

PRVNÍ APLIKACE UHPC PRO MONOLITICKOU PŘIBETONÁVKU V ČR – MOST V MEZIBOŘÍ U LITVÍNOVA

Robert Coufal, Roman Šafář, Miloslav Kovač, David Hampejs

Ultra vysokohodnotný beton byl na stavbách v ČR použit již na několika projektech, vesměs se ale jednalo o prefabrikované nosné nebo pomocné konstrukce. Na několika projektech byl již také vyzkoušen transport UHPC pomocí autodomíchávačů, např. pro lávky v Čelákovících a v Lužci nad Vltavou. Na mostu v Meziboří u Litvínova však byla poprvé vyzkoušena ukládka UHPC ve formě transportbetonu do monolitické konstrukce. Jednalo se o zesílení mostních opěr přibetonávkou UHPC s charakteristickou válcovou pevností v tlaku 130 MPa.

FIRST APPLICATION OF UHPC IN AN INSITU CONCRETE STRUCTURE: A BRIDGE IN MEZIBOŘÍ NEAR LITVÍNŮV
Ultra-high-performance concrete (UHPC) has been used for several buildings in the Czech Republic, however, these were generally precast load-bearing or auxiliary structures. UHPC was also transported by truck mixers (footbridges in Čelákovice and in Lužec nad Vltavou), but in the case of the bridge in Meziboří near Litvínov, a ready-mixed UHPC was cast insitu for the first time. In this case, bridge abutments were strengthened by UHPC overlays with a characteristic cylinder compressive strength of 130 MPa.



1

Investor, majitel i správce	město Meziboří
Generální projektant	PROJEKTYSS s.r.o. Miloslav Kovač (vedoucí projektu)
Projektant	Ing. Roman Šafář
Zhotovitel rekonstrukce	JCA STAVEBNÍ s.r.o.
Dodavatel UHPC	TBG METROSTAV s.r.o. betonárna Rohanský ostrov

V zahraničí je ultra vysokohodnotný beton (dále jen UHPC – ultra-high-performance concrete) využíván v rámci zesilování především pro přibetonávky mostovek (obr. 3), kde jsou jeho vlastnosti využity zejména za účelem ochrany původní konstrukce před vlivy prostředí a dále pro zvýšení únosnosti. V rámci projektu FV20472 (TRIO) bylo vyzkoušeno využití UHPC pro zesílení patky vzpěry železničního mostu (obr. 4), kde byl použit speciální UHPC upravený pro staveništní dopravu čerpáním.

Použitý materiál

Pro UHPC je charakteristická velmi vysoká pevnost v tlaku i tahu za ohybu, jemnozrnná struktura a vysoké procento vyztužení ocelovými mikrovláknami. Za UHPC se dle vznikajících technických pravidel ČBS 07 [1] zjednodušeně považuje beton s charakteristickou válcovou pevností v tlaku minimálně 110 MPa a obsahem ocelových mikrovláken minimálně 1,5 %. V [1] bude pro UHPC také specifikována konkrétní třída pevnosti v prostém tahu a třída zbytkové vlhkosti.

Pro most v Meziboří byl navržen UHPC s charakteristickou válcovou pevností v tlaku 130 MPa. Obsah ocelových mikrovláken byl stanoven na 2 % objemově a minimální pevnost v tahu za ohybu f_{R1} dle ČSN EN 14651+A1 [2] byla specifikována na 15 MPa. Konzistence byla samozhutnitelná, aby betonáž mohla probíhat

bez vibrace. UHPC byl transportován autodomíchávačem na vzdálenost cca 110 km z pražské betonárny na Rohanském ostrově. Z důvodu dlouhého transportu a ukládky pomocí bádie (obr. 5) bylo nutno zajistit zpracovatelnost minimálně 6 h. Celkově bylo na stavbu dodáno 11 m³ UHPC obchodní značky TopCrete® ve formě transportbetonu.

Dosažené hodnoty pevností v tlaku, tahu za ohybu a modulů pružnosti jsou uvedeny v tab. 1 a 2. Byly vyráběny dvě varianty receptury, jež se lišily v typu vláken. Obou typů použitých vláken bylo dávkováno 2 % objemově (160 kg/m³), rozdíl byl v průměru vláken a v jejich štíhlostním poměru. V první variantě se jednalo o drátky o průměru 0,3 mm a štíhlostním poměru 57 a ve druhém případě o drátky o průměru 0,2 mm a štíhlostním poměru 65. Z tab. 1 je vidět, že typ vláken neměl zásadní vliv na pevnost v tlaku ani na modul pružnosti. Pevnost v tlaku byla zkoušena na krychlicích o hraně 100 mm a na válcích výšky 200 mm s průměrem 100 mm koncovaných broušením.

U betonů typu UHPC je výrazně jiný poměr mezi válcovou a krychelnou pevností, než je tomu u běžných betonů. Konkrétní poměr závisí na použitém množství drátků a je tedy proměnlivý. Z tohoto důvodu se dle ČSN P 73 2404 [3] a připravovaných TP ČBS 07 [1] pevnostní třída UHPC v tlaku značí pouze charakteristickou válcovou pev-



2



3



4



5

ností (stanovenou na broušeném válci výšky 200 mm). Z tab. 1 je vidět, že deklarovaná charakteristická válcová pevnost v tlaku 130 MPa byla s dostatečnou rezervou splněna.

V tab. 2 a v grafu na obr. 6 je patrný vliv typu drátků na chování UHPC při namáhání v tahu za ohybu. Z hodnot je patrné, že UHPC s tenčími drátky (průměr 0,2 mm) vykazuje sice o něco vyšší napětí v tahu za ohybu při rozevření trhliny 0,5 mm (CMOD₁), na druhou stranu už od rozevření trhliny 1,5 mm (CMOD₂) jsou hodnoty napětí pod úrovní UHPC s drátky o průměru 0,3 mm. Tento fakt nejlépe vystihuje poměr zbytkové pevnosti f_{R3k} / f_{R1k} (tab. 2). Dalším rozdílem je tvar sestupné větve grafu. U tenčích drátků je patrnější rozkmit daný vytahováním drátků z matrice UHPC. Spíše než trvat na určitém průměru drátků je tedy vhodné porovnávat naměřené

hodnoty dle ČSN EN 14651+A1 [2] na konkrétních recepturách a na základě výsledků měření posoudit vhodnost konkrétních drátků nebo receptur.

UHPC bylo do konstrukce ukládáno jeřábem pomocí bádie. Ukládka probíhala bez vibrace díky samozhutnitelné konzistenci materiálu. Přibetonávka se prováděla ve dvou krocích. Materiál se i bez vibrace dobře odvodušňoval a byl bez jakýchkoliv známek segregace. Povrch UHPC po odbednění byl ve velmi vysoké kvalitě, bez pórů a kaveren.

Popis, projekt a provádění konstrukce

Most převádí Žižkovu ulici v Meziboří u Litvínova přes Divoký potok. Světlá šířka mostního otvoru je přibližně 2,02 m. Hydrotechnickým výpočtem bylo prokázáno, že kapacita mostního otvoru je dostačující i při zachování

stávající chráničky plynovodu za mostem. Původně měl most železobetonovou deskovou nosnou konstrukci a tížné opěry z prostého betonu, jež byly monoliticky spojené s rovnoběžnými křídly. V roce 2021 proběhla rekonstrukce mostu s výměnou nosné konstrukce. Spodní stavba byla v maximálně možné míře zachována, což umožnilo v zastavěném území omezit množství bouracích a výkopových prací, objemy nových konstrukcí i objemy přepravovaného i nově použitého materiálu. Cílem bylo příznivě ovlivnit jak působení rekonstrukce na životní prostředí, tak i její cenu a dobu trvání. Pro úpravu spodní stavby byla použita nově navržená metoda žebrované monolitické přibetonávky z UHPC. V daném případě se jedná o most malých rozměrů, uvedená metoda však může být použita pro konstrukce prakticky jakýchkoliv rozměrů.

Tab. 1 Naměřené pevnosti v tlaku a moduly pružnosti

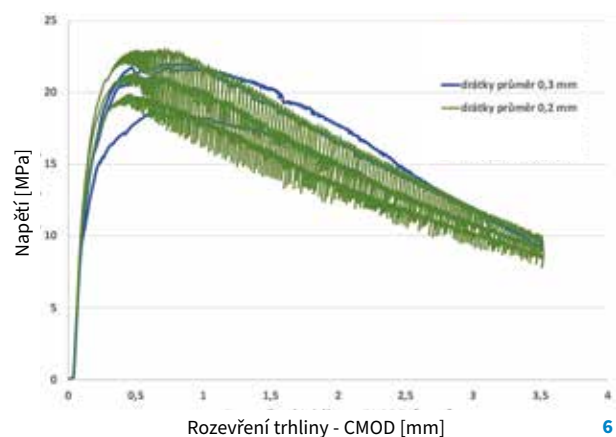
Tab. 1 Reached values of compressive strength and modulus of elasticity

Naměřené veličiny	Zkušební těleso		Drátky průměr 0,3 mm - 2 %	Drátky průměr 0,2 mm - 2 %
pevnost v tlaku	krychle hrana 100 mm	[MPa]	148,6	149,0
	válec Ø 200 mm	[MPa]	143,8	146,7
modul pružnosti	válec Ø 300 mm	[GPa]	44,2	44,6

Tab. 2 Naměřené pevnosti v tahu za ohybu dle [2]

Tab. 2 Measured bending strength in accordance with [2]

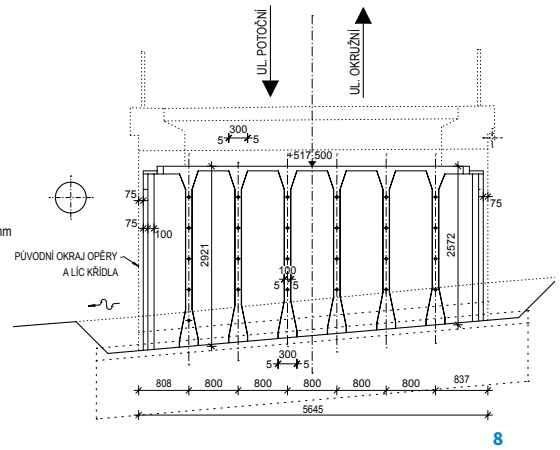
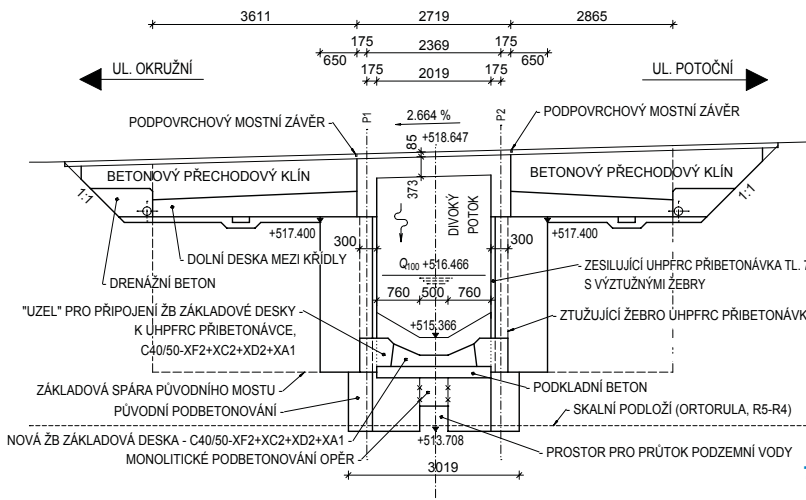
Naměřené veličiny			Drátky průměr 0,3 mm - 2 %	Drátky průměr 0,2 mm - 2 %
štíhlostní poměr drátků			57	65
mez úměrnosti	$f_{ct,L}^t$	[MPa]	7,6	8,3
CMOD ₁ (0,5 mm)	$f_{R,1}$		20,0	21,2
CMOD ₁ (1,5 mm)	$f_{R,2}$		19,6	18,7
CMOD ₁ (2,5 mm)	$f_{R,3}$		15,6	14,2
CMOD ₁ (3,5 mm)	$f_{R,4}$		11,5	10,9
zbytková pevnost f_{R3k}/f_{R1k}				0,78



6

1 Most v Meziboří po rekonstrukci 2 Původní stav mostu 3 Příklad zesilování mostovky pomocí UHPC (USA) 4 Využití UHPC pro zesílení patky vzpěry železničního mostu (Praha-Nusle) 5 Skládání UHPC z autodomíchávače do bádie v Meziboří 6 Vliv typu drátků na chování UHPC při zkoušce dle [2]

1 Bridge in Meziboří after a reconstruction 2 Original condition of the bridge 3 Example of a bridge deck being strengthened using UHPC (USA) 4 Application of the UHPC in strengthening of railway bridge pier foundations (Prague) 5 Transfer of the UHPC from a truck mixer into a concrete bucket 6 Influence of the type of fibres on behaviour of the UHPC, according to [2]



10



11

Při rekonstrukci byla odstraněna nosná konstrukce a byly ubourány horní části opěr a křídel. Uspořádání a působení konstrukce se během rekonstrukce změnilo na uzavřený železobetonový rám tak, že mezi stávající opěry byla doplněna dolní železobetonová deska, ponechané části opěr a křídel byly opatřeny monolitickou UHPC žebrovanou přibetonávkou a do horního povrchu této přibetonávky byla vetknuta nová nosná konstrukce v podobě monolitického železobetonového polorámu. Byly nově vybetonovány horní části křídel, byl zřízen nový mostní svršek a nové mostní vybavení. Založení objektu zůstalo plošné – částečně na původních plošných základech, částečně na nové dolní železobetonové desce, která slouží zároveň i pro rozepření opěr.

Podle stavebního průřezu provedeného v rámci přípravy stavby byla původní spodní stavba z betonu velice nízké pevnosti. Proto se s jejím konstrukčním využitím po rekonstrukci již neuvažovalo, její ponechané části byly využity po dobu stavby prakticky ja-

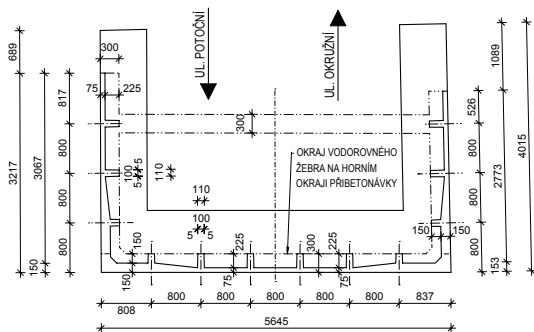
ko pažení. Z povrchu původní spodní stavby byla odstraněna vrstva betonu tloušťky cca 75 mm a v líci opěr i křídel byly provedeny svislé drážky o základní šířce 100 až 110 mm a hloubce přibližně 225 mm od upraveného povrchu betonu, aby celková výška průřezu žebor byla 300 mm. V horní a v dolní části jsou svislá žebra rozšířena pro lepší provázání s navazujícími konstrukcemi. Ve vodorovném rámovém rohu, kde je křídlo vetknuto do opěry, je tloušťka přibetonávky zvětšena na 150 mm. Na horním okraji přibetonávky je vodorovné ztužující žebro šířky 300 mm, na zadním konci křídel je příčné táhlo pro propojení jejich konců a snížení namáhání. Přibetonávka je z materiálu UHPC 130/140 a je doplněna hlavní nosnou betonařskou výztuží. Návrh byl proveden za předpokladu, že funkce tzv. rozdělovací výztuže bude zajištěna ocelovými vlákny v betonu, čímž je možno snížit pracnost na staveništi a zkrátit dobu stavebních prací s příznivým dopadem na výslednou cenu stavby. Ke stávající spodní stavbě je přibetonávka



12



13



9



15

konstrukčně přikotvena pomocí prutů z betonářské výztuže vlepených do vyvrtaných otvorů. Pro ověření betonáže a jejich výsledků bylo v předstihu ze stejného materiálu vybetonováno zkušební těleso, resp. jedno žebro včetně navazující části čelní stěny i včetně betonářské výztuže (obr. 10).

Na dolním okraji je UHPC přibetonávka provázána s novou monolitickou železobetonovou deskou (již ze standardního betonu C40/50). K provázání dochází v železobetonovém „uzlu“ mezi těmito dvěma prvky. Při návrhu se předpokládala velice nízká pevnost betonu stávající spodní stavby. Propojovací uzly byly proto umístěny mimo lícovou přibetonávku, aby nebylo nutno kvůli nim „podbourávat“ stávající opěry a ohrožovat jejich stabilitu. Během prací bylo zjištěno, že pevnost betonu stávající spodní stavby je poněkud lepší, než se předpokládalo, a propojovací uzly byly tedy nakonec zahlobeny do betonu stávajících opěr.

Na horním okraji je UHPC přibetonávka propojena s novou železob-

tonovou nosnou konstrukcí ve tvaru polorámu. K propojení slouží betonářská výztuž vyčnívající z povrchu přibetonávky.

Aby se omezilo namáhání ponechané dolní části původních křídel, je nová horní část křídel provedena v uspořádaní polorámu tvaru písmene U, kdy jsou vždy dvě rovnoběžná křídla jedné opěry propojena vodorovnou dolní deskou.

Na mostě je izolace z natavovaných asfaltových izolačních pásů a dvouvrstvá netuhá vozovka složená ze dvou vrstev ACO 11+ tlušťky 40 mm. Z důvodu značných (i značně proměnných) podélných a příčných sklonů povrchu komunikace je asfaltová vozovka vyztužena pomocí dvousých geomříží ze skleněných vláken.

Závěr

Na mostě v Meziboří se potvrdila použitelnost UHPC pro tenkovrstvé přibetonávky. Díky zvolené technologii bylo možno významným způsobem snížit množství bouracích a výkopových prací v zastavěné oblasti.

Zároveň se snížilo množství vyprodukovaného stavebního odpadu i potřeba materiálu nového. Prokázala se možnost transportu UHPC na velmi dlouhé vzdálenosti pomocí autodolů a tedy fakt, že UHPC pro tyto speciální sanační práce není nutné vyrábět v lokální betonárně, ale je možné ho dovézt ze specializovaných vzdálenějších výroben.

Pro tuto aplikaci byly využity výsledky projektu FV20472 (TRIO) a SGS20/108/OHK1/2T/11 (ČVUT).



Ing. Robert Coufal, Ph.D.
TBG METROSTAV s.r.o.
robert.coufal@tbg-beton.cz



doc. Ing. Roman Šafaří, Ph.D.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
roman.safar@fsv.cvut.cz



Miloslav Kovač
PROJEKTYSS s.r.o.
kovac@yssen.cz



David Hampejs
JCA STAVEBNÍ s.r.o.
hampejs@jca-most.cz

14



7 Podélný řez 8 Čelní pohled na původní opěru po odstranění nosné konstrukce a přípravě povrchu pro žebrovou UHPC přibetonávku 9 Půdorys opěry s žebrovou UHPC přibetonávku 10 Zkušební žebro z UHPC 11 Pohled na původní opěru se svislými drážkami a betonářskou výztuží před realizací UHPC přibetonávky 12 Provádění přibetonávky z UHPC 13 Dokončená UHPC přibetonávka s rozšiřujícím žebrem na horním okraji, příčným táhlem mezi konci křídel a s vyčnívající betonářskou výztuží pro provázání s novou železobetonovou polorámovou nosnou konstrukcí 14 Povrch UHPC přibetonávky po odbednění 15 Most v Meziboří po rekonstrukci

7 Longitudinal section 8 Front view of the original abutment after the removal of the bridge deck and after the surface has been prepared for the ribbed UHPC overlay 9 Layout of the abutment with the ribbed UHPC overlay 10 A trial rib made of UHPC 11 View of the original abutment with vertical grooves and steel reinforcement before the placement of the UHPC overlay 12 Casting of the UHPC overlay 13 Finished UHPC overlay with an enlarged rib at the top edge, cross tie between wing walls and with reinforcing bars prepared for connection with new concrete half-framed load-bearing superstructure 14 UHPC overlay surface after removal of formwork 15 Bridge in Meziboří after reconstruction

Literatura:

- [1] TP ČBS 07. UHPC. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, v přípravě.
- [2] ČSN EN 14651+A1. Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost). Praha: ČNI, 2008.
- [3] ČSN P 73 2404 (732404). Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – Doplňující informace. Praha: ČAS, 2021.