

SEMI-INTEGROVANÉ VIADUKTY STAVĚNÉ S VYUŽITÍM HORNÍ VÝSUVNÉ SKRUŽE ■ SEMI-INTEGRAL VIADUCTS ERECTED UTILIZING OVERHEAD MOVABLE SCAFFOLDING

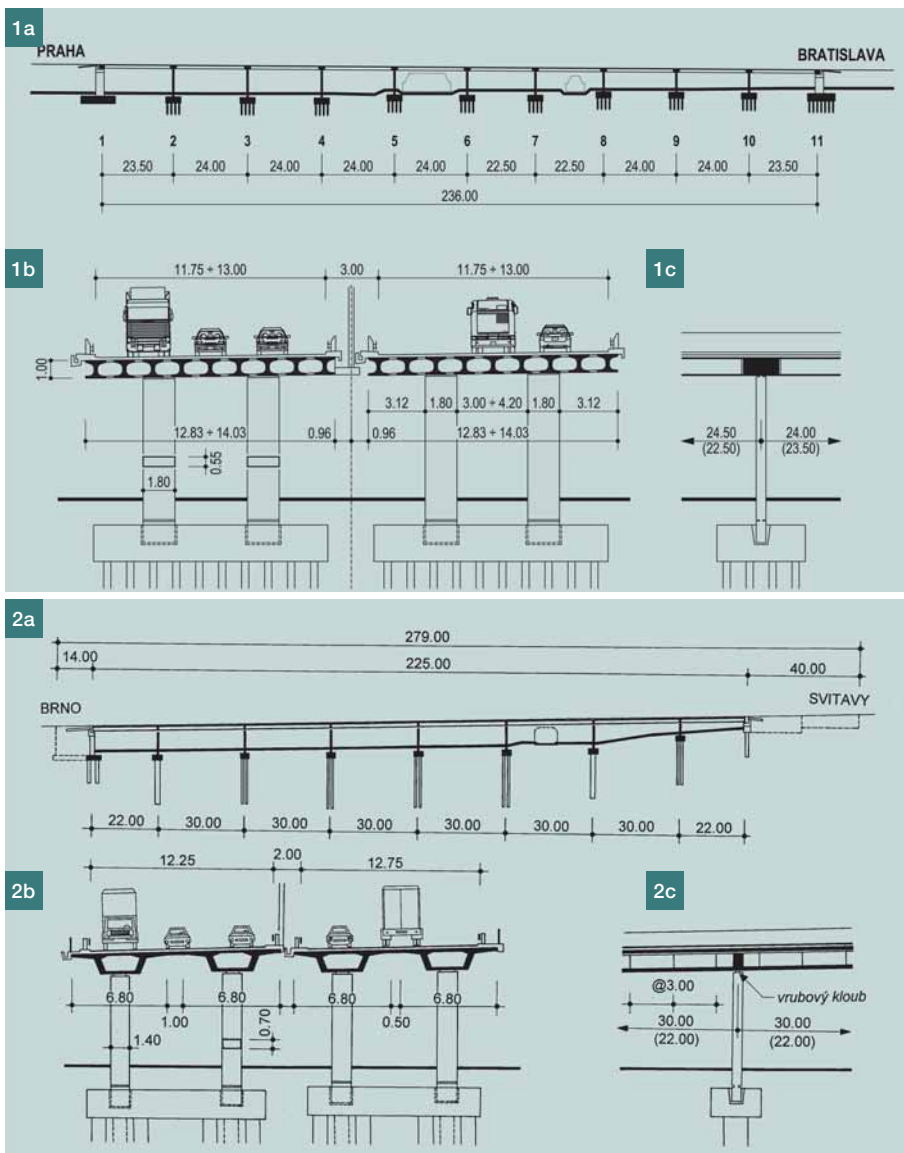
Jiří Stráský, Tomáš Rompotl,
Petr Mojžík, Viliam Kučera

Dva viadukty postavené na Slovensku jsou popsány s ohledem na jejich architektonické a konstrukční řešení, statické analýzy a postupy výstavby. Oba viadukty jsou tvořeny dvěma souběžnými semi-integrovanými mosty, u kterých je nosná konstrukce kloubově spojena s mezilehlými podpěrami. Mosty byly betonovány postupně po polích do bednění zavěšeného na horní výsuvné skruži. ■ Two viaducts built in Slovakia are described in terms of the architectural and structural solution, static analysis and process of construction. Both viaducts are formed by twin semi-integral bridges with decks hinge connected with intermediate supports. The bridges were erected progressively, span-by-span, in a formwork that was suspended on an overhead movable scaffolding.

V minulých letech byly na Slovensku postaveny dva úsporné semi-integrované viadukty s dvoutrámovou mostovkou. Konstrukční řešení mostů navazuje na řešení použité u řady mostů, které byly vyprojektovány a postaveny před rokem 1989 Dopravními stavbami Olomouc [1], [2].

Tyto mosty mají nosnou konstrukci sestavenou z prefabrikovaných nosníků (obr. 1) nebo segmentů (obr. 2) a jsou podepřeny prefabrikovanými podpěrami spojenými s mostovkou vrubovými klouby. U delších mostů byly vrubové klouby navrženy i u základů; podpěry tak tvoří kyvné stojky. U mostu přes nákladové nádraží v Brně-Heršpicích byly horní vrubové klouby vytvořeny při betonáži monolitických podporových příčníků, u mostů sestavených z prefabrikovaných segmentů, které byly postaveny v Brně-Řečkovících a v Brně-Králově poli, byly vrubové klouby vytvořeny injektáží spáry mezi stojkou a podporovým segmentem. Spodní vrubové klouby byly vytvořeny přímo v prefabrikovaných stojkách vložených a následně zabetonovaných v kapsách základů. Ačkoliv jsou tyto mosty v provozu již čtyřicet roků, nebyly ve funkci stojek anebo kloubů zjištěny jakékoliv závady (obr. 3).

Konstrukční řešení mostů na Slovensku bylo významně ovlivněno technologií výstavby. Mostovky obou mostů byly betonovány postupně po polích v bednění zavěšeném na horní výsuvné



Obr. 1 Most přes nákladové nádraží v Brně-Heršpicích: a) podélný řez, b) příčný řez, c) řez podpěrou ■ Fig. 1 Bridge across the railway station in Brno-Herspice: a) elevation, b) cross section, c) elevation at pier

Obr. 2 Most přes ulici Hapalovu, a) podélný řez, b) příčný řez, c) řez podpěrou ■ Fig. 2 Bridge across the Hapalova street, a) elevation, b) cross section, c) elevation at pier

Obr. 3 Most přes ulici Hapalovu ■ Fig. 3 Bridge across the Hapalova street

Obr. 4 Viadukt D1 203 ■ Fig. 4 D1 203 viaduct

Obr. 5 Viadukt D1 203, podélný řez ■ Fig. 5 D1 203 viaduct, elevation

Obr. 6 Viadukt D1 203, a) řez podpěrou, b) příčný řez ■ Fig. 6 D1 203 viaduct, a) elevation at pier, b) cross section

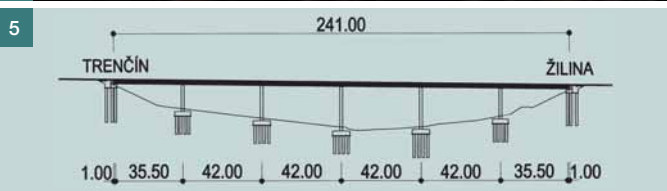
Obr. 7 Viadukt D1 203, nepřímé uložení trámů ■ Fig. 7 D1 203 viaduct, indirect girders' support



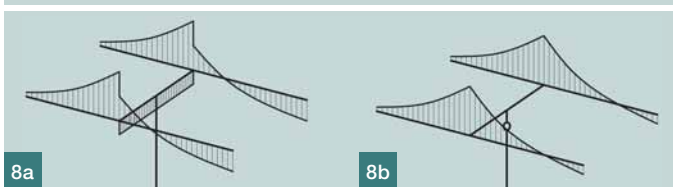
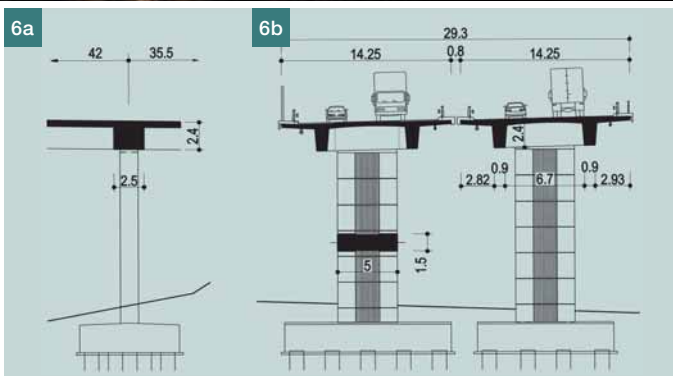
Obr. 8 Viadukt D1 203, ohybové a kroutivé momenty, a) rámové spojení, b) kloubové spojení ■ Fig. 8 D1 203 viaduct, bending and torsional moments, a) frame connection, b) hinge connection



4



7



skruži. Tuto skruž tvoří páteřní komorový nosník situovaný a podepřený v ose nosné konstrukce. Protože montážní podepření skruže je neekonomické, je vhodné skruž přímo uložit na podporové příčníky navazující na osové podpěry. Požadavek na snadné sklopení bednění trámů při posunu skruže vede k návrhu konstrukce s úzkou střední stojkou. To následně vede k nepřímému uložení trámů rámově spojených s příčníky.

První most označený D1-203 byl postaven na dálnici D1, stavba Sverepec-Vrtižer, druhý most označený R1-214 byl postaven na rychlostní komunikaci R1 mezi Nitrou a Banskou Bystricí u Zlatých Moravců. Protože mostovky obou mostů jsou monoliticky spojeny se všemi pilíři a ložiska jsou situová-

na jen na krajních opěrách, tvoří mosty semi-integrální konstrukční systém vyžadující minimální údržbu.

VIADUKT 203, DÁLNIČE D1, STAVBA SVEREPEC-VRTIŽER, SLOVENSKO

Poblíž města Povážská Bystrica dálnice D1 přechází přes hluboké údolí potoka Kunovec po dvou souběžných mostech celkových délek 241 m (obr. 4). Osa mostu je přímá a v konstantním podélném sklonu.

Oba mosty mají šest polí s rozpětími 35,5 + 4 x 42 + 35,5 m (obr. 5). Mostovky jsou podepřeny vysokými pilíři, které jsou spojeny s podporovými příčníky vrubovými klouby. Na opěrách je mostovka uložena na podélně po-

suvná ložiska. Mostovka obou mostů má konstantní výšku 2,4 m a šířku 14,25 m (obr. 6). Příčná vzdálenost trámů je 7,6 m.

Zárodky příčníků byly tvořeny nosníky širokými 2,5 m a dlouhými 5,4 m. Na tyto zárodky navazují příčné nosníky rámově spojené s podélnými trámy (obr. 7). Spára mezi těmito částmi je silně vyztužena betonářskou výztuží a je předepnuta příčnými kabely. Kabely, které se ve střední části příčníků překrývají, jsou vedeny od dolních vláken trámů k protilehlým konzolám, odkud se napínají. U trámů jsou navrženy mrtvé kotvy.

Pokud by mostovka byla přímo podepřena štíhlými pilíři, bylo by možné navrhnout rámové spojení trámů

s podpěrami. Vlivem nepřímého uložení je však skok v podélných ohybových momentech přenášen do podpěr kroucením příčniců (obr. 8a). Vyvolaná smyková napětí by vyžadovala zvýšené vyztužení příčniců jak betonářskou, tak i předpínací výztuží. Proto je rámové spojení využito jen při betonáži navazujících polí a vrubové klouby jsou vytvořeny dodatečně (obr. 8b).

Mezilehlé pilíře jsou tvořeny úzkými stěnami konstantní šířky 5 m a tloušťky 1,5 m – střední tři pilíře jsou vetknuty do základů, krajní jsou se základy spojeny vrubovými klouby.

Základy jsou založeny na vrtaných pilotách průměru 1,2 m a délky od 10 do 19 m.

Most se vyznačuje jednoduchou, minimalistickou architekturou. Zatímco povrch nosné konstrukce je hladký, je povrch stojek rozčleněn svislými rýhami. Místo složitě tvarování spodní stavby byla velká pozornost věnována kvalitě provedení (obr. 9).



9



10

VIADUKT BT 214, RYCHLOSTNÍ KOMUNIKACE R1, ÚSEK BELADICE A TEKOVSKÉ NEMCE

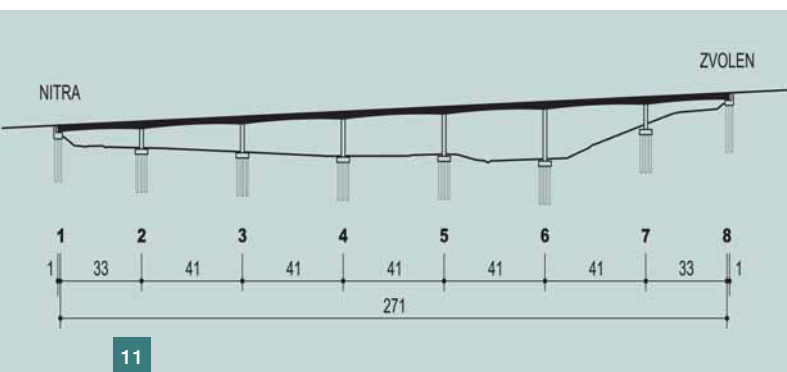
Poblíž Zlatých Moravců přechází rychlostní komunikace R1 přes místní komunikaci III. třídy a údolí Olichovského potoka (obr. 10). Most je tvořen dvojicí souběžných mostních konstrukcí z monolitického předpjatého betonu o sedmi spojitých polích s rozpětími 33 + 5 x 41 + 33 m (obr. 11). Trasa R1 je v místě estakády vedena v levostranném půdorysném oblouku s poloměrem 1 165 m a je v konstantním podélném sklonu 3,83 %.

Protože v prvním poli přemostňujícím místní komunikaci byla omezená stavební výška, a jelikož pro typická pole bylo optimální rozpětí 41 m, má nosná konstrukce proměnnou výšku: od 1,9 m uprostřed rozpětí do 2,6 m nad podpěrami (obr. 12).

Nepřímé podepření náběhované konstrukce úzkou jednosloupovou podpěrou je často diskutováno v knihách a člancích zabývajících se estetikou mostních staveb [3], [4]. Poukazuje se na skutečnost, že pokud má příčník stejnou výšku jako trám, působí konstrukce v šikmých pohledech jako kon-

strukce, u které trámy nejsou podepřeny. Proto je doporučováno podepřít trámy náběhovanými příčnicími jasně zdůrazňujícími statické působení.

Z tohoto požadavku vyšlo architektonické a konstrukční řešení podepření mostu. S ohledem na uspořádání bednění trámů bylo nutno ukončit příčnicku před vnější hranou trámů. Proto bylo nelogické nad příčnicí náběh zarovnat. Náběhy sousedních polí jsou tak bodově spojeny a podporující příčník sleduje sklon náběhů. Tento lomený sklon se po délce příčnicku směrem od trámů ke stojkám zborcenou



Obr. 9 Viadukt D1 203, povrch podpěry ■ Fig. 9 D1 203 viaduct, pier surface

Obr. 10 Viadukt R1 214 ■ Fig. 10 R1 214 viaduct

Obr. 11 Viadukt R1 214, podélný řez ■ Fig. 11 R1 214 viaduct, elevation

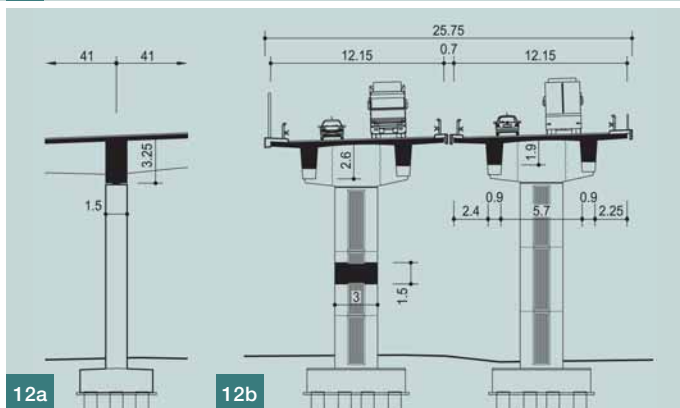
Obr. 12 Viadukt R1 214, a) řez podpěrou, b) příčný řez ■ Fig. 12 R1 214 viaduct, a) elevation at pier, b) cross section

Obr. 13 Viadukt R1 214, konstrukční uspořádání ■ Fig. 13 R1 214 viaduct, structural arrangement

Obr. 14 Viadukt R1 214 nepřímé uložení trámů ■ Fig. 14 R1 214 viaduct, indirect girders' support

Obr. 15 Viadukt R1 214, výztuž příčnicku ■ Fig. 15 R1 214 viaduct, cross beam reinforcement

11



12a

12b



13

plochou mění do přímkového (obr. 13 a 14).

V podélném směru funguje most jako rozpěráková konstrukce. Všechny vnitřní podpěry jsou s nosnou konstrukcí spojeny vrubovým kloubem, podpěry 2, 3 a 7 mají vrubový kloub vytvořen i u základů. Působí tedy jako kyvné stojky. Výška vrubových kloubů, které jsou vyztuženy příjímými pruhy z betonářské výztuže, je 20 mm. Na krajních opěrách jsou trámy přímo uloženy na hrncových ložiscích.

Podporové příčnicku šířky 1,5 m mají proměnnou výšku od 2,85 do 3,25 m. Jsou sestaveny ze dvou částí; střední, betonované současně s pilíři, a krajní, betonované s trámy. Podobně, jako u předcházejícího mostu, je spára mezi těmito částmi silně vyztužena betonářskou výztuží a je předepnuta příčnými

kabaly. Kabaly, které se ve střední části příčnicku překrývají (obr. 15), jsou vedeny od dolních vláken trámů k protilehlým konzolám, odkud se napínají. U trámů jsou navrženy mrtvé kotvy.

Vnitřní podpěry obou mostů jsou tvořeny vždy jedním železobetonovým pilířem konstantního obdélníkového průřezu rozměrů 3 x 1,5 m s bočními rýhami a prolisy na delší straně obdélníka. Pilíře byly betonovány po taktech, jejichž délka byla 4,5 m. Krajní opěry mostu jsou masivní železobetonové s dírkem přímo vetknutým do pilotového roštu. Pohledové boční strany opěr jsou kryty plentovacími zídtkami.

Most je založen na velkopřůměrových pilotách průměru 900 mm. Délky pilot se pohybují od 12 do 16 m. Piloty jsou vetknuty do kvartérního podloží, tvořeného deluviálně-fluviálními jíly

proloženými vrstvami písčitého či šterkovitého jílu, v hlubších polohách pak do neogenního podloží zastoupeného jílu, které jsou konzistence tuhé až pevné.

STATICKÁ ANALÝZA

Oba mosty byly analyzovány jako prostorové 3D konstrukce programovým systémem ESA [5]. V podélném směru byl most modelován 3D prutovou konstrukcí. Výpočet zohlednil postupnou výstavbu mostu, postupné napínání kabelů a rozdílné stáří jednotlivých konstrukčních prvků. V příčném směru mostu byl most modelován deskostěnovou konstrukcí umožňující vystihnout její prostorové působení. Působení nepřímého uložení trámů na podporový příčnick bylo vyšetřeno prostřednictvím příhradové analogie.



14



15

**KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ
A POSTUP STAVBY**

Konstrakční řešení obou mostů bylo ovlivněno technologií výstavby (obr. 16). Mostovky obou mostů byly betonovány postupně po úsecích, jejichž délka odpovídá délce polí (obr. 17a a 18). Konstrakční spáry byly situovány ve vzdálenosti 6 m od pilířů. Mostovky jsou předepnuty spojitými kabely s průběhem, který odpovídá průběhu ohybového momentu od zatížení stálého (obr. 17b a 17c). Ve spáře byla kotvena a spojována jen jedna polovina kabelů. Druhá polovina kabelů byla spojována v plovoucích spojkách situovaných ve vzdálenosti 3 m od spáry.

Jak bylo uvedeno, při stavbě bylo nutné zajistit pevné podepření podporových příčníků namáhaných nejen

možným mimostředným zatížením, ale i třecími silami vyvolanými objemovými změnami a posunem skruže. Ohybový moment byl přenášen dvojicí sil – taženou výztuží kloubu (obr. 19 a 20a) a tlakovou únosností betonu. Přitom byl předpokládán vznik trhlin v tažené části spáry.

Proto byly vrubové klouby vytvořeny až po vybetonování přilehlého pole. U prvního mostu byla spára mezi příčným a stojkou proříznuta v době od 8 do 24 h po vybetonování. U posledního příčniku byla do spáry vložena překližka, která byla po vybetonování posledního pole vyříznuta (obr. 20b). Protože toto řešení se osvědčilo, bylo použito u všech spár druhého mostu. U kyvných stojek byly dolní spáry vytvořeny proříznutím betonu.

Konstrukce obou mostů byly stavěny proudově. Po vybetonování stojek (obr. 19) byly vybetonovány střední části podporových příčníků. Následně byla po polích betonována a předpínána pole nosné konstrukce. Pro urychlení výstavby byly armokoše trámu sestaveny na již vybetonované části, zavěšeny na skruži a po ní zasunuty do projektované polohy (obr. 22). Po vybetonování pole byly vytvořeny vrubové klouby, mostovka byla předepnuta a výsvuná skruž přesunuta do dalšího pole.

Při stavbě byl nejdříve vybetonován jeden směr dálnice (obr. 23), pak byla skruž otočena a následně byl v opačném směru vybetonován směr druhý (obr. 24 a 25).



16

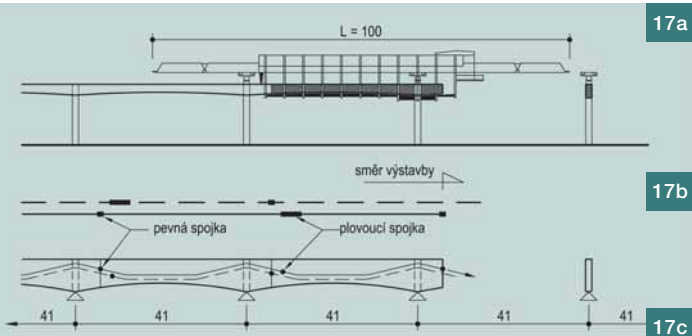
Obr. 16 Viadukt D1 203, horní výsvuná skruž ■
Fig. 16 D1 203 viaduct, overhead launching gantry

Obr. 17 Viadukt R1 214, a) horní výsvuná skruž, b), c) vedení předpínacích kabelů ■
Fig. 17 R1 214 viaduct, a) overhead launching gantry, b), c) layout of prestressing tendons

Obr. 18 Viadukt R1 214 – příčný řez s horní výsvunou skruží, a) při betonáží, b) při posunu ■
Fig. 18 R1 214 viaduct – cross section with the overhead launching gantry, a) during the casting, b) during launching

Obr. 19 Viadukt R1 214, výztuž vrubového kloubu ■
Fig. 19 R1 214 viaduct, hinge reinforcement

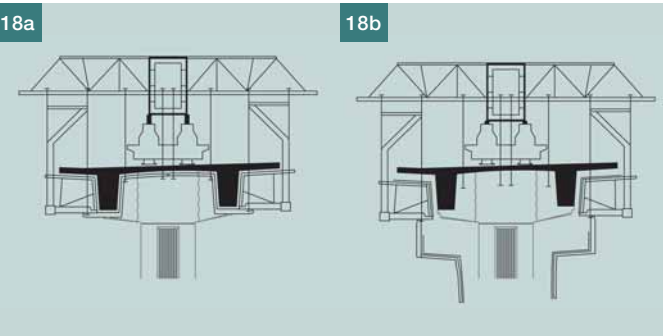
Obr. 20 Viadukt R1 214, vrubový kloub, a) během stavby, b) za provozu ■
Fig. 20 R1 214 viaduct, concrete hinge, a) during construction, b) during service



17a

17b

17c

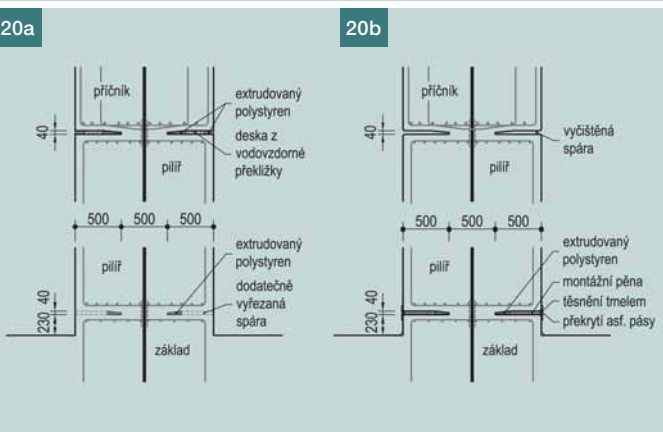


18a

18b



19



20a

20b

ZÁVĚR

Mosty byly postaveny bez podstatných problémů a při jejich provozu nebyly shledány žádné závady.

Investorem mostu D1-203 byla Národní diaľničná spoločnosť, Bratislava, Slovensko. Most R1-214 byl postaven v rámci PPP projektu. Koncesionářem stavby je Granvia, a. s., generálním zhotovitelem byla firma Eurovia CS, a. s., odštěpný závod oblast Morava, závod Ostrava, který také provedl spodní stavbu. Spodní stavbu prvního mostu a nosné konstrukce obou mostů realizovala firma Skanska DS, Závod 77 Mosty, Brno. Autorem alternativních návrhů a realizační dokumentace obou mostů byla firma Stráský, Hustý a partneři, s. r. o., Brno.



Prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.

Ing. Tomáš Rompolt



Ing. Petr Mojzík

všichni: Stráský, Hustý a partneři, s. r. o.

Ing. Viliam Kučera
Skanska, a. s.
divize Silniční stavitelství
závod Mosty

Literatura:

- [1] *Stráský J.*: Dva prefabrikované mosty v Brně, Předpjatý beton v Československu, Inženýrské stavby 3, 78
- [2] *Kořenek M., Stráský J.*: Dva typy segmentových mostů, Předpjatý beton v Československu, Inženýrské stavby 5-6, 82
- [3] *Leonhardt F.*: Bridges, Aesthetics and Design, Deutsche Verlags-Anstalt GmbH Stuttgart 1984
- [4] *Seim C., Lin. T. Y.*: Aesthetics in Bridge Design, Accent on Piers, Esthetic in Concrete Bridge Design, ACI, Detroit, Michigan 1990
- [5] *Nečas R., Kolářek J., Stráský J.*: Bridge progressively cast span-by-span using stationary or movable scaffolding, In 2nd intern. workshop Design of concrete structures and bridges using eurocodes, Bratislava, Slovak TU in Bratislava, 2011, p. 243-250, ISBN 978-80-8076-094-6

21a



21b



22



Obr. 21a,b Viadukt R1 214, postupná výstavba mostu

■ Fig. 21a,b R1 214 viaduct, progressive erection of the bridge

Obr. 22 Viadukt R1 214, výztuž mostovky

■ Fig. 22 R1 214 viaduct, reinforcement of the deck

Obr. 23 Viadukt R1 214 ■ Fig. 23 R1 214 viaduct

23

