

ZAŤAŽOVACIA SKÚŠKA A MATERIÁLOVÉ VLASTNOSTI 100 ROKOV STARÉHO PRIEHRADOVÉHO MOSTNÉHO NOSNÍKA TYPU VISINTINI ■ LOAD BEARING CAPACITY TEST AND MATERIAL PROPERTIES OF A 100 YEARS OLD TRUSS BRIDGE GIRDER OF THE VISINTINI TYPE

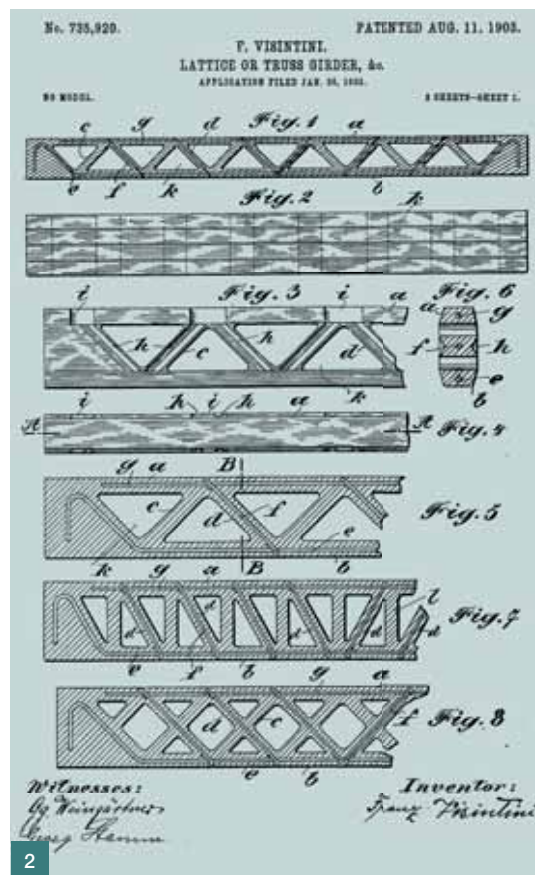
Peter Paulík, Patrik Ševčík,
Michal Bačuvčík, Katarína Gajdošová

Most, ktorého súčasťou bol skúšaný nosník, bol postavený niekedy v období rokov 1910 až 1919 na ceste tretej triedy v maďarskom okrese Nyíregyháza. Železobetónový priehradový nosník bol odobratý počas demolačných prác z mosta nad riekou Érpatak pri obci Nyírszólós. Išlo o zriedkavú konštrukciu mosta pozostávajúcu z desiatich železobetónových priehradových nosníkov s rozpätím 5 m. Most bol využívaný až do roku 2012. Po tom, ako bol most v roku 2013 rozobratý, jeden z jeho nosníkov bol prevezený do Technického a skúšobného ústavu stavebného (TSÚS) v Bratislave. Tam bol neskôr podrobený nedeštruktívnym skúškam, overeniu jeho únosnosti a nakoniec deštruktívnym skúškam na jadrových vývrtoch. Výsledky experimentálnych overení poskytujú hodnotný súhrn poznatkov o súčasnom fyzikálnom a chemickom stave ojedinelého, približne 100 rokov starého, železobetónového priehradového nosníka. ■ The bridge, built in the period between 1910 and 1919, was situated on the 3rd class road in Hungary in the Nyíregyháza district. The reinforced concrete truss girder was removed during the demolition works from the bridge over the Érpatak brook in the village of Nyírszólós. It was a rare bridge structure, consisting of ten reinforced concrete truss girders with a span of 5 m. The bridge was in service until 2012. After the bridge was disassembled in 2013, one of its main truss girders was transported to Bratislava to the Technical Building and Research Institute (TSÚS). Later on, it was subjected to non-destructive tests followed by a load bearing capacity test and destructive tests on drilled core samples. The results provide valuable knowledge about the current physical and chemical state of rare, approximately 100-year-old, reinforced concrete truss girder.

Prvé patenty týkajúce sa betónu vystuženého ocelovými prútmi pochádzajú z 50. a 60. rokov 19. storočia, pričom prvý železobetónový most sveta bol postavený v roku 1875 J. Monierom, ktorý predtým vlastnil patent na výrobu drôtovým pletivom vystužených kvetináčov. Po prvom patente na železobetónové mosty typu Monier sa postupne objavujú aj ďalšie patenty na stavbu železobetónových mostov a stropov ako napr. patenty Wunsch, Melan, Hennebique, Coignet, Freytag, Wayss a pod. Tieto prvé patenty z konca 19. storočia sa líšia najmä spôsobmi vystuženia oblúkov a trámov, avšak neskôr (začiatkom 20. storočia) sa začínajú objavovať aj mosty s vylahčenými stenami ako je to napr. u mosta pri Krapine v dnešnom Chorvátsku (obr. 1).

Medzi nevšedné patenty z tejto doby patrí aj nosník Franza Visintiniho, ktorý si dal najskôr v Rakúsko-Uhorsku a neskôr, v roku 1903, aj v Amerike patentovať železobetónové prefabrikované priehradové nosníky (obr. 2). Vo svojom patente opisuje výhody tohto systému v tom, že konštrukčný materiál je len v tých častiach, kde je naozaj potrebný, a taktiež v prípade stropov umožňujú otvory pre vstup potrubí. Ako výstuž sa v týchto nosníkoch používala klasická betonárska výstuž, avšak často v kombinácii s plochými valcovanými tyčami [3].

Nosníky typu Visintini sa používali na stavbu mostov najmä v rokoch 1910 až 1920 [3]. Podrobne sa nosníkmi tohto typu vyrábanými na začiatku 20. storočia zaoberá článok Ing. Špačka z roku 1908 [16], v ktorom sú okrem spôsobu



2

výroby a výpočtov nosníkov uvedené aj výsledky zaťažovacích skúšok uskutočnených v Zürichu, Krakove, Vroclave a Paríži. V článku je uvedený aj pomer zmesi rýchlo tuhnúceho portlandského cementu a kameniva v betóne, ktorý bol 1:4 (v tej dobe sa pomer miešania uvádzal podľa objemu).

Dobová fotografia z transportu takéhoto prefabrikovaného mostného nosníka (obr. 3) sa zachovala v knihe Masivbrücken gestern und heute [2] a po-



chádza zo stavby mosta v meste Erdmannsdorf (Nemecko) z roku 1910.

Niekoľko mostov tohto typu bolo postavených aj v bývalom Rakúsko-Uhorsku, avšak do dnešných dní sa z nich zachovalo len zopár. Jedným z nich bol aj most pri maďarskej obci Nyírszőlős nad riekou Érpatak. Tento most bol pre nevyhovujúce šírkové usporiadanie a nízku zaťažiteľnosť v roku 2014 nahradený novým mostom, pričom jeden z originálnych nosníkov sa v rámci odbornej spolupráce Slovenska a Maďarska previezol do Bratislavy, kde bol experimentálne odskúšaný.

STRUČNÝ POPIS MOSTA

V čase výstavby mosta, ktorá je datovaná v období rokov 1910 až 1919, boli Slovensko a Maďarsko súčasťou Rakúsko-Uhorska. O takmer 100 rokov neskôr sa obe tieto krajiny na výkume priehradového nosníka spolupodieľali.

Pôvodný most (obr. 4) pozostával z desiatich paralelných priehradových nosníkov s rozpätím 5 m, pričom nosníky boli vždy zdvojené a uložené v piatich pároch. Železobetónová mostovka hrúbky 200 mm bola čiastočne spojená s hlavnými nosníkmi oceľovými prvkami. Výška nosníkov bola 690 mm, hrúbka hornej pásnice bola 140 mm, hrúbka spodnej pásnice a diagonál bola 90 mm. Šírka nosníka bola 250 mm.

Vystuženie nosníka bolo v celku unikátne, zhotovené so zámočníckou precíznosťou. Horný pás a diagonály boli vystužené klasickou betonárskou výstužou s hladkým povrchom rôznych priemerov (v závislosti od zaťaženia jednotlivých prvkov), pričom tlačné prvky boli vystužené len konštrukčne. Spodný pás bol vystužený dvoma plochými valcovanými tyčami rozmeru 60 × 10 mm. K spodnému oceľovému pásu bola výstuž diagonál pripojená pomocou hákov prechádzajúcich otvormi vyvrtanými v strede výšky pásu



Obr. 1 Most s vyľahčenými stenami komory v meste Krapina (Chorvátsko) zo začiatku 20. storočia [4] | Fig. 1 Bridge with lightened walls of the chamber in Krapina city (Croatia) from the beginning of the 20th century [4]

Obr. 2 Visintiniho patent z roku 1903 | Fig. 2 Patent of Visintini from 1903

Obr. 3 Transport nosníka typu Visintini pri stavbe mosta v Erdmannsdorfe (Nemecko) v roku 1910 [2] | Fig. 3 Transport of the Visintini girder during the bridge construction in Erdmannsdorf (Germany) in 1910 [2]

Obr. 4 Jeden z nosníkov mosta pri obci Nyírszőlős (Maďarsko) počas demolačných prác | Fig. 4 One of the bridge girders near the Nyírszőlős village (Hungary) during demolition works

Obr. 5 Detail napojenia výstuže diagonál na spodný pás | Fig. 5 Detail of the connection of diagonals to bottom flange

Obr. 6 Schéma tvaru nosníka a jeho vystuženia | Fig. 6 Dimensions of the girder and its reinforcement

Obr. 7 Očistená výstuž nosníka | Fig. 7 Cleaned reinforcement of the truss girder

(obr. 5). Výstuž zvislíc bola tiež ukončená hákom, ktorý prechádzal popod plochú valcovanú tyč spodného pásu. Zamerané krytie výstuže bolo v priemere 25 mm. Tvar nosníka a jeho vystuženia je na obr. 6.

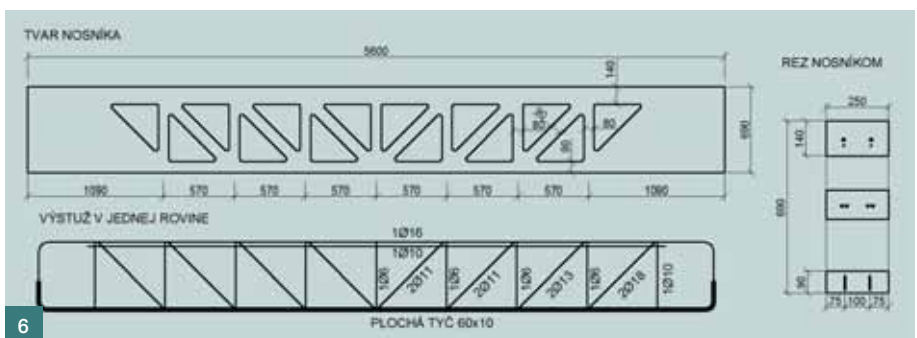
Po odskúšaní nosníka bol betón mechanicky odstránený a výstuž bola očistená a zakonzervovaná náterom. Časť takto zakonzervovanej armatúry nosníka je vystavená na katedre BKaM v Bratislave (obr. 7).

METODIKA REALIZOVANÝCH SKÚŠOK

V rámci výskumu boli realizované nedeštruktívne skúšky, zaťažovacia skúška a deštruktívne skúšky na odvrtoch.

Súbor nedeštruktívnych skúšok zahŕňal:

- stanovenie pevnosti betónu Schmidtovým tvrdomerom podľa STN EN 12504-2 [5]. Výsledky sú ovplyvnené skarbonatovanou povrchovou vrstvou betónu (20 až 30 mm), ktorú nebolo možné úplne odstrániť, čo je pri veľkých hrúbkach karbonatácie na starých mostoch všeobecný problém a teda výsledky sú touto skutočnosťou skreslené,
 - overenie homogenity mechanických vlastností betónu pomocou ultrazvuku prístrojom Pundit, podľa STN EN 12504-4 [6],
 - odtrhové skúšky podľa STN EN 1015-12 [7],
 - skúšky permeability povrchu betónu Torrentovou metódou [8].
- Zaťažovacia skúška bola realizova-



Tab. 1 Informatívna a zaručená pevnosť betónu v tlaku ■
Tab. 1 Informative and guaranteed compressive strength of the concrete

	Pevnosť z tabuľky [MPa]	Stanovená informatívna pevnosť [MPa]
Priemerná hodnota informatívnej pevnosti	74,5	56,9 ± 7,4
Zaručená pevnosť v tlaku		40,6

Tab. 2 Permeabilita povrchových vrstiev betónu priehradového nosníka ■
Tab. 2 Permeability of the surface layer of the concrete at the truss girder

Miesto merania	Koeficient permeability k_T ($\times 10^{-16} \cdot m^2$)	Stupeň kvality	Trieda kvality betónového povrchu
1	85,11	5	veľmi zlá
2	1,074	4	zlá
3	50,56	5	veľmi zlá
4	0,128	3	normálna
5	4,099	4	zlá
6	57,19	5	veľmi zlá
7	0,189	3	normálna
8	0,387	3	normálna
9*	0,561	3	normálna
10*	14,94	5	veľmi zlá
11*	22,26	5	veľmi zlá

* merané na základnom povrchu

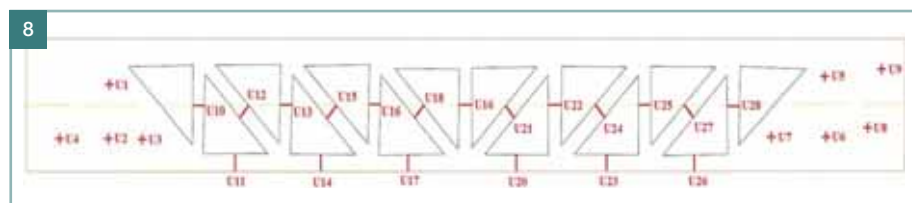
ná podľa STN 73 2030 [9] pomocou piatich hydraulických lisov simulujúcich zaťaženie nosníka v každom uzle hornej pásnice. Toto usporiadanie bolo zvolené na základe predchádzajúcej numerickej analýzy, z výsledkov ktorej bolo zrejmé, že výstuž v diagonálach bola navrhnutá na rovnomerné zaťaženie. Nosník bol zaťažovaný postupne po krokoch reprezentujúcich 10 % z predpokladanej vypočítanej únosnosti. Po dosiahnutí zaťaženia na úrovni 90 % únosnosti bol nosník odľahčený a proces zaťažovania bol zopakovaný rovnako ako prvýkrát, teraz sa však nosník zaťažoval až do porušenia.

Po porušení nosníka boli z neho odo-

braté štyri jadrové vývrty priemeru 100 mm na ďalšie laboratórne skúšky, ktoré zahŕňali stanovenie modulov pružnosti a pevnosti betónu v tlaku. Merané boli nasledovné veličiny:

- hĺbka karbonatácie pomocou fenolftaleínu [10],
- dynamický modul pružnosti stanovený ultrazvukom [6],
- Youngov modul pružnosti stanovený podľa STN ISO 6784 [11],
- pevnosť betónu v tlaku meraná podľa STN EN 12504-1 [12].

Následne boli vzorky zohriate na 60 °C, rozdrvené a zomleté na jemnosť pod 0,063 mm a podrobené chemickému analýze.



Tab. 4 Dynamický modul pružnosti betónu meraný na miestach naznačených na obr. 6 ■
Tab. 4 Dynamic modulus of elasticity of the concrete truss girder locating measurement sites shown in Fig. 6

Orientácia na nosníku	Miesto merania						
	Dynamický modul pružnosti [GPa]						
ľavá strana B	U1	U2	U3	U4	-	-	-
	nemeraný*	12,8	20,7	nemeraný*	-	-	-
pravá strana B	U5	U6	U7	U8	U9	-	-
	28,8	30,2	30,2	32,9	36,6	-	-
základňa	U11	U14	U17	U20	U23	U26	-
	29,6	17,5	32,4	30,7	29,5	24,0	-
diagonály	U12	U15	U18	U21	U24	U27	-
	34,8	34,9	33,1	32,3	31,5	26,7	-
vertikály	U10	U13	U16	U19	U22	U25	U28
	29,6	29,2	31,3	32,0	32,0	29,3	24,9

* hodnota dynamického modulu pružnosti nebola merateľná

Tab. 3 Priľnavosť povrchových vrstiev betónu ■
Tab. 3 Adhesion of the surface concrete layer

Miesto merania	Maximálna sila [kN]	Priľnavosť vyjadrená ako pevnosť v ťahu [MPa]	Spôsob porušenia
1	9,2	4,67	v betóne
2	8,4	4,26	v betóne + lepidlo z betónu
3	4,2	2,14	v betóne + lepidlo z betónu
4	8,7	4,41	v betóne
5	10,1	5,15	v betóne
6	7,4	3,77	v betóne
7	9,8	4,99	v betóne
8	7,7	3,92	v betóne
9	7,6	3,87	v betóne
10	6,2	3,16	v betóne
11	6,4	3,26	v betóne
12	11,1	5,65	v betóne

ZISTENÉ VLASTNOSTI ŽELEZOBETÓNOVÉHO PRIEHRADOVÉHO NOSNÍKA

Nedeštruktívne skúšky

Pevnosť betónu v tlaku nameraná Schmidovým tvrdomerom je sumari-zovaná v tab. 1.

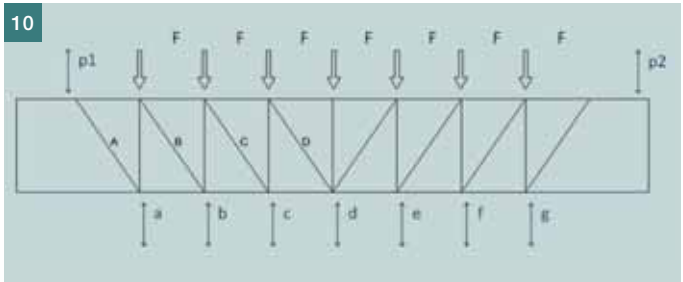
Namerané hodnoty boli upravené ďalšími súčinitelmi: vplyv veku betónu $\alpha_t = 0,9$; vplyv vlhkosti betónu $\alpha_w = 0,85$; vplyv tvaru vzorky $\kappa_c = 1$. Priemerná hodnota informatívnej pevnosti z výsledkov skúšok bola 56,9 ± 7,4 MPa. Rozdiely medzi jednotlivými meraniami boli 13 %. Zaručená pevnosť v tlaku stanovená touto metódou bola 40,6 MPa.

Na nosníku sa vykonali aj merania permeability povrchu betónu pomocou Torrentovej metódy (tab. 2), ktoré boli uskutočnené oproti miestam merania pevnosti (miesta merania 1, 2, 3, 5, 6, 10 a 11).

Priľnavosť povrchových vrstiev betónu k hlbším vrstvám je definovaná ako pevnosť v ťahu povrchovej vrstvy, ktorej namerané hodnoty sú zosumarizované v tab. 3. Pevnosť v ťahu dosahovala relatívne vysoké hodnoty v rozmedzí 3 a 4 MPa.

Označenie polohy meraní na stanovenie dynamického modulu pružnosti betónu priehradového nosníka sú znázornené na obr. 8 a namerané hodnoty sú v tab. 4.

S výnimkou troch meraní sa hodnoty dynamického modulu pružnosti pohybujú medzi 24,9 a 34,9 GPa. Tieto hodnoty korelujú s nedeštruktívne na-



Obr. 8 Schéma usporiadania ultrazvukových meraní modulu pružnosti ■ Fig. 8 Scheme of the transit time of the ultrasonic wave measurement at the bridge truss girder

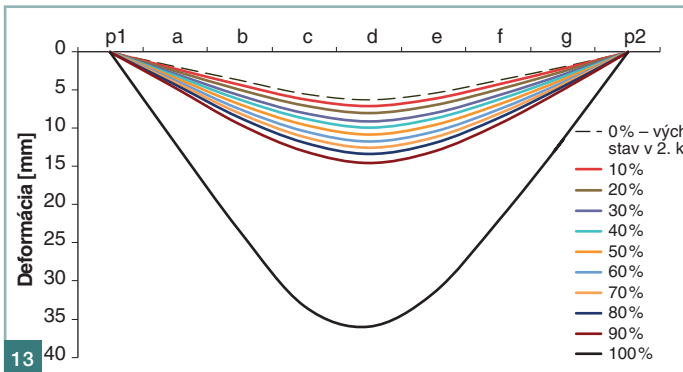
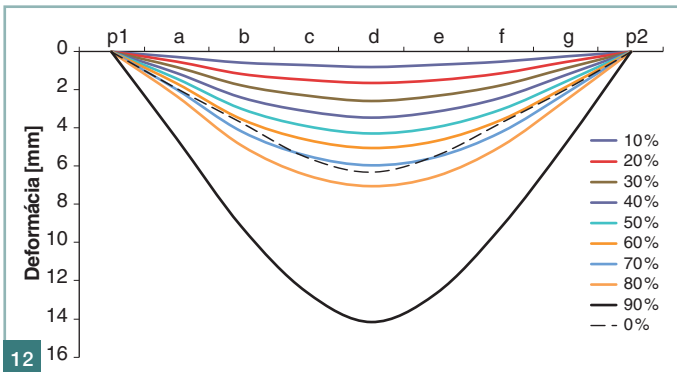
Obr. 9 Zatažovacia sústava nosníka ■ Fig. 9 Truss girder just before the load test

Obr. 10 Usporiadanie meracích zariadení (p1, p2, a, b, c, d, e, f, g) a zatažovacích hydraulických lisov so silomerami ■ Fig. 10 Scheme of the arrangement of the measurement gauges (p1, p2, a, b, c, d, e, f, g) and loading hydraulic jacks equipped with force sensors during the load bearing test

Obr. 11 Meranie rozvoja trhlin počas zatažovacej skúšky ■ Fig. 11 Measurements of the crack propagation during the load bearing test

Obr. 12 Pretvorenie počas prvej fázy zatažovania nosníka ■ Fig. 12 Deformation during the course of the 1st loading cycle of the girder

Obr. 13 Pretvorenie počas druhej fázy zatažovania nosníka ■ Fig. 13 Deformation during the course of the 2nd loading cycle of the girder



meranými pevnosťami v tlaku (tab. 1) a v ťahu (tab. 3).

Zaťažovacia skúška nosníka

Priehradový nosník bol prevezený na Slovensko z Maďarska v rámci cezhraničnej odbornej spolupráce. Zaťažovacia skúška nosníka sa vykonala v laboratóriu TSÚS v Bratislave. Pred samotnou zaťažovacou skúškou bola vykonaná statická analýza nosníka, pri ktorej sa ukázalo, že najvhodnejší spôsob zaťaženia nosníka je rovnomerné zaťaženie cez styčné uzly v hornom pásu. Tento typ zaťaženia vyvodzuje vo všetkých prvkoch nosníka napätosť úmernú ich vystuženiu. Vychádzajúc z materiálových vlastností získaných výskumom na iných obdobne starých mostov bolo možné predpovedať maximálnu únosnosť nosníka a určiť jednotlivé zaťažovacie stupne. Počas za-

ťažovacej skúšky sa okrem priehybu (obr. 9 a 10) sledovali vo vyznačených miestach aj pomerné pretvorenia (obr. 14) a zaznamenával sa rozvoj a šírka trhlin (obr. 11).

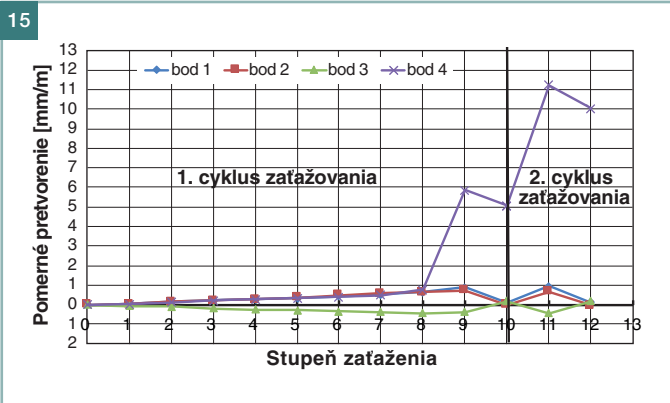
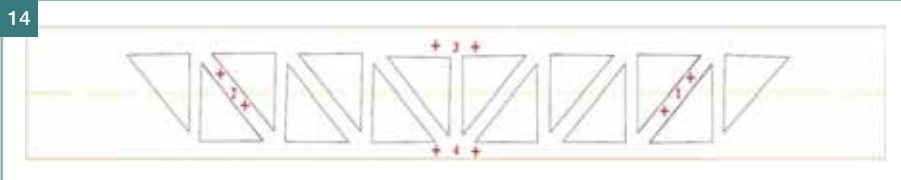
Prvé trhliny sa objavili na spodnej pásnici takmer okamžite na začiatku zaťažovacej skúšky a dosiahli ku koncu až 1,5 mm. Drobné trhliny sa v súlade s predpokladmi objavili aj v rámci ťahaných diagonál.

Pretvorenie počas prvej a druhej fázy zaťažovania nosníka je znázornené na obr. 12 a 13.

Po ôsmom kroku (obr. 12), keď zaťaženie prekročilo 80 % predpokladanej únosnosti nosníka, je z priebehu pretvorení zrejmé, že výstuž dosiahla medzu klzu, a teda časť deformácie bola už trvalá, o čom svedčí aj zostatkový priehyb po odľahčení nosníka. Na obr. 14 sú znázornené meracie bo-

dy pomerných pretvorení. Namerané hodnoty v jednotlivých zaťažovacích krokoch sú na obr. 15.

Po odľahčení nosníka z 90 % vypočítanej únosnosti sa všetky pomerné pretvorenia vrátili na pôvodné hodnoty, okrem spodnej pásnice. Priehradový nosník sa počas zaťažovania správal presne tak, ako bolo predpokladané na základe numerickej analýzy. Všetky uzly mali dostatočnú kapacitu a ich statické pôsobenie je možné označiť za kĺbové. K porušeniu nosníka došlo roztrhnutím výstuže spodného pásu v mieste oslabenom otvorom, cez ktorý bola pripojená výstuž diagonál (obr. 17). Skutočná nameraná únosnosť priehradového nosníka bola 102 % z vopred vypočítanej hodnoty. K takémuto presnému odhadu únosnosti napomohol fakt, že tok síl v priehradovom nosníku je jedno-



značný, uzly sa pri vysokých hodnotách zataženia správali ako kĺby, a taktiež skutočnosť, že vlastnosti materiálov boli na základe predošlého výskumu obdobne starých mostov dobre odhadnuté.

Ak porovnáme priebeh zaťažovacej skúšky s priebehom zaťažovacích skúšok uvádzaných v historickej literatúre z roku 1908 [16], môžeme konštatovať, že skúšaný nosník sa správal duktilnejšie. V prípade nosníka odskúšaného v TSÚS bol pozorovaný výrazný nárast priehybu (na dvojnásobok) pri zväčšení zataženia z 80 % na

90 % maximálnej únosnosti (obr. 12). V prípade zaťažovacích skúšok nosníkov uvádzaných v [16] nebol pozorovaný taký výrazný nárast deformácií pri týchto hladinách namáhania, pohyboval sa na úrovni cca 20 % (pri zvýšení zataženia z 80 % na 90 % MSÚ). Treba však podotknúť, že všetky skúmané nosníky uvádzané v [16] boli od nosníka odskúšaného v TSÚS výrazne subtilnejšie a líšili sa aj vystužením a v niektorých prípadoch aj typom priehradovej sústavy.

Graficky spracované údaje zo zaťažovacej skúšky nosníkov typu Vi-

sintini (výška nosníka 250 mm, rozpätie 5,8 m) uskutočneného v Paríži pred rokom 1908 sú uvedené na obr. 19.

Hĺbka karbonatácie

Karbonatácia bola stanovovaná na štyroch jadrových odvrtoch z priehradového nosníka pomocou fenolftaleínu (tab. 5).

Hĺbku karbonatácie v rozmedzí 13 a 33 mm pri betóne starom približne 100 rokov možno považovať za relatívne nízku.

Mechanické vlastnosti

Výsledky skúšok mechanických vlastností na štyroch jadrových odvrtoch sú zhrnuté v tab. 6. Valcová pevnosť v tlaku bola prepočítaná na kocky s hranou 150 mm kvôli približnému zatriedeniu do súčasných tried podľa STN EN 13791 [13].

Na základe uvedených výsledkov deštruktívnych skúšok bol betón podľa tabuľky 1 STN EN 13791 [13] zatriedený do pevnostnej triedy C 12/15 podľa STN EN 206 [14].

Okrem mechanických vlastností betónu sa odobralo aj osem vzoriek výstuže z rôznych častí priehradového nosníka. Výsledky sú uvedené v tab. 7. Pracovné diagramy boli vzájomne podobné (obr. 20 a 21). Povrchová úprava výstuží bola hladká (obr. 5).



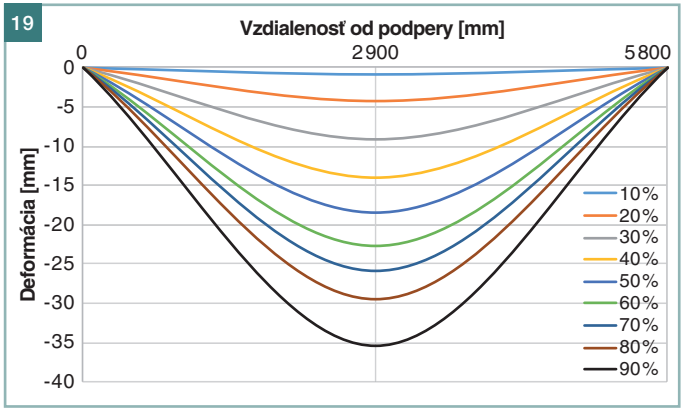
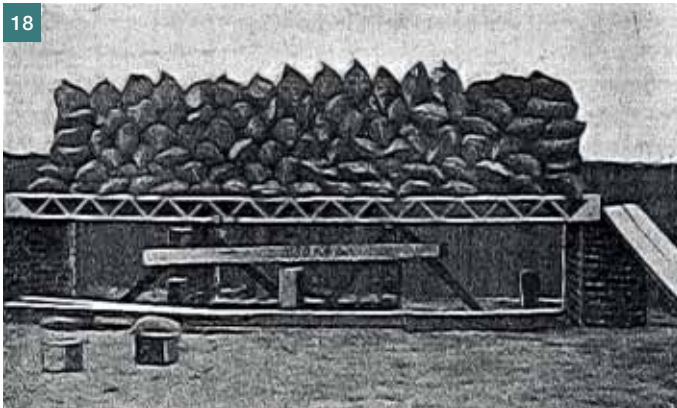
Obr. 14 Miesta merania pomerných pretvorení (1, 2, 3, 4) počas zaťažovacej skúšky ■ Fig. 14 Arrangement of relative strain measurements (1, 2, 3, 4) during the load bearing test

Obr. 15 Pomerné pretvorenia počas zaťažovacej skúšky nosníka ■ Fig. 15 Strains during loading of the girder

Obr. 16 a) Priehradový nosník tesne po porušení, b) celkový kolaps nosníka ■ Fig. 16 a) Truss girder just after the failure, b) total collapse of the girder

Obr. 17 Roztrhnutie výstuže spodného pásu (foto pred celkovým kolapsom nosníka) ■ Fig. 17 Rupture of reinforcement of the bottom flange (photo before failure of the whole girder)





Tab. 6 Objemová hmotnosť, modul pružnosti a pevnosť v tlaku na jadrových odvrtoch ■ Tab. 6 Volume density, elasticity module and compressive strength on the drilled cores

Číslo vzorky	Priemer [mm]	Objemová hmotnosť [kg/m ³]	Dynamický modul pružnosti* [GPa]	Youngov modul pružnosti [GPa]	Valcová pevnosť v tlaku [MPa]	Kocková pevnosť v tlaku [MPa]
1	102,54	2 200	25,6	19,8	16,03	19,9
2	102,83	2 210	24,6	15,6	14,99	18,6
3	102,63	2 230	27,9	13,4	20,25	25,2
4	102,62	2 210	30,1	15,3	16,43	19,4

* dynamický modul pružnosti bez úpravy zmenšovacím koeficientom κ_j [15]

Tab. 5 Stanovenie hĺbky karbonatácie ■ Tab. 5 Determination of the carbonation depth

Číslo vzorky	Hĺbka karbonatácie [mm]
1	28
2	25
3	33
4	13

Obr. 18 Historická fotka zo zaťažovacej skúšky nosníka typu Visintini uskutočnenej pred rokom 1908 [16] ■ Fig. 18 Historical photo of a load test of the Visintini girder carried out sometimes before 1908 [16]

Obr. 19 Grafické znázornenie priebehu zaťažovacej skúšky nosníka typu Visintini odskúšaného pred rokom 1908 v Paríži ■ Fig. 19 Graphic representation of the load test of the Visintini girder tested before 1908 in Paris

Obr. 20 Pracovný diagram výstuže (pásoviny) z dolného pásu priehradového nosníka ■ Fig. 20 Stress-strain diagram of steel strip from the bottom flange of truss girder

Obr. 21 Pracovný diagram výstuže (Ø 18) z diagonály ■ Fig. 21 Stress-strain diagram of steel reinforcement (Ø 18) from the diagonal

Tab. 7 Mechanické vlastnosti betonárskej ocele priehradového nosníka ■ Tab. 7 Mechanical properties of concrete reinforcement of truss girder

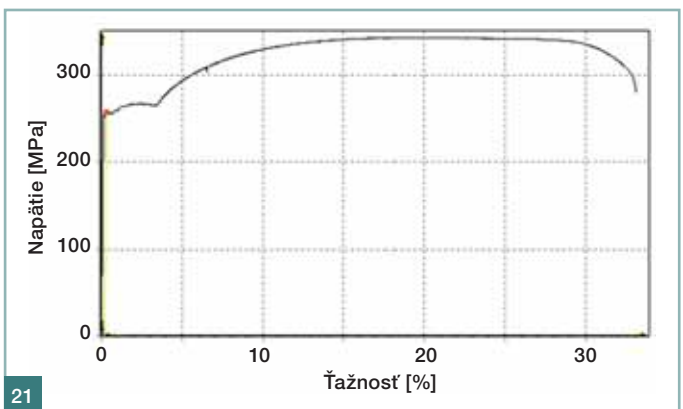
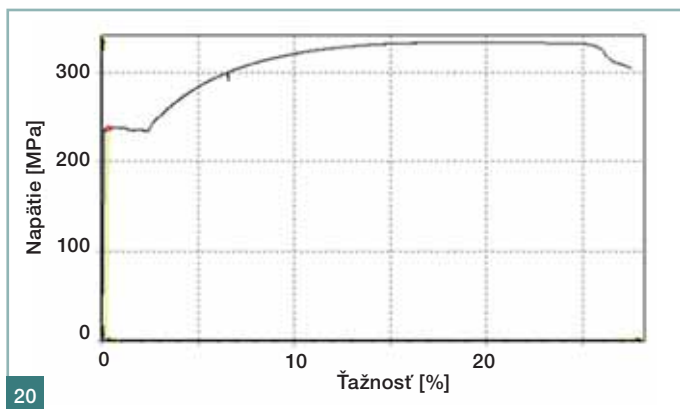
Vzorka	Poloha výstuže	Rozmer výstuže [mm]	Medza kizu [MPa]	Medza pevnosti [MPa]	Ťažnosť A ₅₀ [%]
1	dolný pás	60 x 10	238	349	35
2	dolný pás	60 x 10	236	333	28
3	diagonála	Ø 18	257	343	34
4	diagonála	Ø 18	254	337	34
5	zvislá v podpere	Ø 10	256	326	34
6	horný pás	Ø 16	262	352	39
7	horný pás	Ø 10	259	338	31
8	zvislá v strede	Ø 6	271	342	19

ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že betón približne 100-ročného priehradového nosníka má nasledovné vlastnosti:

- priemerná pevnosť betónu stanovenej nedeštruktívne Schmidovým tvrdomerom (na skarbonatovanom povrchu hrúbky 20 až 30 mm) bola až 57 MPa, čo je takmer trojnásobok voči pevnostiam nameraným na odvrtoch (21 MPa po prepočte na kockovú pevnosť). V rámci realizovaného výskumu 100 rokov starých mostov

bol viackrát pozorovaný výrazný rozdiel medzi pevnosťami stanovenými Schmidovým tvrdomerom na skarbonatovanom povrchu a pevnosťou stanovenou na odvrtoch. Nedeštruktívne skúšky často výrazne precenili reálnu pevnosť betónu v konštrukcii [17] a bez doplnenia skúšok na vývrtoch môžu byť veľmi zavádzajúce, • ťahová pevnosť 3 až 4 MPa, stanovená na základe pridržnosti v rámci odtrhovej skúšky, je pomerne vysoká a koreluje s vysokou pevnosťou v tlaku stanovenou nedeštruktívnym



Literatúra:

- [1] WELLER, B., TACHE, M. Massive Brücken in Mitteleuropa. *Beton- und Stahlbetonbau*. 2006, Vol. 101, No. 4, p. 292–297.
- [2] DEINHARD, J. M. *Vom Caementum zum Spannbeton. Band II. Massivbrücken gestern und heute*. Wiesbaden/Berlin: Bauverlag, 1964.
- [3] BECHYNĚ, S. *Technický průvodce 12 – Mostní stavitelství – Betonové mosty trámové a rámové*. Praha: SNTL, 1954.
- [4] BEKE, J., RICHTER, K. *Vasbetétes betonszerkezetek*, Budapešť, Maďarsko, 1906.
- [5] STN EN 12504-2. *Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 2: Nedeštruktívne skúšanie. Stanovenie tvrdosti odrazovým tvrdomerom*. 2013.
- [6] STN EN 12504-4. *Skúšanie betónu. Časť 4: Určenie rýchlosti ultrazvukového impulzu*. 2005.
- [7] STN EN 1015-12. *Metódy skúšania mált na murovanie. Časť 12: Stanovenie prídružnosti zatvrdnutých spodných a krycích omietkových mált k podkladom*. 2001.
- [8] TORRENT, R., FRENZER, G. *Study on methods to determine and judge characteristic values of the cover concrete on site*. Bern: Bundesamt für Strassenbau, 1995.
- [9] STN 73 2030. A-1/88. *Zaťažovacie skúšky stavebných konštrukcií. Spoločné ustanovenia*. 1977.
- [10] STN EN 14 630. *Výrobky a systémy na ochranu a opravu betónových konštrukcií. Skúšobné metódy. Skúšanie hĺbky karbonatizácie v zatvrdnutom betóne fenolftaleínovou metódou*. 2007.
- [11] STN ISO 6784. *Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku*. 1993.
- [12] STN EN 12504-1. *Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 1: Vzorky z jadrového vírtania. Odber, preskúmanie a skúška pevnosti v tlaku*. 2010.
- [13] STN EN 13791. *Stanovenie pevnosti betónu v tlaku v konštrukciách a v betónových prefabrikátoch*. 2012.
- [14] STN EN 206. Cor. 1 – 2/15, NA – 11/15. *Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda*. 2015
- [15] ČSN 73 2011. *Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií*. Praha: Úrad pro normalizaci a měření, 1986.
- [16] ŠPAČEK, S. *Betonové, železem vystužené trámy. Cement, železo a beton. Zvláštní otisk z časopisu*. Praha, 1908.
- [17] PAULÍK, P. *Historické aspekty hodnotenia spoľahlivosti betónových mostov*. Bratislava, 2017. Habilitačná práca. STU v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra betónových konštrukcií a mostov.

spôsobom. Obe tieto namerané pevnosti sú však v rozpore s pevnosťami stanovenými na odvrtoch. Tieto odchýlky je zrejme možné pripísať hrubej vrstve skarbonatovaného betónu (13 až 33 mm),

- hĺbka karbonatácie v rozmedzí 13 až 33 mm (priemerne 25 mm) je pri uvážení veku betónu (100 rokov), jeho nízkej pevnosti (C12/15) a vysokej permeability, ako aj prostredia, akému bol nosník vystavený (XC3), pomerne nízka,
- betón vykazoval vysokú permeabilitu povrchových vrstiev,
- priemerný dynamický modul pružnosti zistený nedeštruktívne ultrazvukovou metódou (19,6 GPa po prepočte zmenšovacím súčiniteľom podľa [15]) je približne o 20 % vyšší ako normový modul pružnosti zistený na odvrtoch (16 GPa). Počas zaťažovacej skúšky sa priehradový nosník správal tak, ako bolo pred-

pokladané na základe predchádzajúcej numerickej analýzy. Jasný tok síl, ktorý je možné pri takejto konštrukcii predpokladať, umožnil stanoviť veľmi presne predpokladanú únosnosť pomocou jednoduchého výpočtového modelu. Rozdiel medzi predpokladanou a skutočnou únosnosťou bol približne 2 %. Veľký priehyb a nadmerný rozvoj trhlin svedčia o požadovanom ťažnom charaktere správania sa nosníka.

Pri posudzovaní starých mostov sa odporúča vždy vykonať odvrty z konštrukcie a nespoľiehať sa len na nedeštruktívne stanovenie mechanických parametrov betónu.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0442-12 a Univerzitného vedeckého parku STU Bratislava (ITMS: 26240220084).

Ing. Peter Paulík, PhD.
SvF STU v Bratislave
Katedra betónových konštrukcií
a mostov
e-mail: peter.paulik@stuba.sk



Ing. Patrik Ševčík
TSÚS Bratislava
e-mail: sevcik@tsus.sk



Ing. Michal Bačuvčík
TSÚS Bratislava
e-mail: bacuvcik@tsus.sk



Ing. Katarína Gajdošová, PhD.
SvF STU v Bratislave
Katedra betónových konštrukcií
a mostov
e-mail: katarina.gajdosova@stuba.sk



Text článku byl posouzen odborným lektorem.
The text was reviewed.

ARCHEOPARK PAVLOV SBÍRÁ OCENĚNÍ

Hlavní cenu v soutěži **Česká cena za architekturu 2017** dostali Radko Květ a Pavel Pijáček za areál Archeoparku Pavlov na Břeclavsku, který leží přímo v lokalitě archeologického naleziště na místě osídlení z období mladého paleolitu. Vítěz vzešel z šesti finalistů, celkem se do druhého ročníku soutěže pořádané Českou komorou architektů přihlásilo 249 děl. Oceněné projekty jsou až do 28. ledna 2018 vystaveny v Galerii Jaroslava Fragnera v Praze.

Archeopark je 4 m pod zemí, do exteriéru vystupují prosvětlovací věže, nálevkovitě tvarovaný vstup a výhledy na Pavlovské vrchy a vodní nádrž Nové Mlýny. Stavba má evokovat jeskynní prostory. Přímo do expozice tvůrci zakomponovali naleziště mamutích kostí. Porota ocenila jeho celkové působení i „s péčí vybrané a použité materiály, jako je pohledový beton lity do bednění z přírodního dřeva v podzemí a naopak probarvený lity beton s vápencovým kameňem uplatněný v nadzemní části“ (vice o Archeoparku Pavlov v *Beton TKS 5/2016, pozn. redakce*).

Dalším oceněním je první místo v soutěži **CEMEX Building Award** vyhlašované v Mexiku. Podle poroty je pavlovské muzeum věnované kultuře lovců mamutů nejlepším veřejným prostorem z betonu po-



staveným v roce 2016. Do letošního ročníku bylo přihlášeno celkem 70 staveb ze 17 zemí z celého světa.

4. října Archeopark Pavlov získal také prestižní ocenění **Iconic Awards 2017** v německém Mnichově v kategorii Best of the Best. Iconic Awards je první nezávislá mezinárodní soutěž v oblasti architektury a designu, která se zaměřuje na interdisciplinární spolupráci. Soutěž oceňuje zejména „vizionářského ducha“ architektonického zpracování a udržitelnost projektu.

Připomeňme ještě ocenění získaná v loňském roce: **Stavba roku 2016, Stavba Jihomoravského kraje 2016** a 2. místo v kategorii **Muzejní počin roku 2016** v Národní soutěži Gloria musealis.

Zdroj: ČTK, stavbaweb.cz