

HAVARIJNÝ STAV A REKONŠTRUKCIA SEGMENTOVÉHO MOSTA PONAD VODNÚ NÁDRŽ RUŽÍN ■ EMERGENCY STATE AND REHABILITATION OF A SEGMENTAL BRIDGE OVER THE WATER RESERVOIR RUŽÍN

Martin Moravčík, Jozef Jošt,
Pavol Kubík, Viktor Kanda

V poslednej dobe sa na Slovensku čoraz väčšia pozornosť venuje starnúcej infraštruktúre pri zvýšenej premávke na cestných mostoch. Niektoré predpäté mosty postavené v 60. rokoch sú v súčasnosti v prevádzke už vyše 50 rokov, čo sa podpisuje na ich zlom technickom stave. Na viacerých konštrukciách sú pozorované viaceré vážne poruchy ako nadmerné deformácie, rozsiahle trhliny, silná degradácia predpätia, a pod. Tieto poruchy majú pôvod v tzv. „detských chorobách“ a medzi inými sa ukazuje ako významný faktor kvalita realizačných prác. Ide predovšetkým o veľmi nízku úroveň ochrany predpínacej výstuže. Tento príspevok sa zaoberá návrhom rekonštrukcie mosta na báze zmeny statického systému a aplikácie externe vedeného predpätia. Východným podkladom pre rekonštrukciu bola podrobná analýza porúch a výsledky numerickej analýzy, ktoré boli použité na stanovenie aktuálnej predpokladanej úrovne pôvodného predpätia. Most bol postavený v roku 1967 metódou letnej montáže ponad vodnú nádrž Ružín ako jeden z prvých segmentových mostov realizovaných na Slovensku. ■ In the recent years, more and more attention has been paid to aging of infrastructure in Slovakia with increased traffic on road bridges. Some of the prestressed bridges built in the 1960s have been in service for over 50 years, which has added to their bad technical condition. Some serious failures, such as excessive deformation, extensive cracks, prestressing degradation, etc., are observed on existing structures. Many of these failures originate in the so-called “childhood diseases” and bad quality of execution works has proved to be an important factor, mainly the very low level of prestressing protection. This paper deals with the design of bridge rehabilitation based on static system change and external prestressing applications. The starting point for the rehabilitation was a detailed analysis of the failures and numerical analysis results that were used to determine the predicted actual prestressing level. The bridge was built in 1967 by balanced cantilever method over the water reservoir Ruzin as one of the first segmental bridges in Slovakia.



1



2a



2b

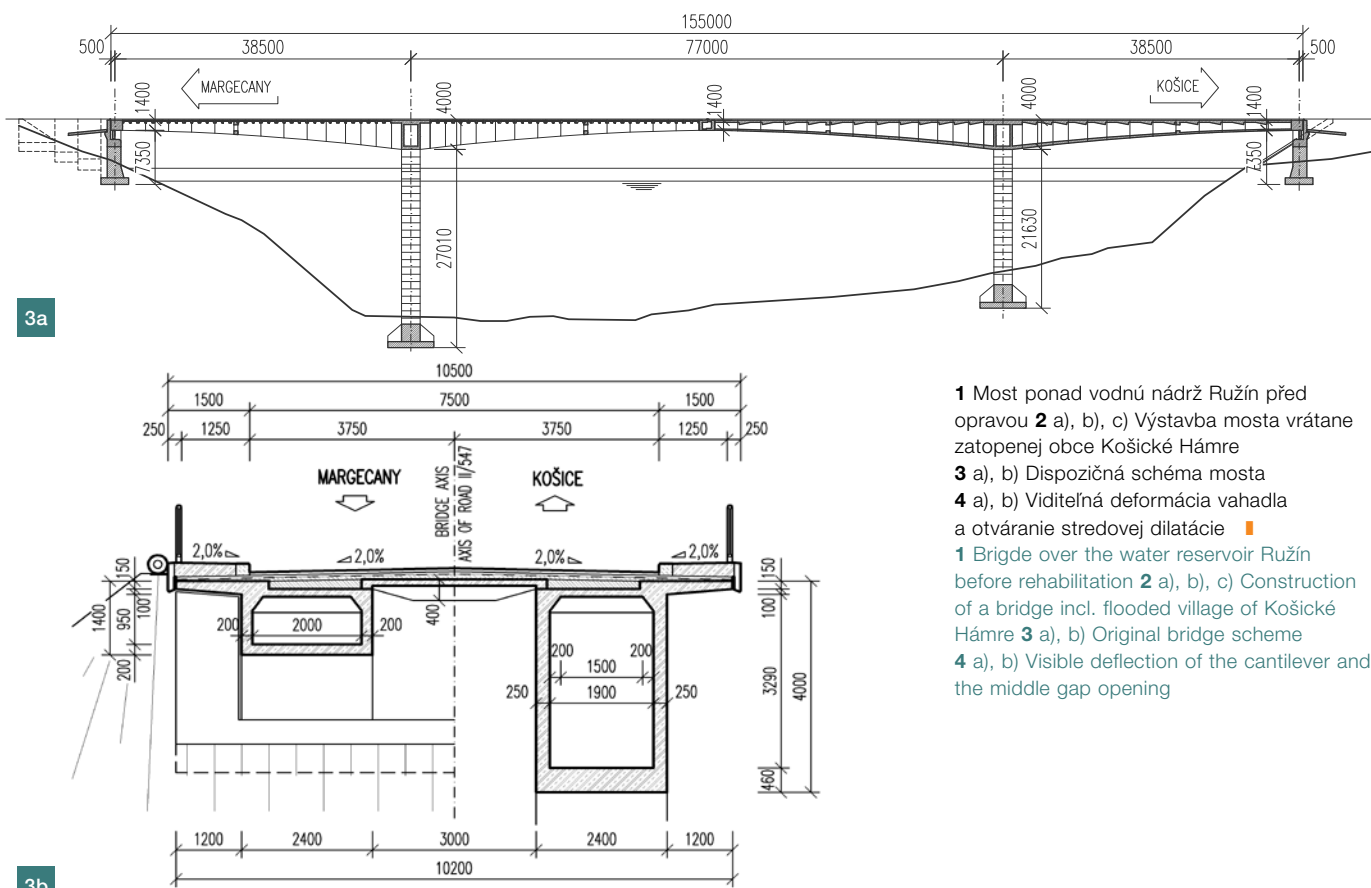


2c

Mimoriadna prehliadka mosta č. 547020 cez vodnú nádrž Ružín na ceste II/547 potvrdila jeho kritický, až havarijný stav a na základe zistených skutočností došlo zo strany Košického samosprávneho kraja k uzavretiu mosta. Proces verejného obstarávania rekonštrukcie daného objektu vybral na realizáciu prác spoločnosť Strabag, s. r. o., koncepčný návrh následne vypracoval doc. Ing. Martin Moravčík, PhD., zo Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity a projekt rekonštrukcie zrealizovala spoločnosť Dopravoprojekt, a. s., divízia Prešov. Uvedený návrh rekonštrukcie mosta prešiel v procese verejného obstarávania odsúhlasením hodnotiacou komisiou objednávateľa. Rekonštrukcia sa začala v máji 2017 a skončila v decembri 2017.

POPIS PÔVODNEJ MOSTNEJ KONŠTRUKCIE A ZISTENÝCH PORÚCH

Most bol realizovaný v roku 1967 a tvorí ho rámová konštrukcia o rozpätiach 38,5 + 77 + 38,5 m s posuvným kĺbom uprostred stredného poľa, celková dĺžka mosta je 154,8 m. Na moste je asfaltová vozovka šírky 7,5 m a obojstranné chodníky šírky 1,25 m. Nosná konštrukcia mosta bola vybudovaná



1 Most ponad vodnú nádrž Ružín pred opravou 2 a), b), c) Výstavba mosta vrátane zatopenej obce Košické Hámre
 3 a), b) Dispozičná schéma mosta
 4 a), b) Viditeľná deformácia vahadla a otváranie stredovej dilatácie ■
 1 Bridge over the water reservoir Ružín before rehabilitation 2 a), b), c) Construction of a bridge incl. flooded village of Košické Hámre 3 a), b) Original bridge scheme
 4 a), b) Visible deflection of the cantilever and the middle gap opening

technológiou symetrickej letnej montáže z oboch pilierov v symetrických vahadlách. Pričný rez rámovej priečle tvoria dva samostatné komorové prierezy premennej výšky. Medzi vahadlá boli v priečnom smere dodatočne osadené železobetónové doskové prefabrikáty rebrového prierezu. Pričné ztužidlá boli vybudované ako monolitické a sú vo vzdialenosti 23 m od pilierov, koncové ztužidlá sú nad uložením a v mieste posuvného kĺbu. Každé vahadlo bolo predopnuté 39 konzolovými káblami z patentovaných drôtov 24 Ø 7 mm, ktoré sú vedené v tzv. „vaničke“ hornej dosky komory. Spodnú

stavbu tvoria dve krajné gravitačné opory s rovnobežnými gravitačnými krídlami a dva medziláhle piliere. Nosná konštrukcia je na krajných oporách uložená na kyvné železobetónové steny, piliere tvorí dvojica stĺpov obdĺžnikového prierezu. Betonáž prebiehala do strateného debnenia tvoreného betónovým prefabrikátom. Zakladanie spodnej stavby bolo navrhnuté plošné – na základových pätkách (obr. 3).

Hlavnou príčinou uzatvorenia mosta bol zistený nadmerný priehyb v strede stredného poľa, ktorý bol nameraný v rozsahu okolo 210 mm. Rovnako došlo k otváraniu stredovej dilatácie

s viditeľným poklesom hlavne vahadla v smere od Margecian (obr. 4).

Podrobnou diagnostikou mosta uvedenou v [1] sa ukázali aj primárne príčiny zlého stavu konštrukcie. Ako hlavná príčina daného stavu bola nevhodná koncepcia vedenia predpínacích káblov, ktoré boli uložené na hornom povrchu segmentov vo „vaničke“ a následne zaliate spádovou vrstvou betónu. Zálievka nebola všade dobre zrealizovaná, nachádzalo sa v nej napr. aj kamenivo o rozmere zrna okolo 30 mm alebo nezaliate kavery (obr. 5b a 5c). Z toho dôvodu sa dá predpokladať, že časť predpätia pôsobí ako nesúdržné





5b



5c

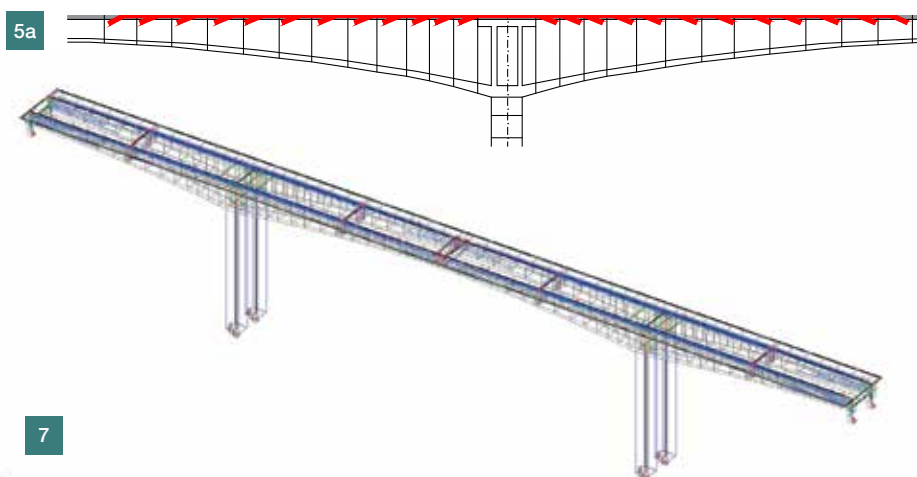


6

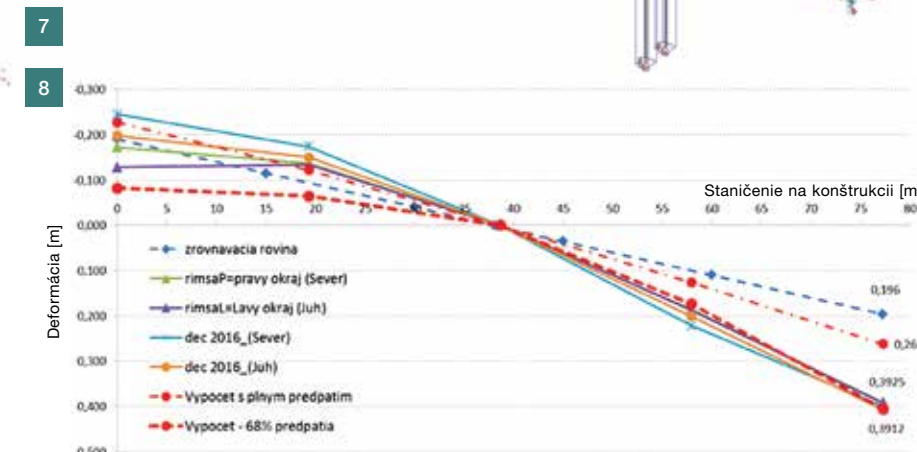
predpätie. Efekt zatekania káblov bol zvláštne aj zle realizovanou izoláciou mostovky s nenatavenými kusmi izolácie, čo sa neskôr potvrdilo aj pri búracích prácach. Navyše oproti pôvodnej projektovej dokumentácii boli niektoré káble pôdorysne posunuté práve na kritickom vahaadle smerom k vonkajšiemu okraju, ku ktorému bola mostovka vspádovaná a kde boli uložené odvodňovače. Na kontrolných odhaleniach z hornej strany mostovky bol zistený veľmi premenlivý stav korózie predpínacích drôtov – prakticky od zdravých drôtov bez znakov korózie až po odkorodovanie celého prierezu drôtu –, teda 0 až 100% poškodenie drôtov koróziou.

Voda, ktorá sa dostávala cez poškodenú izoláciu a zálievkovú hmotu na segmentoch, prechádzala a ústila až po kotvenie káblov, ktoré bolo realizované pôvodným klinovým systémom kotvenia. Väčšina kotiev silne pretekala, čo bol dôkaz o netesnosti po dĺžke káblov (obr. 6). Okrem vyššie uvedených kardinálnych vplyvov spôsobujúcich pokles predpätia, ktorý bol preukázaný aj geodetickým zameraním deformácie konštrukcie, sa ukázala aj nízka kvalita cementovej zálievkovej hmoty v kontaktných škárach medzi segmentami, ktoré mali šírku 40 až 50 mm. S veľkou pravdepodobnosťou však došlo už v procese predpínania k významnejším poklesom predpätia vplyvom zvýšeného stlačenia zálievok. Túto skutočnosť sa však exaktne nepodarilo preukázať, nakoľko chýbalo pôvodné geodetické zameranie mosta po finálnom predopnutí, resp. pred kolaudáciou.

Ostatné poruchy zistené na moste prakticky zodpovedali stavu mosta po 50-ročnej eksploatacii. Veľkou výhodou, ktorá do istej miery



5a



7

8

predznačovala aj možnosti statického riešenia zosilnenia nosnej konštrukcie mosta, bola dobrá kvalita betónov, či už samotných prefabrikovaných segmentov mostovky, monolitických zárodok, ako aj pilierov. To znamenalo, že východiskový predpoklad pre aplikáciu zmeny statického systému a pridania ďalšieho predpätia do mostovky bol splnený. V priebehu sledovania a diagnostiky mosta bolo vykonané viacero nedeštruktívnych, ako aj deštruktívnych skúšok pevnosti betónu, ktoré stanovili nasledovné priemerné tlakové pevnosti: segmenty mali pevnosť betónu 51,2 MPa, zárodok 45,1 MPa, drienok pilierov 32,8 MPa a skruží pilierov 40,5 MPa. Kontroly stupňa karbonatizácie betónu a obsahu chloridov rovnako potvrdili pomerne dobrý stav betónu.

VÝPOČTOVÝ MODEL KONŠTRUKCIE A STANOVENIE ZOSTATKOVEJ KAPACITY PREDPÄTIA

Hlavným cieľom diagnostiky bolo stanovenie funkčnosti a zostatkovej kapacity predpätia v nosnej konštrukcii so zámerom správne definovať veľkosť úprav predpätia, ktoré sa bude uvažovať v koncepte rehabilitácie mosta. Z toho dôvodu bolo potrebné vytvoriť výpočet na fázovanom výpočtovom modeli, jednak s pôsobením na samostatnom vahaadle, ako aj pre posúdenie účinkov na finálnej konštrukcii (obr. 7).

Zvyšková kapacita predpätia bola stanovená z numerického modelu vahaadla iteratívnym spôsobom, teda porovnávaním teoretických a nameraných deformácií vahaadla. Namerané hodnoty boli získané z nezávislých geodetických meraní, ktoré boli



5 a) Systém vedenia predpínacích káblov, b), c) veľmi rozmanitý stav korózie predpínacích drôtov v konštrukcii 6 Stav kotiev v komore mosta 7 Výpočtový model celej konštrukcie 8 Výsledky analýzy predpätia a namerané deformácie 9 Roztláčanie vahadiel nosnej konštrukcie 10 Vedenie káblov v komore: a) betónový deviátor, b) nadpodperový priečnik 11 a) Oceľový deviátor, b) koncový priečnik ■ 5 a) System of prestressing tendons, b), c) various condition of the prestressing wires corrosion in the structure 6 Condition of the anchors in the box girder 7 Structural model of the bridge structure 8 Results of the prestressing analysis and observed deflections 9 Mutual pushing of the cantilevers 10 Prestressing tendons in the box girder: a) concrete deviator, b) diaphragm above the pier 11 a) Steel deviator, b) ending diaphragm

(obr. 9). Týmto spôsobom sa eliminovali účinky dodatočného predpätia na podpery. K roztláčaniu boli použité štyri lisy umiestnené v priestore stredového kĺbu, každý o nosnosti 200 t. Na stabilizáciu roztláčených vahadiel do zmonolitnenia boli použité oceľové profily HEB300.

Vnesenie dodatočného predpätia je realizované prostredníctvom voľnej predpínacej výstuže. Predpínacie káble boli rozdelené do dvoch skupín. Prvá skupina káblov pozostáva zo 4 ks lán $15 \times \text{Ls}15,7/1860$ vedených priamo v hornej časti dvojkomorového prierezu (obr. 10) a tieto káble dopĺňajú účinky pôvodného predpätia vedeného vo „vaničke“. Druhá skupina káblov pozostáva zo 4 ks deviovaných lán $15 \times \text{Ls}15,7/1860$. V krajných poliach sú káble deviované k spodným doskám dvojkomorového nosníka prostredníctvom betónových deviátorov (obr. 10a), ktoré boli vybudované v miestach pôvodných stužujúcich priečnikov. Nad podperami sú káble zdvíhané k horným doskám dvojkomorového nosníka prostredníctvom pôvodných nadpodperových priečnikov, ktoré boli zosilnené z pôvodných 0,3 m na 0,5 m (obr. 10b). V strednom poli káble vychádzajú z dvojkomorového nosníka a sú deviované prostredníctvom oceľových deviátorov umiestnených v 1/3 rozpätia pod nosnou konštrukciou (obr. 11). Deviované káble vykrývajú účinky dopravného zaťaženia a znižujú šmykové namáhanie konštrukcie zdvihovými účinkami.

Obidve skupiny káblov sú vedené kontinuálne cez celú nosnú konštrukciu

zrealizované jednak ešte koncom roku 2016 pred uzatvorením mosta, ako aj meraniami počas diagnostiky mosta pred jeho rekonštrukciou (obr. 8). Hodnoty deformácií sa sledovali hlavne v strede hlavného poľa a u oboch samostatných meraní sa pomerne dobre zhodovali. Priemerná hodnota deformácie v tomto mieste z roku 2016 bola -208 mm (mínus znamená smerom nadol) a nameraná priemerná deformácia z roku 2017 bola -195 mm. Hodnota deformácie, ktorá sa predpokladala a ktorá zohľadňovala všetky príťaženia stálymi zložkami zaťaženia, straty predpätia v čase, ako aj účinok dotvarovania betónu stanovený podľa noriem [3] a [4], bola -66 mm. To znamená, že rozdiel teoretickej hodnoty deformácie od priemeru všetkých meraní bol -136 mm. Na túto hodnotu sa potom kalibroval účinok pôvodného

predpätia, ktorý vo výsledku dosiahol len okolo 68 % svojho predpokladaného pôvodného účinku.

PROJEKT A REALIZÁCIA REKONŠTRUKCIE MOSTA

Rekonštrukcia mosta primárne spočívala v zmene statického systému a vnesení dodatočného predpätia do nosnej konštrukcie. Zmena statického systému pozostávala v zmonolitnení stredového kĺbu, čím došlo k odbúraniu problematických deformácií dvoch na seba navzájom súvisiacich konzol. Zmonolitnením došlo k zásadnému zvýšeniu tuhosti stredného poľa a zároveň k zníženiu odozvy na dodatočne vnesené zaťaženia, preto bola fixácia konštrukcie v zmenený statický systém realizovaná na odľahčenej konštrukcii o mostný zvršok. Pred samotným zmonolitnením došlo k roztláčaniu vahadiel nosnej konštrukcie



a sú kotvené v zosilnených koncových priečnikoch, odkiaľ bolo realizované aj samotné predpínanie. Ako prvé boli predpínané priame káble a následne káble lomené. Predpínanie bolo realizované dvojfázovo, v prvej fáze bolo vyvedené napätie na úrovni 50 % a v druhej fáze boli káble dopnuté na 100 % hodnoty finálneho napätia. Finálna hodnota napätia predpínacích lán bola stanovená na úrovni 1 200 MPa. Káble sú vedené a chránené v HDPE kanálikoch Ø 110 x 5,3 mm, ktoré sú vyplnené injektážnou maltou.

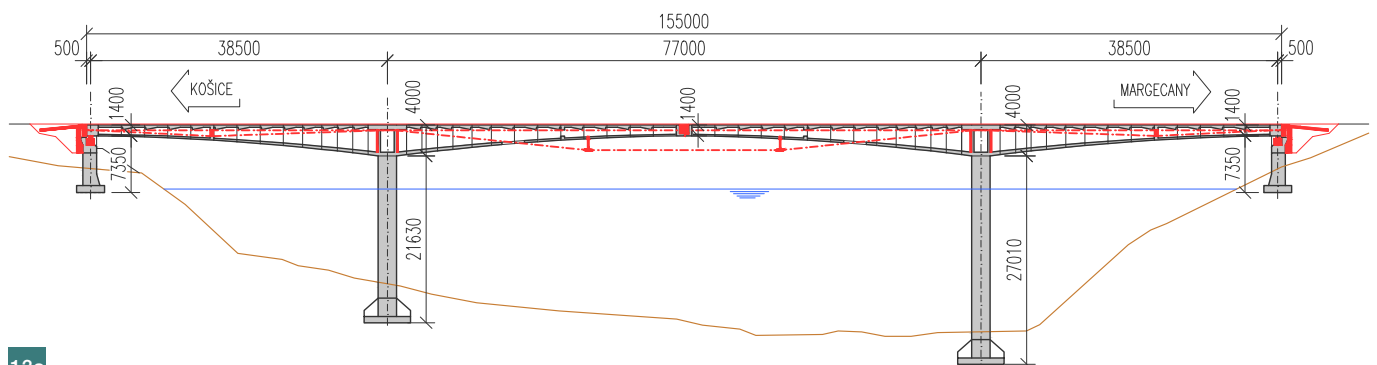
Na krajných oporách bola zrealizovaná výmena kyvných železobetónových stien za hrncové ložiská. Na každej opore bol dvojkomorový nosník podporený dvoma kyvnými stenami, ktoré boli nahradené štyrmi hrncovými ložiskami. Nosná konštrukcia počas búrania kyvných stojok a následne počas budovania úložných blokov pod ložiskami bola stabilizovaná tromi lisami, uloženými na dočasnej konštrukcii z ocelových profilov HEB300 (obr. 12).

Mostný zvršok bol navrhnutý tak, aby spĺňal požiadavky na šírkové

usporiadanie, ale zároveň neprťažoval nosnú konštrukciu. Jeho výmena pozostávala z vybudovania spádovej (betónovej) vrstvy, odvodňovacieho a izolačného systému, chodníkových dosiek, bezpečnostných zariadení, vozovky a mostných záverov.

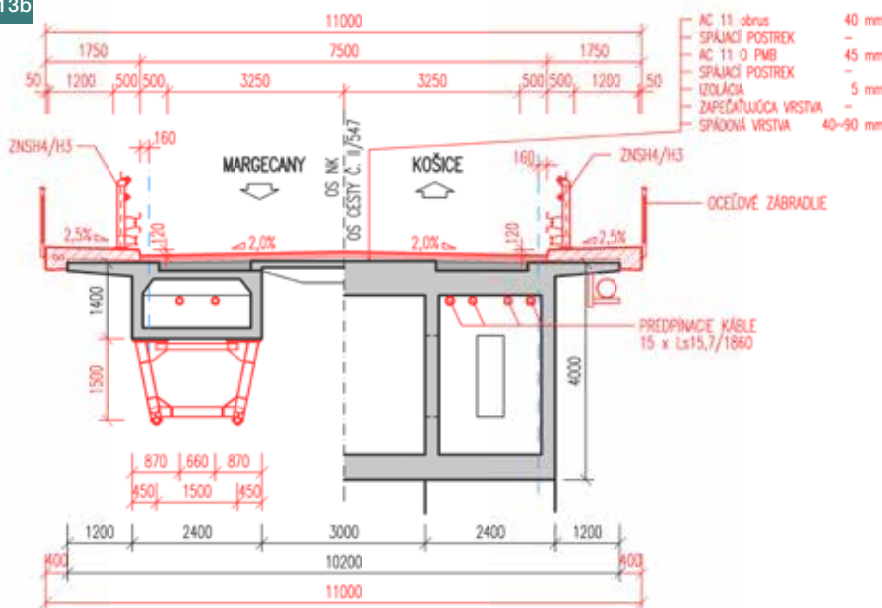
ZÁVER

Výsledky cielenej diagnostiky, efektívneho statického návrhu zosilnenia nosnej konštrukcie, ako aj kvalitného zrealizovania všetkých rekonštrukčných prác na moste boli po ich dokončení úspešne overené aj



13a

13b



statickou zaťažovacou skúškou (obr. 14), ktorá prebehla koncom roku 2017. Skúška bola vykonaná s účinnosťou zaťaženia $\eta = 0,88$, ktoré bolo stanovené vzhľadom k normovému zaťaženiu podľa Eurokódu. Jej výsledky potvrdili správnosť výpočtových predpokladov a preukázali spoľahlivé fungovanie nosnej konštrukcie. V priebehu tohto roku má navyše prebiehať na moste aj dlhodobý monitoring napätosti pri prevádzkovom zaťažení.

Aj tento príklad riešenia havarijného stavu na moste poukazuje na zvýšenú potrebu klásť v súčasnosti dôraz na sledovanie a včasnú, cieľnú diagnostiku starších mostných konštrukcií, ktoré dnes majú 50 až 60 rokov prevádzky za sebou. Sú to hlavne predpäté konštrukcie, na ktorých sa začínajú výraznejšie prejavovať aj viaceré koncepčné nedostatky svojej



15



14

12 a), b) Výmena kyvných stien za hrncové ložiská 13 Po rekonštrukcii: a) pozdĺžny rez, b) priečny rez 14 Statická zaťažovacia skúška 15 Most po rekonštrukcii ■ 12 a), b) Changing of the moving concrete walls for the pot bearings 13 After rehabilitation: a) longitudinal section, b) cross-section 14 Static load test 15 Bridge after rehabilitation

Fotografie:

1, 4a – denník Korzár (Judita Čermáková),
2a, 2b, 2c – facebook.com/Ruzinpriehrada,
4b – TV Košice (tvkosice.sk),
5b, 5c, 6, 14 – Martin Moravčík,
9, 10a, 10b, 11a, 11b, 12a,
12b, 15 – Viktor Kanda

doby. Včasným zásahom sa nielenže predchádza materiálnym a spoločenským stratám, ale je možné veľakrát pôvodnú konštrukciu ešte využiť a efektívne sanovať tak, aby spoľahlivo plnila svoju funkciu aj v ďalšom období.

Rekonštrukcia mosta získala ocenenie Stavba roka 2018. Porota u nej ocenila predovšetkým výnimočné a progresívne projektové riešenie, ekonomickú efektívnosť, zvýšenie bezpečnosti premávky pri požadovanej životnosti mosta, vysokú kvalitu diela s kvalitným technickým spracovaním a použitie progresívnych technológií voľne vedeckej predpínacej výstuže.

Tento príspevok vznikol za finančnej podpory grantovej agentúry VEGA číslo 1/0336/15 a 1/0045/19.

Literatúra:

- [1] MORAVČÍK, M. a kol. *Diagnostika a statické posúdenie mosta na ceste II/547, ponad VN Ružín*. Žilina: SvF ŽU, 2017.
- [2] MORAVČÍK, M. *Navrhovanie predpätých konštrukcií podľa európskych noriem*. Žilina: Edis, ŽU, 2017.
- [3] STN EN 1992-1-1. *Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 1-1: Všeobecné pravidlá a pravidlá pre pozemné stavby*. 2005.
- [4] STN EN 1992-2. *Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií. Časť 2: Betónové mosty. Navrhovanie a konštruovanie*. 2007.
- [5] *Odstránenie havarijného stavu mosta II/547 020 ponad VN Ružín*. Projektová dokumentácia. Dopravoprojekt, a. s.

doc. Ing. Martin Moravčík, PhD.
Stavebná fakulta Žilinskej univerzity
Katedra stavebných konštrukcií
a mostov
martin.moravcik@fstav.uniza.sk



Ing. Jozef Jošt, PhD.
Stavebná fakulta Žilinskej univerzity
Akreditované laboratórium
jozef.jost@fstav.uniza.sk



Ing. Pavol Kubík
Dopravoprojekt, a. s.
divízia Prešov
kubik@dopravoprojekt.sk



Ing. Viktor Kanda
Strabag, s. r. o.
Oblasť Východ
viktor.kanda@strabag.com

