

Využití UHPC při rekonstrukci Barrandovského mostu v Praze

V roce 2022 byla započata rekonstrukce dopravně nejvytíženějšího mostu v České republice. Po Barrandovském mostě projede denně více než 140 000 vozidel, je to nejvýznamnější dopravní tepna v ČR. Most je v provozu od roku 1983, kdy byla spuštěna jeho jižní část, v roce 1988 pak část severní. Za 40 let provozu mostu došlo k očekávanému opotřebení a vlivem extrémní dopravní zátěže i k poškození některých částí mostní konstrukce, byla tedy potřeba jeho rekonstrukce.

V roce 2018 bylo rozhodnuto o započetí přípravných projekčních a průzkumných prací, které finalizovaly dokončením zadávací dokumentace, na jejímž základě byl v roce 2022 vybrán generální dodavatel stavby. V roce 2022 byla dle schváleného harmonogramu provedena 1. etapa rekonstrukce, v roce 2024 pak byla celá rekonstrukce dokončena.

Rekonstrukce mostu

Samotná rekonstrukce mostu byla rozdělena do dvou základních částí. V první části, která byla realizována v období let 2020–2021, byla provedena sanace mostních pilířů. Práce na rekonstrukci spodní stavby nevyvolaly žádná významná dopravní opatření.

Ve druhé části (rozdělné do 4 etap – původně do 4 let postupné rekonstrukce) pak byla prováděna rekonstrukce a oprava samotné nosné konstrukce mostu. Prvotně definované rozdělení do čtyř etap ve čtyřech následujících letech bylo díky získaným zkušenostem s pozitivním využitím UHPC redukováno jen na tři roky. Třetí a čtvrtá etapa se realizovala v rámci jedné stavební sezóny během roku 2024.

Rozdělení do etap bylo vyvoláno požadavkem na dostatečnou zbytkovou kapacitu komunikace při samotné stavbě. Opravovala se vždy polovina jednoho mostu, na zbývajících plošech mostu a na druhé nosné konstrukci byl provoz veden v režimu 3 + 3 jízdní pruhy. Vlastní oprava nosné konstrukce mostu se týkala zejména kompletní výměny mostního svršku a vybavení mostu. V prv-

ní etapě došlo zároveň k demolicí a posléze výstavbě kompletně nové výstupní rampy z komunikace Strakonická.

Samostatnou částí rekonstrukce nosné konstrukce byla realizace jejího zesílení pomocí dodatečného volného předpětí vedeného uvnitř komor. Předpětí bylo do konstrukce doplněno s ohledem na výsledky provedeného diagnostického průzkumu, který detekoval relativně významné korozní oslabení původní předpínací výztuže. Nově navržené vnější předpětí je vedeno přes nově realizované deviátory definující jeho trajektorii, a hlavně průchod skrze masivní původní příčníky.

Při realizaci 1. etapy rekonstrukce bylo zjištěno, že původní předpoklady o tloušťce vozovkového souvrství nebyly splněny. Na mnoha místech byla zastižena výrazně větší tloušťka konstrukce vozovky (místy až 350 mm). Dle v současnosti platných norem a předpisů není možné takovou tloušťku realizovat jen pomocí asfaltového souvrství. Při požadavku na zachování nivelety tak bylo nutné najít konstrukční řešení pro vyrovnávací vrstvu. S ohledem na nastavený harmonogram stavby byla zvolena vyrovnávací vrstva z UHPC, která kromě požadavku na minimalizaci času pro její provádění plnila roli ochrany a ztužení stávajícího horního povrchu nosné konstrukce mostu.

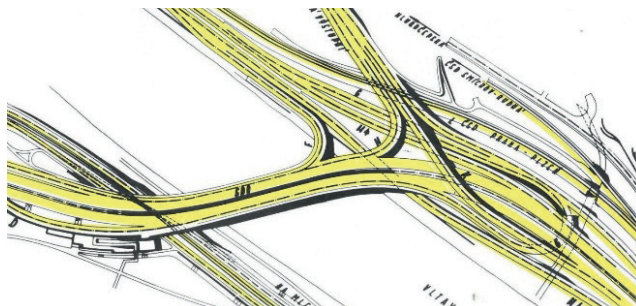
Vlastnosti UHPC

Návrh receptury

V době přípravy stavby nebyla ještě v platnosti TP ČBS 07. Výroba UHPC značky TopCrete® byla tedy navržena dle kombinace



Obrázek 1: Celkový pohled na most
(zdroj: Technická správa komunikací hl. m. Prahy, a.s.)



Obrázek 2: Dopravní řešení

norem ČSN EN 206+A2, ČSN P 73 2404 a podnikové normy TN TBG MTS 2019 UHPC.

Na UHPC používané pro nabetonávky mostovek jsou kladeny nad rámec běžných UHPC zejména následující požadavky:

- ▶ upravená tixotropie materiálu pro ukládku povrchu ve spádu;
- ▶ vysoký obsah drátků z důvodu omezení šířky trhlin (min. 3 %).

Základním požadavkem na recepturu UHPC v případě Barrandovského mostu byla možnost ukládky této vrstvy do výsledného spádu až 6 %. Běžný UHPC není možné díky vysokému obsahu superplastifikátoru do takto velkého spádu uložit. Úprava tixotropie a konzistence při zachování parametrů UHPC tak byla základním úkolem. Návrh vycházel z patentovaného řešení, které bylo výsledkem výzkumného projektu MPO. Finální navržená receptura byla testována na vzorových spádových klínech, kde byla potvrzena správnost návrhu a zároveň byl ověřen způsob ukládky směsi budoucím zhotovitelem.

Dalším zásadním parametrem je vysoký obsah mikrodrátků. Při obsahu mikrodrátků přes 3 % objemově je tloušťka většiny trhlin zanedbatelná, pro oko jsou neviditelné a pro vodu neprůchozí. Toto se týká trhlin od dlouhodobého smršťování, ne trhlin od plastického smršťování z důvodu nedostatečného ošetřování. Finálně tedy byla vyžadována receptura UHPC s minimálním obsahem drátků 3 % a s pevností v tahu za ohybu f_{R1} dle ČSN EN 14651 minimálně 20 MPa.

Pevnost v tlaku není pro sanační vrstvy tak důležitá, proto byla zvolena základní pevnostní třída C110 dle tabulky 12.2 normy ČSN P 73 2404. Pro tuto pevnostní třídu je určena minimální charakteristická válcová pevnost $f_{ck,cyl} = 110$ MPa, měřená na válcích výšky 200 mm, koncovaných broušením. Zkoušky na jiných tělesech (nejčastěji krychlích o hraně 100 mm) jsou prováděny pouze jako informativní. Pro kontrolu shody nejsou relevantní. Vzhledem k tloušťkám vrstvy UHPC od 25 mm bylo zvoleno maximální zrno kameniva $D_{max} = 4$ mm. Tato velikost maximálního zrna je vhodná i vzhledem k vysokému obsahu mikrodrátků.



Obrázek 4: Zkouška ukládky UHPC do spádu

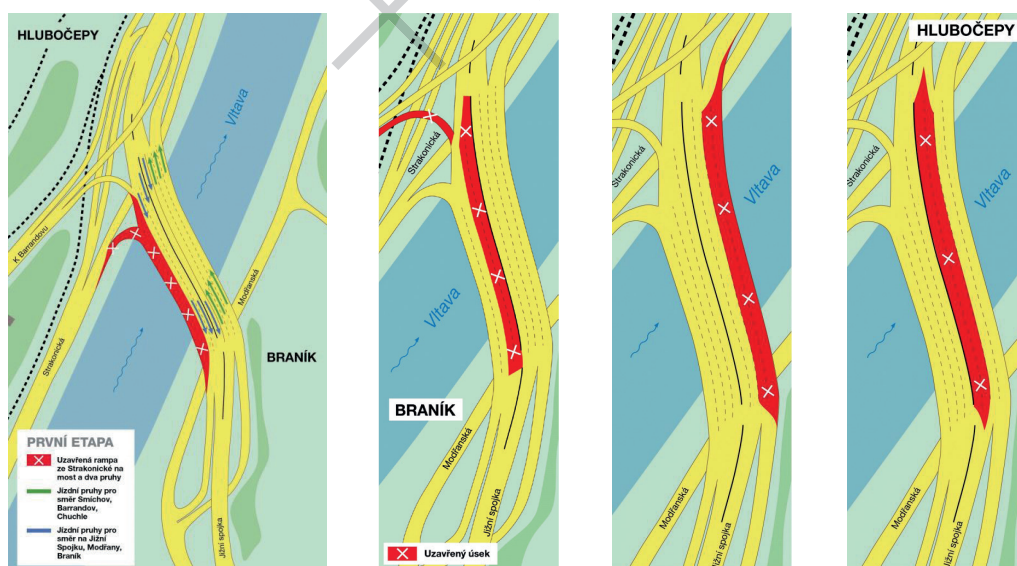
Výroba a doprava UHPC

UHPC značky TopCrete byl vyráběn na betonárně TBG Metrostav v Praze Libni. Maximální objem jedné záměsi činil 1,25 m³, namíchání jedné záměsi trvalo po optimalizaci celého procesu 5 minut. Maximální kapacita betonárny tak byla 15 m³/hodinu. Tato kapacita však nikdy naplno využita nebyla. Za den se dodávalo maximálně cca 30–40 m³ materiálu dle postupujících prací přímo na mostě.

UHPC byl na stavbu dodáván běžnými autodomíchávači. Běžně vezl autodomíchávač na staveniště dávku 3,75 m³. Maximální dovezené množství na stavbu jedním autodomíchávačem bylo 7,5 m³. Vzdálenost staveniště od betonárny je zhruba 13 km a za slabého provozu byla dopravní doba do 20 minut od namíchání. Zpracovatelnost UHPC byla běžně 3 hodiny od namíchání. Na stavbě byl vyčleněn prostor pro oplach autodomíchávačů, aby se minimalizovalo zatvrdnutí zbytků UHPC uvnitř mixu.

Vrstva z UHPC

Vzhledem k velmi kladným zkušenostem s ukládkou a fungováním vyrovnávací a ztužující vrstvy z UHPC při 1. a 2. etapě (jižní most) bylo v rámci 3. a 4. etapy (severní most) rozhodnuto využít



Obrázek 3: Etapizace rekonstrukce Barrandovského mostu

vrstvy UHPC i jako izolačního souvrství. Upravena tak byla geometrie vrstev z UHPC a navrženy byly rozhodující detaily, které zaručí izolační funkci uložené vrstvy.

Významným způsobem byla také modifikována samotná ukládka vrstvy z UHPC. Použita byla speciální mechanická vibrační lišta, díky které se proces ukládky velmi zefektivnil.

Díky zjištěným výrazně horším mechanickým vlastnostem horního povrchu původní nosné konstrukce bylo finálně přistoupeno k plnohodnotnému zapojení vrstvy UHPC do statického ztužení původní konstrukce. Navrženo a realizováno bylo plnohodnotné spřažení s původní konstrukcí, které fakticky znamená kompletní náhradu horní desky původní nosné konstrukce vrstvou z UHPC.

Závěr

Realizovaná rekonstrukce mostu odstranila jeho dřívější závady a zajistila prodloužení jeho životnosti včetně zvýšení jeho zatížitelnosti. Byla provedena v několika stavebních sezónách za účelem minimální doby dopravního omezení, které i tak umožňovalo zachovat obousměrnou dopravu na zbylé ploše mostu.

Použití vrstvy UHPC jako hydroizolace se ukázalo jako velmi výhodné, protože odpadla instalace klasické hydroizolace (navíc závislá na klimatických podmínkách) a dále lze oprávněně předpokládat, že životnost vrstvy UHPC bude minimálně shodná se zbytkovou životností konstrukce, zatímco životnost

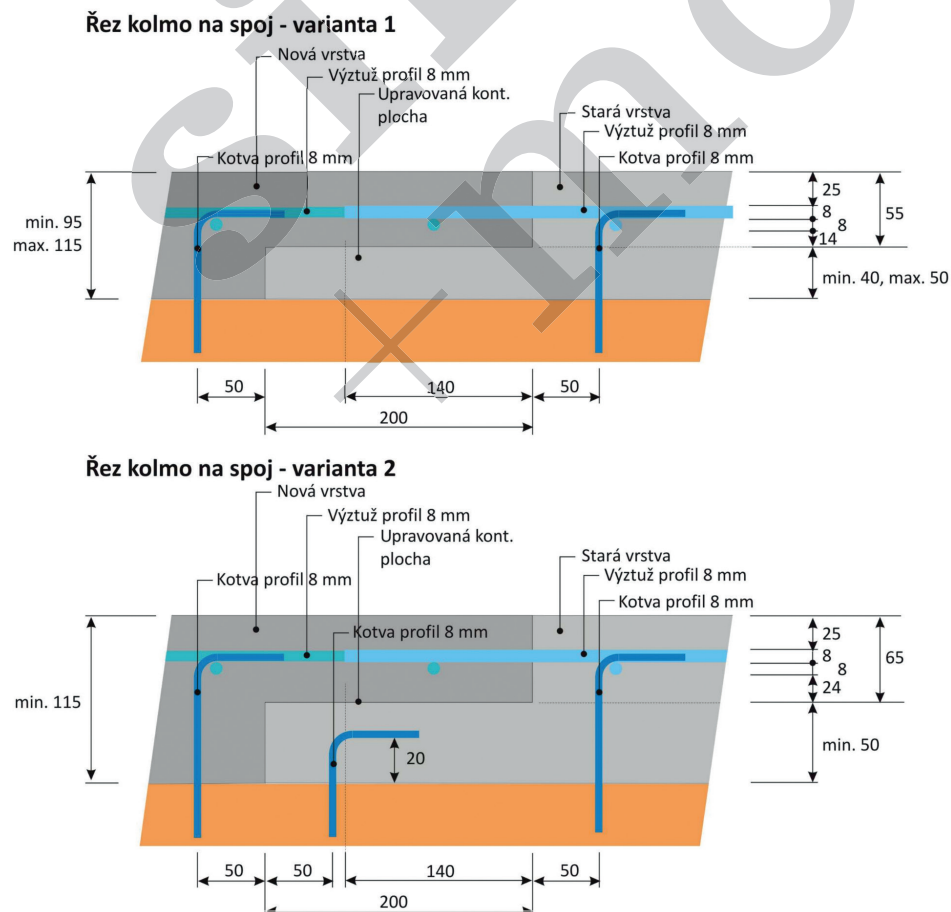


Obrázek 6: Využití mechanizace při ukládce vrstvy z UHPC

klasické hydroizolace by byla značně kratší a bylo by třeba ji během následného užívání mostu minimálně jednou vyměnit. Hydroizolační funkce UHPC vyžadovala vývoj a ověření detailů pracovních spár, prostupů pro odvodnění atd.

Pro další projekty rekonstrukcí lze zesilování pomocí UHPC doporučit. Avšak jde o práce náročné na kvalitu provádění, a proto lze tyto práce svěřit pouze zkušeným firmám se spolehlivým systémem řízení kvality.

doc. Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D., FEng.,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební
Ing. Robert Coufal Ph.D., TBG Metrostav, s.r.o.
prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng.,
ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Obrázek 5: Návrh pracovní spáry v UHPC