

# PRÍČINY HAVÁRIE A REKONŠTRUKCIA PREDPÄTÉHO MOSTA V PODBIELI ■ CAUSES OF COLLAPSE AND RECONSTRUCTION OF A PRESTRESSED BRIDGE IN PODBIEL

Martin Moravčík, Petra Bujňáková, František Bahleda

Koncom roku 2015 došlo k uzatvoreniu premávky na mostnom objekte č. 59-090 na ceste s medzinárodným významom I/59 za obcou Podbiel na Orave, smerujúcej na hranice s Poľskom. Príčinou bolo zistenie závažnej poruchy na nosnej konštrukcii mosta, ktorý bol vybudovaný v roku 1956, ako jeden z prvej generácie mostov na Slovensku z dodatočne predpätých prefabrikovaných prvkov spojených priečnym predpätím do ortotropnej sústavy. Uvedený havarijný stav na moste si vyžiadala okamžitú uzávierku mosta. Príspevok pojednáva o zistených poruchách na moste, ich príčinách, výsledkoch diagnostiky mosta a návrhu riešenia vzniknutej situácie. ■ Concrete bridge No. 59-090 on the international route I/59 connecting Slovakia to Poland was completely closed for traffic at the end of 2015. The bridge was built in 1956 as a first generation of precast prestressed bridges, built from post-tensioned girders, and additionally prestressed in the transverse direction to create a statical system of the orthotropic bridge deck. This paper focuses on the primary cause of failures and collapse state of the bridge superstructure, diagnostic survey and design of reconstruction process.

Prvá generácia predpätých mostov z tyčových prefabrikátov sa začala v širšej miere uplatňovať v bývalom Československu v období 50. až 60. rokov minulého storočia. Na území severného Slovenska v oblasti Oravy bolo postavených viacero mostov práve s využitím technológie plnej prefabrikácie [1], [2], [4]. Jedným z typických predstaviteľov týchto mostných konštrukcií sú dodatočne predpätané prefabrikované nosníky tvaru T. Aplikácia dodatočného predpätania nosníkov bola vtedy ty-

pická jednak pre pozdĺžny smer, ale aj priečny smer s cieľom vytvoriť ortotropnú sústavu bez použitia monolitického betónu [5]. Dokonca aj časti priečnikov sa vyrábali v rámci samotného tyčového prvku a len zalievkový betón bol použitý v medzerách medzi priečnikmi. Vznikol tak prefa systém bez použitia monolitického betónu, oproti tomu ako ho poznáme dnes z prefabrikovaných mostov spriahnutých monolitickou doskou. Nosníky sa vyrábali pre menšie rozpätia v jednom kuse, alebo pre väčšie rozpätia najčastejšie z troch samostatných prvkov.

Vyššie uvedené typy mostných konštrukcií, ktoré sú doteraz prevádzkované na našej cestnej sieti, majú za sebou 60 až 70 rokov prevádzky, teda sú za polovicou svojej plánovanej životnosti. V súčasnosti sa prejavuje ich nevyhovujúci technický stav, väčšinou ako príčina prvotných „detských chorôb“ tejto technológie budovania mostov. Ako hlavný zdroj havarijného stavu niektorých mostov tohto typu je nedostatočná ochrana predpínacej výstuže a jej kotvenia. K tomu sa samozrejme pridružuje aj fakt pôsobenia neustále narastajúcich účinkov dopravy hlavne v posledných desaťročiach, ako aj nedostatoknej údržby.

Snahou tohto príspevku je poukázať na príčiny kolapsu tohto typu mostnej konštrukcie a následné riešenie havarijného stavu.

Vzhľadom k strategickej polohe mosta č. 59-090 na ceste s medzinárodným významom I/59 za obcou Podbiel na Orave bola takmer okamžite po jeho uzávierke osobná doprava prevezená po ľahkom ocelovom provizóriu

(obr. 7a). To bolo osadené na betónových paneloch na stávajúcich podperách mosta, tak aby nezaťažovalo pôvodnú konštrukciu. Ťažká kamiónová doprava bola odklonená na obchádzkovú trasu cez horský priesmyk. Následne boli v bezprostrednej blízkosti mosta vybudované nové dočasné opory a osadené ťažké ocelové provizorium ŽM 60 (obr. 7b). Cez toto provizorium bola počas rekonštrukčných prác na moste prevádzaná celá doprava v striedavom režime. Na moste prebiehali rekonštrukčné práce, ktoré boli ukončené v júli roku 2016, kedy bol most uvedený do užívania.

## POPIS MOSTNEJ KONŠTRUKCIE

Poškodený most premostuje rieku Studený potok medzi obcami Podbiel a Nižná v dvoch poliach. Prevádza komunikáciu I. triedy, šírky 9 m. Komunikácia je v mieste mostného objektu v smerovom oblúku  $R = 900$  m. Nosná konštrukcia predstavuje 2poľovú prefabrikovanú konštrukciu zloženú z dvoch samostatne pôsobiacich prostých polí. Rozpätia polí sú  $2 \times 26,65$  m. Na oboch stranách mostovky sú vedené chodníky šírky 1,1 m. Na mos-

Obr. 1 Dispozičná schéma mosta:

a) pozdĺžny rez, b) priečný rez ■

Fig. 1 Layout scheme of the bridge:

a) longitudinal section, b) cross section

Obr. 2 a) Pohľad na krehký lom štyroch

krajných nosníkov v 2. poli, b) detail

trhliny ■ Fig. 2 a) Brittle failure on the

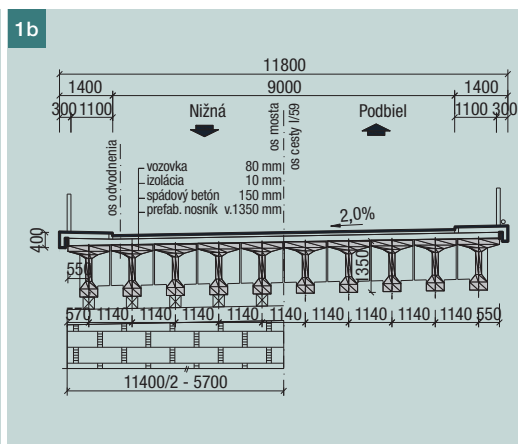
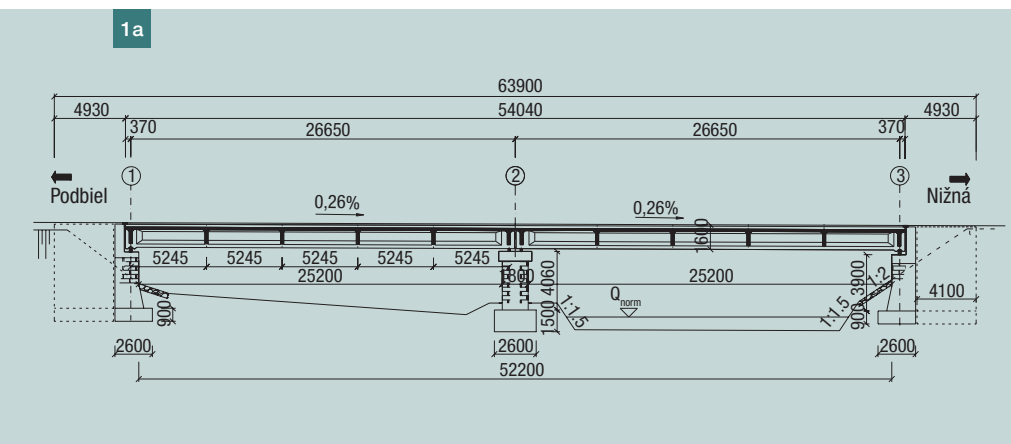
4 edge girders in the 2nd span, b) detail of

the primary crack

Obr. 3 Poškodenie krajných nosníkov

v 1. poli ■ Fig. 3 Failures of the edge

girders in the 1st span



te je jednostranný priečný sklon 2 % a pozdĺžny sklon 0,26 % (obr. 1).

Nosná konštrukcia sa skladá z desiatich dodatočne predpäťých nosníkov T prierezu v osovej vzdialenosti 1,14 m. Nosníky sú priečne spojené medzifahľými priečnikmi v osovej vzdialenosti 5,24 m s priečne vedenou predpínacou výstužou. Priečne predpätie je vedené v hornej prírubie nosníkov v osovej vzdialenosti kotiev približne 0,8 m a v priečnikoch. Konštrukčná výška nosníkov je 1,35 m, horná príruha šírky 1,1 m a spodná šírky 0,47 m. Nosníky boli predpäťé káblami z patentovaných drôtov  $\varnothing$  P 4,5 mm.

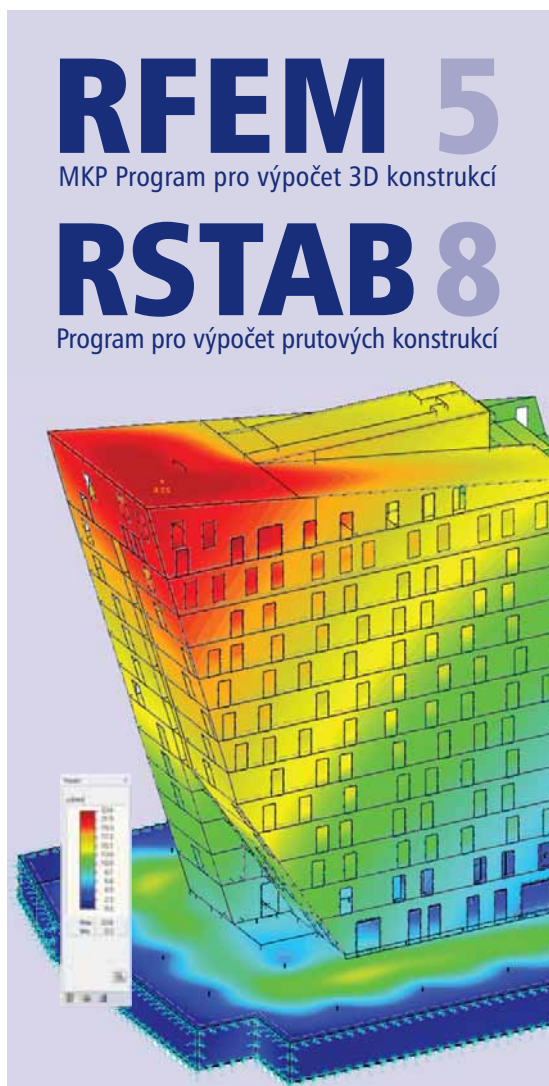
Spodnú stavbu tvorili gravitačné opory s nadväzujúcimi rovnobežnými gravitačnými krídlami a medzifahľý pilier. Založenie spodnej stavby bolo plošné v celom rozsahu. Uloženie mostovky bolo realizované na krajných oporách na tangenciálne ocelové ložiská a na stredovom pilieri pevne. Opory aj pilier boli realizované z prostého betónu chráneného kamenným obkladom hrúbky okolo 400 mm. Šírka opory bola 11,4 m. Výška opôr od základovej škáry bola 4,8 m, šírka drieku opory 1,65 m so zošíkmením smerom k základovému pásu na rozmer 2 m. Celková šírka základového pásu bola 2,6 m. Pilier v priereze pozostával z plného drieku v obdĺžnikovom tvare, pričom na návodnej strane bol tvarovaný do špica a na opačnej strane v zaoblenom tvare.

Výška drieku piliera bola 3,65 m a šírka 13,4 m.

**POPIS ZISTENÝCH PORÚCH A ANALÝZA ICH PRÍČIN**

Pri jednej z pravidelných prehliadok správcu bolo na moste v poli č. 2 zaznamenané nadmerné kmitanie konštrukcie po prechode ťažkých vozidiel. Následne bola na moste vykonaná podrobná prehliadka, ktorá zistila veľmi závažné statické poškodenie mosta, ktoré viedlo prakticky k okamžitému rozhodnutiu o jeho uzatvorení.

Na pravom okraji mostovky v poli č. 2 došlo prakticky k prelomeniu štyroch nosníkov. Boli objavené primárne trhliny v strednom priereze, so šírkou niekoľko desiatok milimetrov a viedli temer celou výškou prierezu (obr. 2b). Charakter osamotej širokej trhliny na nosníkoch v mieste maximálneho namáhania predstavoval učebnicový príklad krehkého porušenia betónu. V tomto poli na pravej strane mostovky bolo rovnako možné identifikovať deformáciu mostovky sprevádzanú nadmerným kmitaním celej konštrukcie, čo bolo veľmi citelné hlavne pri prejazdoch ťažkej kamiónovej dopravy. Zároveň bol viditeľný stav postupne sa rozvíjajúcich trhlín v strednom priereze aj na zvyšných šiestich nosníkoch priečného rezu. Tieto nosníky prenášali na seba zvýšené zaťaženie, ktoré sa z konštrukcie pre-rozdelilo po prelomení štyroch nosníkov.



**ZKUŠEBNÍ VERZE ZDARMA NA [www.dlupal.cz](http://www.dlupal.cz)**

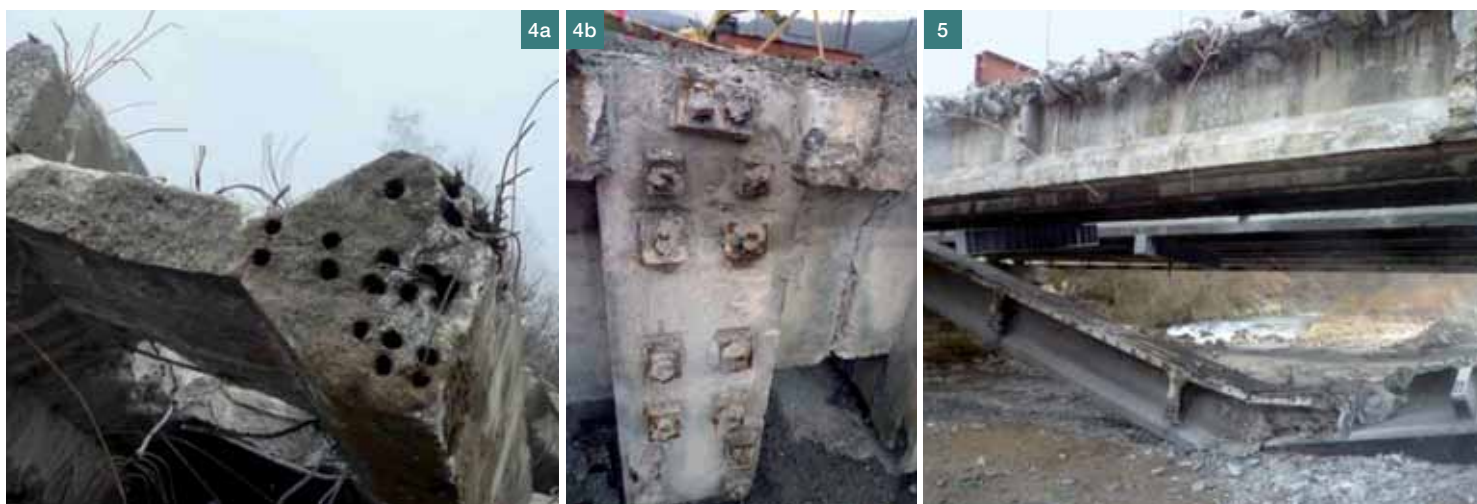
**Statika, která Vás bude bavit !**



**Dlubal Software s.r.o.**  
 Anglická 28, 120 00 Praha 2  
 +420 227 203 206  
 info@dlupal.cz  
 www.dlupal.cz

Firemní prezentace





Pri demolačných prácach bola zistená hlavná príčina kolapsového stavu – korózia predpínacej výstuže, ako aj kotiev (obr. 4). Pozdĺžnu predpínaciu výstuž nosníka tvorilo 22 ks 12drôtových káblov z patentovaných drôtov  $\varnothing$  4,5 mm. Z toho 14 káblov bolo priebežných a osem nepriebežných. Káble boli kotvené do doskových kotiev cez klasické plné kotevné kužele. Z celkového počtu 44 kotiev bolo 16 kotiev kotvených do hornej príruby nosníka pod spádovou vrstvou vozovky, čo významne urýchlilo korozívne pôsobenie vody na káble, a teda aj únosnosť nosníkov. Počas demolačných prác sa diagnostikou zistilo, že takmer 90 % káblov bolo neinjektovaných, teda predpínacia výstuž pôsobila len ako nesúdržná.

Navýše, okrem straty predpätia, to, čo sa podpísalo na havárii mosta, bola temer absolútna absencia betonárskej výstuže (obr. 4a). Požiadavka minimálnej výstuže ( $A_{s,min}$ ) voči zabráneniu krehkého lomu vypočítaná v súlade s normou STN EN 1992-1-1 bola podhodnotená asi o 85 %. To jasne potvrdzovalo nízku duktilitu predpätých nosníkov a predznačovalo charakter porušenia krehkým lomom. Dôkazom toho je aj skutočnosť, že po prerezaní drôtov priečného

predpätia došlo k samovoľnému pádu poškodených nosníkov, ktoré nedokázali prenášať ani vlastnú tiaž. Príklad takého nosníka je na obr. 5.

Priečny sklon mostovky bol jednostranný smerom k pravému okraju mosta, čo rovnako prispievalo k urýchliveniu korózie predpínacej výstuže práve na krajných nosníkoch pravej strany. V priečnom smere bola predpínacia výstuž tvorená 11drôtovými káblami vedenými v hornej príрубе nosníkov a v priečnikoch. Priečne predpätie bolo ešte relatívne funkčné, a dokonca čiastočne aj injektované, čo v podstate zaisťovalo to, že zatiaľ nedošlo k udalosti s fatálnymi následkami.

Zaujímavé bolo, že betón nosníkov bol na dobu výstavby mosta pomerne kvalitný, dosahoval charakteristických pevností 50 až 52 MPa, avšak bolo vidieť, že nosníky majú lokálne hniezda spôsobené nedostatočným hutnením pri ich výrobe.

Okrem primárnych porúch nosnej konštrukcie boli ďalej identifikované aj ďalšie bežné poruchy na spodnej stavbe a príslušenstve, ktoré však odpovedali časovej dĺžke exploatácie mosta. Degradáciou betónu, ako aj pomerne rozsiahlou koróziou betonárskej výstuže boli poznačené zatečené úložné prahy oboch opôr a stredového pilie-

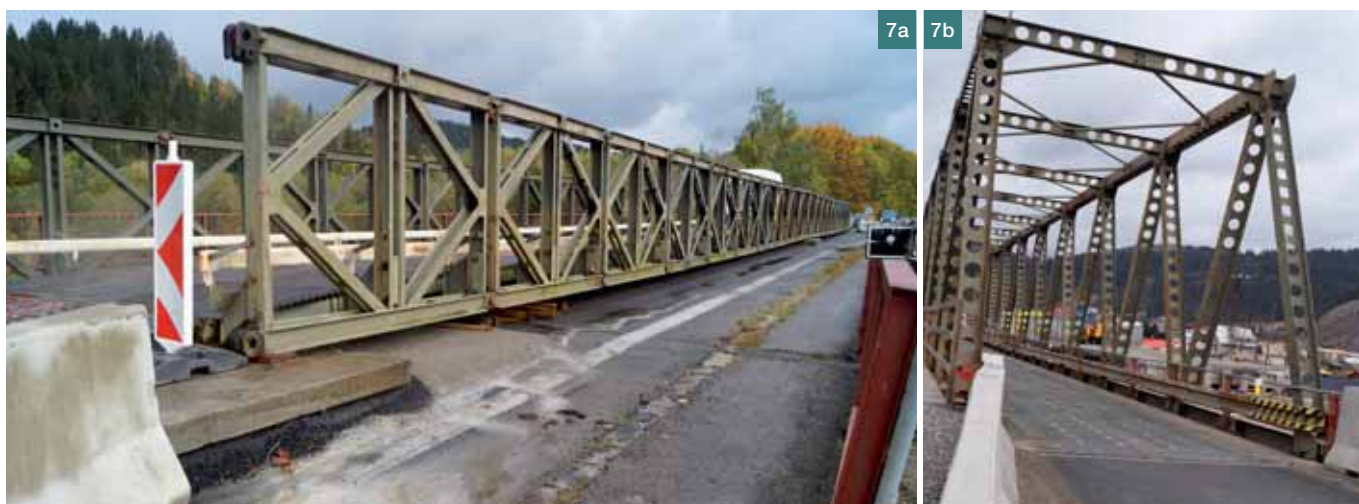
ra. Mostné závery boli nefunkčné a ich pretekание malo za následok aj rozsiahlu koróziu mostných oceľových ložísk.

#### VÝSLEDKY DIAGNOSTIKY SPODNEJ STAVBY MOSTA

Z dôvodu zistenia závažného poškodenia hlavných nosníkov bolo technicky nereálne pristúpiť k akémukoľvek spôsobu sanácie pôvodnej nosnej konštrukcie. Jej stav si vyžadoval okamžitú demontáž a zrealizovanie novej nosnej konštrukcie. Otázny zostával stav krajných opôr a piliera, ktoré nevykazovali známky stabilného porušenia alebo iných statických porúch. Preto po uzatvorení mosta boli diagnostické práce na moste venované hlavne spodnej stavbe.

Lícne strany opôr, krídel, ale aj piliera boli veľmi dobre chránené voči erózii kvalitným kamenným obkladom len s minimálnym rozsahom vypadnutej škárovacej hmoty. Oblasť úložných prahov a záverného múrika bola však značne poškodená zatečením, kde sa významne prejavilo pôsobenie agresívnej vody zo zimnej údržby, ako aj nízka kvalita betónu pri výstavbe. V prípade piliera boli v spodnej časti základového bloku viditeľné známky erózie vodným tokom Studeného potoka, ktorý má pomerne dravý bystrinný charakter. Úložný prah piliera sa nachádzal





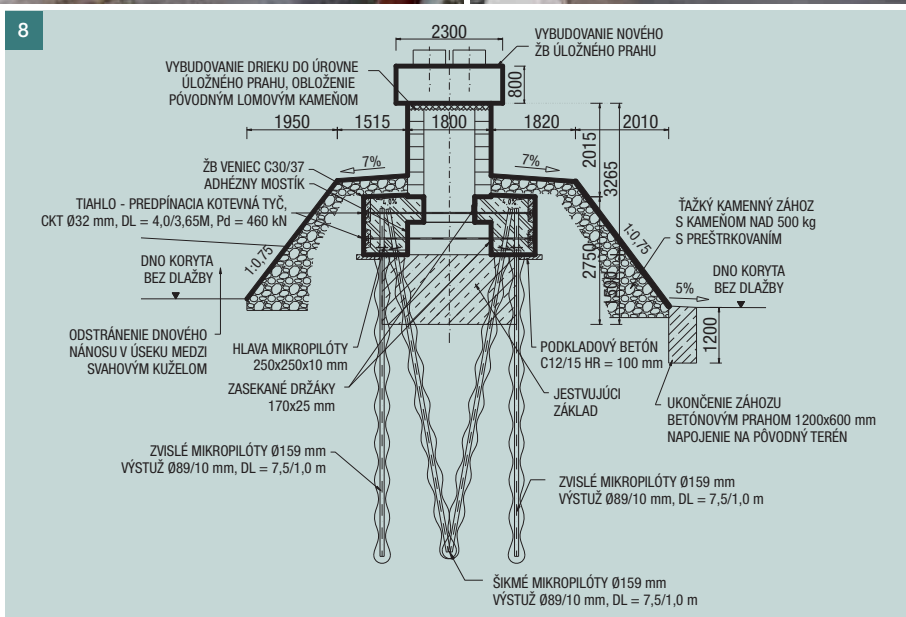
Obr. 4 a) Nezainjektované a odkorodované káble, b) pohľad na nechránenú kotevnú zónu nosníka ■ Fig. 4 a) Corroded prestressing tendons without grouting, b) anchorage zone without protection

Obr. 5 Samovoľný pád poškodeného nosníka po prerezaní priečneho predpätia ■ Fig. 5 Damaged girder spontaneously fell down after cutting the cross prestressing

Obr. 6 a) Pohľad na úložný prah piliera a dilatačnú škáru, b) vzorky betónu a kamenného obkladu piliera ■ Fig. 6 a) Damaged pier cap and expansion joint, b) specimens of concrete and stone cladding from the pier

Obr. 7 a) Ľahké provizórium na moste pre osobnú dopravu, b) ťažké provizórium ŽM60 ■ Fig. 7 a) Light temporary bridge for standard traffic, b) heavy temporary bridge, ŽM60

Obr. 8 Zosilnenie základu piliera ■ Fig. 8 Strengthening of the pier basement



v pokročilom štádiu rozpadu a degradácie betónu, ako aj korózie výstuže. Spôsobovalo to pretekánie agresívnej vody cez poškodený podpovrchový mostný záver, v súčasnosti už nefunkčný. Na úložnom prahu bola zachytená vegetácia, ktorá taktiež prispievala k jeho rozpadu (obr. 6a).

Vzhľadom na možnosť využiť stávajúcu spodnú stavbu pre novú konštrukciu a nové zaťaženie bolo nutné staticky overiť pilier a opory. Deštruktívne bola zisťovaná kvalita betónu driekov opôr a piliera. Na niekoľkých miestach boli vybraté kamenné bloky obkladu a v týchto miestach urobené jadrové vývrty (obr. 6b). Výsledné tlakové pevnosti betónu na vývrtoch oboch opôr sa pohybovali v hodnotách od 15 do 18 MPa, v prípade piliera to bolo od 20 do 23 MPa. Skutočné pevnosti mohli byť mierne vyššie (cca 7 až 17 %) vzhľadom k tomu, že pevnosti boli stanovené na vývrtoch Ø 65 mm, čo vplynulo z technických možností odoberania vzoriek.

## RIEŠENIE DOČASNÉHO PREMOSTENIA A REKONŠTRUKCIA MOSTA

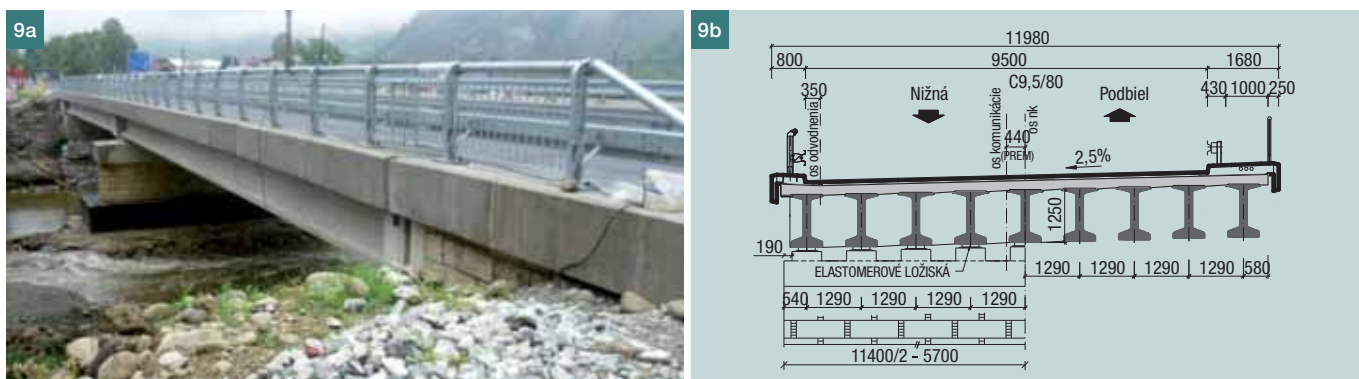
V priebehu diagnostiky spodnej stavby bolo na zabezpečenie osobnej dopravy na moste osadené nezávislé ľahké provizórium (obr. 7a) a následne počas prípravy projektovej dokumentácie bol v priebehu dvoch mesiacov vybudovaný dočasný oceľový most v tesnej blízkosti rekonštruovaného mosta. Ťažké mostné provizórium ŽM 60 bolo osadené na novovybudované železobetónové opory s napojením na prefabrikované krídla, ktoré boli postavené na brehoch Studeného potoka (obr. 7b). Premostenie bolo riešené jednopólovou priehradovou nosnou konštrukciou bez zvislíc, s ohybovo tuhým spodným pásom, celkovej dĺžky 60,8 m. Takto bola dočasne zabezpečená tranzitná doprava cez Oravu do Poľska.

Diagnostický prieskum spodnej stavby a následne statický prepočet oboch opôr a piliera potvrdil ich možné využitie pri rekonštrukcii mosta. Oblasť úlož-

ných prahov opôr, piliera a záverných múrikov oboch opôr bola v zlom technickom stave, preto došlo k ich celkovej výmene. Nové úložné prahy a záverné múriky boli navrhnuté z vystuženého betónu C35/45. Základ piliera bol zosilnený železobetónovým vencom z betónu C30/37 a podchytený zvislými a šikmými mikropilótami Ø 159 mm z dôvodu zabezpečenia piliera proti podmyvaniu. Veniec bol prekotvený s driekom piliera aj základovým blokom pomocou predpínacích tyčí Ø 32 mm (obr. 8). Po obvode piliera bol vytvorený nový ochranný kamenný zához, odolný voči prúdeniu vody.

Vzhľadom na mimoriadnu dopravnú situáciu v regióne bolo potrebné v krátkom čase sprístupniť most do prevádzky. Preto bol navrhnutý rovnaký typ mostovky v podobe prefabrikovanej konštrukcie so spriahujúcou doskou s využitím pôvodnej spodnej stavby (obr. 9). Nová nosná konštrukcia smerovo aj výškovo sleduje pôvodnú trasu komunikácie I/59. Roz-





Obr. 9 a) Rekonštrukcia mosta, b) priečný rez mosta – nový stav, c) pozdĺžny rez mosta – nový stav ■ Fig. 9 a) Bridge rehabilitation, b) cross section of the new bridge, c) longitudinal section of the new bridge

päť polí sú  $2 \times 26,38$  m, šírka novej nosnej konštrukcie mosta je 11,98 m a priečný sklon na moste je jednostranný 2,5 %. Požiadavka investora bola rozšíriť komunikáciu na moste z pôvodných 9 m na 9,5 m so zabezpečením jednostranným revíznym chodníkom šírky 1 m na ľavej rímse. Priečný rez mosta je tvorený deviatimi tyčovými prefabrikátmi DPS VP I/10, dĺžky 27 m a výšky 1,25 m z vopred predpäťého betónu triedy C55/67

s osovou vzdialenosťou medzi nosníkmi 1,29 m (obr. 9b). Spriahujúca monolitická doska je spojitá prebiehajúca, minimálnej hrúbky 200 mm. Doska je z betónu triedy C35/45.

### ZÁVER

Ako ukazuje vyššie uvedený prípad, je v súčasnosti potrebné sa vo zvýšenej miere zaoberať práve staršími betónovými mostami, ktoré majú za sebou viac ako polovicu predpokladanej životnosti. Hlavne u predpäťých mostov prvej generácie, či už prefabrikovaných alebo monolitických, sa dnes začínajú objavovať stále častejšie problémy prameniace z úrovne vtedajších znalostí, ako aj technických možností doby, kedy boli tieto konštrukcie navrhované a budované. Hlavný faktor zlyhania nosnej konštrukcie bola korózia predpínacích káblov bez injektáže v kombinácii s absenciou betonárskej výstuže. To spôsobilo, že v skutočnosti nosníky staticky pôsobili ako prvky z prostého betónu predpäťé nesúdržným predpäťím, ktoré časom strácalo svoju kapacitu z dôvodu korózie. Urýchľujúcim prvkom celého procesu bolo kotvenie skoro 1/3 káblov v hornej prírube nosníkov a veľmi slabá, alebo téměř žiadna ochrana kotiev aj v čelách nosníkov. Navyše ťažká doprava na moste, ktorý na to nie je dimenzovaný, je už dnes bežným javom na každom moste, ktorý sa nachádza v priestore medzinárodných koridorov.

Včasný a cieleňý diagnostický zásah

a statická analýza konštrukcie sa ukazujú ako najvhodnejšia prevencia ako predchádzať podobným havarijným stavom na mostoch. Zvlášť na predpäťých mostoch, kde vieme, alebo tušíme systémové nedostatky pôvodne používaných technológií, je potrebná dôkladnejšia a častejšia kontrola, diagnostika a predpísanie pravidelného sledovania. Riešenie takýchto havarijných stavov s náhlou uzávierkou dopravy býva potom často veľmi problematické z celospoločenského hľadiska a vyžaduje značné finančné náklady na rýchlu sanáciu.

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA 1/0336/15 a 2/0033/15, ako aj grantovej agentúry APVV-0736-12.

doc. Ing. Martin Moravčík, PhD.  
e-mail: martin.moravcik@fstav.uniza.sk



Ing. Petra Bujňáková, PhD.  
e-mail: petra.bujnakova@fstav.uniza.sk



Ing. František Bahleda, PhD.  
e-mail: frantisek.bahleda@fstav.uniza.sk



všichni: Stavebná fakulta Žilinskej univerzity v Žiline  
Katedra stavebných konštrukcií a mostov

### Literatura:

- [1] ZŮDA, K. *Výpočet konstrukcí z předpjatého betonu*. Praha: SNTL, 1958.
- [2] JANDA, L., KLEISNER, Z., ZVARA, J. *Betonové mosty*. Praha: SNTL, 1988.
- [3] MORAVČÍK, M. *Správa z diagnostiky, MO 59-090, Podbiel, Odstránenie havarijného stavu*. 2015.
- [4] BRODŇAN, M., KOTEŠ, P., KOTULA, P. Analysis of short span bridges from prestressed concrete. In: *The Fourth International fib Congress 2014, Mumbai, „Improving Performance of Concrete Structures“*. Mumbai, India, 2014, p. 91–92.
- [5] HALVONÍK, J., BORZOVIČ, V. *Betónové mosty I, Navrhovanie železobetónových mostov pozemných komunikácií podľa Eurokódov*. Bratislava: STU, 2010.
- [6] STN EN 1991-2. *Zaťaženia konštrukcií. Časť 2: Zaťaženie mostov dopravy*.
- [7] STN EN 1992-1-1. *Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby*.
- [8] STN EN 1992-2. *Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 2: Betónové mosty + 2/NA*.