modelované imperfekcie (vybočenie horného pásu väzníka);
- bolo modelované prerušenie horného pásu väzníka (vznik plastického kĺbu v mieste vybočenia horného pásu väzníka).

V analýze sa uvažovalo s nasledujúcimi zaťaženiami:

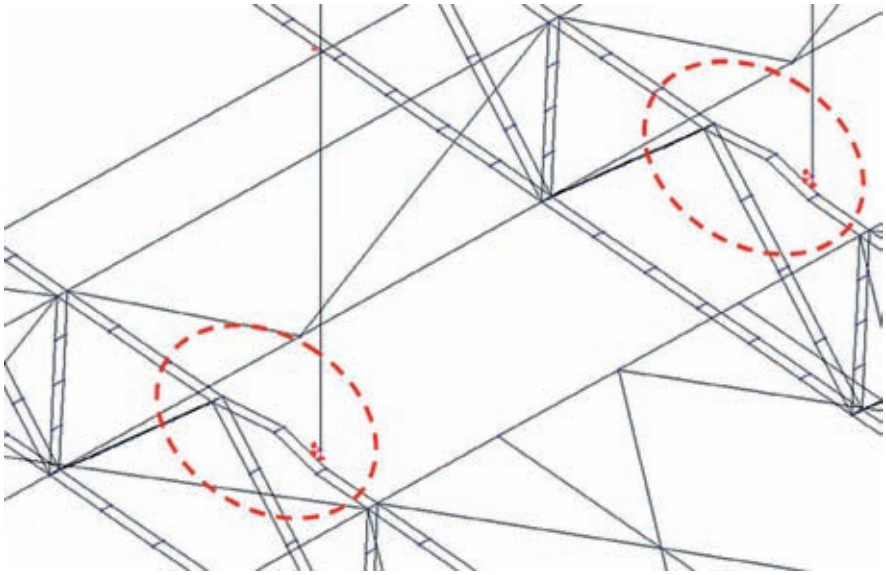
1) Stále zaťaženie: vlastná tiaž konštrukcie (priamo generovaná vo výpočtovom programe) a zvislá zložka zaťaženia strešným plášťom:
   - pórobetónové ľahčené dosky: 1,574 kN.m^{-2};
   - tiaž izolačných vrstiev strešného plášťa: 0,42 kN.m^{-2};
2) Premenné zaťaženie – zaťaženie snehom (II – snehová oblasť): s_o = 0,7 kN.m^{-2};
3) Premenné zaťaženie – zaťaženie vetrom (IV – vetrová oblasť): w_o = 0,55 kN.m^{-2};
4) Zaťaženie žeriavovou dráhou – mostové žeriavy s nosnosťou 50 t a 12,5 t.

Pri analýze a posúdení konštrukcie s imperfekciami bolo uvažované s vybočením horného pásu väzníka v horizontálnom smere o 200 mm, obr. 4.

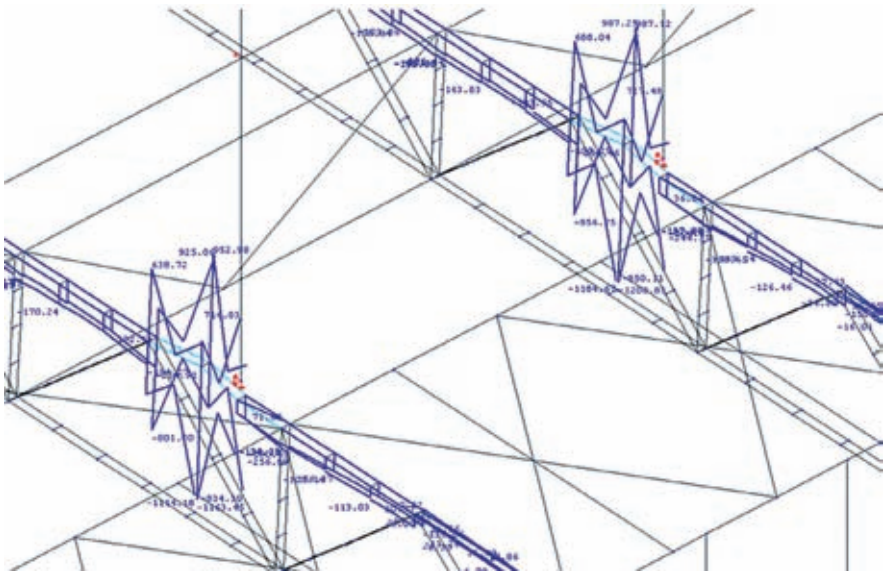
Výpočtom bolo zistené, že dochádza k prekročeniu pružného napätia v hornom páse (v mieste uvažovanej imperfekcie) väzníkov, teda dochádza k plastizácií horného pásu väzníkov, obr. 5.

Od účinku len stáleho zaťaženia bol pri uvažovaní počiatočných imperfekcií výpočtom zistený maximálny vertikálny priehyb konštrukcie 137 mm.

V analýze konštrukcie bolo tiež uvažovaé s prerušením horných pásov väzníkov, pretože ich vybočením sa výrazne znížila ich schopnosť prenášať účinky zaťaženia, obr. 6, obr. 7.



Obr. 4 – Model so zavedením imperfekcií



Obr. 5 – Výsledné priebehy napätí v hornom páse väzníkov

VÝSLEDKY STATICKÉHO VÝPOČTU

Statický výpočet bol realizovaný na 3-D modeli konštrukcie so skutočnými geometrickými imperfekciami, ktorý zohľadňoval posuny – deformácie horných pásov strešných väzníkov. Pri posudzovaní spoľahlivosti konštrukcie boli použité aktuálne hodnoty fyzikálnych vlastností materiálu (ocele) po požiari získané laboratórnymi skúškami.

Z výsledkov statického výpočtu konštrukcie a posúdenia jej spoľahlivosti vyplýva, že:

- strešné väzníky v zóne nad ohniskom požiaru vykazovali prekročenie medzných napätí a priehybov, a teda nevyhoveli z hľadiska kritérií spoľahlivosti medzného stavu únosnosti a medzného stavu používateľnosti;
- stĺpy spĺňajú podmienky spoľahlivosti za predpokladu, že lokálne porušená stena stĺpa v osi 16 bude zosilnená.

ZÁVEREČNÉ ODPORÚČANIA

Na základe uvedených výsledkov charakterizujúcich súčasný technický stav nosnej oceľovej konštrukcie objektu napadnutej požiarom je nevyhnutné, pre zachovanie jej spoľahlivosti a zaistenie bezpečnosti prevádzky, uskutočniť nasledujúce opatrenia:

- zosilniť lokálne porušenú stenu stĺpa v osi 16 pridaním priečnych výstuh;
- stabilizovať a odľahčiť priehradové strešné väzníky v osiach 15 a 16 umiestnením dočasných podperných stĺpov pod väznicami v miestach medzi osami 14–15, 15–16 a 16–17;
- odstrániť strešné pórobetónové panely medzi osami 14–15, 15–16 a 16–17 (nahradiť ich ľahkým sendvičovým strešným plášťom), kvôli maximálnemu odľahčeniu konštrukcie;
- zosilniť horný pás priehradového väzníka.

REALIZÁCIA SANÁCIE

Pre realizáciu zosilnenia strešných oceľových priehradových väzníkov boli stanovené nasledujúce podmienky:

- vzpery uložiť na 50 a 20 tonový žeriav;
- podoprieť väznice a aktivovať podopretie, obr. 8 – označené modrou farbou;
- každá vzpera podopretia musí preniesť silu rovnajúcu sa minimálne 70 kN;
- vzpery je potrebné uložiť na pružné podložky, aby sa kmitanie zo žeriava a nosných stĺpov konštrukcie objektu neprenášalo do podopretia a strešných oceľových priehradových väzníkov;
- v mieste vybočenia strešných oceľových priehradových väzníkov je potrebné stabilizovať horný pás v styčníkoch vzperami, obr. 8 – označené červenou farbou;
- vzpery je nutné privariť k styčníkom strešných oceľových priehradových väzníkov;
- po uskutočnení uvedených opatrení zrealizovať potrebné zosilnenia strešných oceľových priehradových väzníkov, obr. 9.

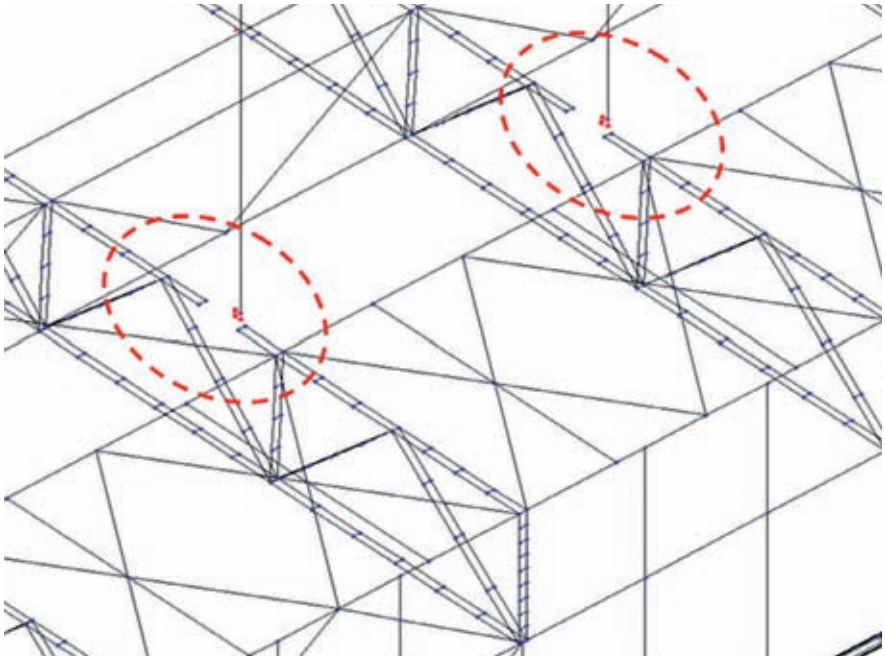
NAVRHOVANIE OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÍ NA ÚČINKY POŽIARU

Požiarna odolnosť stavebných objektov s nosnou oceľovou konštrukciou môže byť zvýšená niekoľkými spôsobmi: ochrannými požiarnymi nátermi, aplikáciou kombinovaných oceľovo-betónových prvkov, zväčšním prierezov alebo použitím ocelí odolných proti požiaru (oceľ s pevnosťou so zvýšenou odolnosťou pri vysokých teplotách). Vyšetrovaniu správania oceľových konštrukcií priamo počas požiaru sa venuje viacero autorov [7], [8].

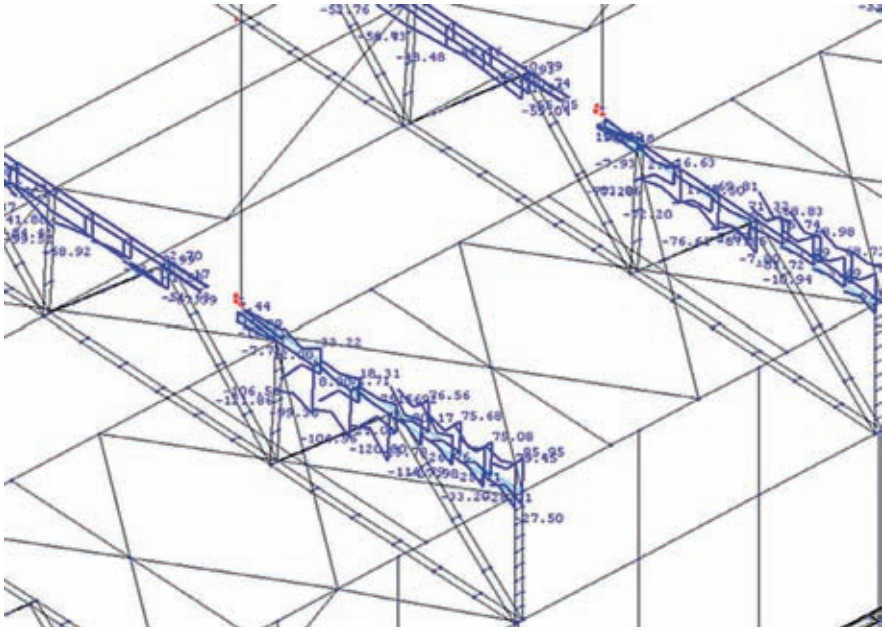
Požiarna odolnosť oceľových konštrukcií v čase požiaru

Požiarna odolnosť oceľových konštrukcií sa určuje podľa STN EN 1993-1-2 [5] a súvisiacich noriem a predpisov. Vyjadruje sa časom, počas ktorého je garantované zachovanie stability a únosnosti konštrukcie. Počas požiaru dochádza k intenzívnemu zohriatiu oceľového konštrukčného prvku a tým k poklesu jeho materiálových pevnostných charakteristík, najmä medze klzu, medze pevnosti a tiež Youngovho modulu E. Ak je pokles medze klzu v dôsledku požiaru vysoký, to znamená, že jeho hodnota je menšia ako okamžité pracovné napätie, tak sa konštrukčný prvok zdeformuje, alebo poruší. Teplota pri ktorej dochádza k deformácií, resp. k porušeniu, je kritickou teplotou, ktorá sa dosahuje pri bežných typoch konštrukčných ocelí pri teplote cca 550 °C, ale môže byť aj iná, v závislosti od dimenzií konštrukčného prvku. Pri uvedenej teplote si oceľ zachová len asi 60 % hodnoty pôvodnej medze klzu, v porovnaní s bežnou teplotou.

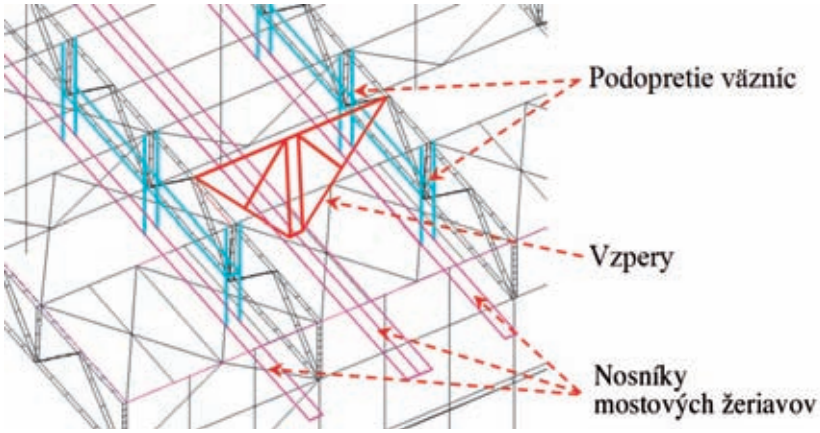
Pri výpočte únosnosti konštrukcií vystavených účinkom požiaru sú v [5] definované



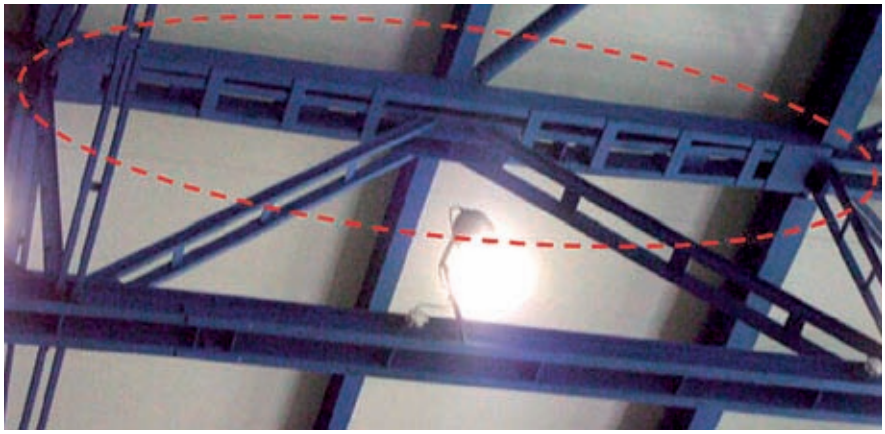
Obr. 6 – Statický výpočtový model s prerušením horného pásu väzníkov



Obr. 7 – Výsledné priebehy napätí v hornom páse väzníkov



Obr. 8 – Schéma podopretia väzníc pomocou vzpier uložených na nosníku mostového žeriava



Obr. 9 – Zosilnený horný pás väzníka (nad ohniskom požiaru)

jednotlivé materiálové charakteristiky ($X_{d,fi}$):

$$X_{d,fi} = \frac{k_\theta \times X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (1),$$

kde X_k je príslušná materiálová charakteristika pri bežnej teplote, k_θ je redukčný faktor platný pre túto charakteristiku a teplotu materiálu pri požiari a $\gamma_{M,fi}$ je faktor spoľahlivosti pre danú materiálovú charakteristiku a požiarnu situáciu.

Pre jednotlivé pevnostné charakteristiky pri zvýšených teplotách sú v [5] k dispozícií redukčné faktory, ktoré charakterizujú pokles príslušnej materiálovej charakteristiky, obr. 10:

- redukčný faktor pre medzu klzu:

$$k_{y,\theta} = \frac{f_{y,\theta}}{f_y} \quad (2)$$

- redukčný faktor pre medzu úmernosti:

$$k_{p,\theta} = \frac{f_{p,\theta}}{f_p} \quad (3)$$

- redukčný faktor pre Youngov modul:

$$k_{E,\theta} = \frac{E_{a,\theta}}{E_a} \quad (4).$$

Hodnoty uvedených súčiniteľov sú uvedené v tab. 3.1 normy [5] a sú platné pre nízko uhlíkovú konštrukčnú oceľ.

Štúdia odolnosti konštrukcie v čase požiaru

Pre analýzu konštrukcie v čase požiaru je možné použiť niektorú z nasledujúcich metód:

- globálna analýza konštrukcie;
- analýza časti konštrukcie;
- analýza prvku.

Posudok požiarnej odolnosti oceľovej konštrukcie je možné realizovať v troch oblastiach:

- oblasť odolnosti;
- teplotná oblasť;
- časová oblasť.

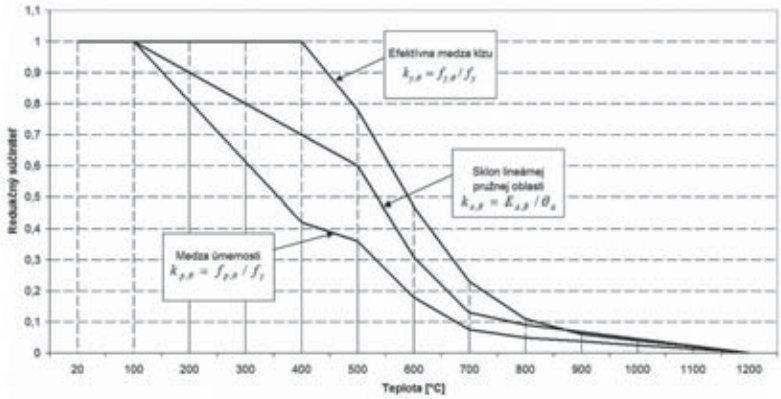
V oblasti odolnosti je posudzovaná odolnosť konštrukcie po určitej dobe pôsobenia teploty. V oblasti teplotnej a časovej sa po určitej dobe pôsobenia požiaru posudzuje teplota materiálu vzhľadom ku kritickej teplote materiálu. Kritická teplota materiálu sa počíta pomocou analytických vzorcov podľa normy, alebo iteračným postupom.

Za účelom porovnania odolnosti konštrukcie stanovenej podľa teoretických postupov a na základe experimentálnych poznatkov bola vypracovaná štúdia odolnosti nosnej oceľovej konštrukcie pri požiari. V danom prípade bola realizovaná globálna analýza konštrukcie a uvažovala sa normová teplotná krivka ISO 834 popisujúca účinok požiaru, obr. 11. Pôsobenie teploty na jednotlivé prvky konštrukcie bolo zo všetkých strán a neuvažovalo sa s protipožiarnym náterom. Na obr. 12 je uvedená odolnosť prútov väzníka strešnej oceľovej konštrukcie sledovaná v závislosti od časového pôsobenia požiaru. Odolnosť konštrukcie bola zistená v závislosti od dosiahnutých medzných redukovaných materiálovo-mechanických vlastností ocele (E_{red}, $f_{y,red}$, obr. 10).

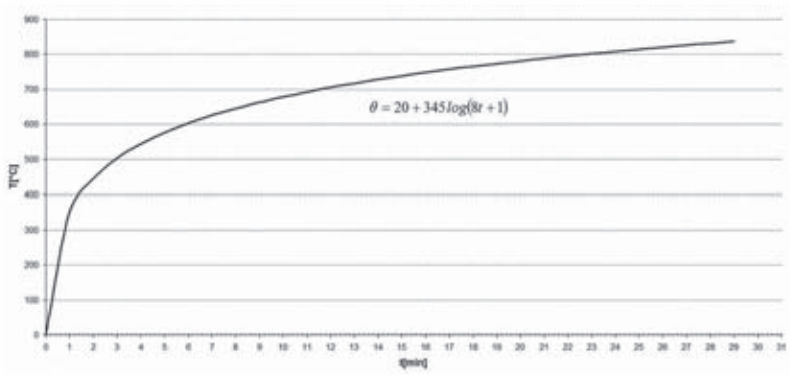
Na základe výsledkov, je možné konštatovať, že zistený čas odolnosti konštrukcie je porovnateľný s dostupnými informáciami (od požiarnikov) o priebehu a dĺžke požiaru (priama intenzita plameňa na strešné oceľové väzníky predstavovala cca 10 min) v mieste strešných väzníkov. Vybočenie horného pásu priehradového väzníka konštrukcie (obr. 3, obr. 12d) potvrdzuje korektnosť výpočtového modelu a správnosť numerických analýz.

ZÁVER

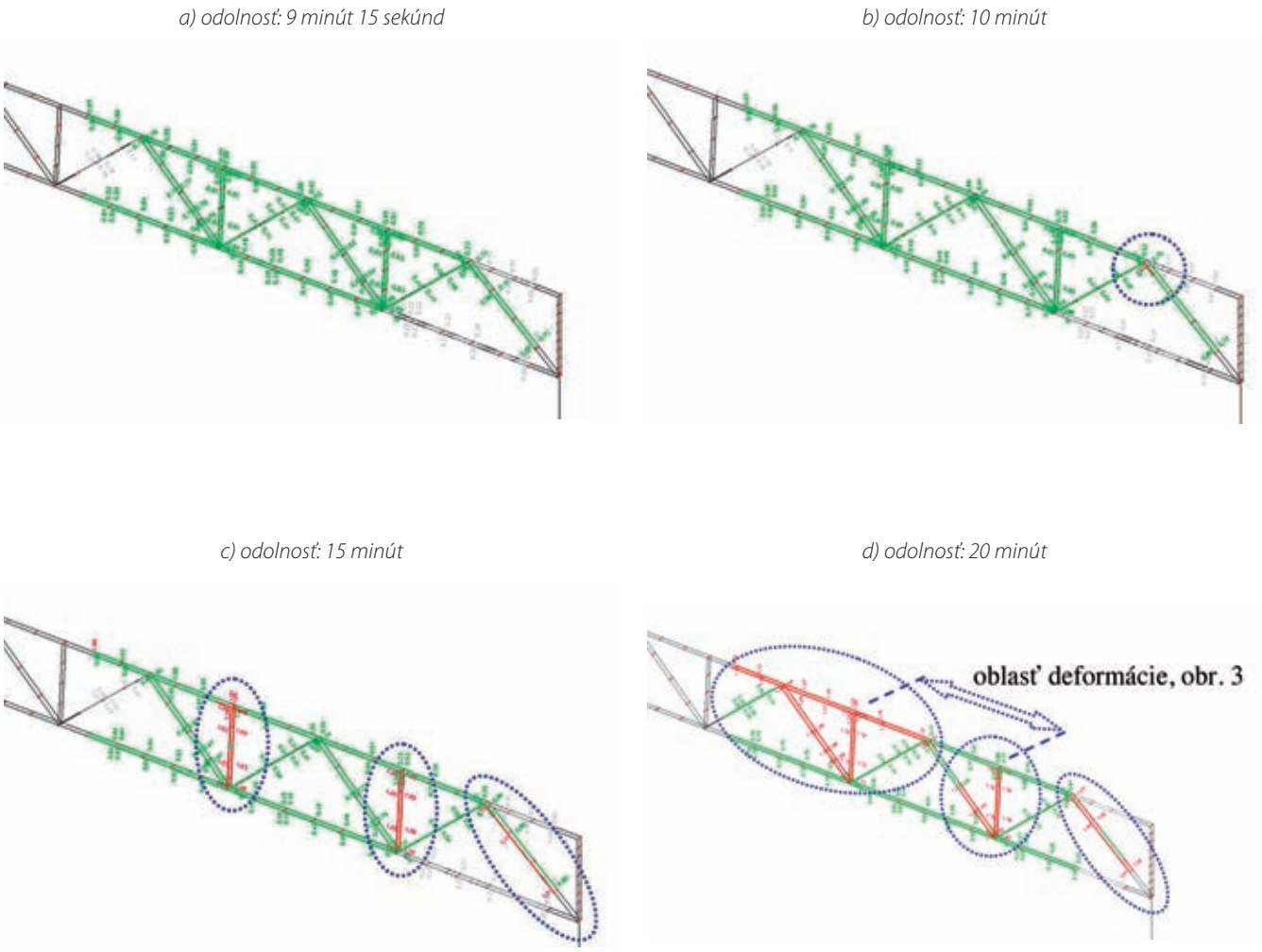
Analýza a posudzovanie spoľahlivosti konštrukcie po požiari patria k náročným inžinierskym úlohám. Tieto sú založené na prieskume a diagnostike aktuálneho stavu konštrukcie zasiahnutej požiarom, experimentálnom overovaní a numerickom modelovaní jej aktuálnych materiálových, geometrických a tuhostných vlastností a statickej analýze. V súčasnosti dostupné sofistikované programové produkty, založené na moderných numerických metódach,



Obr. 10 – Redukčné súčinitele pracovného diagramu ocele pri zvýšených teplotách



Obr. 11 – Normová teplotná krivka ISO 834



Obr. 12 – Odolnosť jednotlivých prvkov oceľovej konštrukcie v závislosti od času:
zelené – prvky s vyhovujúcou odolnosťou
červené – prvky s nevyhovujúcou odolnosťou

umožňujú komplexné modelovanie vlastností konštrukcií pri pôsobení rôznych fyzikálnych polí, čo umocňuje realistické vystihnutie ich správania v definovaných podmienkach. V článku sme sa snažili stručne popísať uvedené možnosti komplexného prístupu k modelovaniu a analýze oceľových konštrukcií poškodenými pri požiari.

Tento článok, bol vytvorený realizáciou projektu s názvom „Podpora Centra excelentného integrovaného výskumu progresívnych stavebných konštrukcií, materiálov a technológií", na základe podpory operačného programu Výskum a vývoj financovaného z Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

prof. Ing. Stanislav Kmeť, PhD.,
stanislav.kmet@tuke.sk,
doc. Ing. Michal Tomko, PhD.,
michal.tomko@tuke.sk,
Ing. Ivo Demjan, PhD.,
ivo.demjan@tuke.sk,
Ústav inžinierskeho staviteľstva,
Stavebná fakulta,
Technická univerzita v Košiciach

LITERATÚRA:
[1] Projektová dokumentácia oceľovej konštrukcie, 1964
[2] STN 73 0035 „Zaťaženie stavebných konštrukcií", 1987
[3] STN 73 1401 „Navrhovanie oceľových konštrukcií", 1998
[4] STN 73 0038 „Navrhovanie a posudzovanie stavebných konštrukcií pri prestavbách", 1986
[5] STN EN 1993-1-2: Eurokód 3: Navrhovanie oceľových konštrukcií, Časť 1-2: Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru, SÚTN, 2007
[6] Kmeť, S. – Pešek, L. – Tomko, M. – Demjan, I. – Zubko, P.: Diagnostika, skúšky materiálu a posúdenie aktuálneho stavu nosnej oceľovej konštrukcie po požiari, In: New Trends in Static and Dynamics of Buildings: Bratislava, Slovenská republika, 22.–23. október 2009, Bratislava: STU, 2009, in CD, ISBN 978-80-227-3170-6
[7] Wald, F, et al.: Experimental behaviour of a steel structure under natural fire, In: Fire Safety Journal, Vol: 41 Issue: 7, 2006, p: 509–522
[8] Wald, F. – Sokol, Z. – Moore, D.: Horizontal forces in steel structures tested in fire, In: Journal of Constructional Steel Research, Vol: 65 Issue: 8–9, 2009, p: 1896–1903

Diagnostics, tests, modelling and static analysis of the current state of bearing steel structure damaged by fire effects
Results of diagnostics, tests of materials, numerical modelling and static analysis of the current state of the bearing steel structure of the hall after a fire and design of the actions for the repair of the steel structure damaged members are presented in the paper.