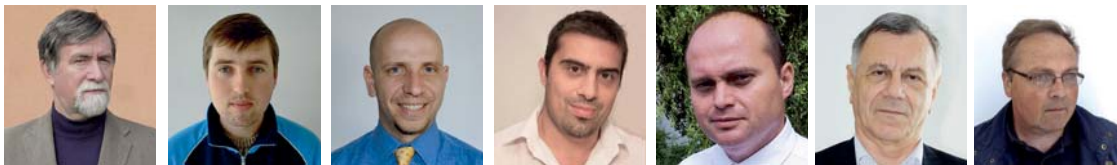


Milan Chandoga – Jozef
 Ďugel – Andrej Pritula –
 Peter Paulík – Ladislav
 Čerňanský – Ľubomír
 Hrnčiar – Jaroslav Motlík



Inovácia mostných prefabrikátov firmy VÁHOSTAV-SK

Innovation of precast concrete bridge elements by VÁHOSTAV-SK

V príspevku je zhrnutá viac ako osemročná projekčno-vývojová práca tímu autorov zameraná na inováciu produkcie mostných prefabrikátov v spoločnosti Váhostav-SK-Prefa, s. r. o. Výsledkom tejto práce je realizačná dokumentácia – katalógy pokrývajúce široký sortiment predpätých prefabrikátov s výrobnými dĺžkami od 9 do 42 m. Ostatné štyri roky sa vývojové práce orientovali na znižovanie ekonomickej náročnosti a prácnosti firmy pri výstavbe mostov z týchto prefabrikátov. Ako príklad možno uviesť vývoj vláknobetónových debniacich dosiek s výstužou GFRP, redukcii počtu prefabrikátov v priečnom reze mostom, certifikáciu 5-lanového kotevného systému PROJSTAR CH-5, ktorý nahrádza 4-lanový a pod.

Spoločnosť Váhostav-SK-Prefa, s. r. o., bola založená v roku 2001 ako dcérska spoločnosť firmy Váhostav-SK, a. s. Výroba betónových a železobetónových prefabrikátov i transport betónu v prevádzke v Hornom Hričove má však dlhoročnú tradíciu, ktorá siaha až do roku 1964.

Od roku 2014 sa realizuje vo firme Váhostav-SK, a. s., projekt inovácie mostných prefabrikátov VPH-PTMN 2010, ktorý pokračuje aj v tomto roku. V rámci tohto projektu sa postupne riešili tieto úlohy:

- aplikácia VHB pri vybraných typoch mostných prefabrikátov (2014 – 2015) [3],
- prefabrikáty so zníženou výškou (2016 – 2017) [4],
- redukcia počtu prefabrikátov v priečnom reze mostom (2017 – 2018) [5],
- debniacie dosky s GFRP výstužou na dĺžky 40 – 180 cm (2016 – 2018) [6].

Nosníky typového radu VPH-PTMN 2010 [2]

V roku 2010 bol uvedený do výroby nový typový rad mostných nosníkov VPH-PTMN 2010 [3]. Aby sa minimalizovali náklady na úpravu oceľových foriem, rešpektoval sa pri návrhu nových nosníkov tvar dolnej príruby dodatočne prepínaných nosníkov MDP38, ktoré sa vyrábali v Prefe od roku 2008 [1].

Katalógy nosníkov VPH-PTMN 2010 pokrývajú prefabrikáty s dĺžkou 18 – 42 m a sú rozdelené do typov podľa ich výrobnéj výšky (obr. 1):

- Katalóg I-nosníkov s dĺžkami 18 – 21 – 24 m a s výškou 1,2 m (vopred predpätých),
- Katalóg I-nosníkov s dĺžkami 27 – 30 – 32 m a s výškou 1,4 m (variant vopred, resp. vopred/dodatočne predpätých),
- Katalóg I-nosníkov s dĺžkou 38 m a s výškou 1,9 m (dodatočne predpätých segmentových),
- Katalóg I-nosníkov s dĺžkou 42 m a s výškou 2,1 m (dodatočne predpätých segmentových).

The article summarizes more than 8 years of design-development team work of the authors, aimed at innovation in precast bridge elements production at VÁHOSTAV-SK-PREFA, s. r. o. The result of this work is the construction documentation - catalogues, covering a wide range of pre-stressed precast elements with production lengths of 9-42m. For the last 4 years, the development work has focused on reducing the economic and production complexity in erecting bridges from the precast elements. To provide an example: development of fibre reinforced concrete formwork panels with GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer); reduction of the number of precast elements in a cross section of a bridge; certification of the 5-cable anchor system PROJSTAR CH-5, replacing the 4-cable one, etc.

VÁHOSTAV-SK-PREFA, s. r. o. was established in 2001 as a branch company of VÁHOSTAV-SK, a. s. Nonetheless, the production of concrete/reinforced concrete precast elements as well as the transport of concrete in Horný Hričov has had a long tradition dating back to 1964.

Since 2014 VÁHOSTAV-SK, a. s. is developing an innovative design of the precast bridge elements type VPH-PTMN 2010, which continues also this year. Within this project the following tasks have been gradually solved:

- application of the high-performance concrete (HPC) for the selected types of bridge precast elements (in years 2014-15) [3],
- precast elements with reduced height (in years 2016-17) [4],
- reduced number of precast elements in the cross section of the bridge (in years 2017- 2018) [5],
- formwork panels with GFRP reinforcement for lengths of 40-180 cm (in years 2016 -2018) [6].

VPH-PTMN 2010 beams [2]

In the year of 2010, production of a new type series of bridge beams VPH-PTMN 2010 [3] has commenced. In order to minimise the costs of modifying steel moulds, design of the new beams maintained the bottom flange of the post-tensioned beams MDP38, which were being produced in the precast factory since 2008 [1].

Catalogues of beams VPH-PTMN 2010 contain precast elements of length 18-42 m, divided into types according to their production height (Fig. 1):

- Catalogue of I-shaped beams of length 18-21-24 m with height of 1.2 m (pre-tensioned),
- Catalogue of I-shaped beams of length 27-30-32 m with height of 1.4 m (alternative pre-tensioned or pre-tensioned/post-tensioned),
- Catalogue of I-shaped beams of length 38 m with height of 1.9 m (post-tensioned, segmental),

doc. Ing. Milan Chandoga, PhD., PROJSTAR-PK, s. r. o., Nad ostrovom 2, 84104 Bratislava, tel.: +421 903 722252, e-mail: projstar@projstar.sk

Ing. Jozef Ďugel, Váhostav-SK-Prefa, s. r. o., Horný Hričov 234, 01342 H. Hričov, e-mail: info@vph.sk

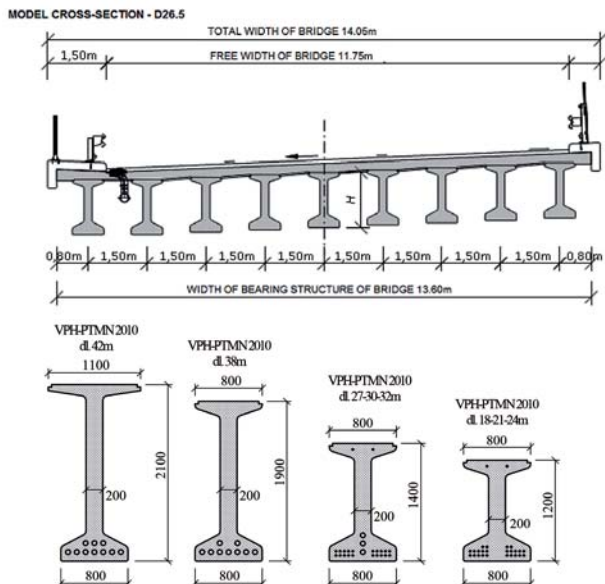
Ing. Andrej Pritula, PhD., CS&B, s. r. o., Nejedlého 11, 84102 Bratislava, e-mail: andrej.pritula@gmail.com

doc. Ing. Peter Paulík PhD., ProPonti, s. r. o., Pomlejská 60/A, 93101 Šamorín, tel.: +421 903 585663, e-mail: peter.paulik@stuba.sk

Ing. Ladislav Čerňanský, Váhostav-SK, a. s., Priemyselná 6, 821 09 Bratislava 3, e-mail: ladislav.cernansky@vahostav-sk.sk

Ing. Ľubomír Hrnčiar, Váhostav-SK, a. s., Priemyselná 6, 821 09 Bratislava 3, e-mail: lubomir.hrnciar@vahostav-sk.sk

Ing. Jaroslav Motlík, Váhostav-SK-Prefa, s. r. o., Horný Hričov 234, 01342 H. Hričov, e-mail: info@vph.sk



Obr. 1 Nosníky VPH-PTMN 2010 na dĺžky 24 – 32 – 38 – 42 m
Fig. 1 Beams VPH-PTMN 2010 for lengths of 24, 32, 38 and 42 m

Nosníky typového radu VPH-PTMN 2010 z VHB [3]

V rámci úlohy „Aplikácia VHB pri výrobe mostných prefabrikátov“ sa primárne riešil problém vhodnej receptúry betónovej zmesi a jej spracovania vo formách na výrobu I-nosníkov VPH-PTMN 2010 s výškou 1,4 m. Počas štandardnej výroby nosníkov sa vo forme vybetónovali aj segmenty z VHB s dĺžkou 1,0 m z betónu C80/95 podľa receptúry č. R10/Váh. Pri počiatočných skúškach betónovej zmesi sa dosiahli priemerné hodnoty pevnosti a modulu pružnosti 48,5 MPa/31,5 GPa po dvoch dňoch a 94,0 MPa/42,0 GPa po 28 dňoch.

Segmenty obsahovali identickú výstuž a rúrky káblových kanálikov ako vo vyrábanom nosníku. Touto skúškou sa overovala kvalita povrchu nosníka (dutínovosť) pri štandardnom postupe ukladania betónovej zmesi a jej zhutňovania systémom príložných vibrátorov osadených na existujúcej forme. Výsledky tejto práce boli publikované v [2]. Staticko-ekonomická analýza na nosníkoch s dĺžkou 32 m, doplnená o nosníky s dĺžkou 42 m (pri riešení úlohy pozri ďalej), preukázala, že úspory vyplývajúce z redukcie počtu nosníkov v priečnom reze mostom (cca o 1 až 2 ks) vrátane ich transportu a montáže neprevyšujú výrazne náklady na výrobu VHB betónu.

Nosníky typového radu VPH-PTMN 2016 [4]

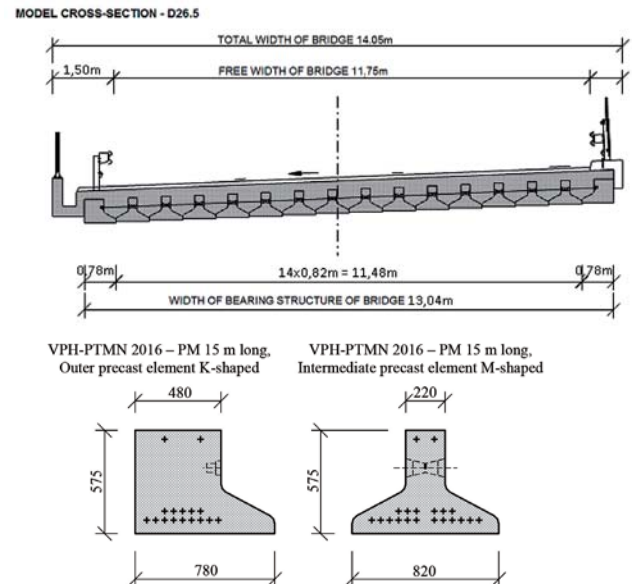
Typový rad nosníkov VPH-PTMN 2016 bol vypracovaný s cieľom doplniť sortiment vopred predpätých nosníkov na krátke rozpätia a pre výškovo obmedzené prekážky.

V sortimente nosníkov z roku 2010 chýbal sortiment mostných prefabrikátov na krátke rozpätia 9 až 15 m. Pri týchto rozpätiach možno použiť atypické nosníky v tvare obráteného T spriahnuté s monolitickou železobetónovou doskou. Na návrh riešiteľa sa táto kategória nosníkov doplnila o systém tzv. doskovej konštrukcie zostavenej z vopred predpätých nosníkov v tvare obráteného T, ktoré sa po doplnení spriahajúcej výstuže zabetónujú in situ bez použitia podperného debnenia (obr. 2). Toto riešenie umožňuje realizovať malé mosty veľmi rýchlo a mimoriadne ekonomicky. Základné typy prefabrikátov spolu s dobetónovanou železobetónovou doskou sú uvedené v tomto katalógu:

- Katalóg nosníkov v tvare obráteného T s dĺžkami 11, 13, 15 m (VPH-PTMN 2016-PM) pre doskové mosty.

Pre mosty na križeniach dopravných komunikácií, kde sú limitované výšky prejazdovým gabaritom (zdola) a niveletou komunikácie (zhora), bolo potrebné vypracovať katalógy s minimalizovanou výškou nosnej konštrukcie pre rozpätia 18 až 32 m (obr. 3):

- Katalóg nosníkov v tvare obráteného T s dĺžkami 18, 21, 24 m so zníženou výškou 1,0 m (VPH-PTMN 2016-T),



Obr. 2 Nosníky VPH-PTMN 2016-PM na dĺžku 15 m
Fig. 2 Beams VPH-PTMN 2016 – PM for the length of 15 m

- Catalogue of I-shaped beams of length 42 m with height of 2.1 m (post-tensioned, segmental).

Beams type VPH-PTMN 2010 made of high-performance concrete (HPC) [3]

In the scope of the task „Application of the high-performance concrete for the production of bridge precast elements“, the primarily addressed problem was a suitable concrete mixing ratios and its processing in moulds for the I-shaped beams VPH-PTMN 2010, with the height of 1.4 m. During the standards production of beams, the high-performance concrete was also used to precast segments with the length of 1.0 m from concrete type C80/95 according to the mixing formula no.R10/Váh.

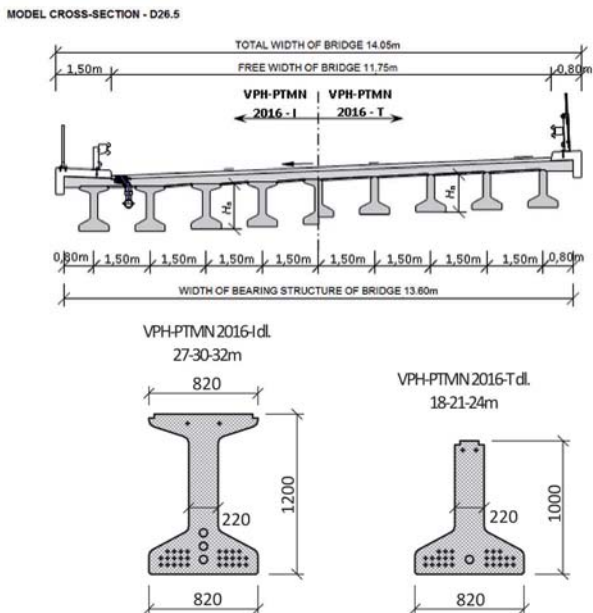
The initial tests of the concrete mixture carried out after two days showed an average rates of strength and the modulus of elasticity 48.5 MPa/31.5 GPa. The tests taken after 28 days indicated the values of 94.0 MPa/42.0 GPa.

In segments were fitted with identical reinforcement and tendon duct pipes as in the beam produced. By this test, we verified the quality of the beam surface (cavities) in the standard method of pouring the concrete mixture and its compaction with the system of the surface vibrators attached to the existing mould. The results of this work were published in [2]. Static-economic analysis made on 32 m long beams and later supplemented with 42 m long beams (to solve the task below) showed that the savings resulting from the reduction in the number of beams in the cross section of the bridge (approx. by 1-2pcs), their transport and assembly do not significantly exceed the production costs of high-performance concrete.

Beams type VPH-PTMN 2016 [4]

The type of beams VPH-PTMN 2016 has been developed to complement the assortment of pre-tensioned beams for short bridge spans and height-restricted obstacles. The assortment of beams from 2010 was lacking a range of bridge precast elements for short bridge spans of 9 to 15 m. For these spans an inverted T-shape beams coupled with a monolithic reinforced concrete slab can be used. At the suggestion of the researcher, this category of beams was supplemented with a so-called „slab structure made of pre-tensioned inverted T-shaped beams, which are, after replenishing the composite reinforcement, cast in situ without the use of supporting formwork (Fig. 2). This solution makes it possible to make small bridges very fast and economically-efficient. The basic types of the precast elements together with the additionally cast-in-situ reinforced concrete slab are listed in the catalogue:

- Catalogue of beams of an inverted T-shape with the lengths of 11, 13 and 15 m (VPH-PTMN 2016 - PM) for slab bridges.



Obr. 3 Nosníky VPH-PTMN 2016-I a VPH-PTMN 2016-T na dĺžky 18 až 32 m
Fig. 3 Beams VPH-PTMN 2016-I and VPH-PTMN 2016-T for the lengths 18 to 32 m

- Katalóg I-nosníkov s dĺžkami 27 – 30 – 32 m so zníženou výškou 1,2 m (VPH-PTMN 2016-I).

Túto úlohu sme sa rozhodli riešiť znížením výšky typových I-nosníkov VPH-PTMN 2010 o 200 mm (obr. 3). Pri nosníkoch s dĺžkou 18 – 24 m a výškou 1,0 m bolo potrebné vynechať hornú prírubu a použiť nosníky v tvare obráteného T.

Nosníky typového radu VPH-PTMN 2018 [5]

V rámci optimalizácie nákladov na výstavbu mostov sa realizovala vývojová úloha „Redukcia počtu prefabrikátov v priečnom reze mostom“. Úspešnosť riešenia tejto úlohy je spätá s vývojovou úlohou „Vláknobetónové debniacie dosky s výstužou GFRP“. Sortiment debniacich dosiek prešiel výrobnými a certifikačnými skúškami a pokrýva rozpätia od 500 do 1 800 mm. Paralelne so statickou analýzou prebehla aj ekonomická, zahrnujúca materiálové, dopravné a montážne náklady. Zo statickej analýzy vyplynula možnosť redukcie počtu nosníkov z 9 na 7 ks pri prostých poliach a na 6 ks pri spojitých poliach mostov na komunikáciách D26,5. Pri komunikáciách C7,5 bude priečny rez mostom zostavený z piatich, resp. štyroch kusov prefabrikátov. Vypracovali sa tieto katalógy:

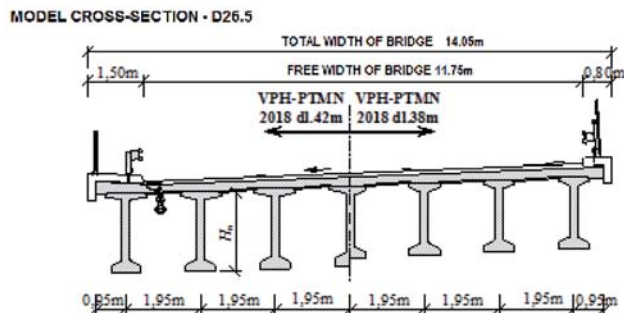
- Katalóg I-nosníkov s dĺžkou 38 m a s výškou 1,95 m (prosté polia – spojitá polia),
- Katalóg I-nosníkov s dĺžkou 42 m a s výškou 2,15 m (prosté polia – spojitá polia).

Tento typový rad nosníkov (obr. 4, 5) sa bude líšiť od radu 2010 (obr.1) stenou hrubšou o 20 mm, čo vyplynulo z použitia väčších 5-lanových predpínacích jednotiek PROJSTAR CH-5/2S. O 50 mm sa zväčší horná prírubu, ktorá musí byť vystužená mäkkou výstužou, aby preniesla väčšiu tiaž čerstvého betónu v podopretí debniacej dosky.

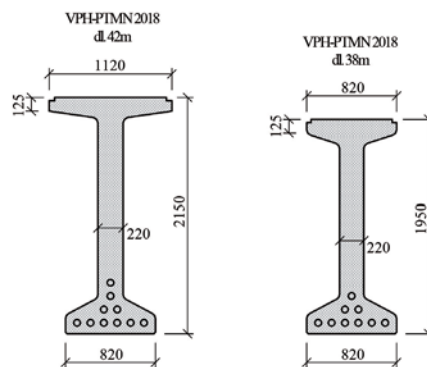
V zadaní riešenia sa objavila aj striktná požiadavka na hodnotu modulu pružnosti betónu v čase vnesenia predpätia. Pri betóne triedy C55/67 požadujeme modul pružnosti $E_b = 34 - 36$ GPa.

Vývoj a výrobné skúšky vláknobetónových debniacich dosiek vystužených nekovovou výstužou GFRP [6]

Debniacie dosky s GFRP výstužou sú vo svete bežným výrobkom. V našom prípade sme sa upriamili na dĺžky 120 – 180 cm. Vyplynulo to z riešenia redukcie počtu prefabrikátov (najmä nosníkov s typovou dĺžkou 35 – 42 m) v priečnom smere mosta (obr. 4). Cena týchto prefabrikátov a prepravné a montážne náklady pri výstavbe mosta sú značné, a tak úspora čo len jedného prefabrikátu nie je zanedbateľná.



Obr. 4 Nosníky VPH-PTMN 2018 na dĺžky 38 až 42 m
Fig. 4 Beams VPH-PTMN 2018 for lengths 38 to 42 m



Obr. 5 Priečne rezy nosníkmi VPH-PTMN 2018
Fig. 5 Cross sections of beams VPH-PTMN 2018

For bridges on crossings of traffic routes, where the heights are limited by the maximum clearance of cars from below and the road levelling from above, it was necessary to develop catalogues with minimum height of bearing structure for the spans of 18 m to 32 m (Fig. 3):

- Catalogue of inverted T-shaped beams with the lengths of 18, 21 and 24 m with the reduced height of 1.0 m (VPH-PTMN 2016-T),
- Catalogue of I-shaped beams of lengths 27, 30 and 32 m with the reduced height of 1.2 m (VPH-PTMN 2016-I).

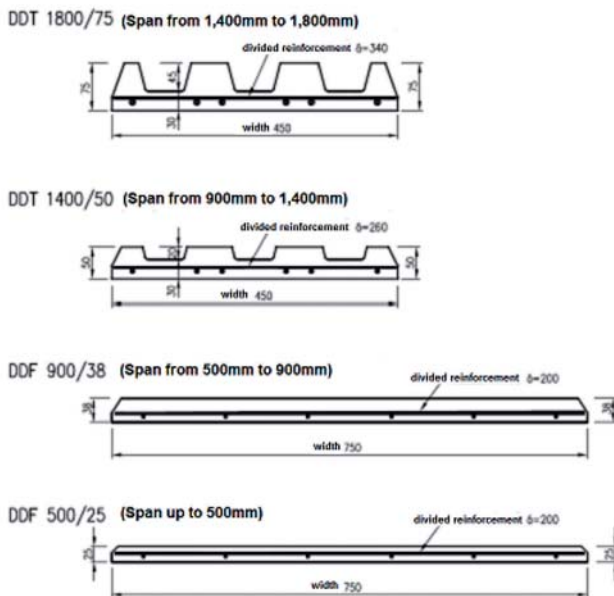
We have decided to solve this problem by reducing the height of I-shaped beams VPH-PTMN 2010 by 200 mm (Fig. 3). For 18-24 m long beams, of 1.0 m height, the upper flange was omitted and the inverted T-shaped beams were used.

Beams type VPH-PTMN 2018 [5]

As part of the optimization of bridge construction costs, the development task "Reduction of the number of precast elements in the cross section of bridge" was performed. The success of this task is related to the development task of "Fibre-reinforced concrete formwork panels with GFRP reinforcement". The assortment of formwork panels has passed manufacturing and certification exams and covers the spans of 500 – 1 800 mm. Along with the static analysis, the economic analysis was carried out, including material, transport and assembly costs. The static analysis showed the possibility of reducing the number of beams from 9 pcs to 7 pcs for simple spans and to 6 pcs for continuous spans of the road bridge at D26.5. For roads C7.5, the cross section of the bridge will be composed of 5, respectively 4 pieces of precast elements. The following catalogues have been worked out:

- Catalogue of I-shaped beams of 38 m in length, with the height of 1.95 m (simple spans – continuous spans),
- Catalogue of I-shaped beams of 42 m in length, with the height of 2.15 m (simple spans – continuous spans).

This type of beams (Fig. 4, 5) will differ from the 2010 series (Fig. 1) by 20 mm thicker wall – this resulted from the use of the larger 5-tendon pre-stressing units PROJSTAR CH-5/2S. The upper flange, which must be reinforced to withstand the weight of fresh concrete, is increased by 50 mm.



Obr. 6 Tvar a vystuženie základných typov DD
Fig. 6 Shape and reinforcement of basic types DD

Základné kritériá pri konštrukcii DD/GFRP

Tvar a vystuženie dosiek

Pri konštrukcii debniacej dosky je primárnym činiteľom náhrada oceľovej výstuže nekorodujúcou výstužou GFRP, ktorá umožňuje minimalizovať v tenkostenných debniacich doskách hrúbku krycej vrstvy betónu na minimálnu hodnotu zabezpečujúcu jej súdržnosť s okolitým betónom. Pričnú GFRP výstuž sme použili len na udržanie polohy pozdĺžnej výstuže. Jednosmerné statické pôsobenie dosky dovoľuje prispôbiť šírku a tým aj tiaž dosky potrebám ručného ukladania. Pri dĺžkach dosiek väčších ako 900 mm sme na redukciiu tiaže použili prebierkový profil s tenkou dolnou doštičkou.

Výsledné tvary debniacich dosiek sú na obr. 6. Debniace dosky s konštantnou hrúbkou sme označili ako DDF (flat), rebierkové typy ako DDT (trapéz).

Výrobné zaťažovacie skúšky

Na obr. 7 je pracovný diagram priebyh/zataženie z výrobnéj zaťažovacej skúšky dosky s dĺžkou 800 mm a s hrúbkou 35 mm. Základné typy DD podľa obr. 6 boli certifikované v štátnom skúšobnom ústave TSÚS Bratislava.

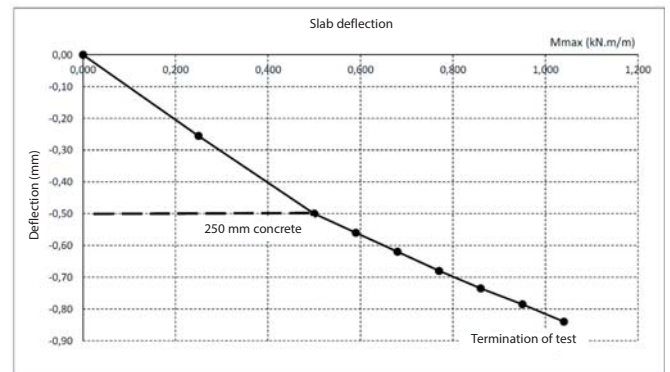
Záver

V tomto príspevku sme zosumarizovali viac ako štvorročné obdobie veľmi aktívnej vývojovej práce firmy Váhostav-SK, a. s., v oblasti mostnej prefabrikácie. Predstavený široký sortiment mostných prefabrikátov umožňuje firme veľmi rýchlo a fundovane reagovať na požiadavky objednávateľov a projektantov.

Literatúra

References

- Moravčík, M. – Chandoga, M. – Jaroševič, A. a kol.: Zatažovacia skúška nosníka DMP 38 m. Správa zo zatažovacej skúšky, Žilina, júl 2008.
- Katalógy nosníkov VPH-PTMN 2010 pre rozpätia 18 – 42 m. Spracovateľ Projstar-PK, s. r. o., M. Chandoga – zod. proj., A. Pritula, J. Sedlák, M. Moravčík.
- Prefabrikovaná lávka z VHB. M. Chandoga a kol., Národná správa SNK pre 4. kongres fib v Mumbaj. Inžinierske stavby 06/2013.
- Katalógy nosníkov VPH-PTMN 2016 pre rozpätia 9 – 32 m. Spracovateľ Projstar-PK, s. r. o., M. Chandoga – zod. proj., A. Pritula, P. Paulík.
- Katalógy nosníkov VPH-PTMN 2018 pre rozpätia 38 – 42 m. Prípravná analýza. Spracovateľ Projstar-PK, s. r. o. M. Chandoga – zod. proj., A. Pritula. Bratislava 12/2017.
- Prefabrikované debniace betónové dosky s nekorozívnou výstužou AR-MASTEK, zod. riešiteľ Projstar-PK, s. r. o.



Obr. 7 Debniaca doska DDF 800/750/35 – priebyh pri zatažení (max. zataženie 640 kg)

Fig. 7 Formwork panel DDF 800/750/35 – deflection 0.5 mm caused by the load representing the weight of the 250mm thick concrete slab during its casting (max. loading of 640 kg)

Assignment of the task contained a strict requirement concerning value of the modulus of elasticity of concrete at the time of pre-stressing. For the concrete C55/67, a modulus of elasticity $E_b = 34-36$ GPa is required.

Development and production tests of the fiber-reinforced concrete formwork panels with a non-metallic reinforcement GFRP [6]

The GFRP reinforced formwork panels are common in the world. In our case, we focused on the lengths of 120-180 cm. This resulted from the solution of the reduction of the precast elements (especially the type of beams with the length of 35-42 m) in the transverse direction of the bridge (Fig. 4). The price of these precast elements as well as transport and assembly costs at the bridge construction are considerable, and therefore saving of even one precast element is not insignificant.

Basic criteria for DD/GFRP structure

Shape and reinforcement of panels

For the structure of formwork panel, the primary factor is the replacement of the steel reinforcement by the non-corrosive reinforcement (GFRP), which, in the thin-walled formwork panels, allows the thickness of the concrete cover layer to be minimized to a value necessary for fixing it within the surrounding concrete. The transverse GFRP reinforcement was used only to maintain the position of the longitudinal reinforcement. The unidirectional static action of the panel allows the width to be adjusted as well as the weight of the panel to enable the manual placement. For panel lengths over 900 mm, we reduced the weight using a ribbed profile with thin bottom sheet.

The resulting shapes of the formwork panels are shown in Fig. 6. The formwork panels with a constant thickness have been labelled DDF (flat), ribbed type DDT (trapezoidal).

Load testing in production

Fig. 7 shows a working diagram of deflection/loading from the load test carried out during production of a slab 800 mm long and 35 mm thick. The basic DD types according to Fig. 6 have been certified by the Building Testing and Research Institute (TSUS) Bratislava.

Conclusions

In this article, we have summarized more than 4 years of a very active development work performed by Váhostav-SK, a. s. in the area of bridge precast elements production. A wide assortment of precast elements is available to enable the company to respond quickly and reliably to the requirements of employers and designers.