

# structures.sk

Navrhovanie, posudzovanie, realizácia a obnova nosných konštrukcií

5.ročník

**02/2023**

ISSN 2644-6553

1. Možnosti zabezpečenia požiarnej odolnosti R30 ocelového nosníka
2. Experimentálne overovanie prípojov sklenených výplní realizované na KKDK v Bratislave
3. Analýza krovu historického objektu
4. Obvodové napätie v nasúvanom spoji
5. Nedeštruktívne testovanie zvarových spojov ocelových konštrukcií – vizuálna metóda
6. Posúdenie technického stavu železobetónovej prefabrikovanej zákrytovej dosky
7. Návrh a realizácia lávky pre peších a cyklistov medzi obcami Brodno a Vranie
8. Diagnostická prehliadka a návrh sanačných opatrení veže Kostola Nepoškvrneného počatia Panny Márie v Starom Smokovci
9. Adaptívna tensegrity bunka v tvare zrezaného ihlana

## Obsah

Slovo na úvod REDAKCIA	<b>3</b>
Možnosti zabezpečenia požiarnej odolnosti R30 oceľového nosníka MAGDALÉNA ŠTUIBEROVÁ	<b>4</b>
Experimentálne overovanie prípojov sklenených výplní realizované na KKDK v Bratislave LUCIA ONDRUŠKOVÁ JÁN BRODNIANSKY, ml. TOMÁŠ KLAS	<b>9</b>
Analýza krovu historického objektu ROMAN HERDA MILOŠ SLIVANSKÝ	<b>13</b>
Obvodové napätie v nasúvanom spoji MAROŠ MOJTO JÁN BRODNIANSKY, ml. TOMÁŠ KLAS	<b>18</b>
Nedeštruktívne testovanie zv. spojov oceľových konštr. - vizuálna metóda TOMÁŠ KLAS JÁN BRODNIANSKY, ml.	<b>23</b>
Posúdenie technického stavu železo- betónovej pref. zákrytovej dosky MILOŠ SLIVANSKÝ ÁDÁM VARGA	<b>29</b>
Návrh a realizácia lávky pre peších a cyklistov medzi obcami Brodno a Vranie JÁN PALKOVIČ MICHAL BOTLÓ MARCEL VANKO	<b>32</b>
Diagnostická prehliadka veže kostola v Starom Smokovci JAROSLAV SANDANUS ANTON KÁLOVEC	<b>37</b>
Adaptívna tensegrity bunka v tvare zrezaného ihlana STANISLAV KMEŤ a kolektív	<b>41</b>

## structures.sk

Vedecko-odborný on-line časopis o navrhovaní, posudzovaní, realizácii a obnove nosných konštrukcií v stavebníctve.

5. ročník, číslo 02/2023

ISSN 2644-6553

vychádza 2-krát za rok

### Vydavateľ:

structureSS, s.r.o.

Záhradná 22/A

900 31 Stupava

IČO: 46973231

IČ DPH: SK2023689822

tel.: +421 908 756 239

e-mail: redakcia@structures.sk

internet: <http://www.structures.sk>

### Redakcia:

Ing. Miloš Slivanský, PhD.

Prof. Ing. Jaroslav Sandanus, PhD.

Prof. Ing. Vincent Kvočák, PhD.

Prof. Ing. Antonín Lokaj, PhD.

Doc. Ing. Jaroslav Odrobiňák, PhD.

### Odborný garant:

#### SSOK

Slovenská spoločnosť pre

oceľové konštrukcie

### Recenzie článkov:

Vedecké a odborné články sú recenzované. Recenzenti hodnotia obsahovú a formálnu stránku predložených článkov. Recenzné posudky sú poskytované výlučne iba autorom článkov a slúžia ako podklad na rozhodnutie o publikovaní článku.

Všetky práva sú vyhradené. Žiadna časť tohto časopisu sa nesmie reprodukovat', kopírovať ani šíriť bez súhlasu vydavateľa. Vydavateľ neberie zodpovednosť za správnosť publikovaných informácií napriek tomu, že vynaložil maximálne úsilie na zabezpečenie ich aktuálnosti a presnosti.

## Slovo na úvod

---

### VÁŽENÍ ČITATELIA,

náš časopis **structures.sk** oslavuje päťročnicu. Pre mladších čitateľov je tento pojem už neznámy. V histórii Československa boli „päťročnice“ obdobia, na ktoré sa plánoval hospodársky život krajiny a vždy po piatich rokoch sa robila bilancia úspechov (najmä) a neúspechov (len výnimočne) socialistického hospodárenia.

Myslíme si, že päťročné obdobie nášho časopisu prinieslo množstvo zaujímavých a poučných príspevkov najmä z oblasti oceľových a drevených konštrukcií, prezentované boli aj príspevky o skle alebo iných materiáloch. Témy sa týkali vedeckých činností najmä na Katedre kovových a drevených konštrukcií na SvF STU v Bratislave, ale nevyhýbali sa ani publikovaniu praktických skúseností z projektovania a realizácie nosných konštrukcií stavieb. Do časopisu prispeli autori z celého Slovenska a tiež Českej republiky.

Dúfame, že tohtoročné príspevky budú pre Vás zaujímavé a inšpiratívne. Tohtoročné témy opäť predstavujú rôznorodé oblasti činností stavebného inžiniera a to nielen v profesii statika: požiarne odolnosť oceľových konštrukcií, testovanie sklených tabúl, prieskum a analýza strešnej konštrukcie historického objektu, posudzovanie kvality zvarov, posúdenie železobetónovej dosky, návrh a realizácia lávky pre preších a cyklistov.

Možno do takej miery, že sami prejavíte záujem o publikovanie Vašich názorov, nápadov, skúseností alebo projektov.

Veríme, že čítanie ďalšieho čísla časopisu **structures.sk** bude pre Vás zaujímavé, keďže autorský kolektív prispievateľov sa opäť rozšíril.

Na záver roka nás nečakane zasiahla veľmi smutná správa. Dňa 6. decembra 2023 nás vo veku 66 rokov opustil Dr. h. c. prof. h. c. prof. Ing. Stanislav Kmeť, DrSc., bývalý rektor TUKE a bývalý dekan Stavebnej fakulty TUKE. Prof. Stanislav Kmeť bol našim vzácnym priateľom a učiteľom. Stretávali sme sa s ním dlhé roky na obhajobách diplomových a dizertačných prác, bol členom habilitačných a inauguračných komisií a tiež členom Vedeckej rady Stavebnej fakulty STU v Bratislave a Vedeckej rady STU v Bratislave.

Jeden z jeho posledných vedeckých článkov symbolicky uzatvára tohtoročné číslo nášho časopisu.

Češť jeho pamiatke!

Redakcia **structures.sk**

# Možnosti zabezpečenia požiarnej odolnosti R30 ocelového nosníka

Zabezpečenie protipožiarnej odolnosti ocelových konštrukcií má väčšinou za následok zvýšenie ich ceny. V článku sú ukázané možnosti ako dosiahnuť požadovanú krátkodobú požiaru odolnosť bez protipožiarnej ochrany.

## ÚVOD

Protipožiarne návrh konštrukcií je už nejaký čas nevyhnutnou súčasťou statického výpočtu. Vzhľadom na vysokú tepelnú vodivosť ocele a subtilnosť prierezov majú vysoké teploty zvlášť nepriaznivý vplyv na ocelové konštrukcie. Teploty v prierezoch rýchlo narastajú a veľmi skoro dochádza ku degradácii mechanických vlastností. Dôsledkom toho je, že ocelové konštrukcie treba kvôli dosiahnutiu požadovanej požiarnej odolnosti chrániť. Tento fakt ich cenovo znevýhodňuje v porovnaní s betónovými konštrukciami. Cieľom tohto článku je ukázať spôsoby návrhu v prípade prvku požadovanou požiaru odolnosťou R30.

## VÝPOČET TEPLÔT V POŽIARNOM ÚSEKU

Pre ekonomický a bezpečný návrh prvku je dôležité správne určenie teplôt plynu v požiarom úseku. To je väčšinou v kompetencii požiarneho inžiniera, ale nie je na škodu, keď má o tejto oblasti prehľad aj statik.

Najzákladnejším spôsobom určenia teplôt v požiarom úsekom je výpočet teplôt podľa normalizovanej teplotnej krivky ISO 834. Je to základná krivka, na ktorej sú založené všetky časti konštrukčných eurokódov týkajúce sa navrhovania na účinky požiaru, ako aj väčšina skúšok požiarne ochranných materiálov. S určitou pravdepodobnosťou vystihuje teploty pri bežných požiaroch, avšak nezohľadňuje veľkosť požiarneho zaťaženia či prísun kyslíka. Má len stúpajúcu vetvu, takže nie je možné určiť, kedy bude dosiahnutá maximálna teplota, ani určiť postup chladnutia. Presnejšie je použitie parametrickej teplotnej krivky podľa STN EN 1991-1-2. Parametrická krivka zohľadňuje veľkosť požiarneho zaťaženia,

prístup kyslíka ako aj materiál ohraničujúcich konštrukcií a veľkosť požiarneho úseku. Vďaka tomu je výpočet teplôt oveľa presnejší a je možné s určitou pravdepodobnosťou určiť maximálnu teplotu a čas, v ktorom bude dosiahnutá. Parametrická teplotná krivka ako aj krivka podľa ISO 834 vyjadrujú priebeh teplôt v požiarom úseku po priestorovom vzplanutí.

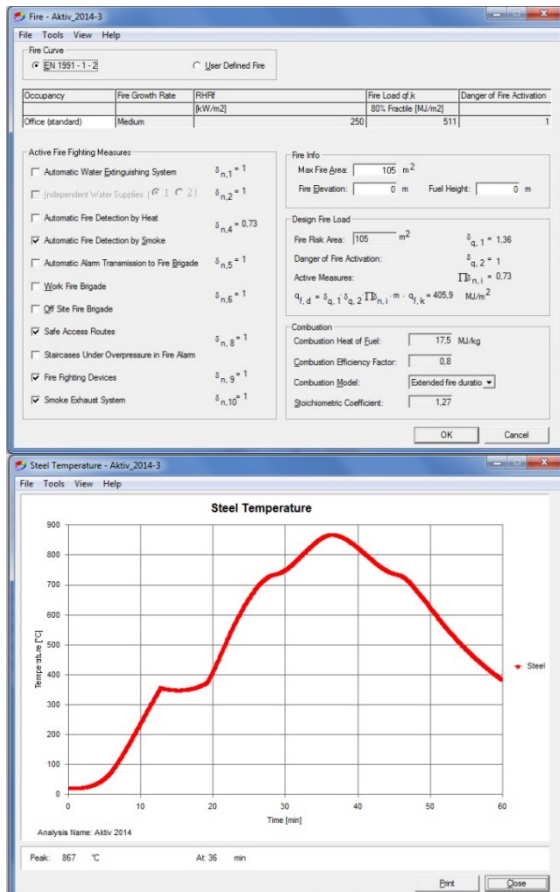
Najpresnejšie je určenie teplôt pomocou zdokonalených požiarnych modelov, založených na princípoch zachovania hmoty a energie, ktoré ale vyžadujú použitie metódy konečných prvkov. Na týchto modeloch je založený napr. voľne dostupný program Ozone (Obr. 1).

## VÝPOČET POŽIARNEJ ODOLNOSTI PRVKU

V nasledovnom bude ukázané, akými spôsobmi sa dá dosiahnuť požadovaná 30 minútová požiaru odolnosť ocelového nosníka. Na konkrétnom príklade je ukázané, ako sa dajú ovplyvniť teploty plynu a teda aj ocele napríklad zmenou veľkosti okien alebo zmenou protipožiarnych opatrení.

Návrh a posúdenie ocelového nosníka je ukázaný na príklade strešného prievlaku 4-podlažného rámu, ktorého požadovaná požiaru odolnosť je 30'. Jedná sa o kancelársku budovu so vzdialenosťami priečných rámov 7,0 m (Obr. 2).

Na normálnu teplotu bol navrhnutý prierez prievlaku ako IPE600 z ocele S235 pre návrhovú hodnotu zaťaženia 11,4 kN/m<sup>2</sup>. Pre požiaru situáciu bolo návrhové mechanické zaťaženie vypočítané z mimoriadnej kombinácie zaťaženia ako 6,6 kN/m<sup>2</sup>. Tomu zodpovedá maximálny ohybový moment v požiarnej situácii  $M_{fi,Ed} = 324,8$  kNm.



Obr. 1 – Program Ozone

Prierezový súčiniteľ profilu IPE 600 ohrievaného z troch strán je 114,7. Pre známy moment, pomernú štíhlosť pri klopení ( $\bar{\lambda}_{LT} = 0,32$ ) a prierezový súčiniteľ je potom možné určiť kritickú teplotu (t.j. teplotu, pri ktorej ohybová odolnosť nosníka za požiaru  $M_{b,fi,Rd}$  klesne na úroveň ohybového momentu  $M_{fi,Ed} = 324,8$  kNm), ktorá v tomto prípade bola 625°C.

Úlohou teda je, aby oceľový prvok v časovom intervale 30 minút nedosiahol teplotu vyššiu ako 625°C.

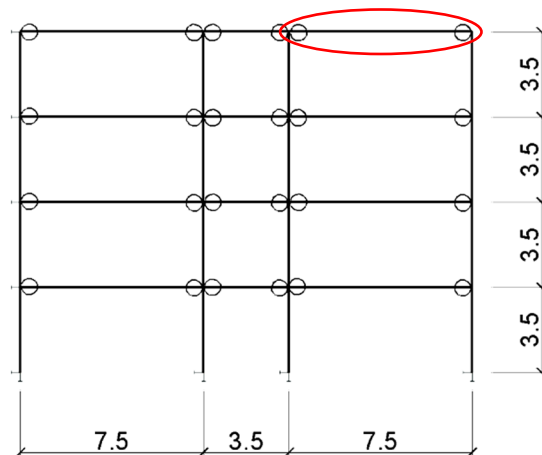
V danom príklade boli teploty plynu počítané tromi spôsobmi: podľa ISO 834, parametrickou požiarou krivkou a programom Ozone (dvojzónový model).

Pri výpočte ISO krivky je jedinou premennou čas. Pri výpočte parametrickej krivky a pri použití programu Ozone je nutné poznať rozmery požiarneho úseku, veľkosť okien (prísun kyslíka), skladbu konštrukcií ohraničujúcich požiaru úsek (t.j. stien a stropov) ako aj návrhovú hodnotu požiarneho zaťaženia. Uvažovalo sa s tromi modelmi, ktoré sa odlišovali veľkosťou okien a jedným z protipožiarnych opatrení.

Spoločné vstupné hodnoty pre parametrickú teplotnú krivku a pre Ozone:

- rozmery požiarneho úseku (PÚ) sú 7,5 x 14,0 m,
- podlaha a strop sú tvorené železobetónovou doskou z ľahkého betónu a sádkartónového podhľadu. Steny sú z ľahkých tehál so sádkovou omietkou.

Rozdielne vstupy pre jednotlivé modely sú zsumarizované v Tab. 1. Návrhové požiarne zaťaženie uvedené v tabuľke bolo určené programom Ozone pre kancelárie a pre automatické detekčné zariadenia aktivované teplom alebo dymom.



Z Obr. 3 je zrejmé, ako jednotlivé vstupy ovplyvňujú priebeh teplôt plynu v požiarom úseku. Prvý výrazný rozdiel je v priebehu teplôt podľa parametrickej krivky a podľa Ozone. Rozdiel v maximálnych dosiahnutých teplotách nie je výrazný, ale podľa Ozone sú dosiahnuté značne

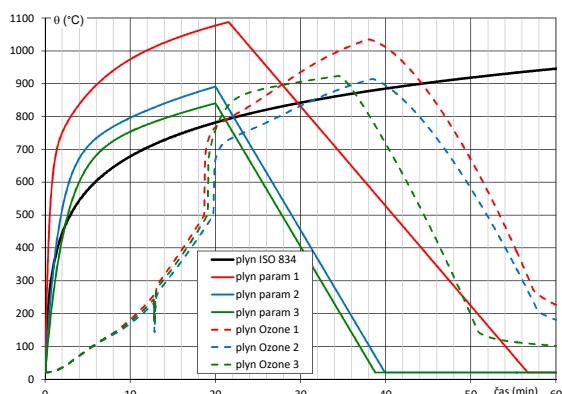
Tab. 1 – Rozdielne vstupy pre modely 1 až 3

	<b>Model 1</b>	<b>Model 2</b>	<b>Model 3</b>
<b>rozmery okien</b>	2m x 10m	2m x 12m	2m x 12m
<b>požiarne bezpečnostné opatrenia</b>	detekčné zariadenie aktivované teplom	detekčné zariadenie aktivované teplom	detekčné zariadenie aktivované dymom
<b>návrhová hodnota požiarneho zaťaženia</b>	484 MJ/m <sup>2</sup>	484 MJ/m <sup>2</sup>	406 MJ/m <sup>2</sup>

neskôr. Je to spôsobené tým, že program Ozone je založený na presnejšej výpočtovej metóde, ktorá počíta teploty aj pred priestorovým vzplanutím (flashover), kým parametrická krivka, tak ako aj ISO krivka, vystihuje stav až po flashover.

Ďalej je zjavné, že zmena prístupu kyslíka má výrazný vplyv na maximálne dosiahnuté teploty. Ďalším zvyšovaním prísunu kyslíka už podľa parametrickej krivky zníženie teploty nedosiahneme, pretože ďalší výpočet je pre požiar riadený palivom. Zníženie požiarneho zaťaženia o 80 MJ/m<sup>2</sup> spôsobilo v prípade parametrickej krivky menej výrazný pokles teplôt a v prípade Ozone kratšiu dobu trvania fázy ohrievania.

V tomto konkrétnom prípade je v časovom intervale 30 min ISO krivka na strane menej bezpečnej.

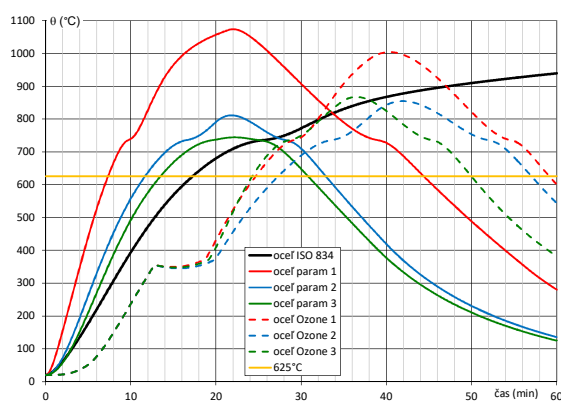


Obr. 3 – Priebeh teplôt v požiarom úseku

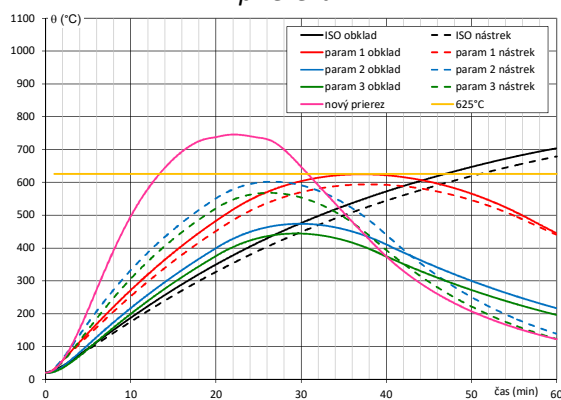
Teploty nechráneného prvku pre krivku ISO a pre parametrickú krivku boli vypočítané podľa STN EN 1993-1-2 v programe excel, teploty prvku pre dvojzónový model boli prevzaté z Ozone (Obr. 4). Z grafu vidno, že nechránený nosník podľa žiadnej z kriviek nevyhovuje na 30 minútovú požiaru odolnosť, pretože maximálne teploty, ktoré dosahuje v tomto časovom intervale, sú vyššie ako 625°C. Požadovanú požiaru odolnosť dosiahneme použitím požiarne ochranných materiálov. Pre daný príklad boli použité tri typy: obklad cemento-vápenitými doskami ( $\lambda = 0,175$  W/mK;  $\rho = 870$  kg/m<sup>3</sup>), nástrek na báze minerálnych vlákien a silikátových plnív ( $\lambda = 0,08$  W/mK;  $\rho = 450$  kg/m<sup>3</sup>) a napeňujúci náter.

Potrebné hrúbky obkladu a nástreku boli vypočítané podľa STN EN 1993-1-2 programom excel z teplôt plynu podľa parametrickej teplotnej

krivky. Prierezový súčiniteľ prvku chráneného nástrekom je taký istý ako pre nechránený prvok, v tomto konkrétnom prípade ohrievaný z troch strán;  $A_m/V = A_p/V = 115$  m<sup>-1</sup>. Prierezový súčiniteľ prierezu chráneného obkladom je  $(A_p/V)_{\text{box}} = 91$ . V Tab.2 sú uvedené najskôr hrúbky potrebné na dosiahnutie požadovanej požiarnej odolnosti s ohľadom na reálne minimálne hrúbky udávané výrobcom. Pre porovnanie sú uvedené aj teoretické potrebné hrúbky bez ohľadu na realizovateľnosť. Potrebná hrúbka napeňujúceho náteru bola určená z dimenzačnej tabuľky výrobcu pre prierezový súčiniteľ 120 a návrhovú teplotu 600°C.



Obr. 4 – Teplota nechráneného ocelového prierezu



Obr. 5 – Teplota chráneného ocelového prierezu

Ako vidno z výsledkov v tabuľke, skutočne potrebné hrúbky ochranných materiálov, najmä v prípade modelov 2 a 3, sú veľmi malé. Preto je v tomto prípade vhodnejšie dosiahnuť požadovanú požiaru odolnosť predimenzovaním prvku.

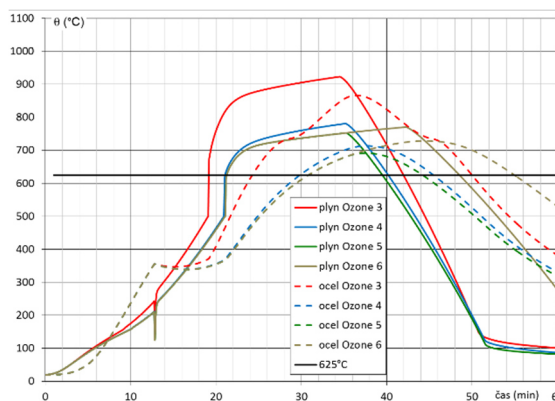
Aby sa príliš nezväčšila hmotnosť prvku bolo potrebné použiť kvalitnejší materiál. Danému momentu  $M_{fi,Ed}$  vyhovuje zvaraný prierez s výškou 720 mm (pásnica 300x20 a stena 680x10) z ocele

S355. Nosník bol nadimenzovaný na teploty modelu 3 (Tab. 2). Tým, že je nosník predimenzovaný (zväčšenie prierezu a zvýšenie triedy ocele), stúpala aj kritická teplota.

Tab. 2 – Porovnanie modelov

	ISO	model 1	model 2	model 3
max. teplota plynu (°C)	841,8	1087,0	891,0	840,0
max. teplota nechráneného prvku (°C)	771,0	1073,0	811,0	744,0
ohybová odolnosť(kNm)	116,3	21,6	86,2	213,0
hmotnosť (kg/m)	122,5	122,5	122,5	122,5
hrúbka obkladu (mm)	6,0	6,0	6,0	6,0
max. teplota chráneného prvku – obklad (°C)	476,0	603,0	473,0	444,0
ohybová odolnosť(kNm)	676,5	368,5	680,7	730,8
hmotnosť s obkladom (kg/m)	130,7	130,7	130,7	130,7
teoretická potrebná hrúbka obkladu (mm)	4,0	6,0	4,0	3,0
hmotnosť s obkladom (kg/m)	127,9	130,7	127,9	126,6
hrúbka nástreku (mm)	7,0	7,0	7,0	7,0
max. teplota chráneného prvku – nástrek (°C)	315,0	408,0	320,0	299,0
ohybová odolnosť(kNm)	816,8	790,7	816,2	818,8
hmotnosť s nástrekom (kg/m)	127,4	127,4	127,4	127,4
teoretická potrebná hrúbka nástreku (mm)	2,0	4,0	2,0	2,0
hmotnosť s nástrekom (kg/m)	123,9	125,3	123,9	123,9
max. teplota chr. prvku – náter (°C)	600,0	600,0	600,0	600,0
ohybová odolnosť(kNm)	505,6	505,6	505,6	505,6
hrúbka náteru (mm)	0,406	0,406	0,406	0,406
nový prierez S355 max. teplota (°C)				745
ohybová odolnosť(kNm)				330,7
hmotnosť (kg/m)				147,6

ľahké tehly za normálne – dosiahneme ďalšie malé zníženie teploty plynu, takže teploty nechráneného nosníka IPE 600 budú 612°C podľa modelov 5 a 6. Keďže v tomto prípade sledujeme požiaru odolnosť len prvých 30 minút, bolo by dokonca možné vypustiť detekčné zariadenia aktivované dymom. Tým sa zvýši požiarne zaťaženie, ale neovplyvní to teploty v sledovanom časovom intervale (Obr. 6).



Obr. 6 – Teploty plynu a nechráneného oceľového prierezu

Tab. 3 – Rozdielne vstupy pre modely 4 až 6

	Model 4	Model 5	Model 6
rozmery okien	2,1m x 14m	2,1m x 14m	2,1m x 14m
požiarne bezpečnostné opatrenia	detekčné zariadenie aktivované dymom	detekčné zariadenie aktivované dymom	bez detekčného zariadenia
materiál stien	ľahká tehla	normálna tehla	normálna tehla
návrhová hodnota požiarneho zaťaženia	406 MJ/m <sup>2</sup>	406 MJ/m <sup>2</sup>	556 MJ/m <sup>2</sup>

Všetky dosiaľ spomínané opatrenia však viac či menej zvyšujú cenu konštrukcie, prípadne aj celkovú hmotnosť.

Skúsme preto ovplyvniť priebeh teplôt v intervale 30 minút pokiaľ možno bez navýšenia ceny. Pri určovaní teplôt plynu a ocele budeme v ďalšom vychádzať z programu Ozone, pretože je založený na najpresnejšom modeli.

Teplotné modely 4 – 6 vychádzajú z modelu 3. Ako vidno z Obr. 6 ďalším miernym zväčšením okien celkom výrazne klesla teplota plynu a tým aj ocele. Teplota ocele je však 629°C, čo je o málo viac ako 625°C. Zmenou materiálu v stenách –

## ZÁVER

Určovanie teplôt v požiarom úseku je väčšinou úlohou požiarneho inžiniera, avšak je dobré vedieť, že ak je to možné, teploty v požiarom úseku možno ovplyvniť napríklad zmenou veľkosti okien alebo skladbou ohraničujúcich konštrukcií. Vďaka dostupnému softvéru, jednoduchému na použitie, je možné predbežne prepočítať viaceré požiarne scenáre a v prípade krátkej požadovanej požiarnej odolnosti overiť, či je možné dosiahnuť ju bez ochrany oceľového prvku.

MAGDALÉNA ŠTUBEROVÁ

---

**Literatúra a použité zdroje:**

- [1] STN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zaťaženia konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné zaťaženia - Zaťaženie konštrukcií namáhaných požiarom
- [2] STN EN 1993-1-1: Eurokód 3: Navrhovanie ocelových konštrukcií - Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby
- [3] STN EN 1993-1-2 Eurokód 3: Navrhovanie ocelových konštrukcií - Časť 1-2: Všeobecné pravidlá - Navrhovanie konštrukcií na požiar
- [4] Wald F. a kolektív: Výpočet požárnej odolnosti stavebných konštrukcií. Vydavateľstvi ČVUT, Praha 2005
- [5] Bellová M., Olbřímek J., Osvald A., Procházka J., Štujberová M.: Navrhovanie konštrukcií na požiaru odolnosť podľa eurokódov – Teória. Inžinierske konzultačné stredisko SKSI, Bratislava 2010. ISBN 978-80-89113-69-9
- [6] Bellová M., Olbřímek J., Osvald A., Procházka J., Štefan R., Štujberová M.: Navrhovanie konštrukcií na požiaru odolnosť podľa eurokódov – Príklady. Inžinierske konzultačné stredisko SKSI, Bratislava 2010. ISBN 978-80-89113-70-5
- [7] <http://www.seidl.cz/cz/>

---

*Doc. Ing. Magdaléna Štujberová, PhD.  
(\*1967)*

*Absolventka Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*



# Experimentálne overovanie prípojov sklenených výplní realizované na KKDK v Bratislave

V rámci vedecko-výskumnej činnosti na Katedre Kovových a Drevených konštrukcií bola v roku 2023 ukončená výskumná úloha doktorandského štúdia, Ing. Lucia Ondrušková PhD. úspešne obhájila prácu s názvom Experimentálna a teoretická analýza skrutkových spojov v sklených konštrukciách. Článok sa venuje experimentálnej časti a realizácií meraní uvádzanej výskumnej úlohy, pozornosť je venovaná aj praktickému uplatneniu získaných poznatkov v rámci experimentálnych meraní a čiastočne zhrňa aj hlavné odporúčania pre prax.

## ÚVOD

Prípoje používané v sklených konštrukciách možno rozdeliť na základe geometrie na líniové a bodové, podľa poškodenia prvkov pri demontáži na rozoberateľné a nerozoberateľné a na základe pôsobenia spoja na tvarové, silové a materiálové. Aby sa predišlo vzniku príliš vysokých napätových špičiek v okolí spoja, je potrebné zamedziť priamemu kontaktu medzi sklom a ocelovými prvkami alebo ďalším skleneným prvkom pomocou medzivrstvy z vhodného materiálu – zliatiny hliníka alebo syntetické materiály (polyamid, neoprén, silikón), ktorý má dostatočnú tuhosť, pevnosť a trvanlivosť. Bodové podoprenia sú výsledkom snahy minimalizovať hmotu podpier a do praxe sa začali uvádzať približne v polovici sedemdesiatych rokov. Bodové podoprenie skleneného panela môže byť však realizované pomocou skrutkového, svorkového, lepeného alebo kombinovaného prípoja.

Skrutkové spoje sú v súčasnosti veľmi rozšírené, keďže pôsobia esteticky a možno ich rozložiť bez poškodenia jednotlivých konštrukčných prvkov. Veľkosť napätí vznikajúcich pri skrutkovom spoji vyžaduje použitie tepelne upraveného skla, kde práve v miestach otvorov dochádza k skriveniu priebehu reziduálnych napätí. V blízkosti otvorov je taktiež zvýšený výskyt mechanických poškodení povrchu skla zapríčinený ich vrátním.

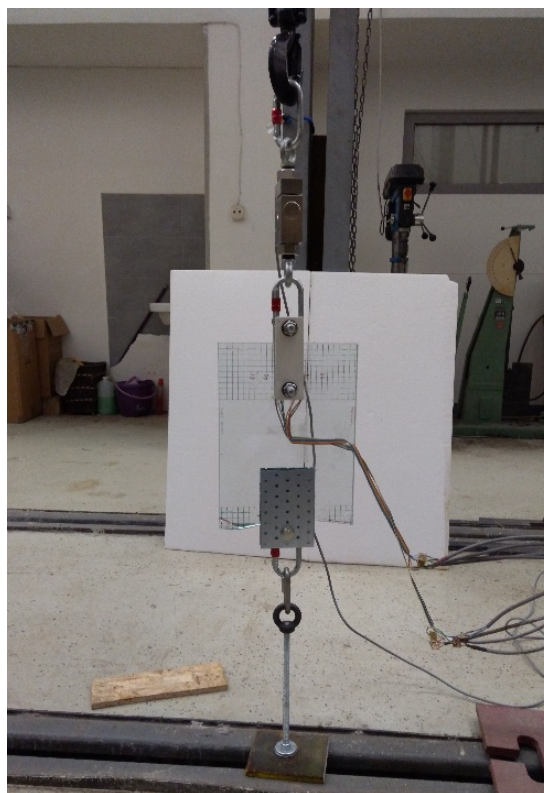
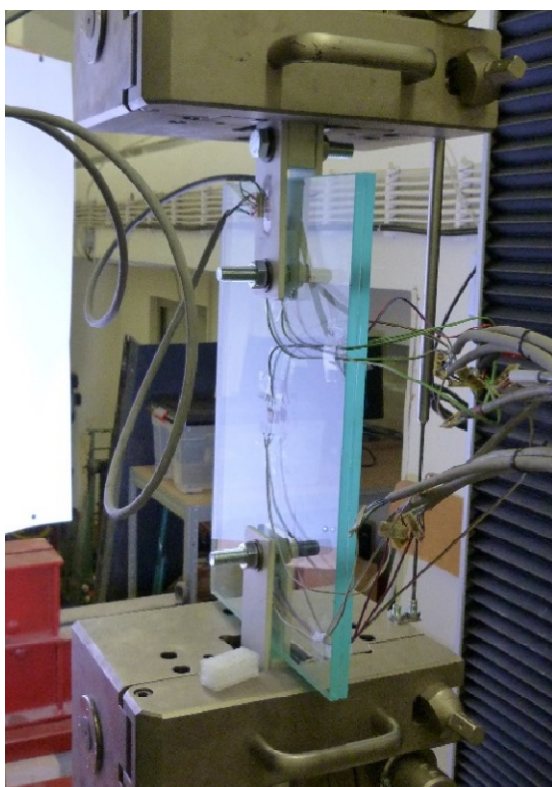
## EXPERIMENTÁLNY VÝSKUM

Primárnym záujmom experimentu bolo skúmanie zvyškovej odolnosti sklenej vzorky s bodovým uchytením – spôsob porušenia, únosnosť vzoriek s čiastočne porušenými sklenými vrstvami pri otvore a plne porušenými sklenými vrstvami pri otvore, a vplyvu použitého typu skla – plaveného skla a tepelne tvrdeného skla. Nová norma týkajúca sa návrhu nosných konštrukcií zo skla (budúca EN 19100) bude požadovať preukázanie zvyškovej odolnosti sklenených prvkov. V súčasnosti je jedinou možnosťou overenia zvyškovej odolnosti experiment. Doplnkovo boli merané napätia po stranách otvoru pred porušením sklenených vrstiev vzorky za účelom bližšieho popisu spôsobu namáhania sklenených vzoriek.

V experimente boli použité 2 typy sklenených vzoriek z vrstveného skla, ktoré sa líšili použitým typom skla. Prvý typ vzoriek, označený ako „ANG“, pozostával z dvoch vrstiev plaveného skla (bez ďalšieho tepelného opracovania skla). Druhý typ vzoriek, označený ako „TTG“, pozostával z dvoch vrstiev tepelne tvrdeného skla. Z každého typu vzoriek bolo po 5 ks. Boli označené číslom pridaným za označením typu vzorky, čiže „ANG1“ až „ANG5“ a „TTG1“ až „TTG5“. Geometria vzoriek i hrúbka skiel bola pre oba typy rovnaká. Vzorka mala rozmery 250 mm x 400 mm. Hrúbka

jednotlivých vrstiev skla bola 8 mm a ako medzi-vrstva bola použitá PVB fólia hrúbky 1,52 mm – menovitá hrúbka vzorky bola 17,52 mm. Vo vzorke sa nachádzali 2 otvory priemeru 20 mm. Umiestnené boli v polovici šírky vzorky - 125 mm od okraja v horizontálnom smere a 80 mm od okraja vo vertikálnom smere. Neboli zadané špeciálne požiadavky na kvalitu vzoriek, čo sa týka presnosti a opracovania hrán, vzorky boli dodané v kvalite používanej pre bežné prvky určené pre aplikáciu napr. v zábradlových konštrukciách.

mimo skiel. Výrazný vzájomný posun sklenených tabúl sa objavil na len vzorke „TTG5“, kde hrany skla boli navzájom posunuté o 2,5 mm, jedna z tabúl skla bola akoby skosená. Vzorka s takto výrazným vzájomným posunom skiel by nebola na základe požiadaviek normy STN EN ISO 12543-5 (maximálny posun medzi vrstvami skla 2 mm) vhodná pre zabudovanie v konštrukciách. Avšak pre potreby overenia zvyškovej odolnosti po porušení sklenených vrstiev ju bolo možné použiť, keďže možno očakávať, že táto imperfekcia negatívne



*Obr. 1 – Pripravená vzorka v skúšobnom lise (vľavo), porušená vzorka len pri jednom otvore skúška mimo skúšobného lisu (vpravo)*

Keďže otvory musia byť vyhotovené pred tepelným tvrdením sklenených tabúl a ich vrstvením, nie je možné otvory navzájom dokonale zarovnať. Samotné vŕtanie otvoru do tabule skla prebieha z oboch strán, čiže už v tomto kroku môže vzniknúť nedokonalé zarovnanie v rámci otvoru v jednej tabuli skla. Hrany skla boli po obvode vzorky i v otvore zrazené. Pred použitím boli skontrolované rozmery vzoriek a zdokumentované drobné nedokonalosti nachádzajúce sa na vzorkách. Zväčša išlo o drobné nedokonalosti na rohoch vzoriek, ktoré nemali vplyv na priebeh a výsledky experimentu. V otvoroch lokálne prečnievala PVB fólia

ovplyvní odolnosť vzorky pred porušením, ale na odolnosť vzorky po porušení oboch sklenených vrstiev nebude mať vplyv.

#### **SKÚŠOBNÁ ZOSTAVA A MERACIE ZARIADENIA**

Vzorky boli skúšané v lise Testometric FS500CT. V čeľustiach skúšobného lisu boli vložené oceľové plechy hrúbky 25 mm ku ktorým sa pomocou skrutky M14 s plným driekom pripájali oceľové príložky hrúbky 6 mm. K príložkám bola pripojená sklenená vzorka skrutkovým spojom. Me-

dzi sklom a príloškami bola z každej strany medzera približne 3,7 mm slúžiaca na umiestnenie tenzometrov obr. 1.

Vzorky ANG1, ANG2, ANG3 a TTG1, TTG2 boli doplnené tenzometrami nasledovne:

- Na všetkých vyššie uvedených vzorkách boli umiestnené po stranách otvoru, čo najbližšie k jeho okraju, z oboch strán sklenej vzorky, tenzometre s označením „TA1“, „TA2“, „TA3“, „TA4“, „TB1“, „TB2“, „TB3“, „TB4“. Slúžili na zachytenie špičiek napätí pri okraji otvoru. Vzhľadom na zrazenie hrán skla a rozmer fóliového nosiča meracej mriežky tenzometra nebolo možné merať hodnoty úplne na okraji otvoru, ale približne o 3 mm ďalej. Použitý typ tenzometra bol HBM 1-LY11-3/120 – lineárny tenzometer s dĺžkou meracej mriežky 3 mm.
- Na vzorke ANG1 boli v strede vzorky z oboch strán vzorky umiestnené tenzometre s označením „TS1H/TS1V“, „TS2H/TS2V“. Použitý typ tenzometra bol HBM 1-XY91-6/120 – tenzometer s dvoma navzájom kolmými meracími mriežkami, dĺžka meracej mriežky 6 mm.
- Na vzorke ANG2 pri otvore B boli umiestnené vždy 2 tenzometre za sebou, čiže tenzometre TB1, TB2, TB3, TB4 boli doplnené o tenzometre „TB11“, „TB12“, „TB13“, „TB14“, aby sa zachytil priebeh napätí pri okraji otvoru. Použitý typ tenzometra HBM 1-LY11-3/120 – lineárny tenzometer s dĺžkou meracej mriežky 3 mm.
- Príložky umiestnené na hornej strane vzorky boli doplnené o tenzometre TP1 a TP2 (TP1 bol

na príložke zo strany skla č.1 a TP2 bol na príložke zo strany skla č. 2).

Signál z tenzometrov bol prenášaný a zaznamenaný pomocou meracej stanice HBM Spider8.

Experiment bol doplnený skúškou vzoriek porušených len pri jednom otvore mimo skúšobného lisu obr. 1. Išlo o vzorky ANG2 a ANG3, na ktorých pri predchádzajúcej skúške v lise došlo k porušeniu oboch vrstiev skla len pri jednom otvore. Aby bolo možné vzorku uchytiť aj na strane porušeného otvoru pomocou skrutky, boli v tejto časti k vzorke nalepené dva dierované oceľové plechy šírky 100 mm, hrúbky 2 mm s otvorom priemeru 15 mm pre skrutku. Takto upravené vzorky boli označené ako „ANG2-B“ a „ANG3-A“ – pridané písmeno A alebo B za pôvodným pomenovaním vzorky označuje zvyšný neporušený otvor na vzorke.

## ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV EXPERIMENTÁLNYCH MERANÍ

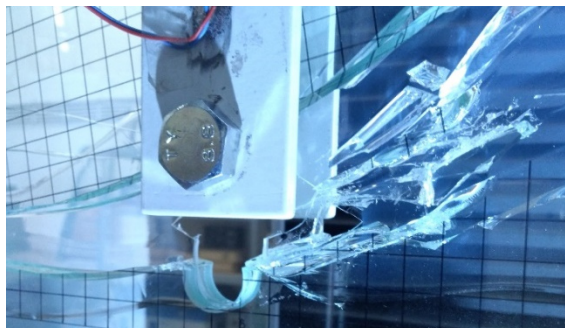
Priebeh experimentu možno rozdeliť do troch štádií.

V prvom štádiu boli obe vrstvy skla neporušené. Účelom meraní napätí pomocou tenzometrov bolo predovšetkým ilustrovať správanie sa vzoriek čo sa týka rozloženia zaťaženia na jednotlivé vrstvy skla. V ideálnom prípade by sa pôsobiaca ťahová sila mala rovnomerne rozložiť na obe vrstvy skla. Napätia určené pomocou tenzomet-

Tab. 1 – Prehľad vzoriek

Označenie vzorky	Poznámka	Tenzometre pri otvoroch	Teplota [°C]	Rýchlosť zaťaž. [mm/min]
ANG1	plavené	TA1-TA4, TB1-TB4, TS1H/TS1V, TS2H/TS2V	20	2
ANG2	plavené	TA1-TA4, TB1-TB4, TB11-TB14	21	2
ANG2-B	zo vzorky ANG2	TA1-TA4, TB1-TB4, TB11-TB14	18	-
ANG3	plavené	TA1-TA4, TB1-TB4	22	2
ANG3-A	zo vzorky ANG3	TA1-TA4, TB1-TB4	18	-
ANG4	plavené	nie	10	2
ANG5	plavené	nie	10	2
TTG1	tepelne tvrdené	TA1-TA4, TB1-TB4	9	2
TTG2	tepelne tvrdené	TA1-TA4, TB1-TB4	10	2
TTG3	tepelne tvrdené	nie	9	4
TTG4	tepelne tvrdené	nie	9	4
TTG5	tepelne tvrdené	nie	10	2

rov ukázali, že okrem zaťaženia ťahom dochádzalo aj k ohybu vzorky spôsobenému imperfeciami samotných vzoriek, prípadne boli imperfecie vnesené pri experimente napr. naklonením vzorky aj napriek snahe o vycentrovanie vzorky.



Obr. 2 – Natrhnutie fólie na vzorke ANG5

V druhom štádiu nastávalo porušenie jednej, prípadne oboch vrstiev skla – v tom prípade bolo podmienkou, že porušenie nastalo v rôznych miestach a nie pri tom istom otvore. Toto štádium nastávalo pri vzorkách typu ANG. Pri vzorkách typu TTG sa obe sklá porušili súčasne, takže pri nich druhé štádium nenastávalo. Miesta porušenia sa dali do určitej miery predpovedať na základe meraní pomerných pretvorení pomocou tenzometrov zobrazovaných v reálnom čase.

V treťom štádiu boli porušené obe vrstvy skla pri tom istom otvore pri vzorkách typu ANG alebo, vzhľadom na charakter porušenia tepelne tvrdého skla, obe vrstvy skla pri vzorkách typu TTG a zaťaženie bolo prenášané PVB fóliou. Úplné zlyhanie vzoriek nastalo pretrhnutím PVB fólie.

#### PRAKTICKÉ UPLATNENIE VÝSKUMU

V prípade použitia bodových prípojov, kde sa z jednej strany skleneného prvku nachádza iba hlava skrutky, resp. diskovitá hlavica bodového úchytu, nesmie v skle po porušení všetkých vrstiev skla vzniknúť otvor väčšieho priemeru ako je priemer hlavice úchytu. V prípade spoja ťahaného v rovine skla, experimentálne overovaného, je pre praktické úlohy v projekčnej praxi vždy nutné uvažovať s nesymetriou aplikácie zaťaženia v spoji, ktorá vplýva na rozloženie napätosti v spoji. Aj pri značnej snahe je takmer nemožné doceliť rovnaké zaťaženie oboch sklenených vrstiev a malá excentricita resp. imperfekcia spôsobí prifaženie

resp. odľahčenie jednej z tabúl skla a jej následné porušenie. V rámci praktického používania vrstvených skiel je nutné obzvlášť dbať na pracovný rozsah teplôt počas životnosti sklenenej konštrukcie a je nutné uvažovať vlastnosti fólie pri definovanej teplote pôsobiacej na danú konštrukciu.

#### POĎAKOVANIE

Tento článok vznikol vďaka podpore vedeckej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied VEGA 1/0397/22.

LUCIA ONDRUŠKOVÁ  
JÁN BRODNIANSKY  
TOMÁŠ KLAS

---

#### Literatúra a použité zdroje:

- [1] ONDRUŠKOVÁ, L. Experimentálna a teoretická analýza skrutkových spojov v sklenených konštrukciách, 2023. Slovenská technická univerzita v Bratislave
- [2] SLIVANSKÝ, M. Experimentálne a teoretické overovanie odolnosti sklenených nosníkov, 2010. Slovenská technická univerzita v Bratislave.

---

*Ing. Lucia Ondrušková, PhD. (\*1992)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Doktorand na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Ján Brodniansky, PhD. (\*1987)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Tomáš Klas, PhD. (\*1979)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

# Analýza krovu historického objektu

Obnova kultúrnych pamiatok, ktoré dlhé obdobie nepodliehali dostatočnej údržbe, si vyžaduje rozsiahly prieskum, diagnostiku a zhodnotenie technického stavu. Tento príspevok je venovaný zhodnoteniu súčasného stavu a statickej analýze krovu župného domu v Zlatých Moravciach, ktorý patrí medzi národné kultúrne pamiatky.

## ÚVOD

Predmetom práce je zhodnotenie statického stavu konštrukcie krovu župného domu v Zlatých Moravciach. Budova župného domu je národnou kultúrnou pamiatkou, ktorá bola z technického hľadiska dlhodobo zanedbávaná.

Využitie objektu počas jeho životnosti malo viaceré účely. Budova slúžila pôvodne ako renesančné sídlo rodiny Paluškovcov, neskôr ako väznica a kasárne a od päťdesiatych rokov 20. storočia sa objekt stal sídlom kovospracujúceho priemyslu.



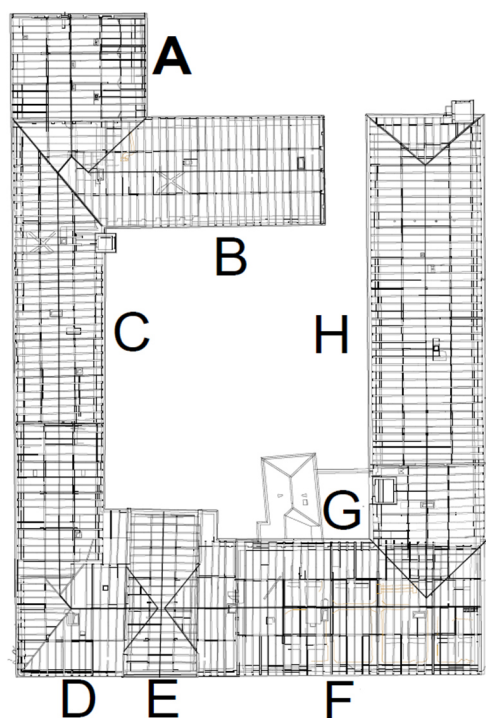
Obr. 1 – Pohľad na priečelnú stranu objektu

Mesto Zlaté Moravce plánuje obnovu pamiatky, súčasťou ktorej je okrem výmeny krytiny aj zmena spôsobu využitia podkrovného priestoru. Na streche sa nachádza plechová pozinkovaná krytina. Jedným z cieľov obnovy je jej nahradenie za historickejšiu adaptáciu vo forme keramickej krytiny typu – bobrovka so segmentovým ukončením. V súčasnosti je podkrovný priestor

nezateplený a nevyužívaný. Plánovanou zmenou je využitie podkrovného priestoru pre pobyt ľudí.

## POPIS KONŠTRUKCIE

Dĺžka objektu je 86,5m. Priečelná časť je dĺžky 58,5m. Nosný systém krovu je rozdelený na 8 úsekov A-H podľa použitých nosných prvkov a tvaru priečnej väzby (Obr. 2). Konštrukciu je možné charakterizovať ako krov so stojatou stolicou s najväčším rozpätím medzi pomúrniciami v úseku A 15,7m. Strecha je sedlová s členitou výškou hrebeňa vo väčšine úsekov. Výnimkou je úsek s označením H, kde je pozdĺžny trakt zakončený valbovým tvarom strechy.



Obr. 2 – Pôdorys krovu (Zameral Ing. Arch. Peter Mravec)



Obr. 3 – Pohľad na priečnu väzbu: Úsek A

### ZHODNOTENIE SÚČASNÉHO STAVU KROVU

V rámci zhodnotenia skutkového stavu konštrukcie krovu bol vypracovaný dendrologický posudok [1] so stanovenou stupnicou intenzity poškodenia drevených prvkov 0-4:

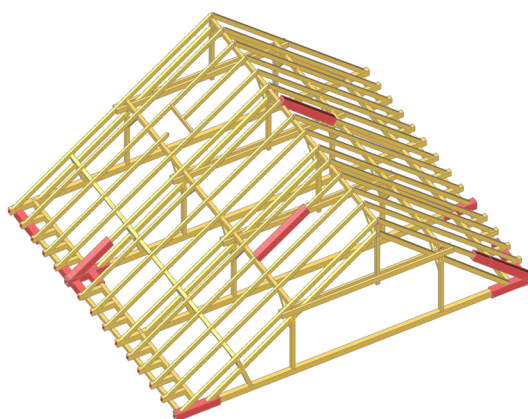
- 0 – Žiadne poškodenie
- 1 – Slabé poškodenie
- 2 – Stredné poškodenie
- 3 – Silné poškodenie
- 4 – Totálne poškodenie (prvok alebo jeho časť chýba)

V konštrukcii sa vyskytujú poruchy spôsobené biotickými aj abiotickými činiteľmi s vysokým stupňom poškodenia nosných častí. V rámci vizuálnej prehliadky krovu boli určené miesta výskytu drevokazných húb, fúzača krovového a črvotoča. Vo viacerých miestach bola identifikovaná zvýšená vlhkosť a hniloba vzniknutá vplyvom zatekania zrážkovej vody. Príklad poškodenia nosných prvkov vplyvom zatekania je uvedený na obrázku č. 4 v úseku krovu A.



Obr. 4 – Väzný trám, výmena, pomúrnica, krokva: Stupeň poškodenia 4

V tomto prípade bolo lokalizované poškodenie hnilobou a fúzačom na pomúrnici, väznom tráme, krokve a výmene so stupňom intenzity poškodenia 4. V dôsledku vzniknutej poruchy došlo k degradácii a zlyhaniu pripojenia väzného trámu na pomúrnicu v plnej väzbe. V konštrukcii sa nachádzalo dodatočné podopretie väzného trámu v medziľahlom bode. Takéto riešenie môže viesť k neprimeranému priťaženiu stropnej konštrukcie. Rozsah porúch so stupňom intenzity poškodenia 3-4 v úseku A je vyznačený na obrázku č.5.



Obr. 5 – 3D model s vyznačením porúch: Stupeň 3-4 Úsek A

Viaceré poruchy so stupňom intenzity poškodenia 3-4 vzniknuté vplyvom zatekania vody sa nachádzajú aj v ostatných úsekoch objektu.

Ďalším z kritických miest z hľadiska stability, je miesto prepojenia úsekov A-B-C. Jedná sa o miesto zmeny výšky hrebeňa, v ktorom je podopretá vrcholová väznica stĺpom, pričom nastalo zlyhanie pripojenia väzných trámov (Obr. 6).



Obr. 6 – Zlyhanie prípoja väzných trámov: Úsek A-B-C

Prípoj nebol zaistený proti namáhaniu ťahovou silou a došlo k vytiahnutiu čapu. Konštrukcia napriek zlyhaniu zostala stabilná vďaka vzájomnému vzopretiu krokiev vo vrchole (Obr. 7).



Obr. 7 – Dôsledok zlyhania pripojenia väzných trémov, pokles stípu a vrcholovej väznice: Úsek A-B-C

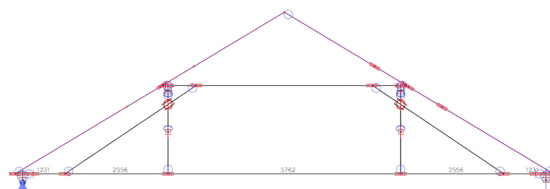
### STATICKÝ VÝPOČET

Vzhľadom na plánované využitie podkrovia ako obytného priestoru, s čím priamo súvisí výmena krytiny a priťaženie strešnej konštrukcie, boli jednotlivé časti krovu posúdené a zaťažené podľa platných európskych noriem [2], [3], [4], [5], [6]. Predmetom statického posúdenia nie je posúdenie súčasného stavu nosnej konštrukcie s poruchami, ale posúdenie ideálneho stavu konštrukcie nepoškodenej biotickými a abiotickými činiteľmi.

Veľkosti jednotlivých prierezov nosných prvkov boli stanovené na základe terénneho zamerenia. Pevnostná trieda reziva pre výpočet bola stanovená na C20.

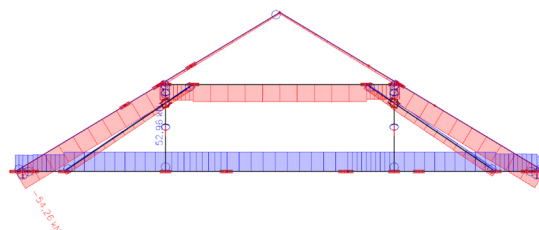
Miesta tesárskych prípojov boli vo výpočtovom modeli zohľadnené vo forme oslabenia prierezu.

Statické posúdenie bolo vypracované v softvéri Scia Engineer. Výpočtový model pozostáva z charakteristických segmentov priečnych väzieb pre každú časť konštrukcie krovu vyskytujúcu sa v objekte. Metodika výpočtu je uvedená na príklade analýzy krovu v úseku B.

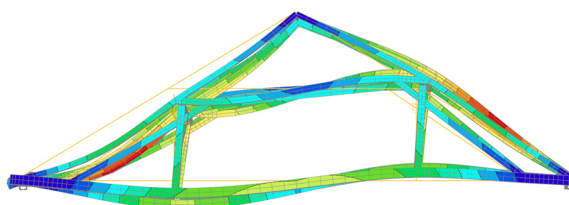


Obr. 8 – Statický model: Úsek B

Nakoľko posúdenie a diagnostika prípojov neboli predmetom vypracovanej štúdie, boli posúdené dva hraničné stavy pôsobenia konštrukcie. Prvý výpočtový model vychádza z predpokladu kĺbového uloženia krokiev do väzných trémov a krátkat. Vplyvom uvedených okrajových podmienok dochádza k prenosu aplikovaného zaťaženia primárne pomocou spolupôsobenia krokiev a hambáľku za predpokladu, že únosnosť realizovaných prípojov je dostatočná.



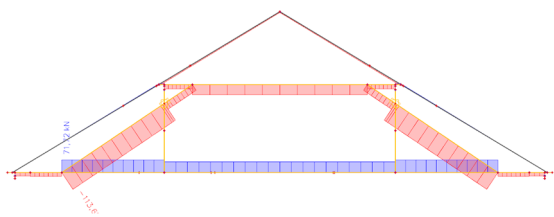
Obr. 9 – Priebeh osových síl: Model č. 1, Úsek B



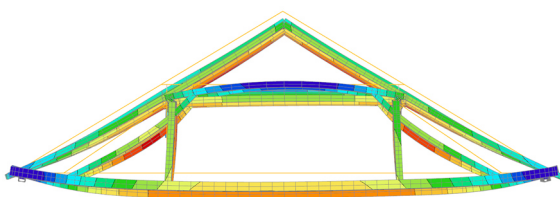
Obr. 10 – Tvar deformácie priečnej väzby: Model č. 1, Úsek B

Druhý výpočtový model vychádza z predpokladu, že prípoje nie sú dostatočne únosné na prenos aplikovaného zaťaženia a pripojenie kroky k väzným trémom a krátkatám je s dovoleným posunom v smere priečnej väzby. Vplyvom uvedených okrajových podmienok dochádza k redistribúcii aplikovaného zaťaženia do prvkov vo

vnútornej časti priečnej väzby ako sú hambálok, stĺpy, vzpery, ližina a väzné trámy.



Obr. 11 – Priebeh osových síl: Model č. 2, Úsek B



Obr. 12 – Tvar deformácie priečnej väzby: Model č. 2, Úsek B

Rozdiel medzi modelom č. 1 a modelom č. 2 je pre výsledný posudok konštrukcie nezanedbateľný. Príkladom je priebeh osových síl a výsledných deformácií na priečnej väzbe. Maximálna vypočítaná deformácia od charakteristického zaťaženia pri prvom prístupe bola 21,9mm. Pri druhom prístupe bola deformácia trojnásobne väčšia a koncentrovaná na deformácii väzného trámu, krokiev a ližín.

Optimálne vystihnúť výpočtovým modelom skutočné správanie sa krovu v reálnej konštrukcii predstavuje komplexnú problematiku, pri ktorej je dôležitým faktorom tuhosť prípojev. Uvedené výpočtové modely predstavujú idealizovaný prístup k analýze existujúcej konštrukcie. Skutočné pôsobenie konštrukcie v súčasnom stave nereprezentuje ani kĺbové ani posúvne uloženie. Okrajovou podmienkou by malo byť pružné uloženie vychádzajúce z konkrétnych tuhostí prípojev, k čomu je potrebné spracovať aj diagnostiku tesárskych spojov.

## ZÁVER

Súčasný stav konštrukcie krovu župné domu je možné z hľadiska medzných stavov zhodnotiť ako nevyhovujúci. V nosných prvkoch sa vyskytujú poruchy s vysokým stupňom poškodenia biotickými a abiotickými činiteľmi. Pre ďalšie užívanie objektu je nevyhnutná sanácia krovovej konštrukcie

vo forme zosilnení a výmeny prierezov a taktiež odstránenie príčin umožňujúcich vznik ďalších porúch.

Statický model vychádza z ideálneho stavu konštrukcie bez porúch. Vzhľadom na plánované využitie podkrovia ako obytného priestoru, dochádza oproti súčasnému stavu, k priťaženiu konštrukcie. Medzi prvým výpočtovým modelom, pri ktorom sa vychádza z predpokladu dostatočnej únosnosti spoja medzi krokvou a väzným trámom a krokvou a krátčatom a druhým výpočtovým modelom, ktor predpokladá prenos zaťaženia z krokvy na nosné prvky stojatej stolice, je nezanedbateľný rozdiel.

Druhý výpočtový model vo výsledku reprezentuje nevyhovujúci stav, pri ktorom prierezy a prípoje nie sú schopné preniesť aplikované zaťaženie.

Výsledné posúdenie konštrukcie vychádza z modelovacieho prístupu č. 1, pričom v prípade realizácie obnovy, priťaženia a zmeny využitia podkrovného priestoru, budú jednotlivé prípoje zosilnené a upravené na základe statického výpočtu tak, aby spĺňali výpočtové predpoklady kĺbového uloženia. Výpočtom boli preukázané aj lokálne nevyhovujúce nosné prvky, ktoré v prípade priťaženia strešnej konštrukcie budú dodatočne zosilnené.

ROMAN HERDA  
MILOŠ SLIVANSKÝ



---

Literatúra a použité zdroje:

- [1] Reinprecht, L.: Dendrologický posudok na skutkový stav drevených prvkov v krovovej konštrukcii. 2023
- [2] STN EN 1990: Eurokód – Zásady navrhovania konštrukcií, SÚTN, 2009
- [3] STN EN 1991-1: Eurokód 1 – Zaťaženia konštrukcií – Časť 1-1: Všeobecné zaťaženia – objemová tiaž, vlastná tiaž a úžitkové zaťaženia budov, SÚTN, 2007
- [4] STN EN 1991-1-3: Eurokód 1 – Zaťaženia konštrukcií – Časť 1-3: Všeobecné zaťaženia – Zaťaženie snehom, SÚTN, 2007
- [5] STN EN 1991-1-4: Eurokód 1 – Zaťaženia konštrukcií – Časť 1-4: Všeobecné zaťaženia – Zaťaženie vetrom, SÚTN, 2007
- [6] STN EN 1995-1-1: Eurokód 5 – Navrhovanie drevených konštrukcií – Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy, SÚTN, 2004

---

*Ing. Roman Herda (\*1996)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Doktorand na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Miloš Slivanský, PhD. (\*1980)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií. Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*

# Obvodové napätie v nasúvanom spoji

Článok prezentuje experimentálne meranie obvodového -tangenciálneho napätia na stene nasúvaného spoja. Meranie zachytáva proces nasúvania (montáže) a vysúvania (demontáže) spoja. Toto namerané napätie je rozdelené na reziduálnu zložku (zostatkové napätie po nasunutí) a vratnú zložku napätia. Výsledky naznačujú, že reziduálna zložka napätia je približne 18 MPa. Príspevok taktiež porovnáva merané napätia s analytickými vzťahmi, ktoré sú určené na výpočet napätia v nasúvanom spoji.

## ÚVOD

Nasúvaný spoj vzniká vzájomným nasunutím dvoch kónických rúr, ktoré môžu mať kruhový alebo polygonálny prierez. V stavebníctve sa tento spoj najčastejšie vyskytuje v oceľových stĺpoch prenosových sústav ako napr. stĺpy elektrického vedenia, telekomunikačné stožiare alebo osvetľovacie stožiare.

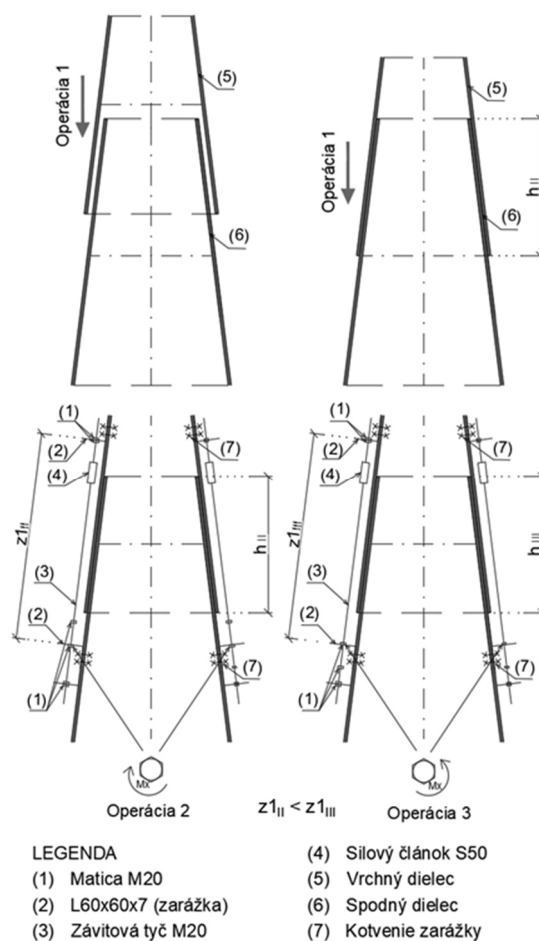
Nasúvaní spoj umožňuje vzájomné nastavenie (nasúvanie) jednotlivých rúr. Na základe tohto procesu je dosiahnutá požadovaná dĺžka konštrukcie. Tento spoj tvorí alternatívu k tradičnejšiemu riešeniu vo forme prírubového spoja. Nespornou výhodou nasúvaného spoja je rýchlejšia montáž a eliminácia skrutiek a zvarov. Jeho nevýhodou je nedostatočný návrhový postup, ktorý by umožňoval väčšiu variáciu pri jeho návrhu. V súčasnosti jedinou požiadavkou je splnenie minimálnej dĺžky nasunutia [01], ktorá je definovaná ako 1,5 násobok priemeru dielca.

Tento príspevok vychádza už dosiahnutých domáciach výsledkov [02], [03], [04], ako aj nadväzuje na vykonaný výskum na iných inštitúciách [05] alebo [06]. Príspevok priamo vychádza z [07] a rozpracúva jeho tézy.

Cieľom príspevku je analýza experimentálne nameraných tangenciálnych napätí (napätie v obvodovom/horizontálnom smere) na stene nasúvaného spoja. Druhým cieľom je overenie zjednodušených analytických vzťahov z [08] a [09], ktoré sú určené na výpočet tangenciálneho napätia v nasúvanom spoji.

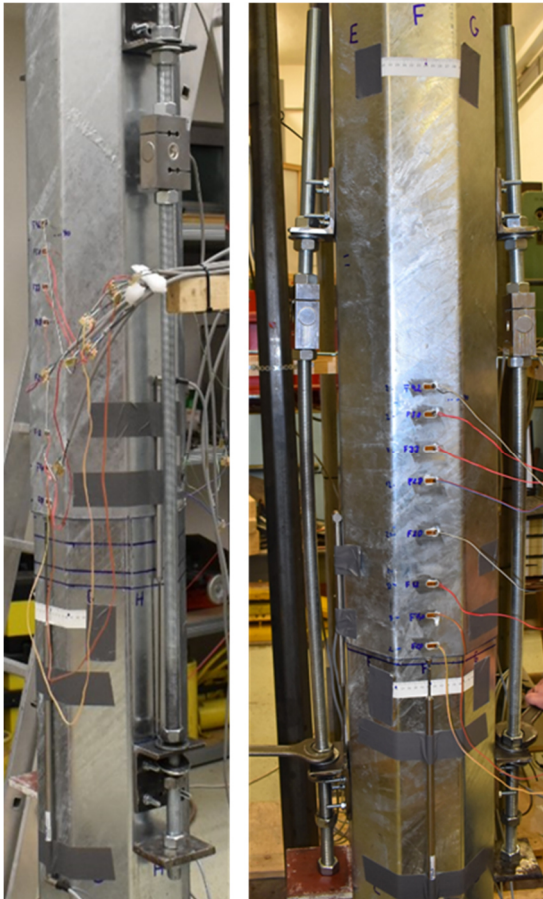
## PREVEDENIE EXPERIMENTÁLNEHO MERANIA

Príspevok prezentuje výsledky z merania označeného ako experiment 03. Dispozícia vzorky a spôsob prevedenia merania je podrobne uvedený v [07]. Obr. 1 predstavuje schému prevedenia experimentu.

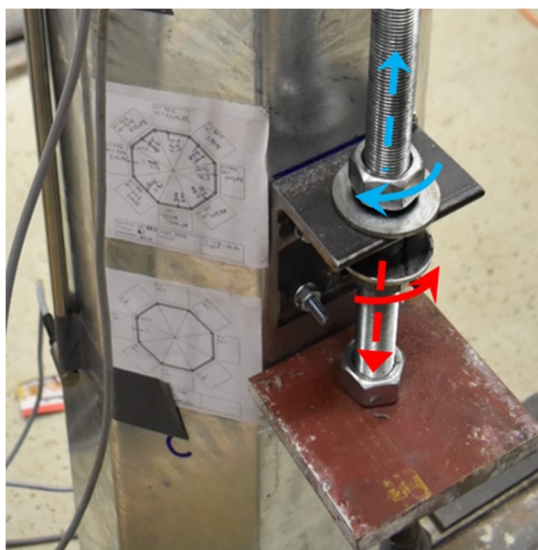


Obr. 1 – Prevedenie merania

Obr. 2 a Obr. 3 predstavujú laboratórnu dispozíciu experimentu 03. Parametre experimentálnej vzorky sú uvedené v Tab. 1 a na Obr. 4. Horný dielec bol nasúvaný/vysúvaný pomocou síl, ktoré boli vyvolané ťahovaným a povoľovaním matíc vid'. Obr.3.



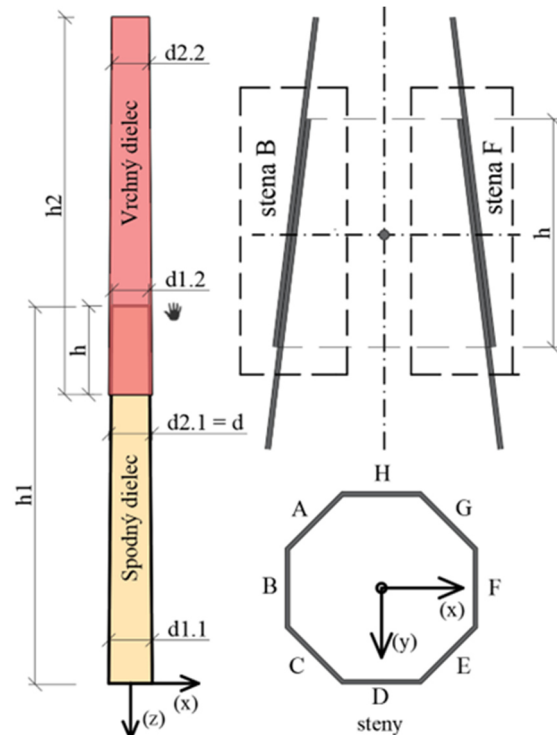
Obr. 2 – Dispozícia experimentu 03



Obr. 3 – Realizácia operácie 02 (červená šípka) a operácie 03 (modrá šípka)

Tab. 1 – Parametre experimentu 03

$d1.1$ [m]	$d2.1$ [m]	$d1.2$ [m]	$d2.2$ [m]	$h1$ [m]
0,260	0,242	0,254	0,227	1,504
$h2$ [m]	$h^*$ [m]	$h_{II}$ [m]	$t$ [mm]	Materiál
2,403	0,400	0,290	3	S355



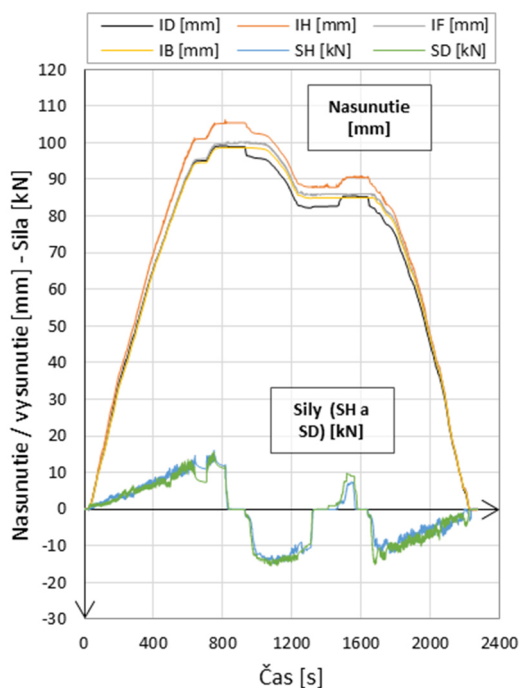
Obr. 4 – Parametre experimentu 03

#### NAMERANÉ HODNOTY

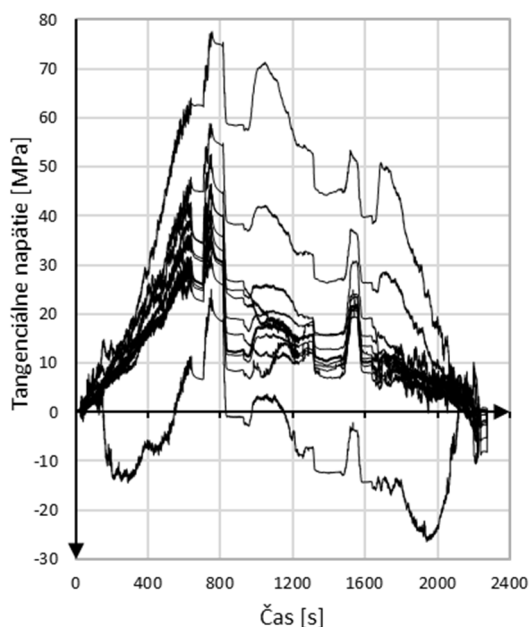
Obr. 5 a Obr. 6 zobrazujú meranie č. 09 v experimente 03. Prvý obrázok zachytáva aplikovanú vertikálnu silu, ktorá je meraná dvoma silovými článkami s označením  $SH$  a  $SD$ . Sila bola aplikovaná z dvoch strán spoja (stena  $H$  a  $D$ ). Výsledná vertikálna sila pôsobiaca na spoj je súčtom  $SH + SD$ . Kladná hodnota sily predstavuje nasúvanie (tlakovú silu v spoji) a záporné sily znamenajú vysúvanie (ťahovú silu v spoji). Tento obrázok taktiež zachytáva vertikálnu deformáciu, ktorá bola meraná štyrmi deformačnými ihlami  $ID$ ,  $IH$ ,  $IF$  a  $IB$ . Tieto ihly sú umiestnené na štyroch stenách  $D$ ,  $H$ ,  $F$  a  $B$ . Obr. 6 zobrazuje súbor meraných tangenciálnych napätí v rôznych pozíciách.

Proces merania je možné rozdeliť na fázu nasúvania (operácia 02 vid'. Obr. 1), fázu uvoľnenia matíc (cca v čase 800 s) a fázu vysúvania (operácia 03 vid'. Obr. 1). Po čiastočnom vysunutí, je

v čase od 1300 s celý proces zopakovaný. Po uvoľnení matíc približne v čase 1550 s dochádza k vysunutiu do východiskovej polohy.



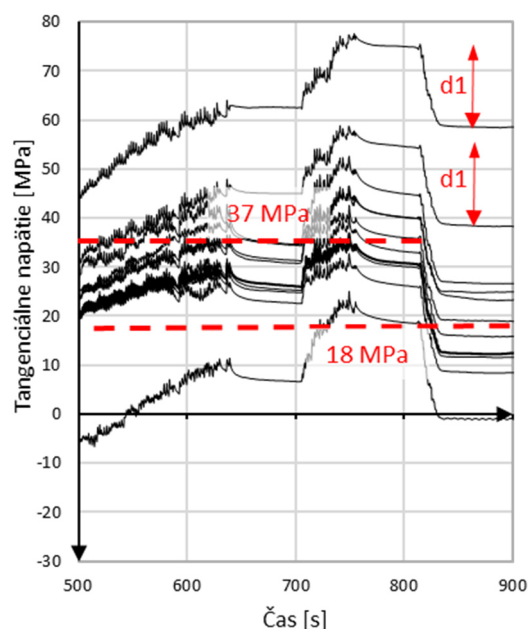
Obr. 5 – Priebeh aplikácie sily a merania nasunutia/vysunutia



Obr. 6 – Merané tangenciálne napätia pre jednotlivé merané body

Obr. 7 prezentuje vybranú časť meraných výsledkov, ktorá prezentuje tangenciálne napätia

pri nasunutí dielca. V tejto fáze sa postupným zvyšovaním aplikovanej sily prekonáva statické trenie a dochádza k „stick-slip“ efektu. Pri tomto efekte dochádza k uvoľneniu energie (pokles meranej sily) a preskupeniu tangenciálnych napätí (aj napätia môžu klesnúť ale z dôvodu, že sa pre-rozdeľujú). Takýmto spôsobom bola dosiahnutá predpokladaná dĺžka nasunutia 400 mm v čase 800 s a priemerná hodnota tangenciálnych napätí je 37 MPa. Približne v čase 820 s došlo k uvoľneniu matíc a k poklesu sily v meracích článkoch na 0 kN. Tento jav vyvolal aj pokles tangenciálnych napätí o približne rovnakú hodnotu  $d1$  a v tenzometroch zostalo priemerné napätie s hodnotou 18 MPa.



Obr. 7 – Tangenciálne napätia 500 s - 900 s

#### ANALYTICKÝ PREDPOKLAD

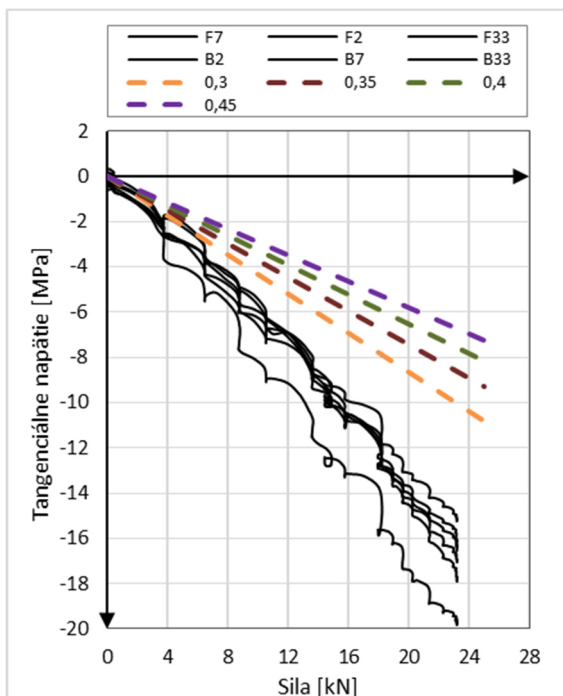
Tangenciálne napätie v nasúvanom spoji je možné vypočítať na základe vzťahu 01.

$$\sigma_t = \frac{F_x}{2 * \pi * h * t * (\tan(\alpha) + \mu)} \quad (1)$$

kde  $F_x$  je vertikálna sila,  $h$  je dĺžka nasunutia,  $t$  je hrúbka steny,  $\alpha$  je uhol odklonu dielca od vertikálneho smeru a  $\mu$  je súčiniteľ trenia. Tento vzťah je odvodený na základe rovnováhy síl pri prenose vertikálnej sily do horizontálneho tangenciálneho smeru, viac pozri [08] a [09].

## POROVNANIE A DISKUSIA

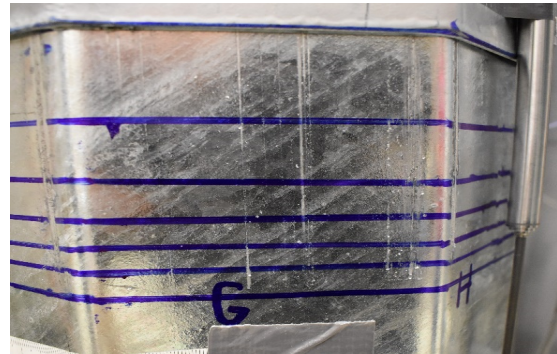
Obr. 8 prezentuje porovnanie medzi meranými hodnotami (krivky čiernou farbou) a napätiami podľa vzťahu (1), ktoré sú prezentované čiarkovanými krivkami. Pre výpočet napätí podľa (1) boli použité vstupné hodnoty z experimentu 03 vid' Tab. 1. Jednou zo vstupných premenných je súčiniteľ trenia. Obr. 8 predstavuje krivky so štyrmi rôznymi treniami od 0,3 do 0,45. Na experimentálnych vzorkách bola vykonaná statická skúška trenia na základe ktorej je statický súčiniteľ trenia rovný 0,40. Bez ohľadu vplyvu trenia, je možné konštatovať, že na základe obr. 8 výsledky z analytického výpočtu nezodpovedajú meraným hodnotám.



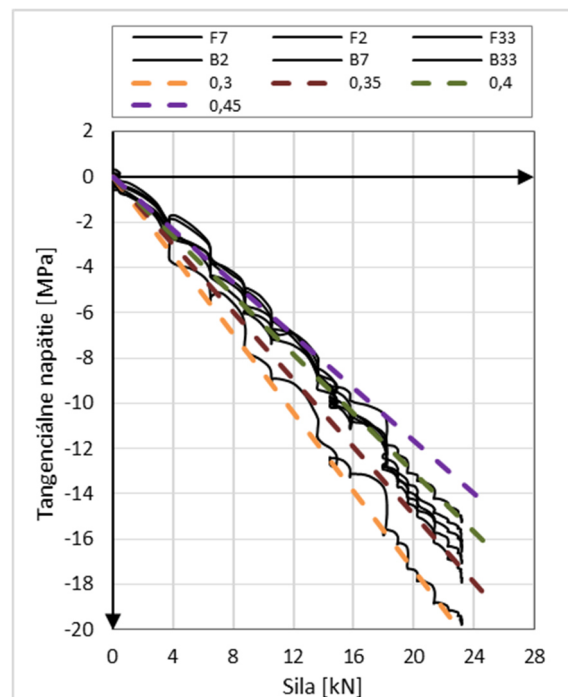
Obr. 8 – Tangenciálne napätia. Čierne krivky prezentujú merané hodnoty. Čiarkované krivky vypočítané podľa (1) s parametrom  $h = 0,4$  m

Obr. 9 zobrazuje stenu spodného dielca po vysunutí. Na obrázku je možné vidieť značné otláčenia (ryhy), ktoré vznikli na základe kontaktu medzi vrchným a spodným dielcom. Tieto otláčenia sa nachádzajú iba v určitých miestach, prevažne v strede steny, a v niektorých miestach nie sú viditeľné. Ak sa uvažia zaoblenia v rohoch a ostatné výrobné nedokonalosti je možné predpokladať, že kontaktná plocha je redukovaná. Kontaktnú plochu vo vzťahu (1) zastupuje parameter  $h$

a teda dĺžka nasunutia. Obr. 10 prezentuje rovnaké porovnanie ako v Obr.9 s uvažovaním 50% dĺžkou nasunutia a teda  $h = 0,2$  m.



Obr. 9 – Otláčenie medzi vrchným a spodným dielcom.



Obr. 10 – Tangenciálne napätia. Čierne krivky prezentujú merané hodnoty. Čiarkované krivky vypočítané podľa (1) s parametrom  $h = 0,2$  m

Na základe obr.10 je možné konštatovať, že pri uvažovaní redukovanej hodnoty  $h$  sú výsledky medzi meranými napätiami a vypočítanými zhodnejšie.

Obr.7 zobrazuje stav pred a po uvoľnení matíc. Je možné konštatovať, že po uvoľnení matíc v nasúvanom spoji ostávajú určité napätie, ktorých priemerná hodnota je 18 MPa. Toto napätie je možné nazvať ako reziduálne, ktoré v spoji ostáva po nasunutí a uvoľnení síl.

Pri zaťažení nasúvaného spoja vertikálnou silou by sa v nasúvanom spoji mali vyskytovať iba tangenciálne napätia s rovnakou veľkosťou. Na základe výsledkov z obr.6 je možné povedať, že toto tvrdenie neplatí. Tento stav je spôsobený nedokonalosťami, ktoré vytvárajú jednak lokálne ohybové momenty v spoji ako aj prídavný ohybový moment na spoj. Vplyv nedokonalostí je vidieť aj na obr.5 kde dochádza k nerovnomernej deformácii medzi meranými ihlami.

## ZÁVER

Prezentovaný príspevok splnil svoje stanovené ciele a to definovanie reziduálneho napätia pri nasúvaní spoja a porovnanie medzi meraným tangenciálnym napätím a vypočítaným na základe zjednodušeného analytického prístupu. Z prezentovaných výsledkov je možné konštatovať, že priemerne reziduálne napätie je rovné 18 MPa pri dosiahnutí očakávanej dĺžky nasunutia. Je taktiež možné konštatovať, že bola preukázaná podobnosť medzi nameranými dátami a očakávanými výsledkami podľa zjednodušeného analytického prístupu. Z výsledkov vyplýva, že pri úprave kontaktnej plochy na 50% sú výsledky značne podobné.

MAROŠ MOJTO  
JÁN BRODNIANSKY  
TOMÁŠ KLAS

## Literatúra a použité zdroje:

- [1] EN 50341-1: Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV. Part 1: General requirements. Common specifications, chapter 7.4.6.3.
- [2] BOTLÓ, M. Slip joint connection of steel conical towers, Dissertation thesis, 2017, Bratislava, Slovak University of Technology, p. 40-44
- [3] Mojto, M. Manufacturing imperfections in slip joints, Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering Bratislava Spectrum STU, 2021, p. 463–70
- [4] Mojto M 2021 Paramter o overlp length on slip joint connection uniorstav 23rd

- International Conference of Doctoral Students Brno ECON publishing, s.r.o p. 255–60
- [5] SEGEREN, M. L. A. Vibration-induced settlement of a slip-joint connection for offshore wind turbines, Dissertation thesis 2018, Delft University of Technology
- [6] Cabboi, A. Segeren, M. Hendrikse, H. and Metrikine, A.: 2020 Vibration-assisted installation and decommissioning of a slip-joint Engineering Structures 209(2020)109949
- [7] Mojto M 2022 Experimentálne skúšanie nasúvaného spoja zaťaženie nasúvaním. Moderné trendy v navrhovaní konštrukcií z ocele, dreva, betónu a skla, structureSS, 978-80-974153-1-0, 2022, p. 197-206
- [8] SLOCUM, R.; FAIRBAIRN, M. Slip Joints Connections – How Do These Things Work?, Elektrical transmission and substation structures, Branson, Missouri, 2015, p. 363-374
- [9] van der TEMPEL, J.; SCHIPHOLT, B. L. The Slip-Joint Connection Alternative connection between pile and tower, Dutch Offshore Wind Energy Converter project, Delft University of Technology, 2003, DOWEC report - F1W2-JvdT-03-093/01-P

*Ing. Maroš Mojto, (\*1993)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Doktorand na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Ján Brodniansky, PhD. (\*1987)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Tomáš Klas, PhD. (\*1979)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

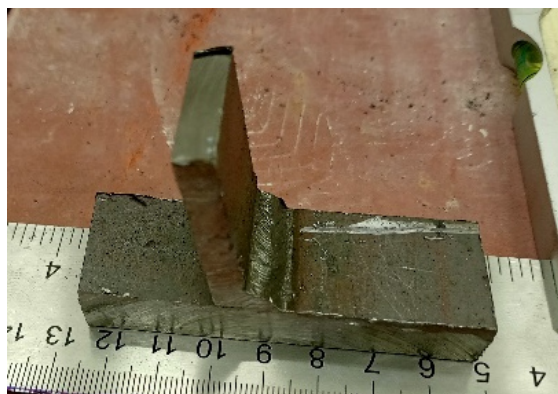
# Nedeštruktívne testovanie zvarových spojov ocelových konštrukcií – vizuálna metóda

Pre testovanie zvarových spojov ocelových konštrukcií je možné použiť viacero postupov. Tieto postupy majú svoje poradie použitia. Základnou kontrolou je práve vizuálna metóda. Jej výhodou je, že s minimálnymi nákladmi realizujeme testovanie na relatívne veľkej ploche.

## TESTOVANIE ZVAROVÝCH SPOJOV OCEĽOVÝCH KONŠTRUKCIÍ

Testovanie zvarových spojov môže byť nedeštruktívne, alebo deštruktívne.

Pri nedeštruktívnom testovaní máme na výber niekoľko metód. Tie sa delia na povrchové, kedy sa testuje len povrch zvarového spoja a priliehajúca plocha, ktorá zahŕňa vždy aj teplom ovplyvnenú oblasť a na objemové metódy, ktoré testujú zvar a jeho okolie v celom objeme. Sú však spravidla náročnejšie na technické vybavenie.



Obr. 1 – Odobraná vzorka zvarového spoja

Povrchové metódy sú:

Vizuálna metóda – základná a prvá v poradí. Je to najrýchlejšia metóda a nevyžaduje špeciálne vybavenie (ak zanedbáme mierky na kontrolu zvarov).

Penetračná metóda – využíva kapilaritu a vzlianosť indikačnej tekutiny na zviditeľnenie poškodení zvaru ako sú trhliny a póry.

Magnetická prášková metóda – založená na rozptylovom magnetickom poli, ktoré pri zmag-

netizovaní zvaru zviditeľní za pomoci feromagnetického nástreku trhliny alebo póry na povrchu alebo tesne pod povrchom zvarového spoja.

Metóda vírivých prúdov – cievka vytvárajúca magnetické pole vytvorí vírivé prúdy produkujúce sekundárne magnetické pole, ktoré v mieste trhlín alebo iných nedokonalostí mení svoje hodnoty.

Objemové metódy sú:

Rádiografická metóda – prežarovanie materiálu za pomoci röntgenových lúčov, ktoré na zobrazení zvaru zvýraznia nedokonalosti alebo trhliny.

Ultrazvuková metóda – využíva šírenie a odraz ultrazvukových vln v materiály. V prípade trhliny je zmena odrazu signálu indikátorom poruchy.

Magnetická pamäť materiálu – zmena magnetického poľa konštrukcie, ktoré je vnesené pri jej zhotovení indikuje nedokonalosť.

Metóda zmeny tepelnej vodivosti – ak majú povrchy rozdielnu teplotu pri jej prechode cez trhlinu za teplotný gradient zmení, čo je pri dostatočnej citlivosti snímania indikátorom poruchy.

Výhodou nedeštruktívneho testovania je, že nedochádza k poškodeniu konštrukcie, avšak nie je možné zistiť vlastnosti a informácie, ku ktorým sa dostaneme len pri deštruktívnom testovaní.

Pri deštruktívnom testovaní je potrebné odobrať vzorku zvarového spoja (obr. 1). Po jej následnej úprave opracovaním a vyleštením (obr. 2) bez toho, aby došlo k ovplyvneniu teplom sa následne realizuje testovanie.



Obr. 2 – Úprava vzorky

V tomto prípade sa zameriavame na spôsob zvárania, kontrola množstva a kvality jednotlivých vrstiev zvaru, meranie tvrdosti v teplom ovplyvnenej oblasti (obr. 3) a dá sa realizovať aj kontrola mikroštruktúry a materiálového zloženia zvarového kovu.



Obr. 3 – Kontrola tvrdosti materiálu

## VIZUÁLNA METÓDA

Je to základná nedeštruktívna metóda, ktorá sa zameriava na povrchové nedostatky a nedokonalosti zvarového spoja a jeho okolia. Touto metódou je možné detegovať väčšinu povrchových nedostatkov, ktoré sa vo zvaroch a ich okolí vyskytujú.

Pri vizuálnej metóde je potrebné dodržiavať normové predpisy. Tie presne stanovujú nároky na personál, ktorý môže testovanie v danom rozsahu realizovať [1]. Pre kontrolu a vyhodnocovanie zaznamenaných porúch je potrebná certifikácia minimálne druhého stupňa (VT2).

Certifikovaná osoba musí podľa normy spĺňať niektoré kritéria. Je to v prvom rade uspokojivá zraková schopnosť. Tá sa musí raz ročne preverovať oprávnenou osobou a zahŕňa test zrakovosti podľa Jaegra č.1 (schopnosť vidieť ostro na blízko) a schopnosti rozoznávať farby (farbocitrozlišovanie farieb) podľa Ishiharu. Taktiež musí

poznať príslušné normy, smernice a vedieť zaobchádzať s prístrojmi na detegovanie a meranie vád. Samozrejme musí poznať postupy práce.

Vizuálna metóda sa z hľadiska prístupu ku kontrolovanému povrchu zvaru delí na priamu, kedy máme priamy pohľad na kontrolované miesto a na nepriamu, kedy kontrolujeme povrch z vnútornej strany uzavretej komory a je teda prerušená priama optická dráha medzi kontrolovaným povrchom a okom. Podľa toho sa rozlišujú aj prístroje potrebné na jej prevedenie. Zatiaľ čo pri priamej metóde si vystačíme s jednoduchými pomôckami ako sú zdroj osvetlenia, pravítko, lupa, posuvné meradlo, rôzne mierky na meranie zvarov a pod., pri nepriamej metóde musíme použiť zložitejšie optické prístroje ako sú periskop, endoskop, videoskop, fotoaparát a pod.. Endoskopy podľa prevedenia konštrukcie delíme na borskopy, kedy je obraz prenášaný pomocou systému šošoviek, hranolov a zrkadiel k oku kontrolóra. Bývajú vyhotovené na mieru pre daný objekt a majú pevnú konštrukciu. Druhým typom endoskopu je fibroskop, ktorý k prenosu obrazu používa usporiadaný zväzok optických (sklenených) vlákien a je teda ohybný. Oba typy endoskopu sú vybavené aj zdrojom svetla.

Pre dôkladné vykonanie priamej vizuálnej metódy je základnou podmienkou dostatočné osvetlenie povrchu. Preto normy definujú minimálne osvetlenie kontrolovaného povrchu intenzitou osvetlenia minimálne 350 luxov, odporúča sa však hodnota najmenej 500 luxov. Jedná sa o viditeľné svetlo, teda v rozsahu vlnovej dĺžky 380 – 780 nm. Intenzita osvetlenia sa dá ľahko dopočítať podľa vzťahu:

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (1)$$

Kde: E – Intenzita osvetlenia [lx]

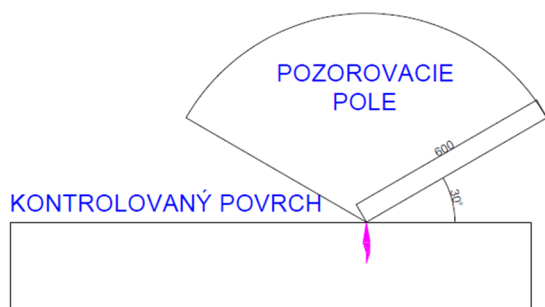
I – Svietivosť zdroja svetla [Cd]

r – vzdialenosť zdroja od povrchu [m]

Intenzitu svetla treba pri testovaní povrchu vždy odmerať luxmetrom a jeho hodnotu uviesť v protokole.

Ďalším obmedzením je dodržanie maximálnej vzdialenosti od kontrolovaného povrchu a to max. 600 mm a pod uhlom nie menším ako 30° (obr. 4).





Obr. 4 – Pozorovacie pole pri vizuálnej metóde

### PRACOVNÝ POSTUP PRI KONTROLE ZVAROVÝCH SPOJOV VIZUÁLNOU METÓDOU

Zvarové spoje kontrolujeme priamou alebo nepriamou metódou, kde prehliadame povrch očisteného, odmasteného zvaru a k nemu príslušnú teplom ovplyvnenú oblasť základného materiálu do vzdialenosti cca. 30 mm (obr. 5, 6). Sústreďujeme sa na povrchové nerovnosti, pri ktorých určujeme ich typ a rozmer podľa noriem STN EN ISO 6512-1 a STN EN ISO 5817. Taktiež kontrolujeme kvalitu prevedenia zvarového spoja, stanovíme jeho rozmery, kontrolujeme aj vzájomnú polohu zvarovaných častí a uzlov. Ak sú zistené chyby odmerajú sa ich rozmery a na základe medzných kritérií uvedených v STN EN ISO 5817 sa určí, pre aký stupeň kvality prevedenia zvaru sú dané poruchy a ich rozmery prípustné.



Obr. 5 – Kontrolovaný kútový zvar

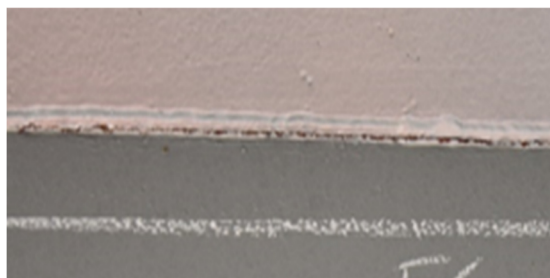


Obr. 6 – Kontrolovaný tupý zvar - povrch

Pri vizuálnej kontrole vieme spoľahlivo kontrolovať len vonkajšie chyby medzi ktoré patria trhliny v povrchu zvaru alebo v teplom ovplyvnenej oblasti, pórovitosť zvarového kovu, studené spoje, neprípustné prevýšenie alebo podkročenie zvaru, zápaly v mieste prechodu medzi zvarom a základným materiálom, pretečenie zvaru, prítomnosť prímiesí alebo vtrúsenín v zvarovom kove, neprípustné presadenie alebo nesprávny uhol medzi spájanými plochami, chýbajúcu časť zvaru a iné.

Zvarový spoj vieme kontrolovať z dvoch strán a to z povrchu zvaru a zo strany koreňa.

Najnebezpečnejšie poruchy sú trhliny (obr. 7, 8). Môžu byť pozdĺžne alebo priečne. Môžu nachádzať priamo v zvarovom spoji alebo aj v teplom ovplyvnenej oblasti.



Obr. 7 – Trhlina zvarového spoja



Obr. 8 – Trhlina zvarového spoja

Medzi chyby povrchu zvaru patrí:

Nadmerné prevýšenie zvaru (obr. 9a) – výrazné prevýšenie zvarového kovu nad úroveň základného materiálu.

Nízky alebo prehĺbený zvar (obr. 9b) – výrazné podkročenie zvarového kovu pod úroveň základného materiálu.

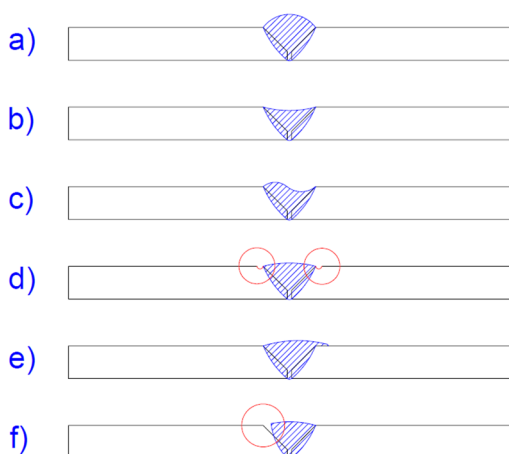
Nepriavidelný povrch zvaru (obr. 9c) – sú to aj nepravidelná šírka a výška zvaru vybočenie z osi zvaru, chyby v napojení zvaru ale aj hrubá kresba zvaru.

Zápaly (obr. 9d) – natavené prehĺbeniny vznikajúce na hranici základného materiálu a zvarového spoja.

Pretečenie (obr. 9e) – pretečenie zvarového kovu na základný materiál.

Studený spoj (obr. 9f) – neúplné alebo nedokonalé spojenie základného materiálu a zvarového kovu.

Studený spoj medzi vrstvami – neúplné alebo nedokonalé spojenie zvarového kovu medzi jednotlivými vrstvami alebo zvarovými húsenicami.



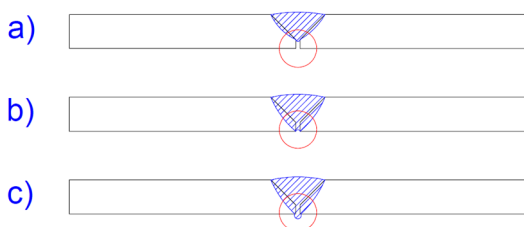
Obr. 9 – Chyby povrchu zvaru

Medzi chyby koreňa zvaru patrí:

Neprevarený koreň (obr. 10a) – neúplné prevarenie koreňa zvaru.

Prehĺbený koreň (obr. 10b) – nízky alebo zatahnutý koreň zvaru pod úroveň základného materiálu.

Pretečenie koreňa (obr. 10c) – pretečenie zvarového kovu v koreni a vytvorenie kvapla.



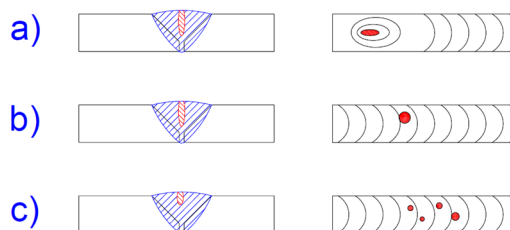
Obr. 10 – Chyby koreňa zvaru

Poruchy vo forme plynových dutín:

Bublíny – guľovité dutiny naplnené plynom, ktoré môžu vystupovať na povrch.

Póry (obr. 11a, b) – pretiahnuté dutiny naplnené plynom, ktoré môžu vystupovať na povrch.

Zhluky pórov (obr. 11c) – póry nahromadené na jednom mieste.



Obr. 11 – Plynové dutiny

Poruchy vo forme vtrúsenín a pridaných materiálov:

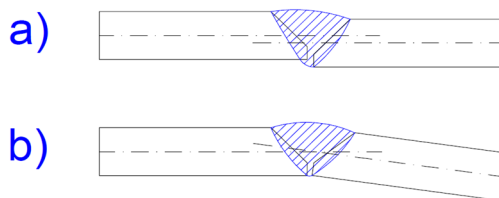
Troskové vtrúseniny – troska zavarená v zvarovom kove.

Kovové vtrúseniny – častice kovu zavarené v zvarovom kove najčastejšie časti elektródy.

Geometrické chyby:

Rovinné presadenie materiálu (obr. 12a) – strany spoja netvoria rovinu.

Uhlové presadenie materiálu (obr. 12b) – strany spoja netvoria rovinu



Obr. 12 – Geometrické chyby



Obr. 13 – Chýbajúci zvar

Ostatné chyby:

Chýbajúci zvar (obr. 13) – nedokončený alebo vynechaný zvarový spoj.

Dotyk elektródou – poškodenie základného materiálu dotykem elektródou.

Rozstrek – poškodenie základného materiálu rozstrekem zvarového kovu.

Mechanické poškodenie – poškodenie základného materiálu brúskou, sekáčom a pod..

## MERADLÁ A MIERKY NA MERANIE ZVAROV A ICH VÁD

Na meranie zvarových spojov je potrebné použiť presné meradlá. Pre stanovenie dĺžky a šírky zvarového spoja, ale aj na meranie priemerov pórov a iných poškodení sa používa posuvné meradlo. Pre meranie výšky zvarových spojov sa používajú špeciálne na to určené meradlá.

Pre meranie tupých zvarov, ich výšky nadvýšenia resp. prehĺbenia sa môže použiť mierka s nóniom (obr. 14). Táto mierka sa dá použiť aj na meranie rozovretia zvarových plôch a na meranie kútových zvarov v obmedzenom rozsahu. Stupnice sú ciachované s presnosťou 0,1 mm.



Obr. 14 – Mierka s nóniom



Obr. 15 – Mierka INOX

Na kútové zvary sa ako vhodná javí mierka INOX (obr. 15). Mierka na troch stupniciach určuje buď priamo hodnotu výšky zvaru „a“ (meranú v strede zvaru) alebo sa dá merať výška zvaru „z“ a na jej základe je na vedľajšej stupnici prepočítaná výška zvaru „a“. Stupnice sú ciachované s presnosťou 0,2 mm. Mierka sa využíva pri kútových zvaroch aj na zmeranie geometrie zvaru.

Na meranie výšky zvarov (výška „z“ u kútových zvaroch), prehĺbenia, nadvýšenia zvaru, ale hlavne na meranie hĺbky zápalu, neprievaru, studeného spoja sa používa mierka V-WAC (obr. 16). Jej ostrý hrot vnikne aj do malých otvorov a zmeria ich hĺbku. Na mierke sa nachádzajú aj kruhové otvory na meranie priemerov pórov. Taktiež sa dá použiť na zmeranie rovinného presadenia spájaného materiálu. Stupnice sú ciachované s presnosťou 0,25 mm.

Na meranie zvarov sa samozrejme dá použiť ešte množstvo ďalších mierok, ktoré sú určené pre daný typ poruchy a na jej presnejšie zmeranie.



Obr. 16 – Mierka V-WAC

## VYHODNOTENIE A DOKUMENTÁCIA PORÚCH

Po zistení a zmeraní vady je potrebné ju zaradiť do protokolu o skúške, kde sa na základe normy STN EN ISO 5817 určí, aká je miera prípustnosti (najväčší dovolený rozmer poruchy) pre daný typ poruchy pre zadaný stupeň akosti. V norme sú uvedené štyri stupne akosti A, B, C a D, kde A je najprísnejší. V prípade, že niektorá chyba nesplní požadovaný stupeň akosti, je potrebné zvar opraviť a znovu prekontrolovať. V protokole o skúške sa používa značenie porúch podľa normy STN EN ISO 6521-1. Uvádza sa aj

rozmer danej poruchy, aby bolo možné zatriedenie do stupňa akosti. Vytvára sa aj nákres porúch a ich lokalizácia pre lepšie zameranie v prípade opravy. Toto značenie sa spravidla realizuje aj na konštrukcii.

TOMÁŠ KLAS  
JÁN BRODNIANSKY

---

#### Literatúra a použité zdroje:

- [1] STN EN ISO 9712: 2022 (01 5000), Nedeštruktívne skúšanie. Kvalifikácia a certifikácia pracovníkov nedeštruktívneho skúšania (ISO 9712: 2021).
- [2] STN EN 13018: 2017 (01 5065), Nedeštruktívne skúšanie. Vizuálna kontrola. Všeobecné zásady.
- [3] STN EN ISO 17635 (051170) Nedeštruktívne skúšanie zvarov. Všeobecné pravidlá pre kovové materiály (ISO 17635: 2016).
- [4] STN EN ISO 5817 (050110) Zváranie. Zvarové spoje ocelí, niklu, titánu a ich zliatin zhotovené tavným zváraním (okrem lúčového zvárania). Stupne kvality (ISO 5817: 2023).
- [5] STN EN ISO 6520-1 (050005) Zváranie a príbuzné procesy. Zatriedenie chýb zvarových spojov kovových materiálov. Časť 1: Tavné zváranie (ISO 6520-1: 2007).

---

*Ing. Tomáš Klas, PhD. (\*1979)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

*Ing. Ján Brodniansky, PhD. (\*1987)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií SvF STU v Bratislave.*

# Posúdenie technického stavu železobetónovej prefabrikovanej zákrytovej dosky

Diagnostická prehliadka a posúdenie technického zákrytovej dosky bolo vypracované vzhľadom na vyskytujúce sa poruchy (trhliny) a vykonanú nedávnu realizáciu samotnej kanalizačnej čerpacej stanice. Technický stav kontrolovaných konštrukcií a typy nájdených porúch boli v rámci vykonanej diagnostической prehliadky posudzované z pohľadu kritérií ako celistvosť a tvarová kompaktnosť (poškodenia, trhliny, deformácie, imperfekcie a pod.), kompletnosť a úplnosť (chýbajúce súčasti konštrukcie a chýbajúce spájacie prostriedky) a technický stav povrchovej úpravy (korózia, náterový systém a pod.).

## POPIS KONŠTRUKCIE

Na základe dostupných podkladov a vykonanej obhliadky je možné predpokladať, že zákrytová doska je realizovaná ako prefabrikovaná železobetónová doska kruhového tvaru s vonkajším priemerom 3600mm a hrúbkou 250mm. Po obvode je podopretá obvodovými stenami kanalizačnej čerpacej stanice, ktoré sú realizované prefabrikovanými železobetónovými skružami. Zákrytová doska je na hornú hranu skruží voľne uložená, bez dodatočného mechanického kotvenia (iba gravitačne). Horná hrana zákrytovej dosky je cca v úrovni okolitého upraveného terénu. V zákrytovej doske sa nachádzajú 4ks revízných 4hrannýchpravouhlých otvorov s rozmermi 1000x1100mm (2ks), 600x800mm (1ks) a 600x600mm (1ks). Poklopy otvorov sú realizované ako plechové nerezové, osadené na železobetónovej konštrukcii bo jej betonáži.

V dobe obhliadky bol horný povrch a okraje dosky opatrené (pravdepodobne) cementovým ochranným náterom s hrúbkou 0,5-2,0mm. Na viacerých miestach bol náter porušený a vykazoval nedostatočnú súdržnosť s povrchom betónu. Spodný povrch dosky je vyhotovený bez náteru, pri obhliadke bol hladký a kompaktný, ale mierne znečistený prevádzkou kanalizačnej stanice.

Zákrytová doska by podľa pôvodnej PD mala byť vyhotovená z betónu STN EN 206-1-C30/37-

XC4, XF4(SK)-Cl 0,4-Dmax 16-S3. Na vystuženie bola navrhnutá betonárska oceľ 10 505(R) a krytie výstuže 30mm. Výstuž v doske bola navrhnutá ako obojsmerná pravouhlá, cca symetrická pre oba povrchy betónu,  $d_{10}/a=100\text{mm}$ . V okolí otvorov bola výstuž zahustená.



Obr. 1 – Pohľad na konštrukciu počas stavebných prác

## OBHLIADKA A MERANIE KONŠTRUKCIE

Kanalizačná čerpacia stanica bola v čase diagnostической prehliadky prevádzkovaná. V rámci vykonanej diagnostической prehliadky konštrukcie bola vykonaná vizuálna kontrola súčasného technického stavu železobetónovej zákrytovej dosky na jej obidvoch povrchoch. Obhliadka spodného okraja bola vykonaná z vnútorného priestoru ka-

nalizačnej stanice prostredníctvom závesu a bezpečnostného postroja. Do vnútra čerpacej stanice sa za týmto účelom vstupovalo 2 revíznymi otvormi v zákrytovej doske. Obhliadka horného povrchu bola vykonaná z príľahlého terénu. Na zákrytovej doske sa okrem vizuálnej kontroly vykonali na vybraných miestach viaceré merania (meranie geometrických rozmerov konštrukcie, meranie tvrdosti betónu, meranie šírky trhlín, skenovanie polohy výstuže).



Obr. 2 – Poloha trhlín



Obr. 3 – Doska v čase obhliadky

### NÁJDENÉ NEDOSTATKY

K nosnej konštrukcii zákrytovej dosky v súčasnej dobe neexistujú u objednávateľa podklady, ktoré by mali charakter kompletnej technickej dokumentácie. Na základe vykonanej obhliadky a poskytnutých podkladov je možné konštatovať, že konštrukcia je zrealizovaná s viacerými odchýlkami oproti poskytnutej projektovej dokumentácii. Hrúbka dosky určená meraním je 250mm, v poskytnutých podkladoch bolo navrhnuté 200mm.

Manipulačné háky sú realizované ako závesné oká z betonárskej výstuže, v poskytnutých podkladoch boli navrhnuté systémové prepravné úchyty s guľovou hlavou (a príslušnou doplnkovou konštrukčnou výstužou). Krytie výstuže pri hornom povrchu betónu určené skenovaním je cca. 100mm, poskytnutých podkladoch bolo navrhnuté 30mm.

Na hornom povrchu dosky boli na viacerých miestach identifikované poruchy prejavujúce sa nedostatočnou kompaktnosťou a celistvosťou povrchu betónu. Jednalo sa najmä o trhliny v rohoch otvorov so šírkou cca 0,5 – 5,0mm. Viaceré z trhlín boli v minulosti neodborne opravované. Vo vzťahu k limitným hodnotám šírky trhlín na základe príslušných technických noriem jestvujúce trhliny nespĺňajú požadované kritériá (max. 0,3mm). Z uvedeného je možné jednoznačne konštatovať, že konštrukcia nespĺňa platné požiadavky, ktoré musia byť splnené ako pre nové konštrukcie, tak aj pre staršie konštrukcie počas celej predpokladanej prevádzkovej životnosti.



Obr. 5 – Meranie šírky trhlín

Z vykonaných meraní na povrchu betónu je možné predpokladať, že minimálna pevnosť betónu s nezaručenou presnosťou dosahuje hodnotu  $f_{be}$  = cca 50MPa, pričom projektovaná pevnosť trieda betónu uvedená v pôvodnej výkresovej dokumentácii je C30/37 (kocková pevnosť betónu 37MPa). Skenovaním polohy výstuže bolo zistené pravdepodobne nadmerné krytie výstuže, namerané hodnoty sa pohybovali cca 90-120mm, pričom v pôvodnej výkresovej dokumentácii je uvedené krytie 30mm.

## PRAVDEPODOBNÉ PRÍČINY PORÚCH

Nevhodná poloha výstuže pri hornom povrchu betónu, t.j. príliš veľké krytie. Výstuž nie je dostatočne staticky efektívna na prenos namáhania spôsobeného objemovými zmenami a/alebo statickým zaťažením.

Nedostatočné vystuženie betónu (skutočné vystuženie nie je známe a nebola poskytnutá ani príslušná výrobná dokumentácia prefabrikátu).

V prípade, že by reálne zodpovedalo rozmiestnenie hornej výstuže hodnotám určeným skenovaním na hornom povrchu (riedko a nesystémovo), toto nespĺňa požiadavky na vzdialenosti nosnej výstuže v železobetónových konštrukciách.

Nedostatočné ošetrovanie povrchu betónu pri výrobe a vznik trhlin jeho nadmerným vysychaním a/alebo zmrašťovaním, pričom nameraná pevnosť betónu bola mierne vyššia ako predpokladá príslušná pevnostná trieda v pôvodnej PD. Betóny s vyššou pevnosťou sú teoreticky náchylnejšie na vytváranie hydratačného tepla pri tvrdnutí a zretí a teda sú náchylnejšie na vznik trhlin spôsobeným vysychaním a/alebo zmrašťovaním.

Nevhodná manipulácia a/alebo skladovanie prefabrikátu spôsobujúce statické namáhanie prvku mimo predpokladaných zaťažovacích účinkov. Podľa archívu stavebných prác u objednávateľa bola doska počas spúšťania prefabrikovaných skruží (steny kanalizačnej stanice) zaťažovaná cestnými panelmi. Aj keď takéto namáhanie dosky nie je pravdepodobnou príčinou vzniku trhlin, zákrytová doska na účel nebola navrhovaná ani dimenzovaná.

## ZHODNOTENIE TECHNICKÉHO STAVU

Kontrolný statický výpočet pre jestvujúcu konštrukciu nebol vykonaný, pretože doska bola vyhotovená s odchýlkami oproti pôvodnej PD a aktualizovanú výrobnú dokumentáciu zákrytovej dosky zhotoviteľ/dodávateľ (prefabrikátu) neposkytol.

Vzhľadom na nájdené nedostatky (formálne aj technické) je možné konštatovať, že nie je možné dostatočne vyčerpávajúco hodnotiť statickú spoľahlivosť zákrytovej dosky, pretože táto bola vyhotovená u dodávateľa a na stavenisko dovezená. K prefabrikovanému výrobku neboli v zmysle STN

EN 13369 zhotoviteľom/dodávateľom (prefabrikátu) dodané príslušné technické podklady, resp. technická dokumentácia. Najzávažnejšia je najmä absencia výrobnéj dokumentácie, ktorej obsahom sú výrobné výkresy s podrobnosťami o betónových prefabrikátoch a podrobnosti o výrobe s požadovanými vlastnosťami materiálov.

Vzhľadom na jestvujúce poruchy je možné konštatovať, že tieto významne ovplyvňujú trvanlivosť, spoľahlivosť a prevádzkovú životnosť zákrytovej dosky. Preto sa objednávateľovi odporúčalo doplniť príslušné technické podklady (prefabrikátu) a na základe relevantného statického posudku zhodnotiť spoľahlivosť zákrytovej dosky a podľa výsledkov navrhnúť prípadné sanačné opatrenia (sanáciu jestvujúcich trhlin, prípadne zosilnenie).

MILOŠ SLIVANSKÝ  
ÁDÁM VARGA

## Literatúra a použité zdroje:

- [1] Posúdenie technického stavu zákrytovej dosky kanalizačnej čerpacej stanice, BVK-PRO, s.r.o, 2023

*Ing. Miloš Slivanský, PhD. (\*1980)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Pôsobí na Katedre kovových a drevených konštrukcií. Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*

*Ing. Ádám Varga (\*1990)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb. Konateľ a spolumajiteľ spoločnosti BVK-PRO, s.r.o. so sídlom v Šamoríne.*

# Návrh a realizácia lávky pre peších a cyklistov medzi obcami Brodno a Vranie

In 2018 Ingsteel, spol. s r.o. had designed and constructed bridge for pedestrians and cyclists which is spanning over Kysuca river between Brodno and Vranie. This footbridge was proposed as arch bridge with steel element deck and span of 75,0 m. Height of the arches over the deck is 7,50 m. Clear width between handrails is 2.750 m. As a decking a fiberglass composite grating with full cover and anti-slip coating were proposed.

## ÚVOD

Medzi obcami Brodno a Vranie existovalo spojenie v podobe visutej lávky pre peších. Táto lávka bola postavená v 60-tych rokoch. Podobne ako viaceré lávky z tohto obdobia, tak aj táto bola bez výstužného nosníka a tým pádom veľmi mäkká. Pri bežnej chôdzi sa celá lávka rozkmitala a pohyb po nej bol veľmi nepríjemný. Kvôli zanedbanej údržbe bolo taktiež viditeľné poškodenie mostovky, ktoré taktiež neprispievalo k pocitu bezpečnosti chodcov (obr. 1 a 2). Z týchto príčin sa obstarávateľ, Mesto Žilina, rozhodol nahradiť existujúcu konštrukciu úplne novou.



Obr. 1 – Stav pôvodnej konštrukcie



Obr. 2 – Stav pôvodnej konštrukcie

## PODKLADY A PŔVODNÝ NÁVRH

Firma Ingsteel bola oslovená firmou Eurovia na spoluprácu v súťaži na realizáciu lávky, ktorú vypísalo mesto Žilina. Podmienkou bolo, že návrh ktorý bol súčasťou zadania, bude nutné prepracovať s dôvodu skrátenia doby výstavby a celkového zníženia nákladov. Na základe nášho zjednodušeného návrhu firma Eurovia súťaž nakoniec vyhrala. Náš návrh plne rešpektoval hlavné charakteristiky a celkový výzor objektu.

Pôvodný návrh vypracovala firma ISprim spol. s r.o. V ich návrhu bola lávka kolmá, tvorená jednou mostnou oblúkovou konštrukciou o jednom poli rozpätia 75,0 m. Konštrukcia oblúkov je oceľová z ocele S355NL s predpätou betónovou mostovkou z betónu D35/45-XF2. Komunikácia je na moste vedená v priamom smere vo vrcholovom zakružovacom oblúku s polomerom  $R = 519,312$  m. Zaťaženie mosta je stanovené podľa



STN EN 1990 a STN EN 1991. Osová vzdialenosť oblúkov je 3,02 m. Dĺžka premostenia je 73,805 m, celková dĺžka mosta je 76,5 m. Vzopätie oblúka je 7,5 m. Šírka priechodzieho profilu je 2,50 m, celková šírka mosta vrátane konštrukcie oblúkov je 3,53 m. Najmenšia výška nad normálnou hladinou rieky je cca 6,39 m. Spodná stavba mosta je vo forme mohutných základových blokov zo železobetónu. Základový blok je založený na 8 mikropilótach  $\varnothing$  133 mm, dĺžky 7,8 m.

Novo navrhnutá konštrukcia lávky rešpektuje niveletu, rozpätie a celkový tvar pôvodného návrhu. Konštrukcia mosta je oceľová s oceľovou prvkovou mostovkou. Vozovka je tvorená kompozitovými panelmi. Prierez oblúkov a spodného pásu sa zmenil z otvoreného U prierezu na uzavretý štvorcový prierez. Osová vzdialenosť oblúkov je 3 400 mm, svetlá šírka medzi zábradliami je 2 790 mm a celková šírka lávky vrátane konštrukcie oblúkov je 3 700 mm. Dĺžka premostenia je 73,805 m, celková dĺžka mosta je 76,580 m. Spodná stavba má rovnaký tvar ako v pôvodnom návrhu, len šírka opôr sa zmenila na 4 800 mm.

Založenie konštrukcie je realizované na plošných základoch. Pri návrhu síce bolo uvažované s redukciou zaťaženia od chodcov, ale lávka je plne schopná prenášať normové zaťaženia podľa STN EN 1991-2 zaťažovací model LM4. Rozdiely medzi pôvodným a novým návrhom sú zhrnuté v tabuľke 1.

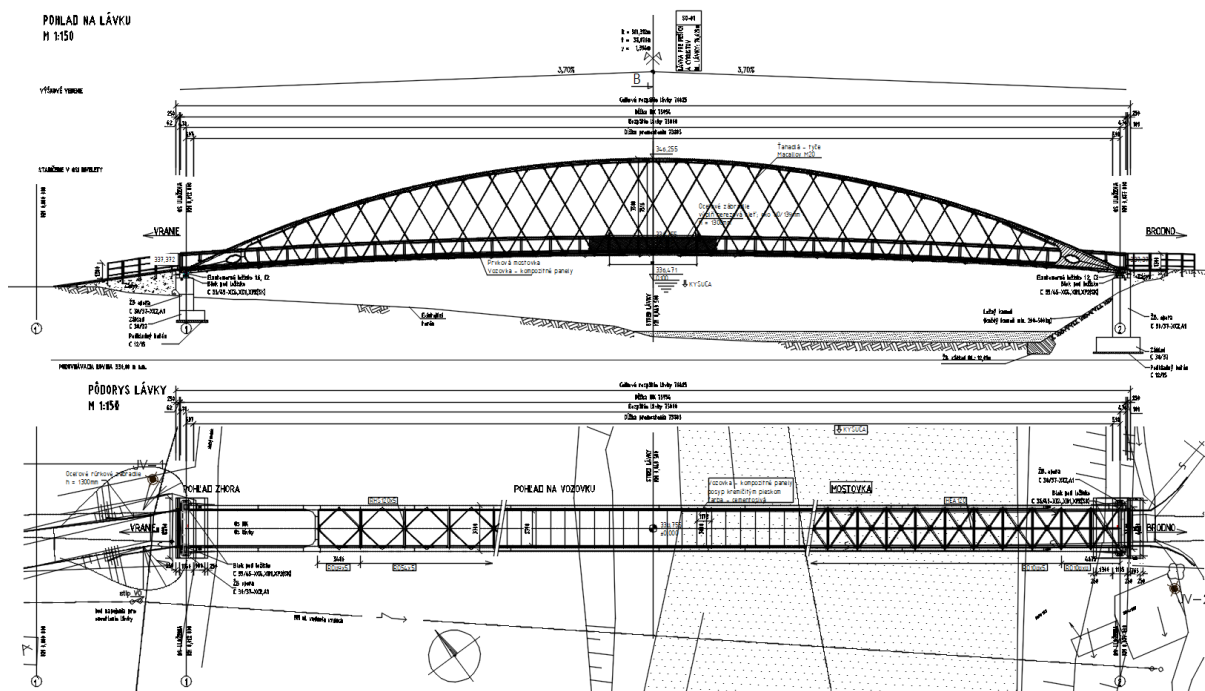
#### OPIS KONŠTRUKCIE HORNEJ STAVBY MOSTA

Oceľová konštrukcia mostného objektu hornej stavby pozostáva z jedného poľa, ktoré vytvára jeden dilatačný celok. Teoretické rozpätie lávky je 75,0 m, celková dĺžka premostenia je 76,580 m (obr. 3). Voľná šírka na moste je konštantná 2,790 m. Prejazdová šírka je rovná voľnej šírke.

Konštrukcia mosta je oceľová, zváraná so zváranými montážnymi stykmi. Mostovka je prvková. Vozovka je tvorená kompozitnými panelmi a v priečnom smere má nulový sklon. Protišmykové vlastnosti sú zabezpečené pomocou kremičitého piesku, ktorý je zakomponovaný do povrchu panelov pri ich výrobe.

Tab. 1 – Rozdiely medzi pôvodným a novým návrhom

Prvok	Pôvodný návrh	Nový návrh
celková šírka mosta vrátane konštrukcie oblúkov	3,53 m	3,70 m
nosné oceľové oblúky	horný pás zváraný U prierez 300x250 mm, spodný pás oblúka – zváraný U prierez 200x230 mm	Horný pás zváraný uzavretý prierez 300x262 mm; spodný pás zváraný uzavretý prierez 300x262 mm
priečne stuženie oblúkov	rámové stuženie v tvare X z profilu –štvorcová rúra SHS10*100	Priehradové stuženie s koncovými portálmi – rombická sústava; diagonály kruhové rúry, priečky štvorcové rúry SHS120x5
mostovka	železobetónová predpätá doska s priečnymi rebrami a pozdĺžnymi trámami na okrajoch, spriahnutá s dolným oblúkovým pásom	Prvková mostovka; priečniky a pozdĺžniky HEA 120; stuženie mostovky pomocou kruhových rúr (odstupňované prierezy); podlaha z kompozitných roštov s plným zakrytím; protišmykové vlastnosti zabezpečené popieskovaním kremičitým pieskom
spojenie oblúkov a mostovky	horného a dolného pásu oblúkov: tiahla priemeru $\varnothing$ 24 mm s rektifikačnou maticou	Vysokopevnostné ťahadlá priemeru M20 mm s čapovými koncovkami na oboch koncoch a napínaním na každom ťahadle
zakladanie spodnej stavby	8 mikropilót $\varnothing$ 133 mm, dĺžky 7,8 m	Plošný základ
Bezpečnostné zariadenia lávky	Oceľové zábradlie výšky 1,3 m, výplň – sieťová - ťahokov	Oceľové zábradlie výšky 1,3 m, výplň – nerezová sieť (čierna)



Obr. 3 – Schéma nosnej konštrukcie

## HLAVNÉ NOSNÉ PRVKY

Ide o jednopólový nepravý oblúkový most s dolnou mostovkou s teoretickým rozpätím 75,0 m. Dolný pás aj oblúky sú tvorené uzavretými zváranými prierezmi približne štvorcového tvaru. Mostovka je prvková.

Dolný pás je zakrivený vo vrcholovom oblúku s polomerom zakrivenia 519,173 m. Vrchol nivelety mostovky je na kóte + 338,755 m B.p.v, v osi uloženia na oporách je to +337,399 m B.p.v. a v mieste dilatácie je + 337,372 m B.p.v.

Mostovka mosta je prvková, má po celej dĺžke rovnakú nosnú kostru, ktorá je zložená z týchto prvkov:

- nadpodperové koncové priečniky,
- priečniky v mieste kotvenia závesov M20,
- medziáhle priečniky v oblasti zosilneného spojenia oblúkov s dolným pásom,
- pozdĺžniky,
- mostovkové stužidlá.

Nadpodperové priečniky v miestach opôr 1 a 2 majú uzavretý prierez s nerovnakou výškou stien a šikmo uloženou hornou pánsnicou, ktorá kopíruje pozdĺžny sklon nivelety. Steny majú hrúbku 10mm, dolná pánsnica je z plechu P16x170 a horná z P16x250.

Všetky ostatné priečniky sú navrhnuté z valcovaného prierezu HEA120. Rovnakého prierezu sú

stredové pozdĺžniky. Na okrajoch sú k dolným pásom uchytené krajné pozdĺžniky slúžiace na uloženie vozovkových panelov. Tieto majú prierez L80x80x6. Vzájomná osová vzdialenosť priečnikov je 2 346 mm. Priečniky sa privárajú k pásom bez styčnickových plechov.

Mostovkové stužidlá sú z rúr kruhového prierezu  $\varnothing 108 \times 8$ ,  $\varnothing 108 \times 5$ ,  $\varnothing 82,5 \times 5$ . K pásom, priečnikom a pozdĺžnikom sú pripájané cez styčnickové plechy P10 pomocou kútových zvarov.

Dolný pás a oblúky sú uzavretého prierezu s výškou 262 mm. Hrúbka pánsnic je 16 mm a hrúbka stien je 15 mm. Steny oblúkov aj pásov sú tvarované tak, že zároveň slúžia ako čapové dosky ťahadiel. Pánsnice sú široké 300, resp. 240 mm. Oblúky sú s dolným pásom tuho spojené pomocou plnostenného nábehu – „rámového rohu“. Tento nábeh je vyľahčený veľkým eliptickým otvorom.

Stuženie oblúkov je navrhnuté ako rombická priehradová sústava s tuhými koncovými portálovými priečkami. Priečky stužidla majú prierez SHS 120x5, diagonály sú z kruhových rúr  $\varnothing 89 \times 5$  a  $\varnothing 54 \times 5$ . Koncové priečle sú uzavreté zvárané prierezy s nábehmi. Steny priečlí sú 2x P15x230, pánsnice P16x300 a P16x240. Priečle a priečky sú na oblúky priamo privárané, diagonály sa k oblúkom a priečkam pripájajú cez styčnickové plechy P10.

Šikmé ťahadlá sú z kruhových tyčí Macalloy M20 z ocele S460. Závesy v pohľade na lávku vytvárajú stenu s viacnásobným krížením. K fyzickému kríženiu prútov nedochádza, pretože sú kotvené do vonkajšej a vnútornej steny oblúkov / pásov. Na lávke je celkovo 108 ks závesov. Všetky ťahadlá sú rektifikovateľné pomocou napinákov, ktoré sú situované 800 mm od konca ťahadla.

### PRÍSLUŠENSTVO MOSTA

Vozovka je navrhnutá z kompozitových roštov s plným zakrytím. Farba roštov je sivá. K nosnej OK sa uchytávajú pomocou zafrézovaných nerezových tanierikov a nerezových skrutiek M8. Rozmer jedného roštu je 3 000 x 1 168 mm. Nad priečnikmi je medzera medzi roštami zatmelená, spoj voľných koncov medzi priečnikmi je pomocou hliníkových T profilov. Protišmykové vlastnosti sú zabezpečené pri výrobe roštov zapracovaním kremičitého piesku do povrchovej vrstvy roštov.

Ložiská sú navrhnuté ako elastomerné. Na opore 1 (Vranie) je ložisko pevné a všesmerné, na opore 2 (Brodno) je jednosmerné a všesmerné.

Na koncoch lávky sú dilatačné špáry prekryté nerezovou doskou hrúbky 10 mm, ktorá sa kľže po nerezovom plechu ukotvenému k závernému múriku opory. Takto navrhnuté prekrytie umožňuje dilatačný pohyb dilatačných úsekov  $\pm 45$  mm a  $\pm 80$  mm.

Na oboch stranách lávky budú po celej dĺžke premostenia umiestnené zábradlia s výškou 1 300 mm. Stĺpiky zábradlia sú zalomené vyrobené z dvojíc plechu P12. Ich vzájomná osová vzdialenosť je 2 347 mm. Stĺpiky budú na horné pásy zmontovanej oceľovej konštrukcie skrutkované. Plechy stĺpikov sú v dvoch úrovniach vzájomne prepojené pomocou tyčí  $\varnothing 30$  mm. Dielce budú pozostávať z troch polí, takže celková dĺžka dielca bude 6 986 mm. Madlo z rúrky  $\varnothing 82,5 \times 4$  bude medzi dielcami nespojité, jednotlivé konce musia byť uzavreté. Dolné pozdĺžna rúra zábradlia je z rúrky  $\varnothing 82,5 \times 4$ . Výplň zábradlia je z nerezovej siete. Sieť je spojená po celej dĺžke lávky a je natiahnutá na rúrku pod madlom  $\varnothing 38 \times 4$  a na nerezové lanko, ktoré je vedené nad dolnou rúrou zábradlia. Zábradlie na koncoch lávky bude ukončené.

### MONTÁŽ KONŠTRUKCIE

Celá realizácia prebiehala v zimnom období. Prípravné práce začali v októbri 2018 terénnymi úpravami a prípravou montážnej plochy. V polovici novembra už bola odstránená stará lávka a začalo sa budovaním koncových opôr a montážnych podpier zo systému PIŽMO. S montážou oceľovej konštrukcie hornej stavby sa začalo 7.1.2019.

Spodný pás bol rozdelený na 4 montážne dielce. Súčasťou koncových dielcov boli aj zárodky oblúkov. Dielce oblúkov boli taktiež 4. V priečnom smere konštrukcia nebola delená. Takýto spôsob



Obr. 3 – Montáž hlavnej nosnej konštrukcie

delenia bol zvolený z dôvodu zníženia počtu montážnych stykov a tým pádom aj zníženie počtu montážnych podpier. Najprv boli zostavené a vzájomne zvarené diely dolného pásu. Následne boli montážne podpory nadstavené a upravené tak, aby mohli podopierať diely oblúka (obr. 3). Hlavná nosná OK bola dokončená do troch týždňov od začiatku prác. Následne sa pristúpilo k montáži ťahadiel. Najprv sa nainštalovali závesy na voľné pozície a až následne došlo k odstráneniu montážnych podpier oblúkov a doplneniu zvyšných závesov. PO skompletovaní nosnej konštrukcie bola lávka spustená na ložiská, ktoré boli po priskrutkovaní ku konštrukcii aktivované.

Po ukončení prác na hlavnej konštrukcii boli nainštalované rošty vozovky, ocelové dielce zábradlí, na ktoré boli natiiahnuté nerezové siete a nakoniec sa nainštalovali prekrytia dilatácii.

Po ukončení stavebných prác prebehlo kolaudačné konanie s hlavnou prehliadkou mosta a potom bola lávka verejnosti do plného užívania odovzdaná po slávnostnom otvorení 15.5.2019.

JÁN PALKOVIČ  
MICHAL BOTLÓ  
MARCEL VANKO

---

#### Literatúra a použité zdroje:

- [1] Vanko, M.: SO 01 – Lávka pre peších a cyklistov – „Brodno – Vranie“. ZSpD – oceľová konštrukcia mosta. Ingsteel, spol. s r.o. Bratislava, 2019

---

*Ing. Ján Palkovič (\*1955)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*

*Ing. Michal Botló, PhD. (\*1989)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*

*Ing. Marcel Vanko (\*1981)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave.  
Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb a pre konštrukcie inžinierskych stavieb.*

# Diagnostická prehliadka a návrh sanačných opatrení veže Kostola Nepoškvrneného počatia Panny Márie v Starom Smokovci

Kostol, ako jedna z najkrajších a najstarších stavieb vo Vysokých Tatrách, vykazuje menšie aj väčšie poškodenia, ktoré súvisia so samotným konštrukčným systémom, s náročnými podmienkami horského prostredia a tiež s minimálnou údržbou konštrukcie.

Diagnostika konštrukcie veže kostola preukázala naliehavú potrebu sanácie poškodených častí konštrukcie. Diagnostická prehliadka a návrh sanačných opatrení bol objednaný vlastníkom kostola na základe zistených poškodení predbežnou vizuálnou metódou.

## ZÁKLADNÉ ÚDAJE O STAVBE

Jedná sa o stavbu postavenú vo vysokohorском alpskom štýle, ktorého charakteristickým znakom je hrázené murivo (drevená kostra, ktorej jednotlivé polia sú vyplnené tehelným murivom). Postavená bola v roku 1888 (architekt Gedeon Majunke). Architektúra je komponovaná v neogotickom štýle. Strecha tvorí zároveň klenbu kostola. Kostol patrí k najkrajším stavbám vo Vysokých Tatrách.

Od objektu nebola žiadna grafická dokumentácia. Pre potreby opravy, rekonštrukcie a sanácie bola v r. 2018 spracovaná prípravná dokumentácia – statický posudok a zameranie stavby. Dĺžka vnútorného priestoru hlavnej lode je cca 16,1m a jej šírka je cca 7,9m. Do celkovej dĺžky stavby treba pripočítať vežu svetlých pôdorysných rozmerov cca 2,95x2,95m, cez ktorú je situovaný hlavný vstup a sakristiu za presbytériom, ktorá má v smere dĺžky kostola svetlý rozmer 2,1m. Kostol má v severnej časti pred polygonálnym (3-bokým) oltárnym záverom na severnej strane transept, dotvárajúci pôdorys kostola do tvaru latinského kríža, na bočných fasádach (východnej a západnej) vystupujúcim vo forme rizalitov (rozšírený je na obidve strany o bočné priestory cca 2,2m široké, ktoré majú svetlý rozmer cca 3,6m). Výška hrebeňa sedlovej strechy je 11,9m nad podlahou kostola a výška veže je 21,7m. Podrobnejšie pozri

výkresovú dokumentáciu. Zvislú nosnú konštrukciu objektu tvorí drevená priehradová konštrukcia hrázených stien, ktorá je vyplnená murivom z plných pálených tehál.



Obr. 1 – Pohľad na západnú stenu veže

V r. 1929 bol kostol vážne poškodený bleskom. Problémy nastali s pôvodnou vežou, ktorá sa aj kvôli slabým základom naklonila. V r. 1932 bola veža demontovaná a nad vchodom bol urobený

jednoduchý prístrešok. V r. 1959 kostol rekonštruovali a bola postavená aj nová veža. V r. 1995 bol zvonku znovu reštaurovaný a vymaľovaný. Nepriaznivé klimatické podmienky (hnané dažde a silný vietor) narúšajú hlavne omietky a exteriérovú časť drevenej konštrukcie. Víchrica v r. 2004 výrazne prispela k poškodeniu týchto konštrukcií a preto bola v r. 2008 urobená renovácia aj s výmenou niektorých prehnutých častí hrádzených stien. Urobené boli nové žľaby, vymaľované steny a natretá bola aj drevená konštrukcia.



Obr. 2 – Pohľad na východnú stranu veže

#### DIAGNOSTICKÉ PREHLIADKY

Prvú diagnostickú prehliadku spolu so zameraním hlavných nosných prvkov veže kostola urobil Ing. Kálovec v roku 2019 [1]. Zameraním prierezov drevenej hrádzenej konštrukcie bolo zistené, že bola zhotovená z hranolov nasledovných prierezov: cca 140x190mm – väčšina výplňových prvkov prihradovej konštrukcie, cca 190x190mm – zvislé priebežné stojky v kostole, zvnútra prekryté omietkou a cca 210x210mm – rohové stĺpy zložené spravidla z troch profilov.

Pri obhliadke stavby (vizuálne hodnotenie stavu) boli na nosných konštrukciách zistené viaceré poruchy a vady. Tieto sú uvedené nižšie v texte.

Založenie stavby ani základové pomery neboli známe. Na hornej stavbe, okrem veže, neboli zistené také poruchy, ktoré by signalizovali vady v základoch, alebo nepriaznivé inžiniersko-geologické pomery. Nadzákladové soklové murivo z kamenného muriva, ktoré je obložené travertínovými doskami je tu v relatívne dobrom stave a potrebuje len bežnú údržbu. Preto možno predpokladať, že základové pomery aj založenie stavby pod kostolom sú vyhovujúce.

Vážne poruchy boli zistené na soklovom murive z kamenného muriva a travertínových kvádrov pod vežou a celom vstupnom schodišti z travertínu. Pod juhozápadným rohom veže je viditeľné sadnutie kamenného kvádra o cca 40mm oproti susedným kvádom (resp. murivu obloženému doskami z travertínu). Vplyvom nerovnomerného sadania, alebo podmázania došlo k poruchám na soklovom murive aj schodištvých stupňoch z travertínu. Soklové murivo bolo pravdepodobne dodatočne sanované prepojením travertínového obkladu cez zvislé škáry kovovými skobami.



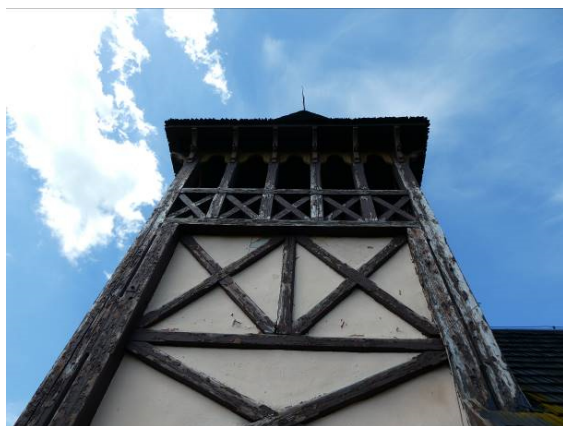
Obr. 3 – Pohľad na južnú stranu veže

Z vonkajšej strany po vizuálnej obhliadke bolo odhadnuté, že hnilobou je poškodených min. 30% prvkov drevenej hrádzenej konštrukcie.

Vizuálne zistiteľné poruchy – trhliny v omietkach hrádzeného muriva boli zistené v značnom rozsahu. Nadväzujú na miesta hnilobou poškodennej drevenej hrádzenej konštrukcie, ale zistené boli aj na miestach, kde hniloba vizuálne zistená nebola. Trhliny sú viditeľné z vonkajšej aj vnútornej strany obvodových stien. V interiéri kopírujú prakticky celú drevenú konštrukciu, ktorá je prekrytá vnútornou omietkou.

Na drevenej sedlovej streche neboli vizuálne zistené poruchy. V úrovni pomúrnic je nosná konštrukcia strechy stužená oceľovými tiahkami (tri priečne orientované tiahla a jedno v pozdĺžnej osi kostola), ktoré zachytávajú vodorovné roztláčacie sily krovu, ktorými tento pôsobí na zvislé nosné steny.

Strešnú krytinu tvoria drevené šindle. Ochrana drevených konštrukcií proti klimatickým vplyvom, hnilobe, plesni, škodcom a.p. nátermi treba obnovovať po 4-5 rokoch. Podarilo sa získať len údaj, že náter strechy bol realizovaný pred cca 2-mi rokmi. Podľa získaných informácií je táto krytina na hranici fyzickej životnosti.

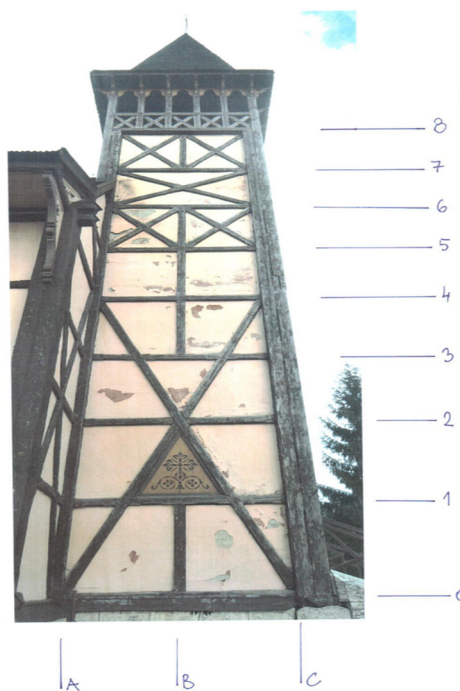


Obr. 4 – Pohľad na hornú časť veže

## VÝSLEDKY DIAGNOSTICKEJ PREHLIADKY

Prieskum stavu drevených prvkov bol vypracovaný na dostupných častiach konštrukcie z terénu a z vysokozdvížnej plošiny. Dosah plošiny bol po výškovú úroveň 6. Lokalizácia miest poškodení bola urobená v zmysle obr. 5, kde sú vyznačené vodorovné úrovne 1 až 8 a zvislé osi A, B a C.

Na drevených prvkoch bola zistená hniloba v rôznom stupni, napadnutie drevokazným hmyzom nebolo zistené. Stupne biotického poškodenia sú rozdelené v škále H1 až H4, výsledky boli spracované podrobne pre všetky tri vonkajšie steny veže (východná, južná a západná). Štvrtá stena veže je spoločná s kostolom a nebola predmetom diagnostiky. Na obr. 6 až 10 sú uvedené typické poškodenia v západnej stene veže.



Obr. 5 – Osi západnej a steny

Druhá diagnostická prehliadka bola urobená v roku 2021 [2]. V rámci diagnostiky konštrukcie bola vykonaná podrobná vizuálna kontrola z pracovnej plošiny a vykonali sa merania vlhkosti na vybraných a dostupných miestach konštrukcie. Diagnostická prehliadka bola zrealizovaná za účelom posúdenia technického stavu jestvujúcej drevenej konštrukcie.

Stupeň a podrobnosť diagnostickej prehliadky možno klasifikovať ako „Diagnostika pred plánovanou rekonštrukciou“.



Obr. 6 – Detail 4A



Obr. 7 – Detail 5C



Obr. 8 – Detail 6B



Obr. 9 – Detail 6C



Obr. 10 – Detail 7B

## NÁVRH OPATRENÍ

Na základe výsledkov oboch prehliadok bol navrhnutý súbor opatrení na zlepšenie stavu nosnej konštrukcie. Rozsah potrebných sanačných prác je značný. Jeden z návrhov sanácie bola kompletná výmena všetkých nosných prvkov, čo by však znamenalo demontáž veže a jej znovupostavenie. Toto riešenie bolo kvôli vysokej cene odmietnuté.

Majiteľ objektu nie je momentálne v stave prefinancovať všetky potrebné práce, a preto bola sanácia rozdelená na niekoľko fáz, pričom v prvej fáze budú v lete 2024 vymenené spodné časti stĺpov južnej steny. Ostatné navrhované sanačné kroky budú realizované v neskoršom období.

Veríme, že aj postupnou sanáciou sa podarí spomaliť rozvoj poškodení tejto krásnej stavby a že postupne bude sanácia konštrukcie podporená nielen zo skromných prostriedkov majiteľa kostola.

JAROSLAV SANDANUS  
ANTON KÁLOVEC

## Literatúra a použité zdroje:

- [1] Oprava a obnova kostola Nepoškvrneného Počatia Panny Márie Starý Smokovec, Statický posudok stavby, autor Anton Kálovec, október 2019, č.p. 09/19
- [2] Diagnostická prehliadka a návrh sanačných opatrení Kostola Nepoškvrneného počatia Panny Márie v Starom Smokovci, StructureSS s r.o., Stupava, 2021, č.zák. 21029

*Prof. Ing. Jaroslav Sandanus, PhD. (\*1965)*

*Absolvent Stavebnej fakulty STU v Bratislave. Pôsobí ako profesor na Katedre kovových a drevených konštrukcií. Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*

*Ing. Anton Kálovec*

*Je autorizovaným inžinierom SKSI pre statiku stavieb.*



# Adaptívna tensegrity bunka v tvare zrezaného ihlana

This paper describes a newly developed adaptive tensegrity module or unit which has the ability to alter its geometry and pre-stress properties. Presented system contains some sensors and actuators or action members. The module consists of twelve pre-stressed cables and four compressed struts which are designed to function as actuators.

## ÚVOD

Tensegrity konštrukcie môžeme charakterizovať ako moderné a progresívne typy priestorových konštrukcií, ktoré pozostávajú iba z ťahaných prvkov (vláken) a tlačných prvkov (rozpier), ktoré ponúkajú zaujímavú a efektívnu alternatívu k mnohým klasickým stavebným konštrukciám, ale využívajú sa napríklad aj v letecko-kozmonautickom výskume [1, 2]. Jednou z výhod tensegrity konštrukcií je aj možnosť ich využitia pri tvorbe sústav s možnosťou aktívnej kontroly (adaptívnych sústav) a skladacích sústav [3 - 6]. Počiatky a zrod tensegrity konštrukcií siahajú do päťdesiatych rokov minulého storočia a sú spojené s oblasťou umenia a architektúry. Následné rozšírenie do ďalších inžinierskych a vedných odvetví (stavebníctvo, letectvo, kozmonautika, robotika, biomechanika a podobne) viedlo k zintenzívnieniu ich rozvoja a výskumu.

Aktívne tensegrity konštrukcie sú podrobené neustálej kontrole a sú vybavené rôznymi typmi senzorov a akčnými prvkami. Sensory zaznamenávajú informácie o vonkajšom zaťažení a o odozve konštrukcie (ide o vnútorné sily a napätia v prvkoch a o pretvorenie sústavy) a akčné prvky umožňujú úpravu geometrie a hlavne predpätia v ťahaných prvkoch. Aktívna kontrola konštrukcie umožňuje splnenie predpísaných podmienok spoľahlivosti pre prvý a hlavne pre druhý medzný stav pri dočasnom náraste zaťaženia.

Vývoj adaptívnych tensegrity konštrukcií je predmetom výskumu od konca minulého storočia. Ich systematické štúdium prebieha aj na Ústave inžinierskeho staviteľstva Stavebnej fakulty

Technickej univerzity v Košiciach, kde bol navrhnutý a testovaný prototyp aktívnej tensegrity jednotky [7, 8] a aktívnej lanovej kupoly [9].

## AKTÍVNA TENSEGRITY BUNKA

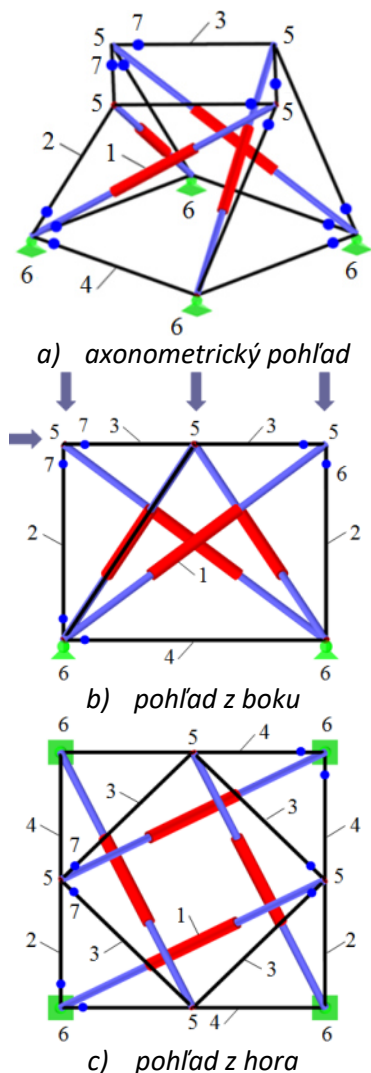
Ďalej popísaný prototyp aktívnej tensegrity bunky (adaptívneho tensegrity modulu) bol vyvinutý na Ústave inžinierskeho staviteľstva Stavebnej fakulty Technickej univerzity v Košiciach a vyrobený v spolupráci s firmou INOVA Praha s.r.o..

## Základná charakteristika bunky

Základný tvar adaptívneho tensegrity modulu je zobrazený na obrázku 1. Ide o tensegrity prizmu skrátene označovanú aj ako S4 T-pyramída, ktorá vzniká transformáciou zo zrezaného ihlana so štvoruholníkovou podstavou, pootočením hornej podstavy oproti dolnej podstave o uhol  $\alpha = \pi/2 - \pi/n = 45 \text{ deg}$ , kde  $n = 4$  je počet tlačných prútov v prizme.

Teoretické rozmery dolnej štvoruholníkovej podstavy sú 2000 x 2000 mm, hornej podstavy 1414 x 1414 mm a teoretická výška modulu je 1500 mm. Bunka je tvorená šestnástimi kĺbovo spojenými prvkami. Ide o dvanásť ťahaných prvkov (cables, C12) a štyri tlačné prvky (struts, S4). Na základe dĺžky a polohy v rámci bunky môžeme ťahané konštrukčné prvky rozdeliť do troch skupín. Ide o štyri prvky na dolnej podstave, štyri prvky na hornej podstave a štyri medziľahlé diagonálne prvky. Všetky tlačné prvky sú navrhnuté ako akčné, respektíve aktívne prvky (active struts, AS4), pomocou ktorých je možné primerane upravovať geometriu a hlavne napätostný stav bunky.

Prezentovaný adaptívny tensegrity modul tak môžeme označiť ako S4-AS4-C12 T-pyramídu.



Obr. 1 – Aktívna tensegrity bunka so štyrmi akčnými prvkami

(1) aktívne prvky, (2) diagonálne laná, (3) laná na hornej podstave, (4) laná na dolnej podstave, (5) uzly hornej podstavy, (6) podpery v uzloch dolnej podstavy, (7) senzory

Na obrázku 2 je zobrazený detailný axonometrický pohľad na model adaptívneho modulu so štyrmi akčnými prvkami.

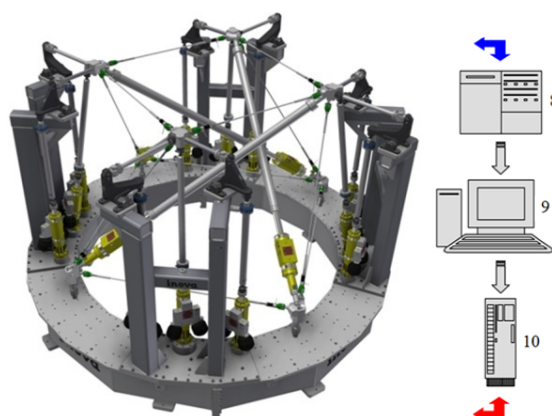
Tlačené prvky sú vytvorené z kruhových rúrok s priemerom  $d = 76$  mm a stenou  $t = 3,5$  mm z ocele pevnostnej triedy S355. Ich teoretická dĺžka je  $L_s = 2693$  mm, prierezová plocha  $A_s = 797,0$  mm<sup>2</sup> a modul pružnosti  $E_s = 210$  GPa. Ťahané vlákna tvoria špirálové pramenné laná otvorenej

konštrukcie 1x19, respektíve 1+6+12 s nominálnym priemerom  $d = 6$  mm. Pevnostná trieda lana zodpovedá nominálnej pevnosti drôtov v ťahu  $R_r = 1570$  MPa. Laná sú vyrobené z nekorozívnej austenitickej ocele 1.4401 so zvýšenou odolnosťou voči korózii. Prierezová plocha kovovej časti prierezu lana  $A_c = 21,49$  mm<sup>2</sup> a modul pružnosti  $E_c = 130$  GPa. Charakteristická hodnota sily pri pretrhnutí lana  $F_{uk} = 26,70$  kN. Konce všetkých lán sú zalisované v kovovej koncovke z austenitickej ocele 1.4404 s rektifikačným závitom.

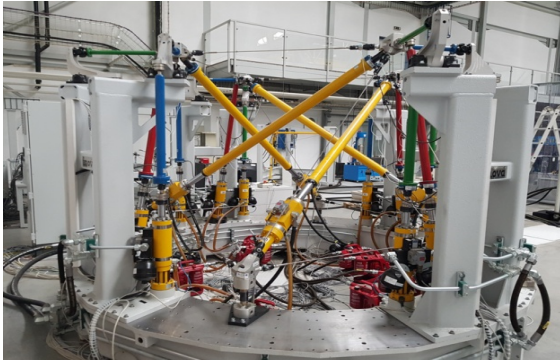


Obr. 2 – Detailný pohľad na model tensegrity bunky so štyrmi akčnými prvkami

Schéma skúšobného zariadenia s adaptívnou tensegrity bunkou a riadiacim hardvérom je zobrazená na obrázku 3 a na obrázku 4 je zobrazený celkový pohľad na experimentálne zariadenie osadené v laboratóriu.



Obr. 3 – Schéma experimentálneho zariadenia s adaptívnym tensegrity modulom (8) riadiaca elektronika, (9) počítačový systém, (10) zariadenie na riadenie pohybu akčných prvkov



Obr. 4 – Celkový pohľad na skúšobné zariadenie osadené v laboratóriu

### Charakteristika akčných prvkov

Súčasťou všetkých štyroch tlačných prvkov sú hydraulické aktivátory umiestnené v ich spodnej časti (sú umiestnené pri uzloch na dolnej podstave modulu). Aktivátory sú tvorené priamočiarym hydromotorom a indukčným snímačom polohy vstavaným v piestnici (obr. 4). Snímače umožňujú zaznamenávať aktuálnu hodnotu tlakovej sily v danom akčnom prvku  $F_{AM}$  spolu so zodpovedajúcou aktuálnou polohou, respektíve aktuálny stav pohybu  $\Delta_{AM}$ . Vonkajšie rozmery hydraulického motora sú približne 95 x 95 x 442 mm, jeho hmotnosť je 16 kg a maximálny zdvih je 100 mm.

Hydromotory sú pripojené k hydraulickému agregátu a na jeho riadenie (buď pomocou sily alebo pomocou pohybu) sú použité servoventily. Keďže olej je takmer nestlačiteľný, riadenie prototypu je veľmi presné. Pri vysunutí piestu dôjde k predĺženiu akčného prvku a k nárastu hladiny ťahových síl v lanových prvkoch a opačne pri zasunutí piestu dôjde k skráteniu akčného prvku a k poklesu hladiny ťahových síl v lanových prvkoch.

### Charakteristické detaily

Jedným zo základných teoretických predpokladov tvorby tensegrity sústav je, že v prvkoch, ktoré ich tvoria, vznikajú iba osovité sily, čo si vyžaduje dokonalé kĺbové spojenie medzi jednotlivými prvkami. Preto bola návrhu a realizácii charakteristických detailov a prípojov venovaná zvýšená pozornosť. Konce lanových prvkov sú zalisované v kovovej koncovke s rektifikačným závitom a ich pripojenie k horným a dolným koncom tlačných prvkov je zrealizované pomocou guľových

čapov s okom. Takýto spôsob pripojenia predstavuje dokonalý kĺb s možnosťou pootáčania vo všetkých smeroch. Špeciálne usporiadanie detailu si vyžadovalo pripojenie ťahaných prvkov so zabudovanými silomermi. Príklad vybraného charakteristického detailu je uvedený na obrázku 5.



Obr. 5 – Vybraný charakteristický detail na hornej podstave modulu

### Uloženie a okrajové podmienky

Tensegrity modul je podopretý vo všetkých štyroch uzloch dolnej podstavy. Použité sú dva typy podpôr, respektíve dva spôsoby uloženia na samonosný rám (obr. 6):

- neposuvne kĺbové uloženie situované v dvoch protíľahlých uzloch - zamedzený je posun v smere osí x, y a z a pootáčanie okolo všetkých osí je voľné,
- posuvné kĺbové uloženie vo zvyšných dvoch uzloch - zamedzený je posun v smere osi z, umožnený je posun v smere osí x a y a pootáčanie okolo všetkých osí je voľné.

Modul má osem zložiek reakcií (štyri v smere osi z, dve v smere osi x a dve v smere osi y) a ide o staticky neurčitú sústavu. Popísaný spôsob podopretia bol zvolený tak, aby umožňoval pretváranie (predĺženie alebo skrátenie) lán tvoriacich dolnú podstavu tensegrity bunky.

### Spôsob zaťažovania prototypu

Vonkajšie zaťaženie môže byť vnášané do všetkých štyroch uzlov hornej podstavy tensegrity modulu a to pomocou dvanástich zaťažovacích prvkov (3 na každý uzol), ktoré sú schopné do každého uzla zaviesť zaťažovací vektor v smere osí x, y a z (modré, zelené a červené prvky na obr. 4 a

obr. 5). Kombináciou týchto smerov je možné definovať rôzne početné symetrické alebo nesymetrické zaťažovacie stavy.



a) neposuvne kĺbové uloženie



b) posuvne kĺbové uloženie

Obr. 6 – Podpery tensegrity modulu

## ZÁVER

Príspevok popisuje prototyp aktívnej tensegrity bunky (adaptívneho tensegrity modulu) so schopnosťou primerane upraviť svoju geometriu a hlavne napätostný stav v závislosti od aktuálneho zaťaženia. Modul obsahuje senzory, ktoré zaznamenávajú aktuálne hodnoty osových síl a štyri akčné, respektíve aktívne prvky, ktoré umožňujú zvýšiť alebo znížiť jeho tuhosť. Proces aktívnej kontroly je založený na automatickej kontrole a riadení.

## POĎAKOVANIE

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého projektu VEGA č. 1/0129/.

STANISLAV KMEŤ  
MICHAL TOMKO  
RÓBERT ŠOLTÝS  
PETER PLATKO

## Literatúra a použité zdroje:

- [1] R. Motro, *Tensegrity: Structural systems for the future*. United Kingdom: Hermes, ed., Penton Science, 2003. ISBN 1-9039-9637-9.
- [2] R. E. Skelton and M. C. de Oliveira, *Tensegrity systems*. New York: Springer Science and Business Media, 2009. ISBN 978-0-387-74241-0
- [3] E. Fest, K. Shea and I. F. C. Smith, "Active tensegrity structure," *Journal of Structural Engineering - ASCE*, vol. 130(10), pp. 1454-1465, 2004.
- [4] W. Sobek and P. Teuffel, "Adaptive lightweight structures," *Newsletter no. 12 of IASS Working group on Structural morphology*, 12, pp. 3-12, 2003.
- [5] B. Adam and I. F. C. Smith, "Active tensegrity: A control framework for an adaptive civil-engineering structure," *Computers and Structures*, vol. 86(23-24), pp. 2215-2223, 2008.
- [6] N. Veuve, A. C. Sychterz and I. F. C. Smith, "Adaptive control of a deployable tensegrity structure," *Engineering Structures*, vol. 152, pp. 14-23, 2017.
- [7] S. Kmet and P. Platko, "Adaptive tensegrity module. Part 1: Closed-form and finite-element analyses," *Journal of Structural Engineering- ASCE*, vol. 140(9), pp. 14055-14055, Sept. 2014.
- [8] S. Kmet and P. Platko, "Adaptive tensegrity module. Part 2: Tests and comparison of results," *Journal of Structural Engineering- ASCE*, vol. 140(9), pp. 14056-14056, Sept. 2014.

*Prof. Ing. Stanislav Kmeť, DrSc. (\*1955†2023)*

*Stavebná fakulta TUKE v Košiciach.*

*Prof. Ing. Michal Tomko*

*Stavebná fakulta TUKE v Košiciach.*

*Doc. Ing. Róbert Šoltýs, PhD.*

*Stavebná fakulta TUKE v Košiciach.*

*Ing. Peter Platko, PhD.*

*Stavebná fakulta TUKE v Košiciach.*



***Dr. h. c. prof. h. c. prof. Ing. Stanislav Kmeť,  
DrSc.***

Profesor Stanislav Kmeť sa narodil 6. marca 1957 v Přerove. Vyštudoval Stavebnú fakultu VŠT v Košiciach, v odbore Pozemné stavby so zameraním na Statickú analýzu konštrukcií. V roku 1992 habilitoval na docenta v odbore Teória a konštrukcie inžinierskych stavieb, v roku 2000 bol inaugurovaný a titul profesor získal v odbore Teória a konštrukcie inžinierskych stavieb. V roku 2020 mu bol udelený titul DrSc. vo vednom odbore Inžinierske konštrukcie a dopravné stavby.

Po ukončení štúdia pôsobil ako asistent na Katedre nosných konštrukcií a zakladania SvF VŠT v Košiciach, neskôr ako odborný asistent a zástupca vedúceho Katedry kovových a drevených konštrukcií SvF VŠT v Košiciach. V roku 1991 sa stal prodekanom pre zahraničné styky a vedeckú výchovu SvF VŠT v Košiciach, neskôr pôsobil ako dekan Stavebnej fakulty TUKE a tiež ako prorektor pre rozvoj TUKE. Do funkcie rektora Technickej univerzity v Košiciach bol zvolený v roku 2015 a pôsobil na tomto poste až do augusta 2023.

Profesor Stanislav Kmeť bol významný slovenský pedagóg a vedec v oblasti stavebníctva. Vo svojom profesionálnom živote sa venoval problémom teórie a navrhovaniu inteligentných adaptívnych nosných systémov, ich analýze a simulácii aplikáciou nelineárnych matematicko-fyzikálnych výpočtových modelov a metód umelej inteligencie.

Bol členom redakcie šiestich domácich a medzinárodných časopisov, autorom a spoluautorom 5 kníh, 110 vedeckých a odborných článkov v časopisoch, vrátane CC, viac ako 230 vedeckých a odborných článkov v konferenčných zborníkoch. Prednášal vo vyše 30 krajinách sveta. Podieľal sa na 36 realizovaných projektoch a 50 expertíznych správach a posudkoch pre priemysel.

Čeť jeho pamiatke!

---

#### Použité zdroje:

- [1] <https://www.tuke.sk/wps/portal/tuke/university/news/zomrel-byvaly-rektor-tuke>



## Partneri časopisu

---



*Slovenská spoločnosť pre oceľové konštrukcie*



*Zväz slovenských vedeckotechnických spoločností*



*Katedra kovových a drevených konštrukcií, Stavebná fakulta STU Bratislava*



