

# VÝSLEDKY MATERIÁLOVÝCH VLASTNOSTÍ SIEDMYCH VIAC AKO 100 ROKOV STARÝCH ŽELEZOBETÓNOVÝCH MOSTOV ■ MATERIAL PROPERTIES OF SEVEN MORE THAN 100-YEARS OLD CONCRETE BRIDGES

Peter Paulík, Michal Bačuvčík,  
Patrik Ševčík, Ivan Janotka

Tento článok sa venuje mechanickým vlastnostiam betónu nameraným na jadrových vývrtoch zo siedmych viac ako 100 rokov starých mostov ako aj vlastnostiam ocele a hĺbkam karbonatizácie. V závere je uvedená korelácia medzi nameranou pevnosťou v tlaku betónu a jeho modulom pružnosti ako aj porovnanie týchto hodnôt s platnými normovými hodnotami. ■ This paper deals with the mechanical properties of concrete, measured on drilled core specimens from 7 bridges in Slovakia. All the bridges are more than 100 years old. The properties of steel reinforcement and carbonation depths are also reported. Correlation between the measured concrete strength and modulus of elasticity is shown on a graph and compared with relevant structural design documents.

Najstarší železobetónový most na území Slovenska bol postavený v roku 1892 v meste Krásno nad Kysucou. Tento most typu Monier bol zrekonštruovaný v roku 2014 po viac ako 122 rokoch od jeho postavenia. Na území Slovenska sa okrem tohto mosta nachádza viacero ďalších železobetónových mostov, ktoré majú už v súčasnosti viac ako 100 rokov, pričom niektoré z nich ešte stále slúžia cestnej doprave, príp. ako lávky pre peších.

Výskum prevedený na Stavebnej fakulte a na Technickom a skúšobnom ústave (TSÚS) v Bratislave sa preto primárne zamerlal na kategóriu železobetónových mostov starších ako 100 rokov, ktoré boli na prelome 19. a 20. storočia len na začiatku vývoja a patrili medzi prvé aplikácie železobetónu v mostnom staviteľstve. Tieto mosty sú špecifické aj tým, že k nim neexistuje žiadna alebo iba strohá výkresová dokumentácia a ani relevantné normy, podľa ktorých sa počítali. O drvivej väčšine mostov starších ako 90 rokov sú neznáme tiež materiálové vlastnosti ako aj stav a postup ich degradácie.

Primárne boli vybrané železobetónové mosty staršie ako 100 rokov, keďže práve táto hranica sa považuje za návrhovú životnosť mostov. Ďalším kritériom pri výbere bola možnosť využitia získaných poznatkov pri ich rekonštrukcii, resp. pri rekonštrukcii a výpočtoch

únosnosti podobných, rovnako starých mostov. Cieľom bolo stanoviť mechanické vlastnosti betónu a ocele najstarších železobetónových mostov Slovenskej republiky, o ktorých doteraz nie sú dostupné žiadne informácie v odbornej literatúre.

Vybrané boli mostné objekty, ktorých stručný popis možno nájsť aj v rôznej literatúre [1] až [4]:

- betónové piliere Starého mosta v Bratislave (vek konštrukcie v čase meraní 125 r.),
- železobetónový most v Krásne nad Kysucou (vek konštrukcie v čase meraní 122 r.),
- železobetónový most pri Hlohovci (vek konštrukcie v čase meraní 104 r.),
- železobetónová lávka pre peších v Ružomberku (vek konštrukcie v čase meraní 102 r.),
- priehradový nosník z maďarského okresu Nyíregyháza (pri hraniciach SR, vek konštrukcie v čase meraní 100 r.),
- most v Nižnej Myšli (presný vek mosta je neznámy, avšak viac ako 96 r.),
- most pri Sládkovičove (presný vek mosta je neznámy, avšak viac ako 96 r.).

Žiadne pôvodné výkresy mostov sa nezachovali, zachovalo sa len niekoľko odborných článkov z čias ich výstavby. Jedným z nich je článok napísaný staviteľom bratislavského mosta G. Pulszkym [5], ktorý okrem stavby mosta popisuje aj vlastnosti cementov, ktoré boli v tej dobe na trhu v blízkom regióne mesta Bratislava. V roku 1889 G. Pulszky testoval viaceré cementy od rôznych výrobcov a v [5] uvádza výsledky ťahových pevností po 1, 7 a 28 dňoch, objemové hmotnosti zámesí a vizuálny popis cementov. Románsky cement dosahoval pevnosť v ťahu 0,29 MPa po 7 dňoch a 0,47 MPa po 28 dňoch. Najpevnejší portlandský cement zaznamenal priemernú pevnosť v ťahu po 28 dňoch 1,48 MPa [5]. Vzorky na ťahovú skúšku sa zhotovovali z malty pozostávajúcej z jedného hmotnostného dielu cementu a troch hmotnostných dielov piesku, pričom vzorky mali tvar „piškóty“ s minimálnou prierezovou plochou 500 mm<sup>2</sup> [6]. Vodný súčiniteľ nebol presne daný. Malta sa zhotovovala postupným prídávaním vody, až kým sa pri zhutňova-

ní nezačala „potiť“ [6]. Výsledky skúšok boli preto vždy čiastočne ovplyvnené aj ľudským faktorom. Priemerná 28dňová pevnosť v tlaku cementovej malty bola 15 MPa [6] pre kocky s hranou 70 mm. Čiastočné historické informácie sa dajú nájsť v [7] a [8] vydaných firmou Wayss. Cenným zdrojom historických informácií sú vedecké články zverejnené vo vtedajšom Maďarsku Takácsom Győző-m a Zoltánom Győző-m [9], [10], [11]. Typická betónová zmes používaná firmou Wayss v 90. rokoch 19. storočia pri výstavbe mostov vo vtedajšom Maďarsku (pod ktoré patrilo aj územie dnešnej SR) pozostávala z jedného dielu portlandského cementu a troch dielov štrkopiesku s maximálnym zrnom kameniva 25 mm [9]. Relevantné dokumenty neuvádzajú ani pevnosti v tlaku a ani pevnosti v ťahu betónov. Výpočty betónových klenieb sa v tej dobe (1892) realizovali len veľmi zjednodušene a väčšinou sa vychádzalo z experimentov. Dobový príklad všeobecného výpočtu klenby zo železobetónu dokumentuje kniha Das System Monier [8].

## METODIKA VÝSKUMU

Celková diagnostika starých mostov sa rozdeľovala na dve časti.

Prvá časť bola samotná diagnostika mosta in-situ tímom odborníkov z SvF STU a TSÚS. Diagnostika in-situ metodicky zahŕňovala nasledovné skúšky: zistenie polohy a parametre betonárskej výstuže, kontrola spôsobu vystuženia so zameraním sa na krytie výstuže betónu, tvrdomerne stanovenie pevnosti betónu Schmidovým kládikom typu N [13], ultrazvukové skúšky ultrazvukovým impulzovým prístrojom Pundit so sondami s frekvenciou 54 kHz [14], skúšky povrchovej pevnosti betónu v ťahu (prídružnosť) odtrhovým prístrojom Proceq DY-2 Family [15], skúšky permeability Torrentovou metódou a kompletnú fotodokumentáciu stavu mosta a realizovaných skúšok.

Na moste sa odobrali jadrové vývrty betónu s nominálnym priemerom 100 mm a dĺžkou 150 až 200 mm a prípadne aj vzorky ocelevej výstuže. Hneď po vyňatí betónového valca z mostovej konštrukcie sa stanovila hĺbka karbonatizácie fenoltaleinovou skúškou.



1



2

Obr. 1 Piliere Starého mosta v Bratislave ■  
Fig. 1 Piers of the Old Bridge in Bratislava

Obr. 2 Železobetónový most v Krásne nad Kysucou ■ Fig. 2 Reinforced concrete bridge in Krásno nad Kysucou

Druhá laboratórna časť diagnostiky, vykonávaná skúšobným laboratóriom TSÚS Bratislava, sa orientovala na verifikáciu zostávajúcich fyzikálno-mechanických vlastností (objemová hmotnosť, dynamický modul pružnosti ultrazvukovou metódou [16], statický modul pružnosti [17] s použitím inkrementálnych snímačov deformácie s presnosťou tisíciny milimetra a pevnosť v tlaku [18]) a identifikáciu mineralogického, fázového a chemického zloženia betónu (röntgenovou difrakčnou analýzou v rozsahu merania  $5^\circ$  až  $65^\circ 2\theta$ , termickou analýzou v rozsahu teplôt 20 až  $1100^\circ\text{C}$ , chemickou analýzou [19] a elektrónovou mikroskopiou), pórovej štruktúry a priepustnosti valca (ortuťová porozimetria). Súčasný fyzikálny stav betónu sa posudzoval na základe súboru získaných výsledkov (vzhľadom na limitovaný rozsah príspevku sú uvedené len vybrané údaje).

## VYBRANÉ VÝSLEDKY SKÚŠOK NA VZORKÁCH Z JEDNOTLIVÝCH MOSTOV

### Piliere Starého mosta v Bratislave (BA)

Most mal sedem polí a celkovú dĺžku 454,7 m (obr. 1). Časť ocelevej konštrukcie stojí aj po rekonštrukcii na pôvodných pilieroch postavených z betónu a kameňa v roku 1890. Všetky pôvodné piliere v koryte rieky Dunaj boli založené na ocelových kesónoch vyplnených betónom. Betón v kesónoch bol zhotovený z románskeho cementu, v spodnej časti pilierov bezprostredne nad kesónmi z portlandského cementu a zvyšná časť pilierov opätovne z románskeho cementu [5]. V roku 1945 bola počas 2. svetovej vojny oceľová konštrukcia hornej stavby zničená a následne nahradená novým oceľovým mostom na opravených pilieroch. Táto nová konštrukcia slúžila až do roku 2010, kedy bola pre dopravu uzavretá a rozhodlo sa o vybudovaní novej konštrukcie hornej stavby

na existujúcich pilieroch. Rekonštrukcia mosta sa uskutočnila v roku 2014 a 2015. Pozdĺž zvislej osi štyroch pilierov (č. 3, 4, 5 a 6) boli odobraté jadrové vývrty priemeru 110 mm (vzorky BA-1 až 9), najdlhší vývrt dosiahol dĺžku až 23,15 m. Piliere sú obložené kameňom, preto sa nestanovila hĺbka karbonatizácie. Nevykonala sa ani verifikácia stavu zabudovanej ocelevej výstuže, pretože piliere ju neobsahujú.

### Železobetónový most v Krásne nad Kysucou (KnK)

Cestný most v Krásne nad Kysucou (obr. 2) preklenujúci rieku Bystricu sa pokladá za najstarší zachovaný železobetónový most na Slovensku a jeden z najstarších oblúčkových mostov typu Monier v strednej Európe, ktoré sú ešte stále v prevádzke. Most bol dokončený v roku 1892 ako jeden zo série tohto typu mostov postavených na území bývalého Rakúsko-Uhorska, bez poškodenia prežil svetové vojny a slúžil až do roku 2014 bez zásadných opráv.

Most sa skladá z dvoch železobe-



Firmní prezentace

# XYPEX

VODONEPROPUSTNOST BETONU  
A OCHRANA BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

## NEKAP

Vyhradní prodejce v ČR

NEKAP, s.r.o., Thákurova 7, 160 00 Praha 6  
tel.: 233 323 902, 224 316 107, fax: 224 313 212  
e-mail: info@xypex.cz, www.nekap.cz



tónových klenieb postavených na kamenných oporách a kamennom pilieri, ktoré boli súčasťou predchádzajúceho kamenného oblúkového mosta. Podľa opakovaného zamerania uskutočneného počas rekonštrukcie jeho dve klenby dosahujú svetlosť 16,8 m. Hrúbka primárnej klenby je premenná, od 400 mm v päte oblúka po 150 mm v strede prvého oblúka a len 130 mm v strede druhého oblúka. Nad základnou klenbou vystuženou pri oboch povrchoch sa nachádza pôvodná nadbetónávka z prostého betónu, ktorá dosahuje hrúbku až 600 mm pri päťach klenby a postupne sa smerom k stredu oblúka vytráca. Kompletná rekonštrukcia mosta sa uskutočnila v roku 2015. Odobralo sa šesť jadrových vývrtov (štyri z klenby a dva z parapetov) a z nich sa vyhotovilo osem vzoriek KnK-1 až 8. Krycia vrstva zisťovaná na jadrových vývrtach bola pri spodnom povrchu nameraná v rozmedzí 30 až 60 mm a pri hornom povrchu 70 až 180 mm. Parametre výstuže sa skúšali na dvoch vzorkách odobratých z klenby mosta. Hĺbka karbonatizácie na všetkých skúšobných miestach je minimálna. Táto nízka hodnota karbonatizácie bola potvrdená a čiastočne objasnená až opakovanými odvrtmi v júni

2016, avšak tieto výsledky budú publikované v samostatnom článku. Nízku karbonatizáciu betónu potvrdili nezávisle od seba tri výskumné pracoviská (STU Bratislava, TU Žilina a TSÚS Bratislava).

### Železobetónový most v Hlohovci (HC)

Zachovali sa tri spojitý betónové polia s rozpätiami 24 + 29 + 24 m (obr. 3). Horná stavba pozostáva z troch hlavných trémov, ktorých výška v strede rozpätia je 1,3 m a nad podperami 1,8 m. Šírka trémov sa tiež mení z 350 mm v strede rozpätia na 770 mm nad podperami. Hrúbka mostovky je približne 190 mm. Most je od roku 1945, kedy bolo hlavné oceľové mostné pole zničené, nefunkčný a slúži len miestnym obyvateľom dedinky Šulekovo k preklenutiu mŕtveho ramena rieky Váhu.

Na moste sa zhotovilo celkovo päť jadrových vývrtov, z toho dva z piliera (ozn. HC-4 a HC-5), jeden z opory (ozn. HC-3) a dva z nosnej konštrukcie mosta (ozn. HC-1 a HC-2). Výsledky mechanických parametrov betónu boli stanovené na vývrtach. Odobratá výstuž bola poškodená a nevhodná na mechanické skúšky. Karbonatizácia sa stanovila na štyroch vzorkách.

### Železobetónová lávka pre peších v Ružomberku (RK)

Lávku tvoria dva paralelné oblúky s rozpätím cca 22 m, ktoré sú vzájomne prepojené priečnikmi v pravidelných intervaloch (obr. 4). Pod samotnou železobetónovou mostovkou sú dva hlavné trámy, ktoré ležia na priečnikoch, cez ktoré sa zaťaženie prenáša prostredníctvom krátkych stĺpikov do hlavných oblúkov. Opory sú zhotovené z prostého betónu podobne ako základy pilierov. Krytie výstuže v hlavných oblúkoch je v priemere cca 30 mm.

Z mosta sa odobrali tri jadrové vývrtky (jeden z nich však bol nakoniec kvôli priečnej trhline na mechanické skúšky nepoužiteľný) a dve výstuže na stanovenie mechanických vlastností ocele (vzorky R1 a R2), karbonatizácia sa stanovila na odvrtch.

### Železobetónová priehradová konštrukcia mosta v blízkosti mesta Nyíregyháza v Maďarsku (NY (HU))

Most (obr. 5) sa nachádzal na ceste III. triedy v Maďarsku v okrese Nyíregyháza, neďaleko slovenských hraníc (v čase jeho stavby bolo Slovensko ešte súčasťou Rakúsko-Uhorska). Nosník sa odskúšal v rámci odbornej spolupráce Maďarska a Slovenska. Jedná sa o výnimočnú konštrukciu, ktorá je veľmi ojedinelá, keďže je tvorená priehradovými železobetónovými nosníkmi. Presné datovanie mosta sa zistiť nepodarilo, avšak s istotou ho môžeme zaradiť do obdobia výstavby 1910 až 1919.

Most bol tvorený ôsmimi priehradovými nosníkmi s rozpätím 5 m. Nosníky boli vždy zdvojené v systéme jedna dvojica na krajoch mosta a dve dvojice v strede mosta. Nad nosníkmi bola nadbetonovaná doska hrúbky cca 200 mm, ktorá tvorila mostovku. Samotný priehradový nosník bol vysoký 690 mm, pričom horná pásnica mala hrúbku 140 mm a spodná pásnica 90 mm. Diagonály boli hrubé 90 mm. Výstuž hornej





pásnice a diagonál tvorila hladká výstuž různých priemerov (podľa zataženia daného prvku) a výstuž spodnej pásnice bola tvorená zdvojenou oceľovou pásovinou 59 × 11 mm. Styčníky výstuží boli spracované so „zámočnickou“ presnosťou. Styk výstuže s oceľovou pásovinou v spodnej pásnici bol riešený cez vyvrtaný otvor v pásovine a prevlečením a zahnutím výstuže zvislice, príp. výstuže diagonály. Z nosníka sa odobrali štyri jadrové vývrty NY-1 až 4. Z nosníka sa tiež odobrali dve výstuže na stanovenie mechanických vlastností ocele (vzorky NY1 a NY2). Karbonatizácia sa stanovila na odvrtoch. Priemerná hrúbka krycej vrstvy bola 25 mm.

### Most v Nižnej Myšli (NM)

Most bol postavený začiatkom 20. storočia (pred rokom 1914) ponad železničnú trať, ktorá bola zrušená v roku 1945. Most je odvtedy mimo prevádzku a postupne ho zarastá vegetácia (obr. 6). Most tvorí rámová konštrukcia pozostávajúca z troch hlavných trémov vzájomne vzdialených osovo 1,75 m s tromi poľami rozpätí 6 + 18 + 6 m a mostovkou širokou 5 m. Zvršok mosta tvorí železobetónové zábradlie a kameňom vysypaná vozovka, ktorá je dnes už zarastená trávnatým porastom.

Z mosta sa odobrali tri jadrové vývrty, z ktorých sa vyhotovilo päť vzoriek (NM-1 až 5). Z mosta sa tiež odobrali dve výstuže na stanovenie mechanických vlastností ocele (vzorky N1 a N2). Karbonatizácia sa stanovila na odvrtoch a tiež na betónovom zábradlí mosta. Priemerná krycia vrstva výstuže je 30 mm.

### Most pri Sládkovičove (SL)

Most sa nachádza na ceste III. triedy smerujúcej do mesta Sládkovičovo ponad potok (obr. 7). Jedná sa o jednoduchú trámovú jednopólovú konštrukciu s rozpätím 4 m. Pôvodný most bol postavený ešte v 19. storočí, avšak jeho horná stavba bola rekonštruovaná v roku 1965.

Z pôvodnej časti mosta, z opory, ktorá je viac ako 100 rokov stará, sa vyhotovili dva jadrové vývrty (SL1 a SL2). Výstuž sa s ohľadom na neprístupnosť a malé rozmery úložného prahu neodobrala a ani neskúšala. Karbonatizácia sa zisťovala na odvrtoch. Na tomto moste sa taktiež namerala extrémne nízka hodnota karbonatizácie a tiež sa odvrty opakovali v júni v roku 2016. Podobne ako pri moste v Krásne nad Kysucou sa tieto hodnoty potvrdili a čiastočne objasnili, pričom tieto výsledky a zistenia budú taktiež súčasťou ďalšieho článku.

Obr. 3 Železobetónový most v Hlohovci  
Fig. 3 Reinforced concrete bridge in Hlohovec

Obr. 4 Železobetónová lávka pre peších v Ružomberku  
Fig. 4 Reinforced concrete pedestrian bridge in Ružomberok

Obr. 5 Železobetónová priehradová konštrukcia mosta z blízko mesta Nyíregyháza v Maďarsku

Fig. 5 Reinforced concrete truss girder bridge near Nyíregyháza in Hungary

Obr. 6 Most v Nižnej Myšli  
Fig. 6 Bridge in Nižná Myšľa

Obr. 7 Most pri Sládkovičove  
Fig. 7 Bridge near Sládkovičovo

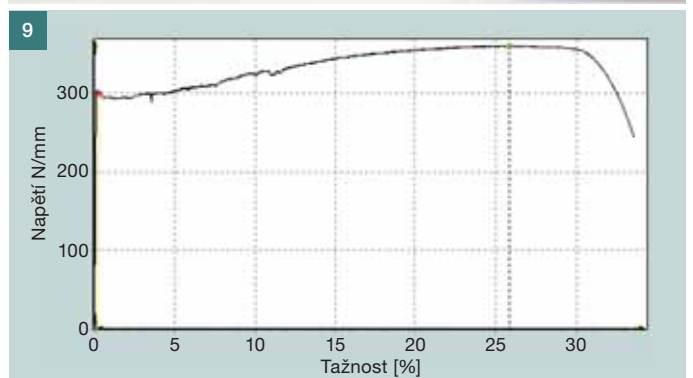
Obr. 8 Výstuž z mosta v Nižnej Myšli  
Fig. 8 Steel reinforcement from the bridge in Nižná Myšľa

Obr. 9 Pracovný diagram ťahovej skúšky vzorky výstuže z mosta v Nižnej Myšli  
Fig. 9 Stress-strain diagram of steel reinforcement from the bridge in Nižná Myšľa

Tab. 1 Vybrané mechanické vlastnosti oceľových výstuží  
Tab. 1 Selected mechanical properties of steel reinforcements

Most	Vzorka*	Medza klzu [N/mm <sup>2</sup> ]	Medza pevnosti [N/mm <sup>2</sup> ]	Medza klzu/medza pevnosti	Ťažnosť A <sub>50</sub> [%]
BA	–	–	–	–	–
KnK	K1	321	378	0,85	39
	K2	330	389	0,85	nemerané
	K3	363	416	0,87	31
HC	–	–	–	–	–
RK	R1	304	364	0,84	38
	R2	296	359	0,83	38
NY (HU)	NY1	238	349	0,68	35
	NY2	236	333	0,71	28
NM	N1	292	315	0,93	13
	N2	299	361	0,83	34
SL	–	–	–	–	–

\* všetky vzorky výstuže z mostov mali kruhový prierez a boli hladké bez povrchovej úpravy



Tab. 2 Vybrané mechanické vlastnosti betónov ■ Tab. 2 Selected mechanical properties of concretes

Most	Vzorka	Poloha vzorky v rámci mosta	Objemová hmotnosť	Dynamický modul pružnosti	Statický modul pružnosti	Pevnosť v tlaku	Vypočítaný zmenšovací súčiniteľ $k_u$ podľa [20]
			[kg/m <sup>3</sup> ]	[GPa]	[GPa]	[MPa]	[-]
BA	BA-1	Nad kesónom	2 240	26,5	14,7	16,9	0,55
	BA-2		2 430	nemerané	nemerané	19	-
	BA-3		1 957	6,2	nemerateľné	4,9	-
	BA-4	Kesón	2 044	4	nemerateľné	3,4	-
	BA-5		1 894	2,9	nemerateľné	1,3	-
	BA-6		2 240	nemerané	nemerané	5,1	-
	BA-7	Pilier	2 220	nemerané	nemerané	12,5	-
	BA-8		2 280	nemerané	nemerané	11,5	-
	BA-9		2 410	nemerané	nemerané	12	-
KnK	KnK-1	Oblúk	2 080	nemerané	21	23,8	-
	KnK-2		2 080	nemerané	22	25,7	-
	KnK-3	Nadbetónávka oblúka	2 090	29,3	20,9	22,7	0,71
	KnK-4		2 160	37,1	23,7	30,5	0,64
	KnK-5		2 050	nemerané	20,7	21,4	-
	KnK-6	Parapet	2 150	35,2	24,1	20,2	0,68
	KnK-7		2 140	31,9	16,5	22,4	0,52
	KnK-8		2 130	29,5	15,1	19,2	0,51
HC	HC-1	Horná stavba	2 196	23,3	nemerateľné	4,3	-
	HC-2		2 241	25,8	18,0	8,7	0,7
	HC-3	Opora	2 308	43,5	27,9	36,4	0,64
	HC-4	Pilier	2 206	30,3	13,5	12,6	0,45
	HC-5		2 204	32,9	29,3	21,7	0,89
RK	RK-1	Opora	2 339	29,3	26,4	16,7	0,9
	RK-2	Horná stavba	2 236	41,4	23,1	33,2	0,56
NY (HU)	NY-1	Mostný trám	2 200	25,6	19,8	16,4	0,77
	NY-2		2 209	24,6	15,6	16,1	0,63
	NY-3		2 233	27,9	13,4	15	0,48
	NY-4		2 205	30,1	15,3	20,3	0,51
NM	NM-1	Opora	2 375	48,8	25,9	11,9	0,53
	NM-2	Horná stavba	2 348	44,0	24,4	11,4	0,55
	NM-3		2 372	46,2	27,5	24,7	0,6
	NM-4		2 119	26,1	25,6	16,9	0,98
	NM-5		2 093	26,5	35,1	16,3	1,32
SL	SL-1	Opora	2 110	30,8	16,1	20,3	0,52
	SL-2		2 157	35,9	20,3	25,5	0,57

Dva mosty boli skúmané s cieľom asistovať projektantom priamo pri ich rekonštrukcii (Most v Krásne nad Kysou, piliere mosta v Bratislave) a výsledky výskumu sa priamo premietli do stavebnej praxe. Ďalšie skúmané mosty boli súčasťou cieľa vytvoriť orientačnú databázu pre budúce rekonštrukcie železobetónových mostov z tohto historického obdobia. Na základe skúšok mechanických vlastností týchto viac ako 100 rokov starých betónov na Slovensku možno konštatovať veľkú va-

riabilitu pevností a modulov pružnosti nielen v celkovom súbore, ale často aj v rámci jedného konštrukčného prvku daného mosta. Tento veľký rozptyl materiálových vlastností pripisujeme primárne nedostatočnému hutneniu pri spracovávaní zmesi, ktorému sa v začiatkoch aplikácií betónu v mostných stavbách nevenovala dostatočná pozornosť (prvé interné vibrovanie sa použilo až v roku 1932 [22]). Veľký rozptyl vlastností betónov v rámci mosta je dôsledkom porovnávania betónov z rôznych

Tab. 3 Priemerná hĺbka karbonizácie ■ Tab. 3 Average carbonation depths

Most	Poloha miesta merania v rámci mosta	Stupeň prostredia podľa EN 206 [21]	Priemerná hĺbka karbonizácie [mm]
BA	-	-	-
KnK	Horná stavba	XC3	< 2
	Horná stavba	XC3	< 2
HC	Horná stavba	XC3	55
	Horná stavba	XC3	88
	Pilier, časť nevystavená dažďu	XC3	65
RK	Pilier, časť vystavená dažďu	XC4	25
	Opora, časť vystavená dažďu	XC4	15
NY	Horná stavba	XC3	25
	Horná stavba	XC3	35
	Horná stavba	XC3	28
NM	Horná stavba	XC3	25
	Horná stavba	XC3	33
	Horná stavba	XC3	13
SL	Opora, časť nevystavená dažďu	XC3	105
	Horná stavba	XC3	50
	Horná stavba	XC3	55
SL	Parapet	XC4	25
	Opora, časť nevystavená dažďu	XC3	< 2
SL	Opora, časť nevystavená dažďu	XC3	< 2

miest konštrukcie, kde sa uvažuje použitie materiálovo odlišných receptúr, rezultujúcich do variability rôznych tried betónov, odlišná technológia výroby, spôsob ukladania čerstvej zmesi, spôsob počiatočného ošetrovania ako aj dlhodobé pôsobiaci atmosférické účinky na mostový betón. Pri meraní dynamického modulu pružnosti betónu s nižšou pevnostnou triedou ultrazvukovou metódou bude pevnosť betónu v tlaku nízka, ale očakávaný dynamický modul pružnosti môže byť reálne vyšší. Vyšší dynamický modul pružnosti spôsobuje použité kamenivo v betóne, ktoré si pri pevnostnej slabšom cementovom tmele zachováva svoju tvrdosť a zvyšuje dynamický modul pružnosti kompozitu. Na rozdiel od degradovania cementovej matrice si kamenivo udržiava svoje pôvodné vlastnosti aj v dlhom časovom horizonte. Obr. 11 porovnáva hodnoty nameraného statického modulu pružnosti a modulu prepočítaného z dynamického modulu pružnosti normovým zmenšovacím koeficientom na základe pevnostnej triedy podľa STN 73 2011 [20].

Z výsledkov uvedených na obr. 12 je ďalej zjavné, že aj keď istá závislosť medzi minimálnym nameraným modulom pružnosti a medzi pevnosťou betónu existuje, je v moduloch pružnosti pomerne veľký rozptyl. Z RTG rozboru betónu môžeme konštatovať, že všetky betóny boli zhotovené z kremečitého kameniva a že teda rozptyl nie je spôsobený rôznym druhom kameniva.

Veľký rozptyl nameraných hodnôt môže byť zapríčinený použitím rôznych frakcií kameniva, rôznym vekom betónu a rôznou pevnostnou triedou betónu. Z obr. 10 je zrejmé, že na výstavbu mostov sa pred 100 rokmi použili betóny s kamenivom rôznej frakcie. Rozdielne veľkosti zrn kameniva a podiel jednotlivých frakcií sa prejavujú na nameraných hodnotách dynamického modulu pružnosti. Väčší podiel väčších zrn môže prispievať k zvýšenej hodnote dynamického modulu pružnosti.

Z grafu na obr. 11 vidieť určitú závislosť medzi dynamickým modulom pružnosti a statickým modulom pružnosti, avšak o silnej závislosti hovoriť nemôžeme. Odporúčame preto pri stanovovaní mechanických vlastností viac ako 100 rokov starých betónov pred rekonštrukciou mosta merať aj statický modul pružnosti a nespoliehať sa iba na výsledky nedeštruktívnych skúšok a ani na korelačné vzorce z aktuálnych noriem.

Obr. 12 demonštruje zistenú závislosť medzi dynamickým a statickým modulom pružnosti po vylúčení odľahých hodnôt zistených meraní.

Variabilita v zložení betónov a tiež geograficky rôzne podmienky dlhodobého atmosférického pôsobenia na betón spôsobujú s najväčšou pravdepodobnosťou variabilitu vo vzťahu medzi nameraným statickým modulom pružnosti a modulom prepočítaným z dynamického modulu pružnosti normovým zmenšovacím koeficientom (obr. 11); vo vzťahu medzi pevnosťou v tlaku a statickým modulom pružnosti (obr. 12) a také medzi pevnosťou v tlaku a dynamickým modulom pružnosti (obr. 13). Tab. 2 obsahuje vypočítaný zmenšovací súčiniteľ  $k_u$  podľa [20], ktorý dáva do pomeru nameraný statický a dynamický modul pružnosti.

**ZÁVERY**

Na základe meraní uskutočnených na vzorkách zo siedmich viac ako 100 rokov starých mostov môžeme prehlásiť, že:

- prevažná väčšina skúmaných betónov nespĺňa kritéria pre zaradenie ani do najnižšej pevnostnej triedy C 12/15 podľa platnej EN 1992-1-1 [23];
- namerané moduly pružnosti mali pomerne veľký rozptyl a väčšinou boli ich hodnoty menšie než hodnoty prepočítané vzťahmi uvádzanými v súčasných relevantných dokumentoch [23], [24]. Okrem toho je zrejma aj veľká variabilita mechanických vlastností aj v rámci jedného mostného elementu. Túto variabilitu možno pripísať nedostatočnému hutneniu betónovej zmesi, ktorému sa na začiatku 20. storočia venovala len veľmi malá pozornosť;

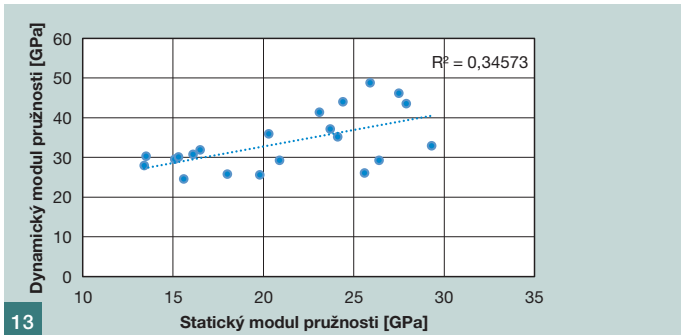
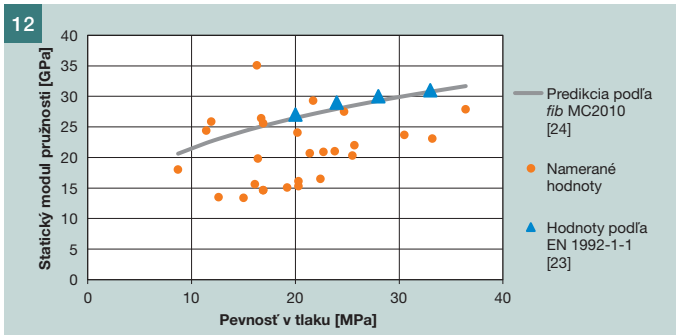
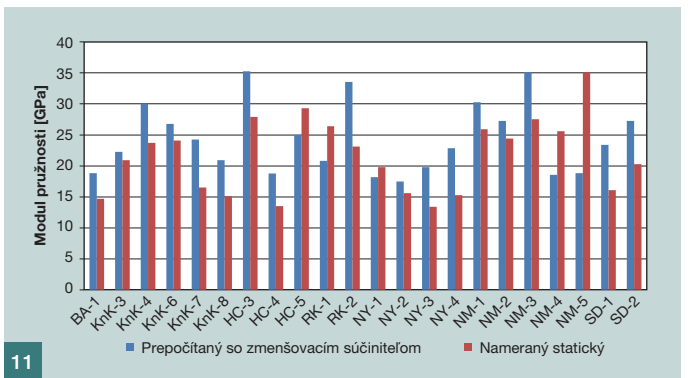
- z nameraných mechanických parametrov výstuže môžeme konštatovať, že vstupné hodnoty pevnosti výstuže, ktorými sa na Slovensku prepočítavali železobetónové mosty z konca 19. a zo začiatku 20. storočia, boli väčšinou až o 30 % nižšie, než aké sa namerali v rámci tohto výskumu. Zohľadnením reálnych vlastností výstuží je možné zvýšiť zaťažiteľnosť týchto mostov, príp. zredukovať rozsah plánovanej rekonštrukcie;
- potvrdil sa dobre známy fakt, že hĺbka karbonizácie závisí od charakteru okolitého prostredia, kvality betónu a typu cementu. Avšak merania karbonizácie na rôznych častiach mosta ukázali, že betóny zaradené do horšej triedy prostredia XC4 (podľa

Obr. 10 Vzorky skúmaných betónov z mosta v Sládkovičove (SL-1 a 2) a v Ružomberku (RK-1 a 2) | Fig. 10 Concrete specimens from the bridges in Sládkovičovo (SL-1 and 2) and Ružomberok (RK-1 and 2)

Obr. 11 Porovnanie nameraného statického modulu pružnosti a modulu prepočítaného z dynamického modulu pružnosti normovým zmenšovacím koeficientom podľa STN 73 2011 [20] | Fig. 11 Comparison of the measured standard modulus of elasticity and the modulus of elasticity computed from the dynamic modulus of elasticity by conversion factor given in STN 73 2011 [20]

Obr. 12 Korelácia medzi pevnosťou v tlaku a statickým modulom pružnosti | Fig. 12 Correlation between compressive strength and standard modulus of elasticity

Obr. 13 Korelácia medzi statickým a dynamickým modulom pružnosti | Fig. 13 Correlation between standard and dynamic modulus of elasticity



## Literatúra:

- [1] PAULÍK, P. *Bridges in Slovakia*. Bratislava: JAGA, 2014.
- [2] DROZD, A., CHLADNÝ, E., PAULINY, L., POLIAČEK, I., VÉBR, V., ZVARA, J. *Stavebníctvo na Slovensku 1945–1985*. Bratislava: Alfa, 1989.
- [3] LAKY, A., RENGEVIČ, A. *Betónové mosty na Slovensku*. Bratislava: Alfa, 1988.
- [4] SEIDLEROVÁ, I., DOHNÁLEK, J. *Dějiny betonového stavitelství v českých zemích do konce 19. století*. Praha, 1999.
- [5] PULSZKY, G. *A pozsonyi állandó Dunahíd*. Magyar Mérnök és Építész Egylet. Budapest, 1891, 25/2, p. 81–101.
- [6] BALÁZS, G. *Beton és vasbeton I. – alapismeretek történelme*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1994.
- [7] WAYSS, G. A. *Die Monier Bauweise*. Berlin, 1891.
- [8] WAYSS, G. A. *Das System Monier*. Berlin, 1887.
- [9] GYÓZÓ, Z. A. *Monier rendszer és a hazánkban e rendszer szerint létesített első műtárgy*. Magyar Mérnök és Építész Egylet. Budapest, 1890, 24/4, p. 221–232.
- [10] GYÓZÓ, T. *Monier és Gipszpalló szerkezetek I.* Magyar Mérnök és Építész Egylet. Budapest, 1891, 25/1, p. 19–28.
- [11] GYÓZÓ, T. *Monier és Gipszpalló szerkezetek II.* Magyar Mérnök és Építész Egylet. Budapest, 1891, 25/2, p. 66–81.
- [12] GEOSTATIK. *Orientačný inžiniersko-geologický prieskum Bratislava – Starý most cez Dunaj*. Záverečná správa. Bratislava, 2007.
- [13] STN EN 12504-2. *Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 2: Nedeštruktívne skúšanie. Stanovenie tvrdosti odrazovým tvrdomerom*. 2013.
- [14] STN EN 12504-4. *Skúšanie betónu. Časť 4: Určenie rýchlosti ultrazvukového impulzu*. 2005.
- [15] STN EN 1015-12. *Metódy skúšania mált na murovanie. Časť 12: Stanovenie prídržnosti zatvrdnutých spodných a krycích omietkových mált k podkladom*. 2001.
- [16] STN 73 1371. *Ultrazvuková impulzová metóda skúšania betónu*. 1981.
- [17] STN ISO 6784. *Betón. Stanovenie statického modulu pružnosti v tlaku*. 1993.
- [18] STN EN 12504-1. *Skúšanie betónu v konštrukciách. Časť 1: Vzorky z jadrového vŕtania. Odber, preskúmanie a skúška pevnosti v tlaku*. 2010.
- [19] STN 72 0100. *Základný postup rozboru silikátov. Všeobecné ustanovenia*. 1983.
- [20] STN 73 2011. *Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií*. 1986.
- [21] EN 206. *Betón – Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda*. 2015.
- [22] MENN, C. *Prestressed Concrete Bridges*. Viedeň, 1986.
- [23] EN 1992-1-1. *Navrhovanie betónových konštrukcií*. 2006
- [24] *fib Model Code for Concrete Structures 2010*. Lausanne, 2013.

EN 206 [21]) vykazovali nižšiu karbonizáciu ako betóny zaradené do triedy prostredia XC3 a to aj v prípade, že ich mechanické vlastnosti boli horšie. Čiastočné objasnenie tohto paradoxu, ako aj extrémne nízkych karbonizácií v prípade dvoch mostov bude zverejnené v ďalšom článku, ktorý je v štádiu prípravy.

Ing. Peter Paulík, PhD.  
SvF STU v Bratislave

Katedra betónových konštrukcií  
a mostov  
e-mail: peter.paulik@stuba.sk



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



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



Ing. Ivan Janotka, DrSc.  
TSÚS Bratislava  
e-mail: janotka@tsus.sk



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

## RYBIA FARMA V HANDLOVEJ

15. augusta 2015 bolo v areáli bane Handlová, v bývalých priemyselných priestoroch, uvedené do prevádzky najmodernejšie zariadenie na chov rýb v uzavretých halových priestoroch v recirkulačno-aquakultúrnom systéme pomocou okysličovania vody tzv. ODS Flow systémom.

Projekt rybia farma v Handlovej bol zahájený s cieľom vybudovania prevádzky na chov a spracovanie rýb čelade Kláriuš Panafriky s využitím obnoviteľného zdroja tepelnej energie z banských vôd. Na prevádzku farmy sa bude využívať banská voda, ktorá z bane voľne vyteká už 100 rokov, čo je raritou v Európe, a to ako chovná voda pre ryby a súčasne ako primárny zdroj tepla vyrábaného čerpadlami z vody 16 °C vytekajúcej z podzemia na vodu 50 °C.

Pred začatím výstavby projektu bolo potrebné asanovať 27 starých objektov, ktoré sa nachádzali na tomto území. Geologická stavba, úklon svahu a „živé“ banské diela bane Handlová, umiestené tesne pod povrchom staveniska, si vyžiadali základanie stavby na piloty (16m vývrty) v celkovej dĺžke 3820 m. Stavba pozostáva z dvadsiatich stavebných celkov, z ktorých

rozhodujúce sú tri – chovňa rýb, spracovňa rýb a skleníkové hospodárstvo.

Pre chov rýb bola vybudovaná hala o výmere 3660 m<sup>2</sup>, jež súčasťou je aj vlastná plôdkiareň chovu. Počíta sa s ročnou produkciou 1 000 t. Projekt pozostáva z niekoľkých častí. Prvou z nich sú biofiltre, ktoré predstavujú obdĺžnikovú nádrž s celkovým objemom 737 m<sup>3</sup>. Ďalšiu časť predstavuje tzv. grow tank, čo je železobetónová kruhová nádrž s vonkajším priemerom 7,75 m a celkovým objemom 364 m<sup>3</sup>. Nursery tank je železobetónová kruhová nádrž pozostávajúca z dvojice navzájom spojených kruhových nádrží s priemerom 4,13 m a objemom 83 m<sup>3</sup>. Poslednou časťou projektu je tzv. harvest channel, otvorená krabicová konštrukcia s objemom 56 m<sup>3</sup>.

Investíciu možno zaradiť medzi inovatívne zámery slovenskej ekonomiky s pozitívnym vplyvom na slovenský a český trh, ale aj na trh strednej Európy v oblasti spotreby rybných produktov a pestrostri ponuky.

Zhotoviteľ	HBH, a. s., Považská Bystrica
Návrh debnenia a lešenia	PERI Považská Bystrica

Zdroj: PERI a tisková zpráva Agro rybia farma, s. r. o.

