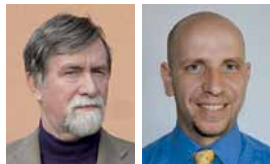


Milan Chandoga – Andrej Prítula
 – Ľubomír Hrnčiar – Branislav Kovalík –
 Jozef Ďugel – Jaroslav Motlík – Peter Palka



Prefabrikovaná lávka z vysokohodnotného betónu

Precast Footbridge made of High Performance Concrete (HPC)

Jednou z významných ciest zvýšenia životnosti a trvanlivosti betónových mostných konštrukcií je aplikácia vysokohodnotných betónov (VHB). Aplikácia VHB má svoje opodstatnenie najmä pri výrobe tyčových prefabrikátov na mosty a estakády malých rozpätí polí (asi do 45 m) a segmenty pri mostoch veľkých a stredných rozpätí. Na rozdiel od staveniskových podmienok možno vo výrobníach prefabrikátov dôsledne uplatniť systémy kvality výroby čerstvého betónu, ako aj vysokú kvalitu výroby samotných prefabrikátov.

V rokoch 2011 až 2012 prebiehala v spoločnosti VÁHOSTAV-SK, a. s., vývojová úloha pod názvom Aplikácia vysokohodnotného betónu pri výrobe železobetónových

a predpätých prefabrikátov. Hlavným cieľom úlohy bolo overiť možnosť výroby týchto betónov a vybranej produkcie prefabrikátov v reálnych podmienkach technického vybavenia výrobné prefabrikátov dcérskej firmy VÁHOSTAV-SK – PREFA, s. r. o., Horný Hričov. Zodpovedným riešiteľom projektu bola firma PROJSTAR – PK, s. r. o., ktorá pri riešení úlohy veľmi úzko spolupracovala s technickým úsekom firmy Váhostav-SK a pracovníkmi výrobné prefabrikátov.

One of the most effective ways to increase the life and durability of concrete bridge constructions is to apply high performance concrete (HPC). Application of HPC makes sense especially for the production of precast beams, components of beam-and-slab-bridges and viaducts with small span range (up to about 45 m) and precast segments of medium and long span bridges. Unlike at a construction site at a precast component manufacturing site the quality system for production of fresh concrete can be carefully applied, as well as the process for manufacturing quality precast components.

In 2011 and 2012, the company VÁHOSTAV-SK, a. s., launched a development project titled Application of high performance concrete in the manufacturing of reinforced and prestressed precast components.

The main objective of this project was to verify the possibility of production of mentioned concrete and selected production of precast components in real conditions, and hardware conditions of VÁHOSTAV-SK – PREFA, s. r. o., Horný Hričov – a subsidiary company that produces precast components. The principal investigator of the project was the company – PROJSTAR – PK, s. r. o., and to solve the tasks cooperated very closely with the technical department of VÁHOSTAV-SK, a. s. and technical staff of precast yard.



Obr. 1 Príprava vzoriek na mechanické a reologické skúšky
 Fig. 1 Preparation of samples for mechanical and rheological tests

doc. Ing. Milan Chandoga, PhD., PROJSTAR – PK, s. r. o., Nad Dunajom 50, 841 04 Bratislava, tel.: +421 2 65422432, e-mail: milan.chandoga@stonline.sk
 Ing. Andrej Prítula, PROJSTAR – PK, s. r. o., Nad Dunajom 50, 841 04 Bratislava, tel.: +421 2 65422432, e-mail: andrej.pritula@gmail.com
 Ing. Ľubomír Hrnčiar, VÁHOSTAV – SK, a. s., Priemyselná 6, 824 90 Bratislava, tel.: +421 903 451 749, e-mail: lubomir.hrnciar@vahostav-sk.eu
 Ing. Branislav Kovalík, Váhostav-SK – PREFA, s. r. o., 013 42 Horný Hričov, tel.: +421 41 5059911, e-mail: bkovalik@vph.sk
 Ing. Jozef Ďugel, Váhostav-SK – PREFA, s. r. o., 013 42 Horný Hričov, tel.: +421 41 5059911, e-mail: jdugel@vph.sk
 Ing. Jaroslav Motlík, Váhostav-SK – PREFA, s. r. o., 013 42 Horný Hričov, tel.: +421 41 5059911, e-mail: jmotlik@vph.sk
 Ing. Peter Palka, GEOCONSULT, spol. s r. o., Miletičova 21, 820 05 Bratislava, tel.: +421 2 50574798, e-mail: peter.palka@geoconsult.sk

Vývojová úloha bola rozdelená do štyroch riešiteľských etáp:

- vývoj a laboratórne overenie receptúr VHB,
- návrh výrobných postupov a činnosti zaručujúcich komplexnú aplikáciu VHB,
- skúšobná výroba a overenie úžitkových vlastností vybraného typu výrobkov,
- štúdia technickej aplikácie výrobkov z VHB v mostnom staviteľstve.

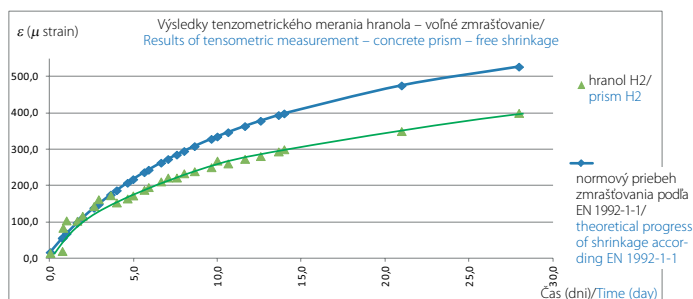
Vývoj a laboratórne overenie receptúr VHB

Cieľom tejto riešiteľskej úlohy bolo definovanie vstupných komponentov, výber vhodných surovín, návrh vhodných receptúr s cieľovou pevnostnou triedou C 80/95 a vykonanie základných skúšok požadovaných vlastností. Výroba a kontrolné skúšky mechanických a reologických vlastností vzoriek z navrhovaných receptúr sa realizovali v skúšobni prefy. V prvej etape riešenia sme sa zamerali na hľadanie vhodnej skladby kameniva, pričom boli zohľadnené aj obstarávacie náklady vrátane dopravy. Pri výrobe čerstvého betónu boli dávky cementu CEM 42,5 R a prísad (mikrosiliky, plastifikátora) rovnaké, vodný súčiniteľ sa pohyboval v rozpätí 0,25 až 0,31. Kontrolovala sa spracovateľnosť a pevnosť betónu po 18,42 h a 28 dňoch. Vlastnosti sa doladzovali len pri vybraných receptúrach. Pri ich výbere sa okrem vyhovujúcich vlastností zvažovala aj cena vstupného materiálu. V skúšobni prefy a Technického a skúšobného ústavu stavebného (TSÚS) sme vykonali tieto skúšky: kockovú pevnosť a modul pružnosti pre 14 h, 24 h, 48 h a 28 dní, časový priebeh dotvarovania a zmršťovania, odolnosť povrchu betónu proti pôsobeniu vody a CHRL, maximálny priesak vody a mrazuvzdornosť. Pri počiatočných skúškach betónu C 80/95 XC4, XD3, XF2 bola dosiahnutá priemerná pevnosť betónu v tlaku a modul pružnosti Rb/Eb takto: po 2 dňoch 48,5 MPa/31,5 GPa a po 28 dňoch 94,0 MPa/42,0 GPa.

V tab. 1 sú uvedené výsledky kockových pevností betónov vyrobených podľa výslednej receptúry pri hromadnej výrobe betónu na prefabrikáty lávky pre peších v Sučanoch. Na obr. 2 sú porovnané diagramy voľného zmršťovania a dotvarovania vzoriek z výslednej receptúry betónu C 80/95 XC4, XD3, XF2 s normovými diagramami.

Skúšobná výroba VHB a overenie úžitkových vlastností vybraného typu výrobku

Jednou z podstatných vlastností čerstvého betónu z hľadiska použiteľnosti je jeho spracovateľnosť. Normové skúšky spracovateľnosti v praxi nemusia vždy postačovať. Preto sme overovali výslednú receptúru aj z hľadiska kompaktnosti povrchov pri konkrétnom výrobku – nosníku typu VPH-PTMN 2010. Skúšobný segment dlhý 1 m bol vybetónovaný z betónu C 80/95 XC4, XD3, XF2 zároveň s betónážou štandardného vopred predpätého/dodatočne predpätého (VP/DP) nosníka s dĺžkou 32 m. Pri výrobe segmentu bol aplikovaný zhodný postup betonáže a zhutňovania ako pri nosníku. Ako vidieť na obr. 4, pri prvom overení receptúry R10 bol povrch nosníka posiaty vzduchovými dutinami. Až ďalšou úpravou tejto receptúry sa dosiahol požadovaný povrch nosníka (obr. 3).



Obr. 2 Porovnanie nameraných a normových priebehov zmršťovania a dotvarovania
Fig. 2 Comparison of the measured and EC norm of shrinkage and creep

The developmental task was divided into 4 solving stages:

- development and laboratory verification of HPC mix compositions,
- design manufacturing processes and activities guaranteeing comprehensive application of HPC,
- test production and verification of performance of the selected products,
- feasibility study of HPC application in bridge engineering.

Development and laboratory verification of HPC mix composition

The aim of this task was to define input components, select appropriate materials, propose appropriate mix composition that target the strength class C 80/95, and perform basic tests on required properties. Production and control tests of mechanical and rheological properties of samples of the proposed mix compositions were implemented in the production laboratory of precast yard. In the first stage of solving, we focused on finding a suitable composition of gravel, while we also took into account providing costs, including transport.

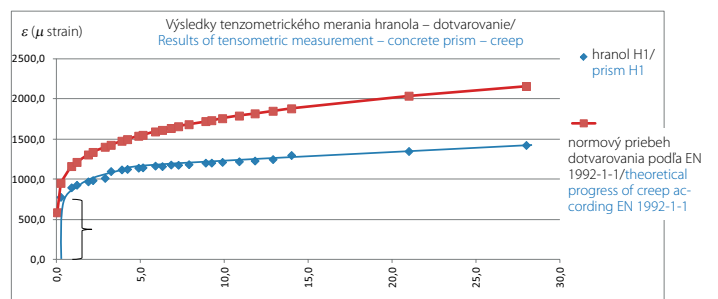
In the production of fresh concrete, the doses of cement CEM 42,5 R and additives (microsilica, plasticizer) were the same. The water coefficient ranged from 0.25 to 0.31. The workability and strength of concrete were monitored after 18,42 hours and 28 days. Adjustments were made for the selected mixed compositions.

The choice of acceptable properties was taken into consideration, as well as the price of the input material. In production laboratory of precast yard and Building testing and research institute, Žilina, we performed the following tests: cube compressive strength and the modulus of elasticity for 14, 24, 48 hours and 28 days; the time course of creep and shrinkage; the concrete's surface resistance to water action and CHRL; maximum permeability; and frost resistance. During the initial tests of concrete C 80/95 XC4, XD3, XF2 the concrete achieved an average concrete compressing strength and modulus of elasticity Rb/Eb as follows: after 2 days 48.5 MPa/31.5 GPa, and after 28 days 94.0 MPa/42.0 GPa.

Tab. 1 shows the results of cube compressive strength of produced concrete, according to the final mixed composition, for mass production of precast concrete parts for a footbridge in Sučany. Un-

Tab.1 Pevnosť a modul pružnosti vzoriek z výslednej receptúry
Tab 1 Strength and the modulus of elasticity of samples from the final mix composition

Dátum výroby vzoriek/ Casting time	Namerané hodnoty – 28-dňová stredná kocková pevnosť v tlaku (MPa)/ Measured values – 28- day mean concrete cube compression strength (MPa)	Vypočítaný sečnicový modul pružnosti (28 dní) (GPa)/ Calculated mean value of modulus of elasticity (28 day) (GPa)
7. 2. 2013	99,0	42
11. 2. 2013	100,9	42
13. 2. 2013	97,6	41
19. 2. 2013	105,2	43
21. 2. 2013	94,2	41





Obr. 3 Pohľad na skúšobný segment č. 2 vyrobený z betónu C 80/95 XC4, XD3, XF2
Fig. 3 Bottom view of test segment No. 2 made of C 80/95 XC4, XD3, XF2 concrete

Aplikácie výrobkov z VHB v mostnom staviteľstve

Paralelne s vývojom receptúry sa skúmali možnosti efektívneho využitia VHB in situ a pri výrobe prefabrikátov. Použitie in situ je viazané na viacero ohraničujúcich faktorov, ako sú výrobné možnosti, doprava, prísna technologická disciplína, súčasná cena komponentov, nízka podpora zo strany investorov a podobne. Vzhľadom na plánovanú a prebiehajúcu realizáciu diaľničných a železničných mostov firmou Váhostav-SK sa na aplikáciu VHB vybrali tri typy výrobkov (obr. 5 až 8).

Aplikácia mostných nosníkov VPH-PTMN 2010 (obr. 5)

Statická a ekonomická analýza nosníkov VPH-PTMN 2010 vyrobených z VHB v terajších formách ukázala, že táto náhrada v súčasnosti neprinesie podstatnú ekonomickú úsporu a zároveň bude vyžadovať nové investície do technického vybavenia výroby. Jednou z vhodných aplikácií VHB sa ukazuje riešenie problému hrúbky spriahajúcej železobetónovej dosky pri nadmerných vzopätiach predpätých nosníkov väčších dĺžok. Na obr. 4 je znázornený princíp použitia VHB in situ v tlačenej oblasti mostného poľa.

Vopred predpäté prefabrikáty na masívne doskové mosty (obr. 6)

Nosníky s označením MD možno vyrábať z VHB v existujúcich formách na vopred a dodatočne predpäté nosníky typu VPH-PTMN 2010. Po



Obr. 4 Pohľad na povrch segmentu č. 1 a 2
Fig. 4 View of segment surfaces No. 1 and 2

bound sample shrinkage and creep of the final mix composition of concrete C 80/95 XC4, XD3, XF2 diagrams are compared with standard EC diagrams in Fig. 2.

The experimental production of HPC and verification of performance of the selected type product

One of the essential characteristics of fresh concrete in terms of usability is its workability. In practice, standardized tests of workability may not always be sufficient. Therefore, we verified the final mix composition in terms of surface compactness of a specific product – beams type VPH-PTMN 2010.

The test segment with length of 1 meter was made from C 80/95 XC4, XD3, XF2 concrete (final mix composition), while concreting with a standard pre-tensioned VP/DP 32 m beam. During production of the segment, an identical procedure of concreting and compaction was applied. As can be seen from Fig. 4, the first verification of the mix composition R10 beam, the surface was dotted with air cavities. After further adjustment of this mix composition, the desired beam surface was achieved (Fig. 3).

Application of HPC products in bridge engineering

Parallel to development of the mix composition, possibilities for effective use of HPC in situ and in the manufacturing of precast components was researched. The use of in situ is linked to several limiting factors such as: manufacturing capabilities, transportation, strict technological discipline, the current price of mix components, low support from investors and other sources. Due to planned and ongoing implementation of road and railway bridges by Váhostav company, three products for application of HPC have been selected (Fig. 5 to 8).

Application for bridge beams VPH-PTMN 2010 (Fig. 5)

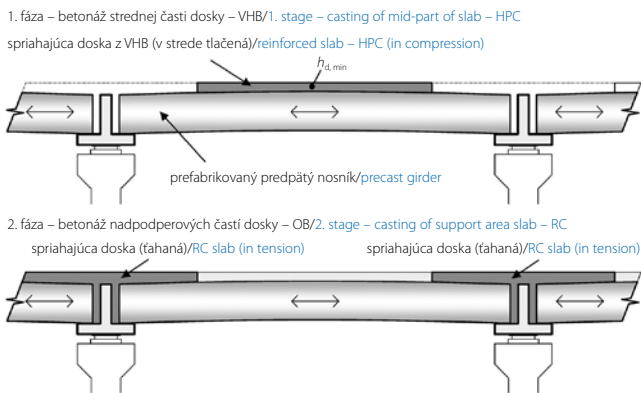
Static and economic analysis of VPH-PTMN 2010 beams made of HPC in current forms showed that this compensation will not currently bring significant economic savings and will also require new investments in technical equipment and modes of production. One suitable application of HPC is that it is a solution to the problem of the composite reinforced concrete slab with excessive camber of pre-tensioned beams of larger lengths. Fig. 4 illustrates the principle of using HPC in situ in a compressed part of the bridge cross section.

Pre-tensioned precast beams for the massive bridge decks (Fig. 6)

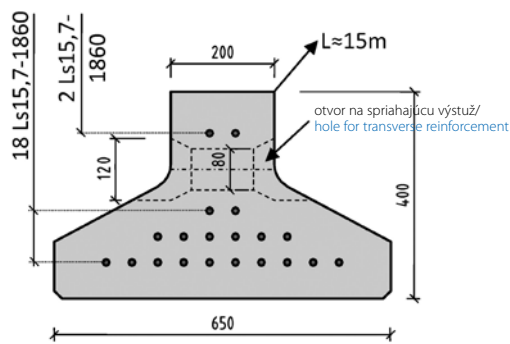
A beam with an indication MD can be produced from HPC with existing forms for the pre- and post-tensioned beams of VPH-PTMN 2010. Following the imposition of pre-tensioned beams on the piers, and adding the top and bottom transverse reinforcement, the



Nosníky VPH-PTMN 2010 dĺžka = 30 – 42 m/Girder VPH-PTMN 2010 lenght 30 – 42 m



Obr. 5 Konceptia obmedzeného použitia VHB in situ
Fig. 5 The concept of limited HPC in situ usage



Obr. 6 Vopred predpätý nosník VPH-PTMN 2010 MD na masívne dosky
Fig. 6 Pre-tensioned beam VPH-2010 MD PTMN for the massive slabs

uložení VP nosníkov na podpery a doplnění hornej a sťahajúcej výstuže sa nosníky na stavbe zabetónujú štandardným betónom. Technicko-ekonomická štúdia preukázala, že tento typ nosnej konštrukcie je veľmi efektívnou náhradou za masívne monolitické železobetónové dosky do rozpätia 18 m, vyznačujúce sa veľkou prácnosťou zhotovenia, vysokou spotrebou mäkkej výstuže a potrebou podperného debnenia. Minimalizácia mokrych procesov a jednoduché zhotovenie vedú tiež k značným časovým úsporám pri ich výstavbe.

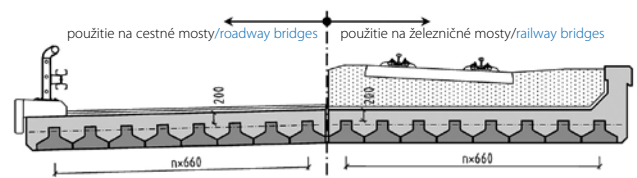
Pri výstavbe diaľnice D1 Dubná skala – Turany sa na realizáciu vytypovalo šesť mostných objektov (obr. 7). Napriek preukázateľnej výhodnosti (pre investora aj dodávateľa) striktné tendrové podmienky neumožnili zmeniť typ naprojektovaných monolitických železobetónových dosiek.

Ako vhodná sa ukázala aj náhrada VP nosníkov na masívne dosky vystužené oceľovými I-nosníkmi (obr. 7). Ponúknutá realizačná projektová dokumentácia nebola prijatá najmä z dôvodu pretrvávajúcej averzie manažmentu ŽSR voči predpätému betónu.

Prefabrikované lávky pre peších

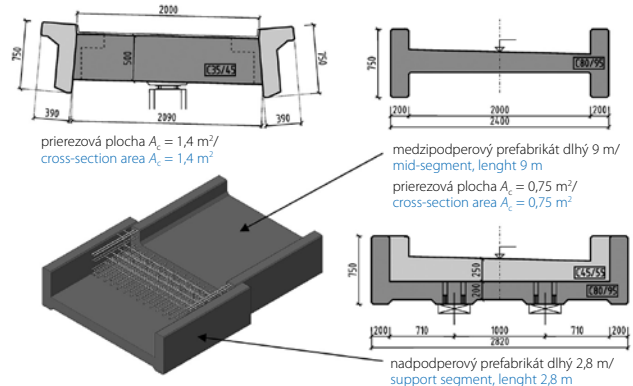
Pri výstavbe diaľnic a rýchlostných komunikácií treba postaviť viaceré lávky pre peších a cyklistov. V snahe minimalizovať náklady a čas na ich výstavbu navrhol zodpovedný riešiteľ jednoduchý systém prefabrikovanej konštrukcie lávky z VHB. Rozhodujúcim návrhovým kritériom bol jednoduchý tvar prefabrikátov, ktorý možno betonovať v drevenej preglejkovej forme s obmedzenou životnosťou. Základná koncepcia nosnej konštrukcie lávky je na obr. 8. Medzipodperový prefabrikát bude možné vyrábať ako vopred predpätý až do dĺžky 32 m. Po dosiahnutí súhlasu investora so zmenou nosnej konštrukcie lávky pre peších na diaľnici D1 Dubná skala – Turany, obj. 216-00 v Sučanoch sa pôvodná monolitická železobetónová konštrukcia nahradila železobetónovou konštrukciou – prefabrikovanou zmonolitnenou na stavbe.

Vďaka použitiu VHB bolo možné zaručiť aj vysokú kvalitu povrchov prefabrikátov.



Obr. 7 Aplikácie na cestné mosty na diaľnici D1 Dubná skala – Turany (obj. č. 228-00) na rozpätie 16 m a železničný most (obj. č. 42-33-07) Púchov na rozpätie 10 m
Fig. 7 Application for road bridges at D1 DubnáSkala – Turany (No. 228-00) for a span of 16 m and railway bridge(No. 42-33-07) Púchov for a span of 10 m

pôvodné riešenie – monolit/ original solution – RC nové riešenie – segmenty z VHB/new solution – prefabricated segments made of HPC



Obr. 8 Konceptia prefabrikovanej lávky pre peších v Sučanoch
Fig. 8 The concept of a precast pedestrian bridge in Sučany

beams are concreted with a standard concrete at the construction site. Technical, economic studies have shown that this type of bridge superstructure is a very effective substitute for massive monolithic reinforced concrete slabs up to the span range of 18 m, which are characteristic of needing a large amount of work to manufacture, high consumption of reinforcement, and the need of supporting formwork. Minimizing wet processes and easy manufacturing leads to significant time saving during construction.

In construction of the highway D1 Dubná Skala – Turany, 6 bridge objects were chosen for implementation (Fig. 7). Despite a demonstrable benefit (for both the investor and the contractor), strict tender conditions did not allow change of designed monolithic reinforced concrete slabs.

Replacement of VP beams for massive slabs reinforced with steel I-girders also sounded favorable (Fig. 7). Offered documentation for project implementation was not accepted, mainly due to the management of Slovak Railway having a persistent aversion towards pre-tensioned concrete.

Precast footbridge

When building highways and motor ways in intravilans, it is necessary to build more bridges for pedestrians and cyclists. In order to minimize costs and time for construction, the principal investigator proposed a simple system that includes HPC precast construction for the footbridge. A crucial design criterion was a simple shape of precast components, which can be concreted in the form of plywood with a limited lifetime. Fig. 8 shows the basic concept of the footbridge's supporting structure. A precast inter-girder will be pre-tensioned up to a length of 32 meters. After achieving an agreement with the investor for changing the supporting structure of the footbridge at highway D1 Dubná Skala – Turany, No. 216-00 in Sučany, the former monolithic reinforced concrete structure was replaced by a reinforced precast composition, monolithized at the construction site.

Using HPC also guaranteed high quality of precast surfaces.



Obr. 9 Fotografie z výstavby lávky

Fig. 9 Photographs of the pedestrian bridge construction

Realizácia železobetónovej lávky pre peších v Sučanoch

Pri zmene projektovej dokumentácie lávky z monolitckej na prefabrikovanú spolupracoval riešiteľ vývojovej úlohy spoločnosť PROJSTAR – PK, s. r. o., s firmou GEOCONSULT-SK, a. s. Výroba prefabrikátov (obr. 9) sa realizovala vo firme VÁHOSTAV-SK – PREFEA, s. r. o., Horný Hričov vo februári 2013. Nadpodperové a medzipodperové prefabrikáty sa vyrábali v dvoch samostatných formách. Formy sa skladali z kombinácie systémového debnenia a drevenej výplne, ktorá bola opláštená preglejkou. Betonáž sa realizovala v dvoch etapách. V prvej etape sa vybetónovala doska. Po 30 minútach od ukončenia betonáže dosky sa betónovali bočné stienky. Montáž nosníkov sa uskutočnila v máji 2013. Nadpodperové prefabrikáty sa uložili na dvojicu hrncových ložísk a stabilizovali sa pomocou podpernej veže Peri. Prefabrikáty sa montovali pomocou kolesového žeriava. Po stabilizovaní všetkých nadpodperových prefabrikátov sa ukladali medzipodperové nosníky. Nadpodperová časť sa zmonolitnila betónom C 45/55-XC4, XD1, XC2. Po dosiahnutí 28-dňovej pevnosti boli ložiská aktivované a podpory uvoľnené. Povrchovú úpravu na lávke tvorí priamo pochôdzne izolačné súvrstvie na báze polyuretánu s plnidlom a posypom na protišmykovú úpravu.

Záver

Medzi najdôležitejšie realizačné výstupy riešenej úlohy patrí zvládnutie hromadnej výroby VHB prefabrikátov, pri ktorej sa použili najmä miestne zdroje kameniva. Ekonomika výroby prefabrikátov z VHB sa tak stáva konkurencieschopná, najmä ak si investori uvedomia aj ďalšie pozitíva, ako je napríklad vyššia životnosť výrobkov.

Literatúra

- [1] Chandoga, M. – Pritula, A. – Motlík, J.: Vývoj a laboratórne overenie receptúr VHB, návrh konštrukčných prvkov z VHB. Záverečná správa. Bratislava: PROJSTAR – PK, s. r. o., 2012.
- [2] Chandoga, M. – Pritula, A.: Obj. 216-00 Lávka pre peších Sučany – použitie VHB. Statika a výkresová dokumentácia zmeny NK. PROJSTAR – PK, s. r. o., január 2012.
- [3] Pálka, P. – Chandoga, M. – Pritula, A.: Obj. 216-00 Lávka pre peších Sučany. Realizačná PD. Bratislava: Geoconsult-SK, a. s., PROJSTAR – PK, s. r. o., 2012.

The implementation of a reinforced concrete footbridge in Sučany

While changing the project documentation for the footbridge from monolithic to precast, principal investigator – PROJSTAR – PK, s. r. o., cooperated with GEOCONSULT-SK, a. s. Precast manufacturing (Fig. 9) was implemented in the company VÁHOSTAV-SK – PREFEA, s. r. o., Horný Hričov during February, 2013. Upper-girders and inter-girders precast parts were produced in two separate forms. Forms consisted of a combination of system formwork and wooden panels, which were sheathed by plywood. Concreting was implemented in two stages. First, the slab was concreted. After 30 minutes from the finish of slab concreting, the side beams were concreted. Mounting of beams was done in May 2013.

Upper-girders precast parts were placed on a pair of pot bearings and stabilized by the Peri supporting tower. Precast parts were assembled using a carry deck crane. Once stabilized all of the precast upper-girder components and inter-girder beams were mounted. Monolithizing of the upper-girder section was done using C45/55 XC4, XD1, XC2 concrete. After reaching 28 days strength, the bearings were activated and supports were released. Surface modification was made to the footbridge directly by the walkable insulating strata based on polyurethane with filler and spreading for non-slip design.

Conclusion

The most important realization outputs from solving this task is that local sources of aggregates were mostly used to master mass production of HPC precast parts for manufacturing. The economy of precast manufacturing of HPC becomes competitive particularly if investors realize other positives such as higher product life.

References

- [1] Chandoga, M. – Pritula, A. – Motlík, J.: Development and laboratory verification HPC mix composition, design of structural elements of HPC. Final report. PROJSTAR – PK, s. r. o., Bratislava 2012.
- [2] Chandoga, M. – Pritula, A.: No. 216-00 Footbridge Sučany – the use of HPC. Statics and Drawing documentation of changes in superstructure. PROJSTAR – PK, s. r. o., Januar 2012.
- [3] Pálka, P. – Chandoga, M. – Pritula, A.: No. 216-00 Project implementation documentation. Realizačná PD. Geoconsult-SK, a. s., PROJSTAR – PK, s. r. o., Bratislava 2012.