

# SEMIINTEGROVANÉ PREFABRIKOVANÉ MOSTY

Jiří Stráský, Vladimír Puda, Michal Jurik

Semiintegrováné prefabrikované mosty realizované na slovenské dálnici v úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala jsou popsány s ohledem na architektonické a konstrukční řešení a technologii výstavby. Nejvýznamnější prefabrikovaný most celkové délky 960 m, který je veden ve výšce až 42 m, má ložiska jen na krajních opěrách. V článku jsou také uvedeny možnosti využití prefabrikovaných nosníků pro mosty větších rozpětí.

## SEMI-INTEGRAL PRECAST BEAM BRIDGES

The semi-integral precast beam bridges realized on the Slovak motorway in the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section are described in terms of their architectural and structural solutions and construction technology. The most important prefabricated bridge of a total length of 960 m, which is situated at a height of up to 42 m, has bearings only on the end abutments. The possibilities of using prefabricated beams for bridges of larger spans are also presented.

Slovenská dálnice D1 je u Žiliny vedena v krásné krajině Malé Fatry. V úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala je vedena po několika dlouhých mostech (obr. 1) a tunelem podchází pod vrchem Hoblík. Stavbu dálnice, která probíhá v režimu Žluté knihy FIDIC, zahájilo sdružení zhotovitelů Salini Impregilo – Dúha. Toto sdružení striktně požadovalo, aby všechny mosty byly navrženy z prefabrikova-

ných nosníků. Původně předpokládalo, že pro stavbu budou vyvinuty nové nosníky, později se rozhodlo využít prefabrikované nosníky vyráběné slovenskými firmami. Byly vypracovány projekty a zahájena stavba několika mostů. Prefabrikované mosty měly jednotné architektonické a konstrukční řešení. Kde to bylo možné, byly navrženy semiintegrováné konstrukce s ložisky situovanými jen na

krajních opěrách. Aby pohledová plocha nosníků zůstala hladká, podporové příčníky příčně přesahují jen spodní příruby nosníků.

Stavba dálničního úseku byla zahájena v roce 2015. Dodavatel u řady objektů provedl založení, spodní stavbu, smontoval část nosníků a vybetonoval spřaženou mostovkovou desku. V roce 2019 se sdružení rozhodlo od stavby odstoupit. Po nové soutěži stavbu získalo sdružení Skanska – Višňové. Bylo dohodnuto, že rozestavěné konstrukce budou dostavěny podle stávajících projektů a most 202, jehož stavba nebyla v době nové soutěže zahájena, bude postaven jinou technologií. Mostní objekty by měly být dokončeny do konce letošního roku.



1

1 Stavba mostu 203 na slovenské dálnici D1 u Žiliny 2 Most 201: a) boční pohled, b) podhled 3 Most 203 4 Podélný řez 5 Podélný řez u dilatačního pilíře 6 Montáž nosníků  
1 Construction of the Bridge 203 on the Slovak D1 motorway near Žilina 2 Bridge 201: a) side view, b) soffit 3 Bridge 203 4 Elevation 5 Elevation at expansion pier 6 Girders' erection

2a



2b





3

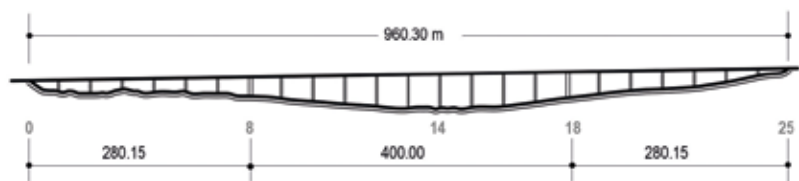
## Typické viadukty

Slovenské prefabrikované vícepolové mosty jsou obvykle sestaveny z prefabrikovaných nosníků uložených na úložné prahy tvaru obráceného písmene T. Pokud jsou prahy podepřeny ložisky, je nutno prahy při stavbě stabilizovat [1]. Na stavbě dálnice D3 v úseku Svrčinovec–Skalité jsme ložiska nahradili vrubovými klouby, jejichž řešení vyšlo z našich dřívějších konstrukcí budovaných na výsuvné skruži [2]. Klouby byly montážně vyztuženy vodovzdornou překližkou, která byla po dobetonování příčniců a spřažené desky odřezána.

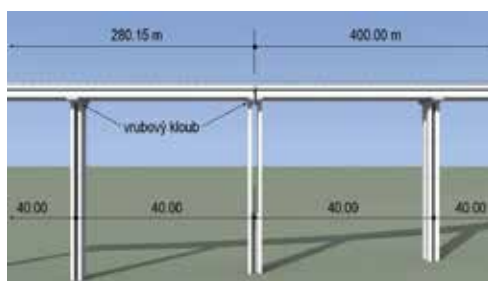
Podobné řešení bylo využito při stavbě mostu 201, který je tvořen dvěma souběžnými mosty přemostujícími táhlé údolí bezejmenného potoka a polní cestu (obr. 2a). Nosnou konstrukci obou mostů tvoří spojitý nosník o šesti polích s rozpětími 35 + 4 × 40 + 35 m, který je sestaven z prefabrikovaných nosníků a spřažené desky. Šířka levého mostu je 14,5 m a pravého mostu 15,3 m, a proto je nosná konstrukce levého mostu sestavena z osmi a pravého mostu z devíti nosníků typu Doprastav. Nosníky mají výšku 2 m a jsou osazeny v příčné vzdálenosti 1,75 m a 1,7 m.

Podporové příčnice jsou podepřeny dvojicí stojek průřezu tvaru písmene H. Stojky podpěr 3 až 6 jsou s prahy spojeny vrubovými klouby (obr. 2b), na krajních opěrách 0 a 7 a na podpěře 1 jsou prahy uloženy na hrncových ložiscích. Podpěry 3 a 6 mají vrubové klouby také u základů. Most tak tvoří úsporný semiintegrováný konstrukční systém.

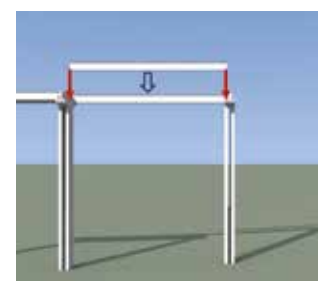
Podobné uspořádání má také most 205, který je tvořen dvěma souběžnými mosty rovněž přemostujícími táhlé údolí bezejmenného potoka a polní cestu. Nosná konstrukce levé-



4



5 6



ho a pravého mostu je vedena v rozdílné výšce. Nosnou konstrukci obou mostů tvoří spojitý nosník o šesti polích s rozpětími 25 + 4 × 33 + 25 m. Kvůli rozdílné šířce mostu je nosná konstrukce levého mostu sestavena z osmi nosníků a pravého mostu z devíti nosníků výšky 1,4 m. S ohledem na malou výšku podpěr je nosná konstrukce uložena na ložiscích situovaných na dvojicích stojek průřezu tvaru písmene H.

## Most 203

Most převádí dálnici přes hluboké a táhlé údolí, komunikaci III. třídy, potok a polní cestu (obr. 3). Přemostění celkové délky 960,3 m je tvořeno dvěma souběžnými mosty o 24 polích rozdělených do tří dilatačních celků (obr. 4). Rozpětí polí je 40 m (obr. 5). Osa dálnice je částečně v přechodnici a částečně v pravostranném kruhovém oblouku s poloměrem 2 000 m. Výškově je nosná konstrukce až po pilíř 19 vedena v konstantním stoupání 1,73 %, za tímto pilířem začínají údolnicové oblouky a niveleta je pro levý a pravý most rozdílná. Na pra-

vém mostě je maximální sklon na opěrách 4 %, na levém mostě 2,63 %. Příčný sklon obou mostů je shodný pravostranný 2,5 %.

## Architektonické a konstrukční řešení

Skutečnost, že je nosná konstrukce vedena až 42 m nad terémem a podpěry mají výšku až 39,7 m, umožnila vytvořit integrovaný konstrukční systém s ložisky situovanými jen na krajních podpěrách. Konstrukční systém navázal na naše předcházející konstrukce betonované po polích na výsuvných skružích [3] a na mosty stavěné letmo [4].

Nosnou konstrukci tvoří prefabrikované nosníky výšky 2 m a spřažená monolitická deska tloušťky 0,225 m (obr. 7). S ohledem na uspořádání dálnice je šířka levého a pravého mostu rozdílná. Levý most celkové šířky 14,2 m je sestaven z osmi nosníků, pravý most celkové šířky 15,3 m je sestaven z devíti nosníků. Dodavatelem prefabrikovaných nosníků je Doprastav, a.s., závod Prefa. Použitý typ nosníku je DPS DP I/10, nosníky mají

délku až 42 m. Nosníky jsou sestaveny ze tří železobetonových dílců, které jsou na stavbě sepnuty a předepnuty.

Nosníky jsou uloženy na železobetonové prahy, které jsou podepřeny osovými podpěrami (obr. 8). Prahy mají tvar obráceného písmene T (obr. 9). V jejich spodní přírubě je zakotvena svíslá výztuž, která je po montáži nosníků doplněna a propojena s výztuží spřažené desky. Vytváří se tak tuhý příčník zajišťující ohybovou a torzní tuhost konstrukce.

Prahy tvaru obráceného písmene T jsou v podélném směru mostu podepřeny dvojicemi štíhlých stěnových stojek (obr. 5). Stojky jsou situovány pod uložení nosníků na prahy tak, aby od zatížení, které prefabrikované nosníky přenáší jako prosté nosníky (vlastní tíha a tíha spřažené desky), byly jen tlačeny (obr. 6). Všechny stojky, které jsou s úložnými prahy spojeny vrubovými klouby, mají stejný tvar; jejich šířka je 5,5 m a tloušťka je 0,8 m. V pohledové ploše jsou vylehčeny vybráním hloubky 0,4 m (obr. 10). Vyšší stojky jsou u základů vzájemně spojeny ztužující stěnou výšky 2,2 až 24,7 m, nízké stojky situované u krajních opěr mají vrubový kloub také u základů. Mezera mezi stojkami 0,8 m je u dilatačních pilířů zvětšena na 1,5 m (obr. 11).

Úložné prahy dilatačních pilířů, které vznikly rozdělením typických prahů, mají tvar písmene L. Při montáži byly mezi prahy vloženy betonové bloky, jež byly následně spojeny předpětím. Po vybetonování monolitických částí příčniců a spřažené desky bylo montážní spojení odstraněno.

Krajní opěry a většina pilířů jsou



7

založeny na vrtaných pilotách průměru 0,9 m. V místě skalního a poloskalního podloží, zejména v místě dilatačního celku DC1, jsou dva pilíře založeny plošně a osm pilířů na mikropilotách.

### Postup stavby

Výstavba nosné konstrukce obou mostů byla navržena ve třech etapách. V každé etapě bylo smontováno osm mostních polí. Nejdříve byly postaveny krajní dilatační celky, přičemž kladení nosníků i realizace spřažené monolitické desky probíhaly od opěry k dilatačnímu pilíři s přesahem do prvního mostního pole za dilatačním pilířem (obr. 12). Následně byla smontována pole střední části mostu. Nosníky byly montovány dvojicí jeřábů pohybujících se po provizorní komunikaci situované podél mostu (obr. 13).

### Statická a dynamická analýza

Úsporný návrh konstrukce byl umožněn její detailní statickou a dynamickou analýzou. Rozměry stojek a délka jejich vzájemného spojení byly iteračně určeny tak, aby navržená konstrukce byla dostatečně tuhá, a tak byla schopná přenést veškeré účinky provozního zatížení, a současně aby byla dostatečně poddajná, aby minimalizovala statické účinky od objemových změn betonu. Poddajnost konstrukce také výrazně redukuje namáhání od



8

seismických účinků. Konstrukce má vlivem malé tuhosti spodní stavby nízké frekvence, a proto jsou účinky od zemětřesení nepodstatné.

Most, který byl analyzován programovým systémem Midas, byl modelován jako 3D konstrukce sestavená z prutových prvků (obr. 15). Detailní časově závislá analýza postupně montované konstrukce byla provedena pro projektovaný a skutečný průběh výstavby. S ohledem na přerušení stavby bylo nutné zvětšit vyztužení spřažené desky. Výztuž úložných prahů a podporových příčniců byla určena postupy diskutovanými v [1].

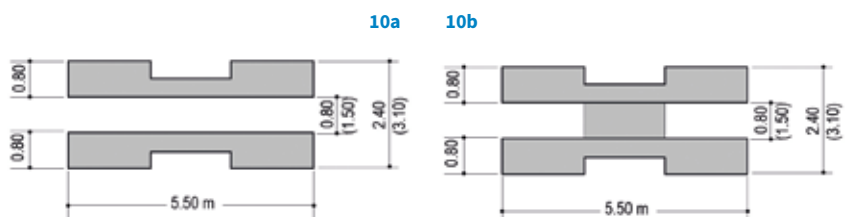
Při řešení nebylo dostačující posoudit jen jednotlivé pilíře, ale bylo nutné analyzovat celé dilatační celky. Při vý-



9

7 Příčný řez 8 Podpěry 9 Úložné prahy 10 Příčné řezy pilířů: a) horní část, b) dolní část (hodnoty v závorkách jsou pro dilatační pilíře) 11 Dilatační pilíř 12 Postupná stavba mostu 13 Montáž nosníků 14 Pilíř P14 15 Výpočtový model: a) detail konstrukce, b) střední dilatační část 16 Tvar vybočení: a) imperfekce pilíře P14, b) imperfekce všech pilířů

7 Cross-section 8 Piers 9 Piers' caps 10 Piers' cross-sections: a) top part, b) bottom part (values in parentheses are for expansion piers) 11 Expansion pier 12 Progressive bridge construction 13 Girders' erection 14 Pier P14 15 Calculation model: a) detail of the structure, b) middle expansion part 16 Buckling mode: a) imperfection of the pier P14, b) imperfection of all piers





počtu byla zohledněna skutečná geometrie konstrukce, možné nepřesnosti (imperfekce) stavby, postup výstavby a účinky dotvarování a smršťování betonu. Vliv objemových změn má zásadní vliv na stabilitu pilířů. Pro představu o velikosti vodorovných deformací konstrukce v místě krajních opěr 0 a 25 a dilatačních pilířů 8 a 18 jsou v tab. 1 uvedeny deformace mostovky před a po osazení dilatačních závěrů. Je samozřejmé, že podpěry byly navrženy na celkové deformace.

S ohledem na štíhlost podpěr byla provedena geometricky nelineární analýza konstrukce mostu. V analýze byly posuzovány všechny dilatační celky, které byly vždy modelovány jako jeden spojitý celek. Velikost imperfekcí byla uvažována jako  $l / 200$ , redukční součinitel  $\alpha_h$  byl bezpečně zanedbán. V modelech bylo uvažováno s efektivním modulem pružnosti pilířů  $E_{cd,eff} = E_{cd} / (1 + \phi_{ef})$ . Další změkčení spodní stavby vlivem trhlin železobetonových pilířů bylo vystiženo redukcí momentů setrvačnosti.

Nelineární výpočet byl proveden na modelech bez fáze výstavby, vliv reologických účinků byl zohledněn pomocí ochlazení konstrukce. Modely byly kalibrovány tak, aby ve výchozím stavu bylo dosaženo stejného namáhání pilířů na nelineárním modelu vypočteném bez postupu výstavby a na globálním výpočtovém modelu zohledňujícím výstavbu mostu.

Pro střední dilatační celek byly provedeny dva výpočty. První výpočet zohlednil možnou imperfekci nejvyššího pilíře P14 a uvažil kombinaci zatížení vyvolující maximální namáhání tohoto pilíře (obr. 16a). Druhý,



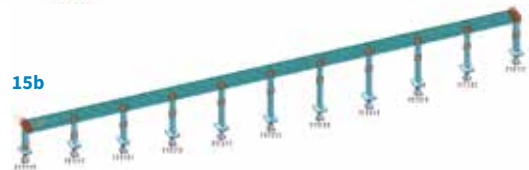
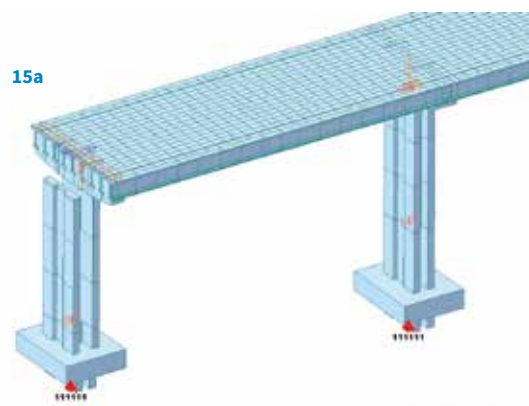
11



12

konzervativní výpočet uvažil možnou maximální imperfekci všech pilířů a uvažil kombinaci zatížení vyvolující extrémní namáhání všech podpěr (stálá zatížení, podélný vítr, doprava) (obr. 16b). Nápravové tlaky byly bezpečně uvažovány u všech pilířů současně. Takto byly posouzeny i krajní dilatační celky.

Na obr. 17a je pro pilíř P14 uvedena obálka ohybových momentů určená lineárním výpočtem, na obr. 17b je uvedeno namáhání tohoto pilíře určené nelineárním výpočtem uvažujícím imperfekci jen tohoto pilíře a na obr. 17c je uvedeno namáhání tohoto pilíře určené nelineárním výpočtem uvažujícím imperfekci všech pilířů.



13



14



16b

**Tab. 1** Vodorovné deformace konstrukce v dilatačních závěrech – charakteristické hodnoty **Tab. 1** Deck's horizontal deformations at expansion joints – characteristic values

		Opěra 1 [mm]	Pilíř 8 [mm]	Pilíř 18 [mm]	Opěra 25 [mm]
smršťování a dotvarování	před osazením závěrů	-41	-95	-106	-44
	po osazení závěrů	-18	-38	-50	-21
	celkem	-59	-133	-156	-65
teplota	ochlazení	-52	-119	-125	-53
	oteplení	54	122	128	54
zkrácení celkem		-111	-255	-281	-118

Z průběhů ohybových momentů je patrné, že vliv geometrických imperfekcí a účinky druhého řádu mají velký vliv na dvojici štíhlých stěn, kde je nárůst momentů (5532/3104) roven 1,78násobku základního momentu pro model s vychýleným jedním pilířem a (7326/3104) je roven 2,36násobku základního momentu pro model s vychýlením všech pilířů.

### Mosty větších rozpětí

U nás i v zahraničí jsou mnohdy navrhována přemostění, u nichž na hlavní komorový most, obvykle betonovaný letmo, navazují přilehlá pole tvořená prefabrikovanými nosníky. Vytváří se tak esteticky a konstrukčně nesourodé řešení. Bohužel, i jeden most je na popisované stavbě takto navržen.

Proto jsme studovali možnosti, jak využít prefabrikované nosníky pro mosty větších rozpětí. Náš návrh vychází ze dvou přístupů používaných v zahraničí. První řešení je zřejmé z obr. 18, jenž zobrazuje montáž konstrukce s rozpětím středního pole 76,2 m v USA [5].

Pro rozpětí do 70 m navrhuji v USA

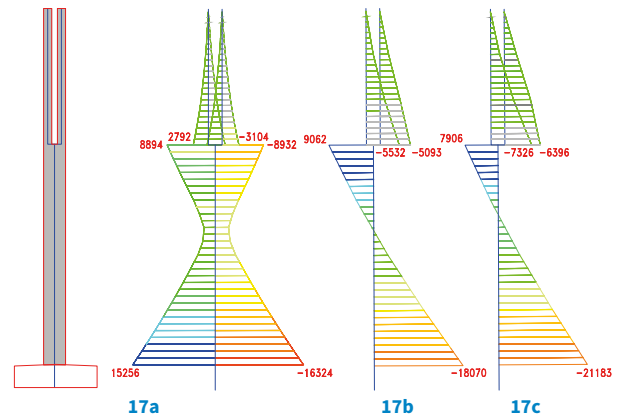
konstrukce konstantní výšky, pro rozpětí do 100 m konstrukce s náběhy. Konstrukce o třech polích je obvykle sestavena ze tří polových a dvou podporových nosníků. Polové nosníky jsou obvykle předem předpjaté a jsou v nich u spodních vláken situovány kanálky pro spojité kabely. Podporové nosníky mají proměnnou výšku, jsou železobetonové a při horním povrchu mají kabelové kanálky.

Při stavbě se nejdříve na krajní podpěru a montážní podpěry situované v krajních polích osadí krajní polové nosníky. Potom se na definitivní podpěru a montážní podpěry osadí podporové nosníky. Po vzájemném montážním spojení krajních a podporových nosníků se na podporové nosníky osadí nosníky středního pole, protáhnou se kabely a po vybetonování spár se konstrukce předepne. Pak se vybetonuje spřažená deska.

Druhý přístup navazuje na ocelobetonové konstrukce navrhované španělskými inženýry [6], kteří využívají dvojí spřažení nejen pro ztužení spodní ocelové pásnice u podpěr,

ale navrhuji také ocelové konstrukce, které se osadí (popř. zasunou) na předsdem vybetonované náběhy, s kterými se následně spřáhnou (obr. 19).

Je zřejmé, že pokud lze s náběhy spřáhnout ocelovou konstrukci, lze s náběhy spřáhnout také prefabrikované nosníky (obr. 20). Pro ověření funkce takto navržené konstrukce byla na Fakultě stavební VUT v Brně vypracována diplomová práce zabývající se konstrukcí o třech polích s rozpětími 58,5 + 75 + 58,5 m (obr. 22). Podobně jako konstrukce v USA byla konstrukce navržena ze tří polových a dvou podporových nosníků, které byly předepnuty kabely vedenými u spodních a horních vlákních (obr. 22a). Následně byly na skruži u podpěr vybetonovány náběhy, na které se podporové nosníky osadily. Po jejich spřažení s náběhem se osadily nosníky středního pole (obr. 22d), vybetonovaly se spáry mezi nosníky a provlékly a napnuly se kabely spojitosti (obr. 22e). Po vybetonování spřažené desky (obr. 22f) byly provedeny dokončovací práce (obr. 22g).



**17** Ohybové namáhání pilíře P14: a) lineární analýza, b) imperfekce pilíře P14, c) imperfekce všech pilířů **18** Most přes Escambia Bay, Florida, USA **19** Most del Arenal, Córdoba, Španělsko **17** Bending stresses of the pier P14: a) linear analysis, b) imperfection of the pier P14, c) imperfection of all piers **18** Bridge across Escambia Bay, Florida, USA **19** Bridge del Arenal, Córdoba, Spain

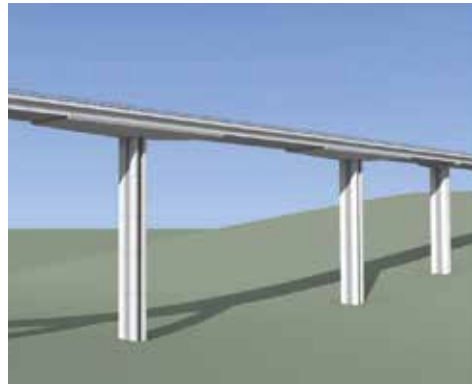


#### Literatura:

- [1] STRÁSKÝ, J., NEČAS, R. *Designing and Constructing Prestressed Bridges*. London: Thomas Telford Publishing, 2021. ISBN: 978-0-7277-6385-3.
- [2] STRÁSKÝ, J., ROMPORTL, T., MOJŽÍK, P., KUČERA, V. Semi-integrované viadukty stavěné s využitím horní výsvuné skruže. *Beton TKS*. 2013, roč. 13, č. 4, s. 26–31. ISSN: 1213-3116.
- [3] NOVOTNÝ, P., SVOBODA, P., NOVÁK, R., STRÁSKÝ, J. Viadukty s postupně betonovanou nosnou konstrukcí postavené na slovenské dálnici D1. *Beton TKS*. 2015, roč. 15, č. 4, s. 28–36. ISSN: 1213-3116.
- [4] JURÍK, M., FORMÁNEK, M., SVOBODA, P., STRÁSKÝ, J. Mosty Valy a Rieka na slovenské dálnici D3. *Beton TKS*. 2017, roč. 17, č. 4, s. 4–10. ISSN: 1213-3116.
- [5] RUDIE, C., POULSON, J., RYZHIKOV, V., MOLAS, T. Innovative Solutions for Rapid Construction. *ASPIRE: The Concrete Bridge Magazine*. Summer 2008, s. 22–24. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute. ISSN: 1935-2093.
- [6] CALZÓN, J., M. *Puentes Estructuras Actitudes*. Turner, 2006.



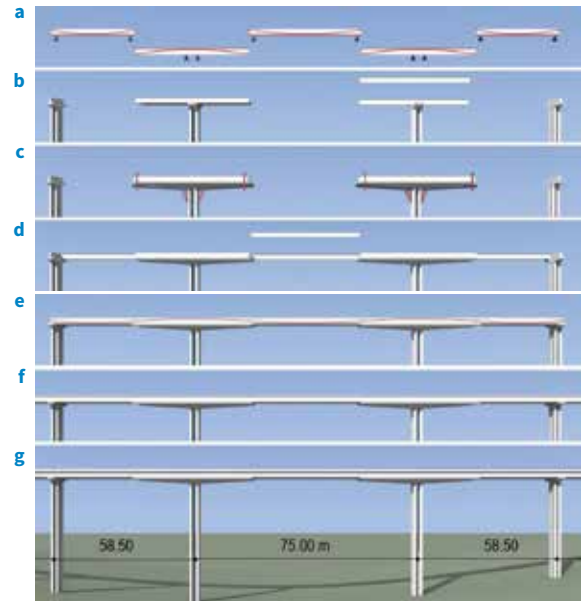
20



21

**20** Prefabrikované nosníky spřažené s podporovým náběhem **21** Prefabrikované nosníky s monolitickými náběhy **22** Postup stavby: a) prefabrikované nosníky, b) montáž podporových nosníků, c) betonování náběhů, d) montáž polových nosníků, e) předepnutí konstrukce, f) betonáž spřažené desky, g) dokončovací práce **23** Most 203

**20** Precast beams composite with support haunch **21** Precast beams with cast-in-place haunches **22** Construction sequences: a) precast beams, b) support beams' erection, c) haunches' casting, d) span beams' erection, e) structure's prestressing, f) composite slab casting, g) finishing work **23** Bridge 203



22

Popsaný postup je reálný, vyžaduje však skruž pro vybetonování náběhu. Proto jsme postup stavby upravili. Po postavení spodní stavby se nejdříve osadí podporové nosníky (obr. 22b). Po jejich přikotvení k pilířům se na nosníky zavěsí bednění náběhů a následně se náběhy vybetonují (obr. 22c).

V dolních úzkých přírubách jsou vytvořeny otvory umožňující řádné probetonování náběhů a jejich spřažení s prefabrikovaným nosníky. Jsou zde navrženy také spojky betonářské výztuže zajišťující „zavěšení“ náběhu. Další postup stavby je stejný.

Je zřejmé, že poměrně jednoduše můžeme navrhnout prefabrikované konstrukce s většími rozpětími, a tak realizovat estetické konstrukce jednotného architektonického a konstrukčního řešení.

Využití typových nosníků pro spojitě konstrukce větších rozpětí není nové. Před více než 40 lety postavil tehdy národní podnik Doprastav Bratislava na dálnici D2 u Břeclavi z nosníků I-73 např. dva nadjezdy s rozpětím 50 m. Považujeme však za vhodné na tuto skutečnost upozornit. S minimálními úpravami nosníků je možné vhodným postupem stavby navrhnout konstrukce, které působí jako spojitý nosník nejen pro užité zatížení, ale také pro vlastní tíhu. Pak oproti konstrukcím sestaveným z prostých nosníků lze navrhnout konstrukce s rozpětím o 30 % větším. Pokud mezi spodními přírubami podporových nosníku vybetonujeme a spřahneme podélné spáry, můžeme rozpětí zvětšit o 40 %, a pokud navrheme náběhy, můžeme rozpětí zvětšit až o 80 % (obr. 21).

23



## Závěr

Z prefabrikovaných nosníků lze poměrně jednoduše vytvářet úsporné semiintegrovane konstrukce. Pečlivým návrhem lze i u dlouhých mostů vytvořit estetické konstrukce jednotného architektonického a konstrukčního řešení (obr. 23). Pokud navrheme podepření konstrukce dvojicemi štíhlých spojek, vytvoříme úspornou transparentní konstrukci. Dilatační pilíře pak mohou mít stejné uspořádání. Stíny, které vznikají mezi stěnovými stojkami podpěr, celou konstrukci opticky odlehčují. Podporové příčníky mohou lícovat s povrchem vnějších nosníků, a tak je možné vytvořit hladký spojitý povrch konstrukce.

Pokud je nutno v části přemostění navrhnout větší rozpětí, lze u podpěr prefabrikované nosníky spřahnout s monolitickým náběhem, a tak vytvořit konzistentní přemostění.



prof. Ing. Jiří Stráský, DSc.  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o.  
& Fakulta stavební VUT v Brně  
j.strasky@shp.eu



Ing. Vladimír Puda  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o.  
v.puda@shp.eu



Ing. Michal Jurik, Ph.D.  
Stráský, Hustý a partneři s.r.o.  
m.jurik@shp.eu