

ZESILOVÁNÍ ŽELEZNIČNÍCH MOSTŮ UHPFRC NABETONÁVKOU

Daniel Samek, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
daniel.samek.1@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

V posledních letech dochází ke značnému rozvoji materiálů na bázi cementového pojiva s výjimečnými parametry v oblasti mechanických vlastností a trvanlivosti – tzv. ultra-vysokohodnotných vláknobetonů (UHPFRC – Ultra High-Performance Fiber Reinforced Concrete). Tyto materiály jsou tak díky svým vlastnostem vhodným stavebním materiálem nejen pro nové konstrukce, detaily a spoje, ale i pro opravy a zesilování stávajících mostních konstrukcí. Jednou z vhodných metod je zesílení konstrukcí pomocí UHPFRC nabetonávky, tzn. tenké spřažené vrstvy UHPFRC spolupůsobící se stávající konstrukcí.

Tuto metodu je možno použít i u železničních mostů, kde je takto možno zvýšit zatížitelnost nosné konstrukce v podélném i v příčném směru, zesílit připojení bočních konzol k nosné konstrukci i využít vrstvu UHPFRC ke zvýšení ochrany povrchu nosné konstrukce proti vodě atd. Pro ověření v laboratorních podmínkách byla vybrána oblast u podélného okraje nosné konstrukce s prefabrikovanou konzolou. Cílem prováděných experimentů je ověřit technologii provádění uvažovaných prací a ověřit zvýšení únosnosti přípoje konzoly. Dosud byl proveden návrh a výroba zkušebních těles a ověření přípoje konzoly před realizací UHPFRC nabetonávky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Betonové mosty • Zesilování • Obnova • Ultra-vysokohodnotný vláknobeton • UHPFRC nabetonávka

ABSTRACT

In recent years, there has been considerable development of cementitious binder-based materials with exceptional mechanical and durability characteristics – so called Ultra High-Performance Fiber-Reinforced Concretes (UHPFRC). Thanks to their properties, these materials are suitable not only for new structures, details and connections, but also for repairs and strengthening of existing concrete structures. One of convenient methods is strengthening of structures with UHPFRC overlays, i.e. with a thin composite layer of UHPFRC interacting with the existing structure.

This method can be used also for railway bridges, at which it is possible by this way to increase their load-bearing

capacity in the longitudinal as well as in the transverse direction, strengthen connections of lateral cantilevers (cornices) to the bridge deck and also to increase protection of the deck surface against water etc. For a verification in a laboratory, a part of a structure at its longitudinal edge with a precast cornice cantilever was chosen. The aim of these experiments is to verify the increase of the resistance of connections of lateral cantilevers to the deck and to verify technology of manufacture. So far, specimens were designed and manufactured and the first experiments has been carried out, verifying resistance of the original connections still without UHPFRC overaly.

KEYWORDS

Concrete bridges • Strengthening • Rehabilitation • Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete • UHPFRC overaly

1. ÚVOD

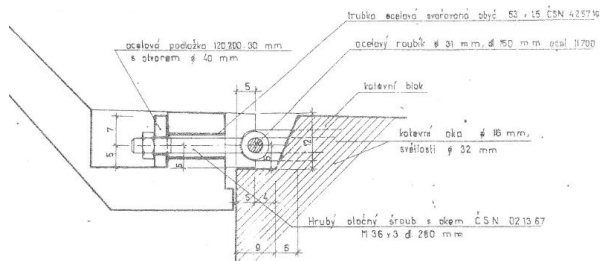
Předmětem tohoto článku jsou návrh a dosud provedené experimenty pro ověření zesílení železničních mostů pomocí UHPFRC nabetonávky. Tímto způsobem je možno pomocí tenké (přibližně 50 mm silné) vrstvy UHPFRC zvýšit zatížitelnost mostu v podélném i v příčném směru z hlediska MSP – omezení napětí (betonu v tlaku), MSÚ v ohybu, MSÚ při únavě betonu, je možno zesílit připojení konzol (například prefabrikovaných) k nosné konstrukci, využít vrstvu UHPFRC ke zvýšení ochrany povrchu nosné konstrukce proti vodě atd.

Pro ověření v laboratorních podmínkách byla vyrobena dvě zkušební tělesa, reprezentující část horního povrchu nosné konstrukce železničního mostu spojeného s prefabrikovanou konzolou KO-02. Cílem je ověřit technologii provádění nabetonávky a ověřit zesílení přípoje konzoly k nosné konstrukci. To je vhodné i proto, že v době návrhu těchto konzol se ještě nemuselo počítat s vykolejením vlaku a také proto, že někdy může docházet k zatékání a ke korozi ocelových prvků tohoto přípoje.

Prefabrikované konzoly byly použity na řadě železničních mostů jako římsy podél vnějších okrajů mostu. Jejich výrobní délka bývá 1480 mm (skladebná délka pak bývá 1500 mm). Každý díl prefabrikovaných konzol je k nosné konstrukci mostu přikotven ve dvou bodech (přípojích). V každém kotvení místě je v konzole vynechána kapsa s ocelovou podložkou. V této kapse je maticí zajištěn ocelový šroub, který má

* Školitel: doc. Ing. Roman Šafář, Ph.D.

na druhém konci oko. Tímto okem a současně i oky z betonářské výztuže vyčnívajícími z nosné konstrukce je následně prostrčen ocelový roubík a tím dochází k připojení konzoly k nosné konstrukci. Vynechané kapsy a spojovací prvky jsou následně zality jemnozrnným betonem.



Obrázek 1: Detail napojení prefabrikované konzoly k nosné konstrukci

V podélné spáře mezi konzolou a nosnou konstrukcí nebo v příčných spárách mezi jednotlivými díly prefabrikovaných konzol může časem někdy docházet k poškození hydroizolace a následnému zatékání vody. Projevy zatékání (mokrý povrch apod.) bývají pak viditelné na vnějším povrchu konstrukce. Kromě vlhkosti a výkvětů se může projevovat degradací betonu a korozi spojovacích prvků. Poškození říms může vést k poškození přilehlé části konstrukce, tedy k degradaci betonu nosné konstrukce a korozi výztuže. V rámci opravy mostu je vhodné chránit důkladně mostní konstrukci proti vodě i zesílit připojení konzoly k nosné konstrukci.

2. PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

2.1. Výroba zkušební tělesa

Pro ověření připoje prefabrikované konzoly k nosné konstrukci včetně jeho zesílení a pro ověření technologie provádění byla navržena a vyrobena zkušební tělesa, která se skládají ze „základní desky“ a z prefabrikované konzoly. Základní deska o rozměrech 1480 x 2060 mm představuje část horního povrchu nosné konstrukce železničního mostu a obsahuje rovněž kotevní oka pro připojení montovaných konzol.



Obrázek 2: Vyzávaná výztuž zkušební tělesa

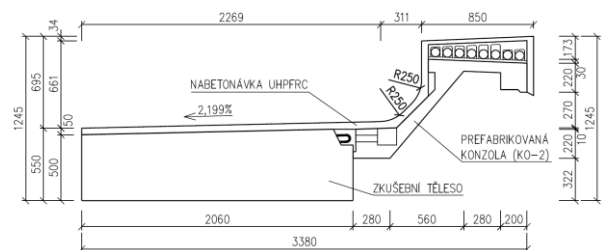
Zároveň byly podle původních výkresů tvaru a výztuže vyrobeny prefabrikované konzoly. Konzoly odpovídají pů-

vodní dokumentaci, pouze s drobnými odchylkami. Oproti původní dokumentaci, kde je uvedena výztuž s mezí kluzu cca 400 MPa, byla použita výztuž B500B (nepodařilo se získat výztuž s původní mezí kluzu, ani výztuž s menším průměrem, používanou například v Kari sítích). Z důvodu eliminace případných výrobních odchylek a aby byla zaručena smontovatelnost prefabrikátů, je průměr ocelového "roubiku", který spojuje konzolu s nosníkem, 28 mm místo 30 mm.



Obrázek 3: Svázaná výztuž konzoly

Následně byla tato konzola spojena se základní deskou a kapsy byly zality. Celkem byla vyrobena dvě takováto zkušební tělesa, která byla následně vystavena statické zatěžovací zkoušce.



Obrázek 4: Pohled na celou sestavu zkušební tělesa

2.2. Zesílení pomocí nabetonávky

V dalším kroku bude na zkušebním tělese s konzolou provedena sprážená UHPFRC nabetonávka tl. 50 mm s vloženou betonářskou výztuží a těleso bude opět podrobena statické zatěžovací zkoušce.

Na těchto zkušebních tělesech budou rovněž ověřeny principy realizace použité technologie a zároveň budou sledovány projevy objemových změn UHPFRC (největší vliv lze očekávat u autogenního smršťování, jehož průběh je spojen s průběhem hydratace cementu a bude proto nejvýraznější v období krátce po betonáži nabetonávky).

2.3. Další zkušební tělesa

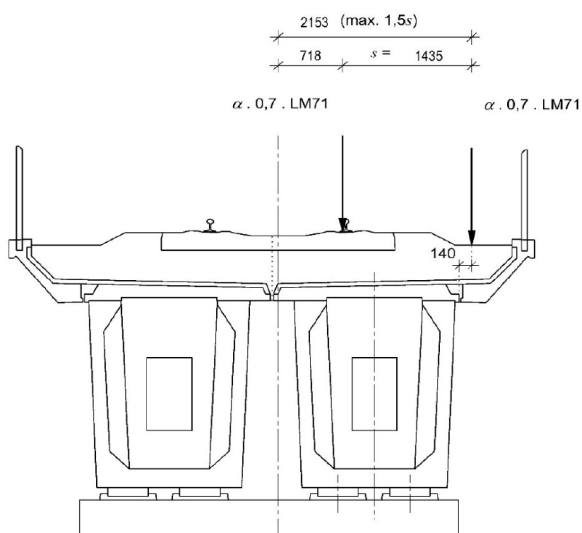
Dále se uvažuje s výrobou zkušebních předpjatých nosníků. Tyto nosníky budou opatřeny UHPFRC spráženou nabetonávkou a následně bude provedena statická i únavová zatěžovací zkouška. Rovněž bude provedeno ověření působení UHPFRC nabetonávky nad střední podélnou mezerou mezi

nosníky železničního mostu. Aby se zajistil reálný rozdíl deformací mezi jednotlivými nosníky, bude pouze jeden z této dvojice nosníků zatěžován, druhý nikoliv.

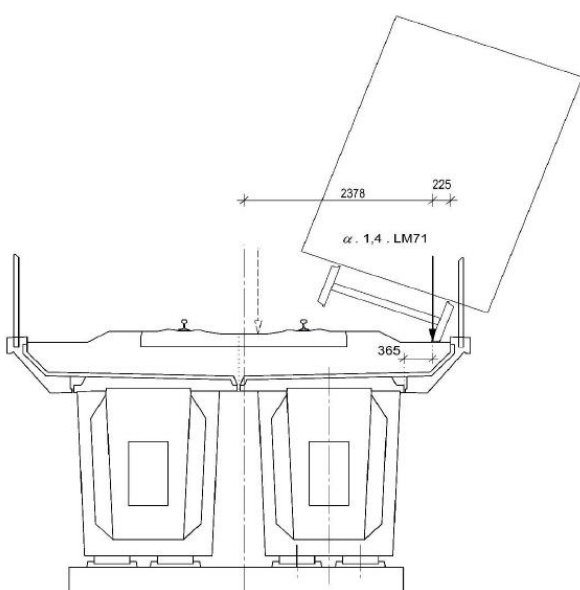
Pro veškerá zkušební tělesa, zkoušky a měření jsou prováděny porovnávací teoretické výpočty. V potřebném rozsahu bude provedeno ověření vlivu posuzovaných konstrukcí a řešení na životní prostředí. Zohledněny budou i celoživotní náklady uvažovaných konstrukcí a jejich úprav.

3. VÝPOČTY

V prvním kroku byla stanovena hodnota zkušební síly. Ta byla odvozena z mimořádného zatížení při vykolejení vlaku a rovněž z vypočítané únosnosti kotvení konzoly. Z hlediska zatížení při vykolejení podle normy vychází na každé jedno (z celkem dvou) kotvení konzoly svislá síla (při provedeném posouzení) 92,400 kN a ohybový moment 33,400 kNm.



Obrázek 5: Schéma zatížení při vykolejení vlaku – situace I



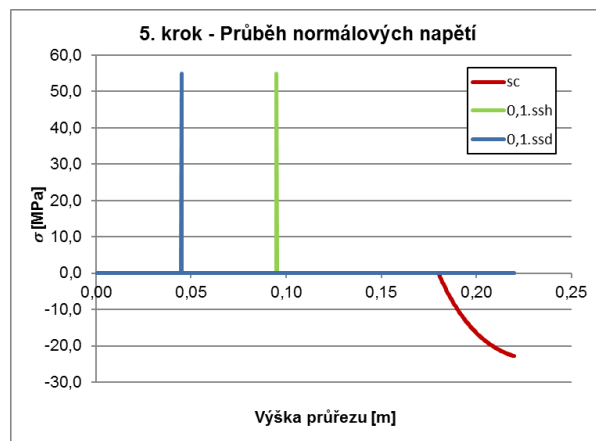
Obrázek 6: Schéma zatížení při vykolejení vlaku – situace II

Spočítaná momentová únosnost jednoho kotevního přípoje vychází 43,460 kNm pro návrhové hodnoty vlastností materiálů (při mimořádné návrhové situaci) a 60,500 kNm pro střední hodnoty vlastností materiálů. Po odečtení momentu od vlastní tíhy konzoly zůstává na zatěžovací sílu moment 57,850 kNm. Smyková únosnost byla vzhledem k uspořádání konstrukce stanovena dvěma způsoby – při uvažování plného betonového průřezu a při uvažování modelu „krátké konzoly“. Smykové únosnosti pak vycházejí 26 kN a 142 kN, podle výpočtu byla smyková únosnost rozhodující.

Na základě momentové únosnosti přípoje byla stanovena maximální svislá zatěžovací síla na jedno kotvení hodnotou 206,600 kN tak, aby vyvolala ohybový moment o velikosti 57,850 kNm. Působení síly se uvažovalo na rameni 280 mm od přípoje, aby byla prefabrikovaná konzola zatěžována ve své dolní části (viz kapitola 4.1.). Současně se jedná o oblast, která je blízka působení síly uvažované při posouzení účinků vykolejeného vlaku.

Podklady pro zatěžovací zkoušku byly připraveny tak, že přitěžování do maximálních účinků bylo rozděleno na pět zatěžovacích kroků. V každém kroku zatěžovací zkoušky byly spočítány pro danou sílu hodnoty napětí v tlacím betonu a napětí v dolní a horní vrstvě výztuže (tj. v horní a v dolní části kotevního oka) přípoje. Rovněž byly spočítány účinky při namáhání smykem, které bylo podle výsledků výpočtu rozhodující.

Při výpočtu byly pro beton i výztuž uvažovány střední hodnoty vlastností materiálů. Pracovní diagramy byly uvažovány dle platných evropských norem.



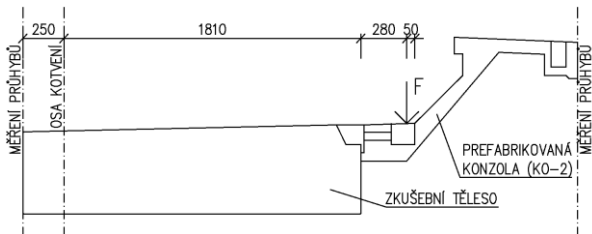
Obrázek 7: Průběh normálových napětí v posledním kroku zatěžovací zkoušky

4. PROVEDENÝ EXPERIMENT

4.1. Uspořádání experimentu

Zatím byly provedeny statické zatěžovací zkoušky přípoje konzol k základní desce bez provedení zesílení. Základní deska byla přikotvena proti nadzdvihování (na opačné straně, než je připevněna konzola). Zatěžování konzoly probíhalo pomocí jednoho hydraulického lisu, ze kterého byla síla roznesena pomocí ocelového nosníku do dvou zatěžovacích míst v místech napojení konzoly k základní desce. Zatěžovací síla byla umístěna ve vzdálenosti 280 mm od přípoje, což je

místo, kde se předpokládá působení kolových sil od vykojeného vlaku. Současně tím bylo zajištěno, že konzola nebyla zatěžována v její horní části, protože samotná konzola by působící zatěžovací sílu nepřenesla (ani ve skutečnosti není ve většině případů samotná konzola významně namáhána).

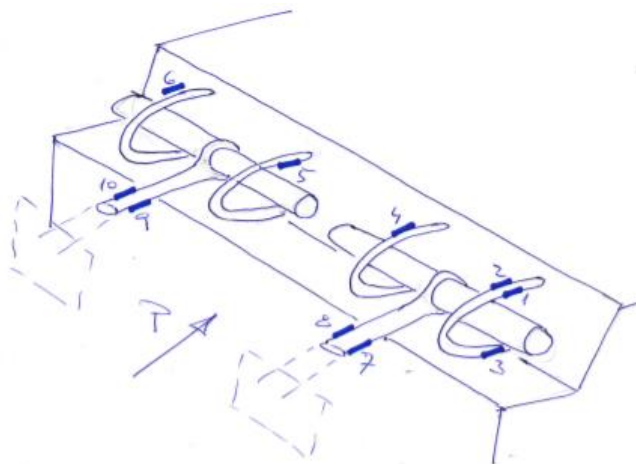


Obrázek 8: Schéma uspořádání zkoušky



Obrázek 9: Uspořádání zatěžovací zkoušky

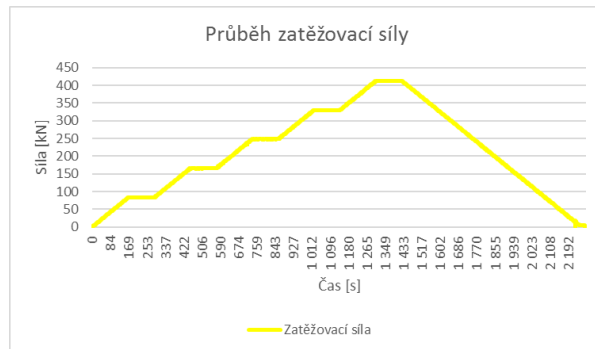
Při měření bylo použito celkem 10 tenzometrů, které měřily poměrné přetvoření na kotevních ocích a propojujících šroubech s oky. Dále byly použity potenciometry, které měřily průhyb konzoly a nadzdvihnutí zkušebního tělesa.



Obrázek 10: Schéma rozmístění tenzometrů

4.2. Průběh experimentu

Zkoušky obou vzorků byly provedeny asi s týdenním rozstupem. Každá zkouška byla rozdělena celkem do pěti zatěžovacích kroků, přičemž jeden krok odpovídal 20 % síle únosnosti samotného přípoje.



Obrázek 11: Průběh zatěžovací síly při experimentu (celková síla na obě kotvení dohromady)

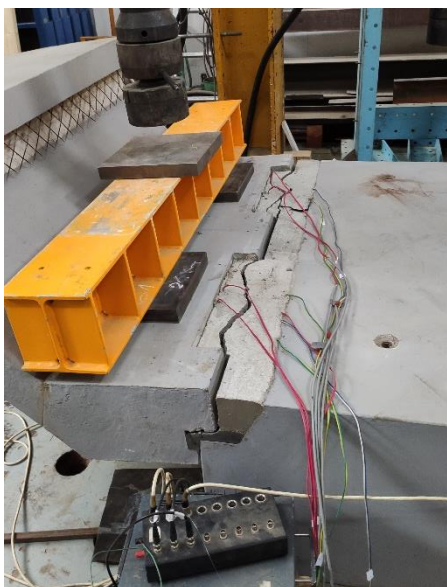
Pro zkušební tělesa byla vypočtena teoretická síla zatěžování na mezi únosnosti se středními vlastnostmi materiálů a touto hodnotou síly byly vzorky maximálně zatěžovány (tzn. nebyly zatěžovány silou větší), aby nedošlo k jejich úplné destrukci a bylo je možné znova použít pro další zkoušky s již nabetonovanou vrstvou z UHPC.

4.3. Vyhodnocení experimentů

Při zatěžování prvního vzorku bylo dosaženo maximální zatěžovací síly 206,650 kN (na jedno kotvení), která odpovídala vypočtené momentové únosnosti jednoho kotvení 57,850 kNm. Při horním povrchu napojení konzoly na základní desku se po celé šířce zkušební tělesa otevřela trhlinka v záhlvkovém betonu a ve výztuži bylo dosaženo meze kluzu. U druhého vzorku bylo dosaženo 95 % vypočtené zkušební zatěžovací síly (tzn. teoretické únosnosti) - při této hodnotě došlo ke zplastizování oceli a k výraznějšímu narůstání průhybu konzoly a zkouška byla ukončena. Smykové únosnosti betonové úložné „konzolky“ nebylo dosaženo, ke smykovému porušení betonu nedošlo.

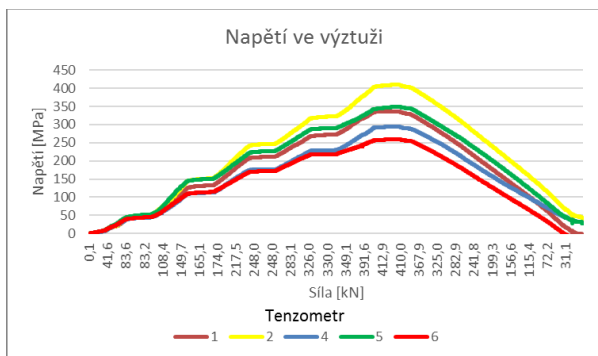


Obrázek 12: Rozevření trhliny u prvního vzorku



Obrázek 13: Rozevření trhliny u druhého vzorku

Při teoretickém posouzení z hlediska namáhání při vykojení vlaku kotvení prefabrikované konzoly vyhovělo z hlediska namáhání ohybovým momentem, nevyhovělo však při namáhání smykem. Z výsledků experimentu je zřejmé, že přípoj by zatížení při vykojení vlaku přenesl – při vykojení na jeden přípoj konzoly podle normových předpokladů působí svislá - posouvající síla (v posuzovaném případě) 92,400 kN a ohybový moment 33,400 kNm.



Obrázek 14: Průběh napětí ve výztuži přípoje

5. POROVNÁNÍ EXPERIMENTU S VÝPOČTY

Spočítaná momentová únosnost jednoho přípoje byla 57,850 kNm. U prvního vzorku bylo této hodnoty dosaženo, u druhého vzorku bylo při zkoušce dosaženo momentu únosnosti 54,700 kNm. Stále se však jedná o únosnost větší, než je požadovaná pro přenesení účinků vykojeného vlaku. Při zkoušce rozhodovala momentová únosnost, smykové únosnosti nebylo dosaženo.

Tabulka 1: Porovnání výpočtu a experimentu (hodnoty uvedeny pro jedno kotvení)

Únosnost	Vypočtené	Vzorek 1	Vzorek 2
Maximální svislá síla [kN]	206,62	206,64	195,32
Moment únosnosti [kNm]	57,85	57,86	54,69

Tabulka 2: Napětí v horní vrstvě výztuže (síla je uvedena na jedno kotvení)

Zatěžovací krok	Svislá síla [kN]	Napětí ve výztuži [MPa]		
		Spočtené	Vzorek 1	Vzorek 2
1	41,32	154,73	43,15	104,49
2	82,65	282,31	148,35	233,14
3	123,97	404,27	246,56	330,27
4	165,29	543,86	322,14	513,38
5	206,62	550,00	410,18	550,00

6. ZÁVĚR

V době realizace mostů s uvažovaným typem prefabrikovaných konzol nebylo normami požadováno provést posouzení pro namáhání vykojeným vlakem. V rámci přípravy zatěžovacích zkoušek popisovaných v tomto příspěvku bylo provedeno početní posouzení, při kterém kotvení prefabrikované konzoly na namáhání při vykojení vlaku vyhovělo z hlediska ohybového momentu, nevyhovělo však při namáhání smykem.

Při obou provedených zatěžovacích zkouškách rozhodovala únosnost z hlediska ohybového momentu; i dosažené momentové únosnosti (přípoje v bezvadném stavu) jsou však vyšší, než jsou potřebné při namáhání vykojeným vlakem. Důležitým výsledkem provedených zatěžovacích zkoušek je, že únosnosti ve smyku nebylo dosaženo.

Ve skutečnosti však může být kotvení oslabeno vlivem koroze ocelových kotevních prvků. Pak je možno kotvení konzol zesílit v rámci zesílení celé mostní konstrukce pomocí spřažené výztužené UHPFRC nabetonávky. Současně může být nabetonávka využita pro zesílení samotné prefabrikované železobetonové konzoly, pokud by to bylo v konkrétním případě potřebné. V rámci pokračování výzkumu bude dále rozpracována právě tato možnost zesílení. Bude zkoumána proveditelnost nabetonávky a její vliv na únosnost nejen přípojů konzol, ale také na celkovou únosnost mostu.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory ČVUT v Praze v rámci projektu SGS20/108/OHK1/2T/11.

Dále patří poděkování mému školiteli panu doc. Ing. Romanu Šafářovi, Ph.D., a to nejen za odborné vedení a rady, ale i za ochotu při konzultacích, motivaci při psaní a za vždy optimistickou náladu.

Prefabrikovaná zkušební tělesa byla vyrobena ve firmě Betonové stavby – group, s.r.o. Klatovy. Zatěžovací zkoušky byly provedeny v Experimentálním centru Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Reference

- Šafář, R. (2017), Hodnocení technického stavu železničních mostů z předpjatého betonu. Habilitační práce, České vysoké učení technické, Praha
- SGS20/108/OHK1/2T/11: Betonové mosty – zatížitelnost, únavová odolnost a zesilování pomocí UHPFRC nabetonávky