

Protokol

o ověření a následném uplatnění technologie č. TE01020168-023/2017

„Přímo poježděná mostovka z vláknobetonu“

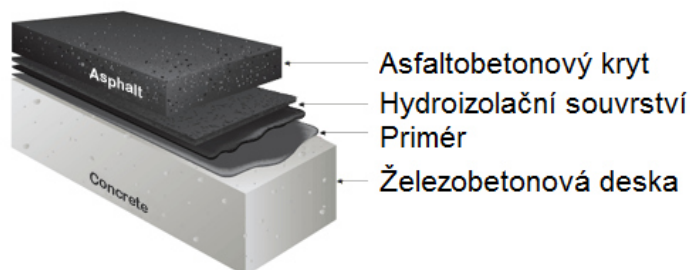
Původ technologie

Navržená technologie je výsledkem aktivit výzkumného centra CESTI, konkrétně pracovního balíčku WP3 „Mosty – efektivnější konstrukce s vyšší spolehlivostí a delší životností“ a pod něj spadající činnosti 3.8 „Návrh pokrokových technologických postupů pro výstavbu mostů“. Autory technologie jsou zaměstnanci Fakulty stavební ČVUT v Praze doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D., Ing. Petr Bílý, Ph.D., Ing. Josef Fládr, Ph.D. a Ing. Vojtěch Stančík, přičemž každý z nich se na vývoji, ověření a následném uplatnění podílel z 25 %.

Výzkumné práce směřující k vývoji a ověření technologie probíhaly v rámci schváleného Návrhu řešení projektu pro období 2016 – 2019, který je přílohou č. 5 Smlouvy o spolupráci a využití výsledků výzkumu, vývoje a inovací při řešení projektu TE01020168 „Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI)“, která byla uzavřena dne 5. 3. 2013.

Popis technologie – obecně

Tradiční skladba mostovky železobetonových mostů pozemních komunikací v evropských podmínkách se skládá z několika vrstev, z nichž každá má svou oddělenou funkci – nosnou, vyrovnávací, izolační, obrusnou (viz obrázek 1).



Obr. 1 Tradiční skladba mostovky železobetonového mostu pozemních komunikací.

V severoamerických zemích je obvyklé řešení s tzv. přímo poježděnou mostovkou (PPM), kde nosná konstrukce není chráněna proti vlivům povětrnosti a dopravy žádným ochranným souvrstvím. Touto technologií je v USA a Kanadě vybudováno několik desítek tisíc mostů, v Evropě je však využívána jen zřídka a v českých podmínkách téměř vůbec. V literatuře je zmiňován jeden most postavený v roce 1997 u hraničního přechodu Rozvadov-Waidhaus a dvě lávky pro pěší z 80. let nad dálnicí D5 [1]. Není známa žádná konstrukce využívající pro PPM vláknobeton.

Z technologického i ekonomického hlediska skýtá technologie PPM řadu výhod vyplývajících z její jednoduchosti. Díky eliminaci několika konstrukčních vrstev je výstavba jednodušší, rychlejší, méně náročná na mechanizaci a koordinaci dodavatelů. Odpadá také riziko řady vad a poruch, například v důsledku delaminace jednotlivých konstrukčních vrstev nebo vyjíždění kolejí v asfaltobetonovém krytu.

Na druhou stranu je nutno vzít v úvahu některé nově vzniklé technologické nároky vyplývající z absence ochranných vrstev nosné konstrukce. TKP18 [2] v takovém případě

požadují sekundární ochranu nosné výztuže proti korozi. Zvýšené požadavky jsou kladeny na kvalitu betonu, který kromě vysoké pevnosti musí vykazovat i velmi dobrou odolnost proti obru, mrazu, vodě v kombinaci s CHRL a průsaku vody. Je rovněž nutno vzít v úvahu potřebu vysoké technologické kázně, neboť případné vady nosné konstrukce (nerovnosti, lokální vady povrchu apod.) nelze kompenzovat v krycím souvrství.

Popis technologie – konkrétní navržené řešení a jeho ověření

Předmětem ověření a uplatnění byla technologie pro přímo pojížděné mostovky z vláknobetonu. Vláknobeton byl zvolen jako potenciálně velmi vhodný materiál pro PPM, neboť přítomnost rozptýlené výztuže vede k omezení šířky případných trhlin a tedy k lepší odolnosti materiálu proti všem klimatickým vlivům a zimní údržbě rozmrazovacími prostředky. Vlákna zároveň činí materiál kompaktnějším a odolnějším proti obru.

Cílem bylo navrhnout směs vláknobetonu, která by vyhověla všem požadavkům platných předpisů, zejména TKP18 [2]. Byly uvažovány požadavky kladené na nosné konstrukce bez vodotěsné izolace (řádek 12 v tabulce 18-2 TKP18). Speciální předpis pro mosty s přímo pojížděnou mostovkou TP260 [3] vydaný v lednu 2017 nebyl v době návrhu (rok 2015) k dispozici.

Postupnou optimalizací v laboratoři Katedry betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze byla stanovena vzorová receptura vláknobetonu (tabulka 1), pro kterou bylo zkouškami ověřeno splnění všech relevantních požadavků platných předpisů (tabulka 2). Navrženo bylo použití polypropylenových vláken Forta Ferro. Použití ocelových vláken by bylo nevhodné s ohledem na možnost povrchové koroze a na nebezpečí poškození pneumatik vozidel přejíždějících po PPM. Postup ověřovacích zkoušek byl blíže popsán v odborném článku [4].

Tab. 1 Vzorová receptura vláknobetonu pro PPM.

Složka	Specifikace	kg/m³
cement	CEM I 42,5 R (Mokrá)	420
voda	-	176
v/c	-	0,42
jemné kamenivo	frakce 0/4	800
střední kamenivo	frakce 4/8	250
hrubé kamenivo	frakce 8/16	610
provzdušňovač	Centrament air 202	0,4
superplastifikátor	Stachement 2090	2,52
vlákna	Forta Ferro dl. 54 mm	3

Tab. 2 Splnění požadavků platných předpisů – vzorová receptura.

Požadavek	Naměřená hodnota	Zdroj požadované hodnoty	Požadovaná hodnota	Splněno?
Obsah cementu	420 kg/m ³	TKP 18	min. 340 kg/m ³	ANO
Vodní součinitel	0,42	TKP 18	max. 0,45	ANO
Stupeň konzistence	S3-140 mm	TKP 18	min. S3	ANO
Obsah vzduchu	5,86%	TKP 18	min. 4,5 %	ANO
Pevnostní třída	C 35/45	TKP 18	min. C 30/37	ANO
Pevnost v tahu za ohybu	3,43 MPa	TKP 18	min. 3 MPa	ANO
Odolnost proti obrusu	C 35/45	ČSN EN 206-1/Z3	min. C 30/37	ANO
Odolnost proti vodě a CHRL	695 g/m ² po 100 cyklech metodou A	TKP 18	max. 1000 g/m ² po 100 cyklech metodou A	ANO
Odolnost proti průsaku vody	32,6 mm	ČSN EN 206-1/Z3 (životnost 50 let)	max. 35 mm	ANO
		TKP 18 (životnost 100 let)	max. 20 mm	NE

Vzorová receptura nesplnila požadavek na průsak vody pro životnost 100 let. Tento požadavek je reálně dán nároky na ochranu výztuže proti korozi. Jelikož byla zároveň navržena ochrana výztuže povlakováním při horním povrchu PPM do hloubky 100 mm, je nesplnění požadavku na průsak irelevantní. Povlakování bylo na reálné konstrukci po dohodě s dodavatelem, společností LIKAL, s.r.o., provedeno termoplastickým povlakovým práškem Thermofix KPE 03 v tloušťce min. 0,3 mm.

Vzorová receptura byla pro aplikaci na reálné konstrukci mírně upravena po dohodě s dodavatelem směsi, společností ZAPA beton a.s., betonárna Vlašim, a to s ohledem na materiály dostupné v daném závodě. Výsledné složené použité pro reálnou konstrukci mostu je uvedeno v tabulce 3. Směs byla opět laboratorně ověřena, tabulka 4 uvádí přehled splnění požadavků pro použitou recepturu.

Tab. 3 Použitá receptura vláknobetonu pro PPM.

Složka	Specifikace	kg/m ³
cement	CEM II/A 42,5 R	425
voda	-	170
v/c	-	0,4
jemné	frakce 0/4	800
střední	frakce 4/8	160
hrubé	frakce 8/16	490
	frakce 11/22	280
provzdušňovač	Microporan 2	0,51
superplastifikátor	Stachement S33	2,60
vlákna	Forta Ferro dl. 54 mm	3

Tab. 4 Splnění požadavků platných předpisů – použitá receptura. Požadovaná hodnota obsahu vzduchu závisí na max. zrnů kameniva, proto je pro použitou směs nižší než pro vzorovou.

Požadavek	Naměřená hodnota	Zdroj požadované hodnoty	Požadovaná hodnota	Splněno?
Obsah cementu	425 kg/m ³	TKP 18	min. 340 kg/m ³	ANO
Vodní součinitel	0,40	TKP 18	max. 0,45	ANO
Stupeň konzistence	S4-190 mm	TKP 18	min. S3	ANO
Obsah vzduchu	4,2 %	TKP 18	min. 4,0 %	ANO
Pevnostní třída	C 35/45	TKP 18	min. C 30/37	ANO
Pevnost v tahu za ohybu	4,7 MPa	TKP 18	min. 3 MPa	ANO
Odolnost proti obrusu	C 35/45	ČSN EN 206-1/Z3	min. C 30/37	ANO
Odolnost proti vodě a CHRL	714 g/m ² po 100 cyklech metodou A	TKP 18	max. 1000 g/m ² po 100 cyklech metodou A	ANO
Odolnost proti průsaku vody	13 mm	ČSN EN 206-1/Z3 (životnost 50 let)	max. 35 mm	ANO
		TKP 18 (životnost 100 let)	max. 20 mm	ANO

Použitá receptura splnila veškeré relevantní požadavky platných předpisů. Zkoušky byly provedeny ve zkušební laboratoři ZAPA beton, Vídeňská 495, 142 00 Praha 4 (s výjimkou zkoušky v tahu za ohybu, která byla provedena v laboratoři Katedry betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze).

Aplikace na reálné stavbě

Po návrhu a laboratorním ověření byla vyvinutá technologie přímo pojížděné mostovky z vláknobetonu aplikována při opravě havarijního stavu mostu SZ-001 Na Káčku ve městě Sázava. Řešenou konstrukcí byl jednopruhový most malého rozpětí spojující město Sázava s ostrovem na řece Sázavě, na kterém se nachází hotel s restaurací, kemp a různá sportoviště. Stávající konstrukce mostu byla značně poškozena při opakovaných povodních v průběhu předchozích 15 let, a bylo proto nutné její celkové odstranění a nahrazení novou konstrukcí.



Obr. 2 Původní konstrukce. Vlevo boční pohled na most, vpravo opěrná zeď po odstranění mostu.

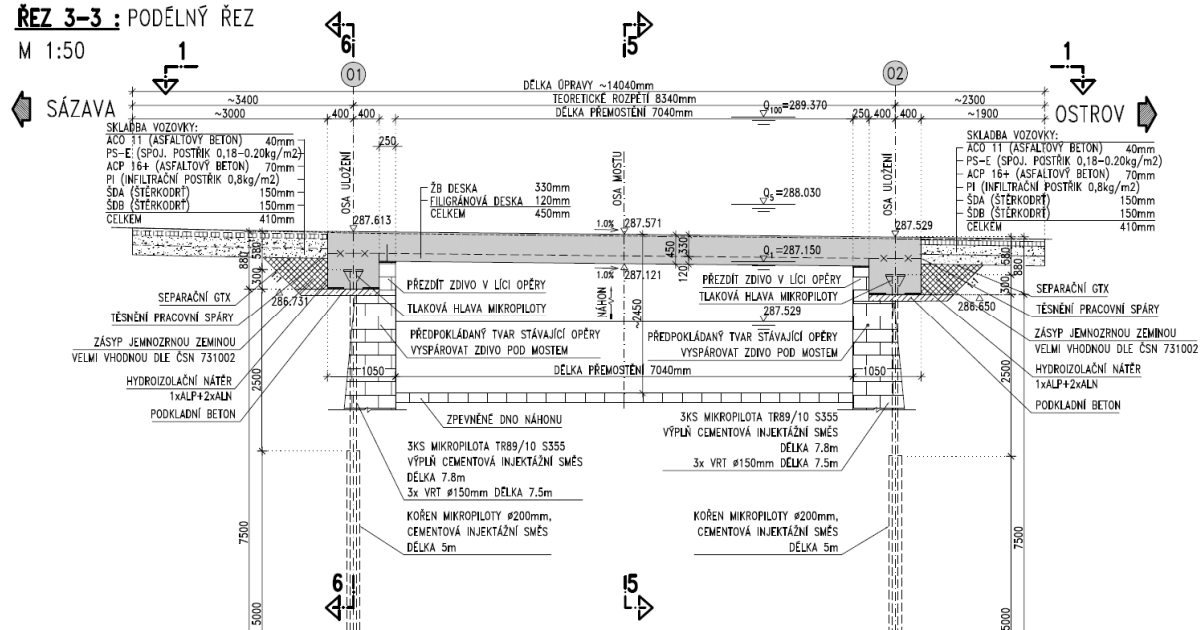
Projekt nového mostu byl vypracován v první polovině roku 2015. Navržen byl deskový železobetonový most s přímo pojížděnou mostovkou z vláknobetonu s následujícími parametry: teoretické rozpětí 8340 mm, délka přemostění 7040 mm, celková šířka mostu

včetně říms 4600 mm, šířka desky mostovky 4000 mm, volná šířka 3000 mm, tloušťka desky 450 mm. Konstrukce byla založena na dvou trojicích mikropilot délky 7,8 m (ocelové trubky TR89/10 S355 vyplněné cementovou injektážní směsí) s kořenem délky 5 m a průměrem 200 mm. Napojení desky mostu na mikropilotový základ bylo realizováno přes nadpodporový příčník průřezu 800x880 mm.

Pro statický výpočet dle ČSN EN 1992 byl uvažován model zatížení LM1, skupina pozemních komunikací 2 dle ČSN EN 1990. Přímo pojížděná železobetonová deska byla navržena jako prefamonolitická, skládající se z filigránového panelu ztraceného bednění tl. 120 mm vyztuženého hlavní nosnou výztuží 7x Ø25/bm a monolitické dobetonávky z vláknobetonu tl. 330 mm. Výztuž monolitické desky a příčníku do hloubky 100 mm pod horním povrchem byla opatřena povlakem z termoplastického povlakového prášku Thermofix KPE 03 v tloušťce min. 0,3 mm.

ŘEZ 3-3 : PODÉLNÝ ŘEZ

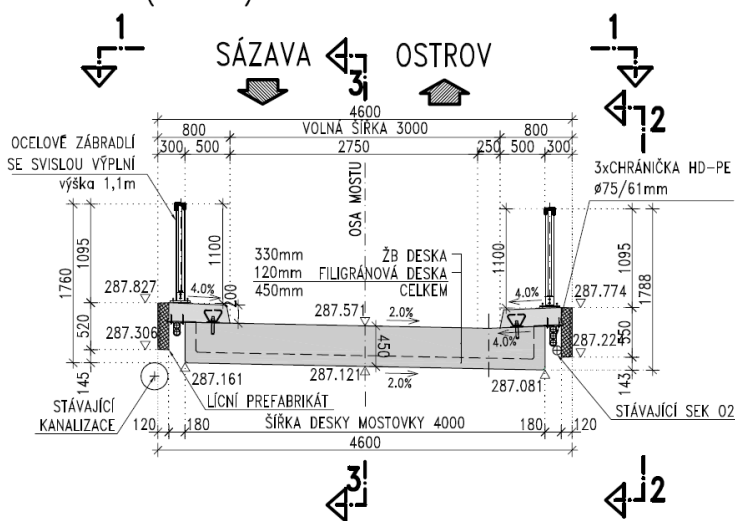
M 1:50



Obr. 3 Podélný řez navrženou konstrukcí nového mostu.

ŘEZ 5-5 : PŘÍČNÝ ŘEZ

M 1:50 (V POLI)



Obr. 4 Příčný řez navrženou konstrukcí nového mostu

Realizace projektu proběhla po zajištění financování na jaře roku 2017. Objednatelem bylo město Sázava, projektantem doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D., zhotovitelem firma SILMEX s.r.o. Po odstranění původní poškozené konstrukce proběhla betonáž mikropilot, vyspravení opěrných zdí, osazení filigránových panelů a jejich montážní podepření, dobednění nadpodporových příčníků a vyvázání výztuže.



Obr. 5 Vlevo celkový pohled na most před zhotovením monolitické dobetonávky z vláknobetonu. Vpravo detail výztuže, horní výztuž desky je opatřena ochranným termoplastickým povlakem.

Následovala betonáž monolitické části desky – přímo pojížděné mostovky z vláknobetonu, vyrovnaní povrchu a jeho zdrsnění tažením jutou (striáž).



Obr. 6 Vlevo vyrovnavání povrchu pomocí profilovaného prkna. Vpravo povrch čerstvého vláknobetonu po provedení striáže.

Po dokončení mostovky a nezbytné technologické přestávce byly vybetonovány monolitické římsy a připevněny lící římsové prefabrikáty, bylo provedeno propojení mostu s navazujícími komunikacemi a bylo osazeno zábradlí. Výplňové panely zábradlí z ultravysokohodnotného betonu (UHPC) dodala firma Skanska a.s. Panely byly vyvinuty v rámci projektu CESTI v letech 2014 – 2016 (užitný vzor č. 30027 registrovaný u Úřadu průmyslového vlastnictví) a jedná se o jejich druhou aplikaci (po lávce pro pěší přes Opatovický kanál v obci Čeperka zrealizované v roce 2016).

Most byl zkolaudován dne 9. 6. 2017. Z obrázků 7 a 8 je patrné, že bylo dosaženo vysoké kvality povrchu přímo pojížděné mostovky z vláknobetonu. Povrch je bez výraznějších nehomogenit a zcela bez trhlin. Drobné nehomogenity spolu se striáží zajišťují drsnost povrchu nezbytnou pro dosažení dostatečných protismykových vlastností.

Kontrola splnění požadavků TP260

V lednu 2017 byl vydán speciální předpis pro přímo pojižděné mosty pozemních komunikací TP260 [3]. Tento dokument nebyl k dispozici při vývoji technologie a zpracování projektu mostu v roce 2015. Dodatečně však byla provedena kontrola projektu a navržené technologie přímo pojižděné mostovky z vláknobetonu proti tomuto předpisu.

V prvním kroku byl most zatříděn do klasifikace podle TP260 jako **PPM III m; TC1; P50; TP260** (most skupiny III (obslužná místní komunikace), malý (plocha do 150 m²), s možností tahového namáhání pojižděné plochy u podpor (TC1), návrhová životnost 50 let, před dosažením životnosti proběhne překrytí stávající mostovky novou pojižděnou vrstvou (P)).

Dále bylo zkontrolováno dodržení požadavků, které předpis TP260 [3] definuje nově nebo přísněji oproti předpisu TKP18 [2]:

- *Množství cementu:* Požadováno je min. 350 kg/m³. Použitá směs obsahovala 425 kg/m³.
- *Kontrola smrštění:* Pro typ namáhání TC1 se požaduje rozdíl smrštění prefabrikované a monolitické části po 28 dnech max. 150 μm/m. Na zkušebních tělesech rozměru 100x100x500 mm odebraných při betonáži bylo zkouškou podle ČSN 73 1320 v laboratoři Katedry betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze stanoveno smrštění vláknobetonu po 28 dnech 289 μm/m. Výpočtem v programu CaS [5] založeném na výpočetním modelu B3 [6] byla pro tyto vzorky při uvažování relativní vlhkosti prostředí 50 % stanovena hodnota smrštění 273 μm/m. Tím byla ověřena shoda chování materiálu s modelem B3 a bylo možné pomocí programu CaS stanovit smrštění monolitické části desky mostu (hodnoty smrštění vzorku a reálné konstrukce se značně liší s ohledem na odlišný poměr průřezové plochy a obnaženého obvodu vystaveného vysychání). Výpočtem byla stanovena hodnota smrštění po 28 dnech 52 μm/m, která vyhovuje stanovenému požadavku.
- *Třída agresivity prostředí:* Požadována je odolnost vůči stupňům XC4, XD3, XF4, XM2. Použitý vláknobeton splňuje stupně XC4, XD3, XF4, XM3, je tedy vyhovující.
- *Chloridová propustnost:* Pro případ povlakované uhlíkové výztuže se požaduje difúzní součinitel prostupu chloridů betonem $D_{c,3650} < 2,5 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Výpočtem v programu CarboChlorCon [7] bylo pro použitý vláknobeton stanoveno $D = 3,3 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$. Tato hodnota je vyhovující, vyhověla by i pro nepovlakovanou výztuž.
- *Vodní součinitel:* Požadována je hodnota vodního součinitele max. 0,4. Použitá směs měla vodní součinitel přesně 0,4.
- *Kontrola šířky trhlin:* Pro typ namáhání TC1 se požaduje šířka trhliny přímo pojižděné vrstvy (PPV) od časté kombinace max. 0,15 mm. Výpočtem byl zjištěn podporový moment od časté kombinace 55,9 kNm/m, který je menší než moment na mezi vzniku trhlin 112,5 kNm/m. Trhliny tedy nevzniknou.
- *Minimální tloušťka PPV:* Požadována je tloušťka minimálně 130 mm. Monolitická dobetonávka měla tloušťku 330 mm.
- *Výztuž PPV na účinky smršťování:* Požadována je výztuž minimálně Ø12 á 150 mm v obou směrech. Deska byla při horním povrchu vyztužena pruty 7x Ø16/bm podélně a 7x Ø12/bm příčně. Vyztužení je vyhovující.
- *Římsy:* Požaduje se výška říms min. 150 mm (doporučeno 200 mm), pracovní spáry max. po 6 m. Výška říms byla 200 mm, maximální vzdálenost pracovních spár byla 5,2 m. Římsy jsou vyhovující.

Využitelnost technologie

Technologie přímo pojížděné mostovky z vláknobetonu je využitelná při výstavbě nebo rekonstrukci mostovek železobetonových mostů pozemních komunikací. Zvláště vhodná je pro deskové mosty menších rozpětí na nižších třídách pozemních komunikací, vhodná je i pro lávky pro pěší. Přes řadu technologických i ekonomických výhod není technologie PPM v Česku využívána, a to zejména kvůli prakticky nulovým zkušenostem s ní. Realizace vzorové stavby mostu Na Káčku přispěje k získání praktických zkušeností s touto technologií a umožní její větší rozšíření, výhledově i na stavby větších mostů

Ekonomické parametry

V porovnání s tradičním řešením s izolačním a obrusným souvrstvím bylo na vzorové stavbě mostu Na Káčku dosaženo následujících úspor (jednotkové ceny jsou uvedeny s DPH a jsou stanoveny jako běžné ceny u projektů obdobného rozsahu v čase realizace vzorového mostu):

- *Vynechání priméru a izolačního souvrství:* $792 \text{ Kč/m}^2 \times 37 \text{ m}^2 = 29\,300 \text{ Kč}$
- *Vynechání asfaltobetonového krytu, ložné vrstvy a litého asfaltu jako ochrany izolace:* $1111 \text{ Kč/m}^2 \times 37 \text{ m}^2 = 41\,107 \text{ Kč}$
- *Eliminace budoucích oprav asfaltobetonového krytu (v dalších 50 letech se uvažuje 2x výměna obrusné vrstvy):* $260 \text{ Kč/m}^2 \times 2 \times 37 \text{ m}^2 = 19\,240 \text{ Kč}$
- Zkrácení doby výstavby s ohledem na omezení provozu o 15 dnů. Při uvážení fixních nákladů zhotovitele na udržení stavby 10% ceny díla a délce výstavby 75 dní lze vyčíslit $2170 \text{ Kč/den} \times 15 \text{ dní} = 32\,550 \text{ Kč}$.

Naproti tomu vznikly následující náklady, které by při použití tradičního řešení nenastaly:

- *Opatření výztuže horního povrchu PPM termoplastickým povlakem:* Cena za povlakování výztuže byla 35 950 Kč.
- *Použití vláken Forta Ferro v množství 3 kg/m^3 betonu:* Jednotková cena za 1 m^3 betonu C35/45 bez DPH se zvýšila z 2190 Kč/m³ na 3250 Kč/m³, tj. při odběru 15 m^3 celkem o $(3250 - 2190) \times 15 \times 1,21 = 19\,239 \text{ Kč}$ s DPH.

Ve výsledku dosáhla úspora na dané stavbě 67 008 Kč s DPH, což při celkové ceně díla 1 626 814 Kč s DPH odpovídá úspoře 4,1 %. Podobnou úsporu lze očekávat i u jiných mostů obdobného typu. U jiných typů mostů může být ekonomická bilance odlišná v závislosti na podílu nákladů na realizaci mostovky k celkové ceně díla. Zkrácení výstavby se pak ekonomicky příznivě odrazí i na nákladech okolních subjektů (Sázavský ostrov, pořádání akcí na Ostrově). Tento vliv z důvodu neznalosti nákladů nebyl zahrnut, může ale být ještě vyšší než výše uvedený přínos.

Konstrukce bude dlouhodobě sledována, aby mohly být vyhodnoceny náklady na její údržbu, provoz a opravy a aby mohla být provedena analýza celkových nákladů životního cyklu konstrukce.

Závěrečná ustanovení

Tento protokol osvědčuje ověření a uplatnění technologie pro účely hodnocení výsledků výzkumných organizací a hodnocení výsledků ukončených programů podle platné metodiky Rady vlády pro výzkum, vývoj a inovace (RVVI). Nezakládá žádné právní ani jiné povinnosti níže podepsaných stran.

Protokol je vyhotoven ve 4 stejnopisech s platností originálu. Jeden obdrží zástupce autorského kolektivu, jeden zástupce uživatele technologie dva jsou určeny pro účel archivace a odevzdány tajemníkovi centra CESTI.

Za kolektiv autorů technologie, ČVUT v Praze:

doc. Ing. Pavel Ryjáček, Ph.D.

Podpis.....

V dne:.....

Za uživatele technologie, město Sázava:

Klára Škvorová

Podpis.....

V dne:.....

Manažerka projektu CESTI:

prof. Ing. Alena Kohoutková, CSc.

Podpis

V dne:.....

Literatura

- [1] Pospíšil, K.: Přímé pojízdné mostovky. 2003. Dostupný z [www](https://www.cdv.cz/file/clanek-primo-pojizdene-mostovky/):
<https://www.cdv.cz/file/clanek-primo-pojizdene-mostovky/>
- [2] Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací – Kapitola 18: Beton pro konstrukce. Ministerstvo dopravy ČR, Praha, 2005.
- [3] TP260: Přímé pojízdné mosty pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy ČR, Praha, 2017.
- [4] Bílý, P., Fládr, J., Ryjáček, P., Vodička, J.: Development of special fibre reinforced concrete for exposed concrete pavements on bridges. In: Proceedings of Fibre Concrete 2015 – Technology, Design, Application. Praha, 2015.
- [5] Vráblík, L.: CaS – Výpočetní program pro stanovení účinků a parametrů smršťování a dotvarování betonu dle modelu B3. 2006. Dostupný z [www](http://people.fsv.cvut.cz/www/vrabluk/Veda.htm):
<http://people.fsv.cvut.cz/www/vrabluk/Veda.htm>
- [6] Bažant, Z. P., Baweja, S.: Creep and Shrinkage Prediction Model for Analysis and Design of Concrete Structures: Model B3. In Adam Neville Symposium: Creep and Shrinkage – Structural Design Effects. ACI SP-194, A.Al-Manaseer, ed., ACI. Farmington Hills, Michigan, USA, 2000.
- [7] Šmilauer, V., Pohl, K.: CarboChlorCon 1.0 – software for concrete carbonation and chloride ingress. 2014.
Dostupný z [www](https://mech.fsv.cvut.cz/~smilauer/index.php?id=software): <https://mech.fsv.cvut.cz/~smilauer/index.php?id=software>