

MIMOŘÁDNÉ POUŽITÍ DRÁTKOBETONU PŘI ROZŠIŘOVÁNÍ DÁLNIČNÍHO MOSTU PŘES SÁZAVU U HVĚZDONIC

EXTRAORDINARY APPLICATION OF STEEL-FIBRE-REINFORCED CONCRETE FOR WIDENING OF MOTORWAY BRIDGE OVER THE SÁZAVA RIVER NEAR HVĚZDONICE

TEXT Josef Fládr, Vladimír Brejcha, Petr Bílý

Drátkobeton se v dnešní době nejvíce používá pro nenosné konstrukce, jako jsou např. podlahy. Jeho využití pro nosné konstrukční prvky je stále minimální, což je způsobeno hlavně absencí norem pro navrhování. Přesto se najdou výjimky, které z tohoto standardu vybočují. Jednou z nich je rekonstrukce dálničního mostu u Hvězdonic, kde byl drátkobeton použit při opravě mostovky, což je svým objemem a významností stavby jedna z největších aplikací drátkobetonu v České republice.

Current use of the steel-fibre-reinforced concrete remains largely restricted to non-load-bearing structures such as floors. Applications in load-bearing elements are rare, mainly due to the lack of standards for design. Nevertheless, there are exceptions. One of them was the reconstruction of a motorway bridge near Hvězdovice, where steel-fibre-reinforced concrete was used for renovation of the bridge deck. It is one of the largest applications of this material in the Czech Republic in terms of both volume and importance.

Projekt mostu	Pragoprojekt
Zhotovitel mostu	Stavby silnic a železnic
Výstavba mostu	1970 až 1977
Zhotovitel rekonstrukce	Freyssinet CS, a. s.
Technologická podpora	Fakulta stavební ČVUT v Praze Katedra betonových a zděných konstrukcí
Dodavatel betonu	Skanska Transbeton, s. r. o. závod Praha-Chodov
Dodavatel drátků do betonu	KrampeHarex CZ, s. r. o.
Technický dozor investora	Vladimír Brejcha (Ipsium CZ, s. r. o.)
Rekonstrukce	2017 až 2020 (předpoklad)

Na trase dálnice D1 v km 29,222–29,684 se u Hvězdonic nachází most s ev. č. D1-034. Jedná se o nejdelší dálniční most mezi Brnem a Prahou o celkové délce 462 m, který je tvořen dvěma samostatnými konstrukcemi, z nichž každá je pro jeden jízdní směr (obr. 1). Nosným systémem je dvoutrámový spojitý nosník z monolitického předpjatého betonu bez mezilehlých příčníků o devíti polích (42 + 7 × 54 + 42 m) a šířce 2 × 12,75 m, který se nachází ve výšce až 25 m nad hladinou řeky Sázavy. Most je veden směrově v levostranném oblouku a výškově v údolnicovém oblouku, mostovka má 2% příčný spád.

Most je uložen na podpěrách pomocí kalotových ložisek. Spodní stavba je monolitická ze železobetonu. Opěry jsou stěnové, prosypané s rovnoběžnými křídly a pilíře mají tvar pís-mene V. Založení je kombinované –

hlubinné (vrtané a předražené piloty, studně) a plošné. Na mostě je umístěna oboustranná protihluková stěna.

Konstrukce byla zhotovena společností Stavby silnic a železnic v letech 1970 až 1977 nákladem tehdejších 113 milionů Kčs podle projektu zpracovaného Pragoprojektem. Při stavbě byly v Československu poprvé použity výsuvné příhradové ocelové skruže.

Na základě výsledků diagnostiky bylo v roce 2017 rozhodnuto o provedení velké rekonstrukce mostu spočívající v sanaci spodní stavby, výměně ložisek, statickém zesílení nosné konstrukce pomocí volných kabelů a kompletní výměně mostního svršku. Zásahy byly provedeny v rámci rekonstrukce dálnice D1 – úsek 02, exit 21 Mirošovice – exit 29 Hvězdovice.

Projekt rekonstrukce předpokládal obroušení stávající mostovky o 80 až 120 mm a zhotovení sprážené zesi-



1

lující desky o tloušťce 120 mm. Protože se jednalo o spojení 40 let starého betonu mostovky s betonem novým, bylo nutno se vypořádat se vznikem tahových napětí při smršťování nového betonu. Z toho důvodu bylo se souhlasem ŘSD rozhodnuto využít pro zesílení mostovky příznivých vlastností drátkobetonu.

Bylo nutné navrhnout optimální směs, vyřešit dokonalé rozptýlení drátků ve směsi a dopravu a čerpání betonu. Drátkobeton byl vybrán i proto, že v nové desce v oblasti nad podpěrami bylo nutné v nově betonované vrstvě zajistit příčné předpětí pomocí monostrandů.

Výhody použití drátkobetonu

Drátkobeton je materiál, který má cementovou matici ztuženou krátkými drátky, které by měly být všesměrně orientované a rovnoměrně rozptýlené. Ocel na rozdíl od běžného betonu dokáže velmi dobře přenášet tahová namáhání, a pokud jsou ocelové drátky v cementové matici dobře zakotveny, dojde k zvýšení tahové pevnosti celého kompozitu. Kromě zvýšení tahové pevnosti se změní i způsob chování materiálu z křehkého na houževnatý. Ocelové drátky dále omezují velikost smršťování způsobeného vysycháním, protože ve struktuře drátkobetonu působí jako tuhé prvky.

Všechny výše popsané vlastnosti lze dobře využít při spojování betonů různého stáří. Ze statického hlediska je vhodné, aby obě vrstvy betonu spolupůsobily a při zatížení se chovaly jako jeden monolitický prvek. To je možné pouze za předpokladu přenosu smykového napětí mezi vrstvou starého a nového betonu. Přenos smykového napětí závisí na tahové pevnosti nového betonu, množství spřahovací

výztuže a drsnosti styčné spáry. Zvýšení tahové pevnosti nové vrstvy pomocí drátků je velmi výhodné.

Při navrhování konstrukcí využívajících spřažení starého a nového betonu je nutné zohlednit smršťování nové vrstvy. Smršťování je fyzikálně-chemický proces, při kterém dochází ke zmenšení objemu betonu. Intenzita smršťování je nejvyšší v raných fázích a s časem klesá. Zhruba po 30 až 60 dnech se dle okolního prostředí (jeho teploty a vlhkosti) celý proces prakticky zastaví nebo je eliminován jinými nesilovými účinky. Po realizaci nadbetonávky na starou betonovou vrstvu dojde tedy ke vzniku přídatných tahových namáhání způsobených právě smršťováním, protože u staré vrstvy konstrukce již smršťování proběhlo, ale v nové vrstvě právě probíhá. Tloušťka původní betonové vrstvy bývá až na výjimky výrazně větší, než je tloušťka nadbetonávky, takže nová vrstva není schopna vyvolaným tahovým namáháním původní beton nijak deformovat, a trhliny tak vzniknou právě v nové vrstvě, která navíc není dostatečně vyzrálá a nedosáhla svých finálních pevnostních charakteristik. Využití drátkobetonu se pozitivně uplatní i v tomto případě, protože drátky sníží hodnotu smršťování, a tím i velikost přídatného tahového namáhání.

Koroze drátkobetonu

Při návrhu drátkobetonových konstrukcí je často předmětem debat otázka koroze rozptýlené výztuže a jejího vlivu na trvanlivost materiálu. Ke korozi dochází za předpokladu, že je ocelový prvek v kontaktu s plynným kyslíkem, že se v jeho okolí nachází dostatek vlhkosti (relativní vlhkosti vyšší než 50 %), a především když má

1 Dálniční most Hvězdonice (zdroj: [2])

1 Hvězdonice Motorway Bridge (source: [2])

okolní prostředí $\text{pH} < 9,5$. Poslední bod je stěžejní pro použití oceli v betonu, protože nově vyrobený beton má podle složení obvykle pH mezi 12 až 13. Tato vysoká hodnota pH brání korozi oceli, i když jsou splněny ostatní podmínky pro vznik koroze (přítomnost kyslíku a dostatečná vlhkost).

Ochrana proti korozi vysokou hodnotou pH betonu však netrvá po celou dobu životnosti konstrukce, protože zemská atmosféra obsahuje oxid uhličitý, který proniká do pórové struktury betonu postupně od povrchu do jeho hlubších vrstev a za přítomnosti vody reaguje s portlanditem obsaženým v betonu za vzniku uhličitanu vápenatého (karbonataci betonu), a tím dochází ke snížení pH krycí vrstvy. Pokles pH betonu je však velice pomalý, u správně navržené a provedené konstrukce probíhá po desítky let. Z toho důvodu se u každé železobetonové konstrukce navrhuje krycí vrstva, která oddaluje pokles pH kolem ocelové výztuže na 50 až 100 let dle typu konstrukce a klimatických podmínek, kterým je konstrukce vystavena.

V případě koroze drátků jsou chemické procesy stejné jako u koroze běžné ocelové výztuže, avšak s tím rozdílem, že se ocelové drátky rovnoměrně rozptýlené po objemu drátkobetonové konstrukce nacházejí i v oblasti krycí vrstvy. Drátky, které jsou v oblasti krycí vrstvy, začnou korodovat ještě před uplynutím plánované životnosti konstrukce. Tato skutečnost však nijak nesnižuje životnost konstrukce, protože funkcí krycí

vrstvy je pouze chránit konstrukci, a nijak se tedy nezapočítává do statického působení.

Případná korozí drátků na povrchu drátkobetonu nemá vliv na statickou funkci ani životnost konstrukce a jedná se pouze o estetickou vadu. V případě řešené konstrukce bude navíc vrstva drátkobetonu překryta souvrstvím vozovky, takže povrchová korozí, pokud k ní vůbec dojde, nebude mít ani negativní dopady na estetický dojem.

Realizace drátkobetonové nadbetonávky

Použití drátkobetonu při rekonstrukci si vyžádalo řadu porovnávacích zkoušek mezi standardním řešením z prostého betonu a navrhovaným řešením z drátkobetonu. Využití drátkobetonu během rekonstrukce nosné části dálničního mostu bylo průkopnické a ve svém objemu i největší, které bylo v ČR dosud realizováno. Během vlastní realizace bylo nutné vyřešit následující problémy:

- navrhnout recepturu drátkobetonu tak, aby byl zařazen do pevnostní třídy C30/37 - XF4 dle požadavku ŘSD,
- docílit rovnoměrného rozptýlení drátků a jejich všesměrné orientace během výroby, transportu a ukládání drátkobetonu,
- drátkobeton vyrábět efektivně v množství několika desítek m³ denně.

Tloušťka drátkobetonové desky byla cca 120 mm a byla ukládána na odbouranou část nosné konstrukce. Po odbourání části staré konstrukce byl celý obnažený povrch omyt tlakovou vodou a osazen spřahovacími trny, aby se zlepšily podmínky spolupůsobení mezi starým a novým betonem, jak bylo popsáno výše. Spřahovací trny byly do původní mostovky vlepeny pomocí chemické kotvy. Celkové ukládané množství drátkobetonu převýšilo 70 m³ denně.

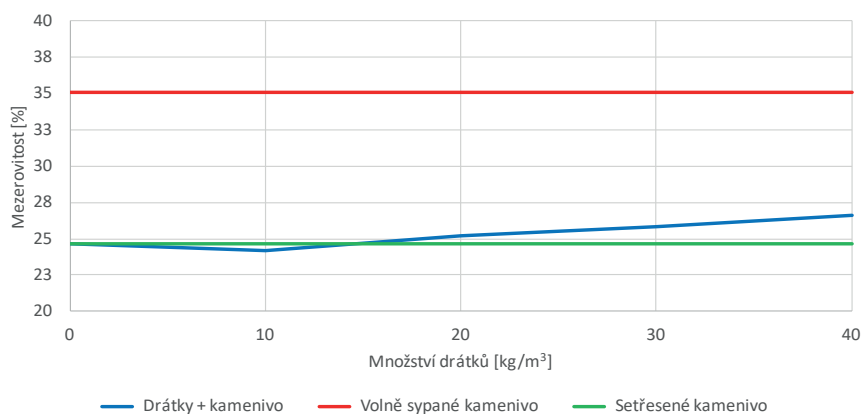
Návrh receptury drátkobetonu

Návrh receptury vycházel ze surovin používaných dodavatelem betonu, kterým byla společnost Skanska Transbeton závod Praha-Chodov. Receptura byla navržena podle požadavků



2

Množství drátků / mezerovitost



3



4



5

6





7

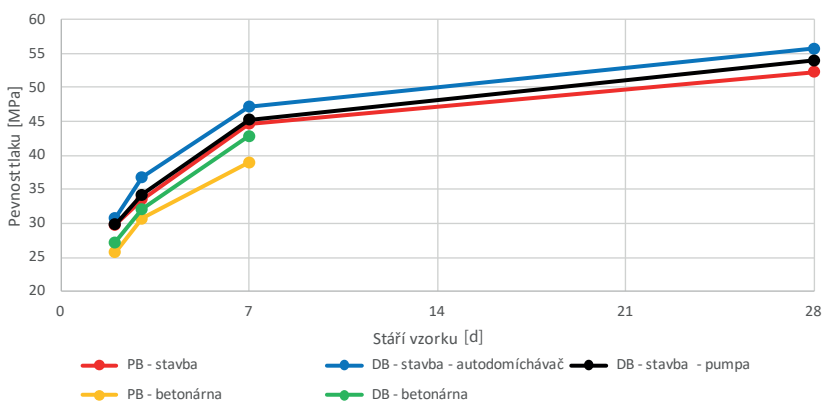


8

2 Příprava výztuže před uložením betonu
 3 Vliv množství drátků na mezerovitost kameniva
 4 Složený rozduřovač
 5 Přidávání drátků do autodomíchávače
 6 Ukládání čerstvého betonu
 7 Magnetický separátor drátků
 8 Očištěné drátky zachycené separátorem
 9 Vývoj tlakové pevnosti v čase
 10 Porovnání pevnosti v tahu za ohybu po 28 dnech

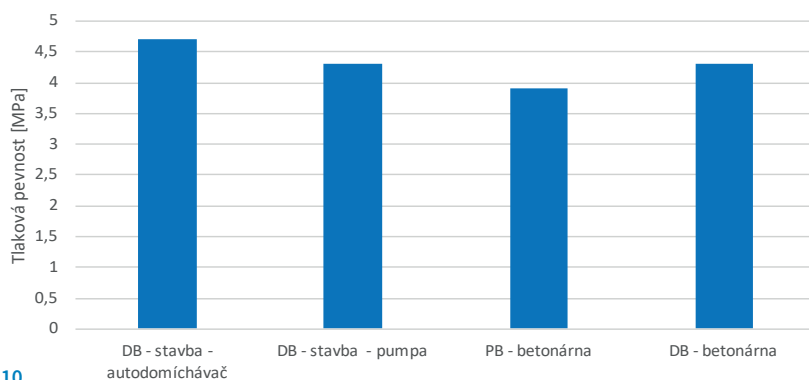
2 Preparation of reinforcement before concreting
 3 Influence of the amount of steel fibres on voids content of the aggregate
 4 Folded fibre separator
 5 Addition of fibres into the mixer truck
 6 Placing of fresh concrete
 7 Magnetic fibre separator
 8 Cleaned fibres collected in the separator
 9 Development of compressive strength with time
 10 Comparison of flexural tensile strength at the age of 28 days

Pevnost v tlaku



9

Pevnost v tahu za ohybu



10

dvakrát na pevnostní třídu a vliv prostředí, přesné označení použitého betonu bylo C30/37 - X0, XC1-4, XD1-3, XA1-3, XF4. Složení kameniva a písku bylo upraveno podle vlivu drátků na nakypření betonu. Výsledky ukazují graf na obr. 3.

Pro modernizaci mostu byly použity drátky KrampeHarex DE 3/0,8 v dávce 40 kg/m³ (délka drátků 35 mm, Ø 0,75 mm, tahová pevnost oceli

1 200 MPa). Volba drátků vzešla z nejlepšího poměru ceny a efektivity. Hmotnostní dávka drátků 40 kg/m³ nepůsobila výrazný nárůst mezerovitosti kameniva, celkové navýšení bylo o 8 %.

Výroba drátkobetonu, doprava a ukládání

Betonárna na Chodově, kde výroba probíhala, disponuje hřídelovou míchačkou Stetter BHS o objemu 2 m³,

kteřá není upravena pro dávkování drátků. V betonárně probíhal běžný provoz, takže kromě betonů pro rekonstrukci dálničního mostu byly vyráběny i jiné betony. Kdyby byly drátky přidávány rovnou do míchačky, bylo by nutné míchačku stále čistit, aby se zbytky drátků nedostávaly i do betonu pro jiné zakázky. Z těchto důvodů byly drátky přidávány až do autodomíchávače pomocí rozduřovače zapůjčeného firmou KrampeHarex CZ (obr. 4 a 5).

Doprava čerstvého betonu na stavbu probíhala pomocí autodomíchávačů o velikosti bubnu 8 m³. Aby byl beton co nejvíce homogenní, byly tyto domíchávače plněny pouze na 6 m³. Realizované porovnávací zkoušky homogenity betonů v betonárně a na stavbě prokázaly správnost tohoto rozhodnutí, protože vlastnosti čerstvého drátkobetonu se během přepravy, která trvala 30 min, prakticky nezměnily.

Drátkobeton byl na stavbě ukládán pomocí pumpy, následně byl rozprostírán hráběmi a poté vibrován tak, aby nedocházelo k segregaci drátků ke spodnímu povrchu. Finální povrch drátkobetonu byl upraven vibrační lištou Dynapac, která se pohybovala po vodicích trubkách (obr. 6).

Zkoušky čerstvého drátkobetonu

Všechny realizované zkoušky drátkobetonu byly prováděny současně i na vzorcích z běžného betonu (označení PB), aby bylo možné po-

rovnat použití drátkobetonu (označení DB) a klasické řešení. U čerstvého drátkobetonu byla sledována konzistence a homogenita, tedy rovnoměrnost rozložení drátků. Testy probíhaly jak v betonárně, tak i na stavbě za pumpou, aby byly zohledněny všechny vlivy ukládání betonu.

Homogenita čerstvého drátkobetonu byla zjišťována pomocí magnetického separátoru, jehož stěny jsou obloženy silným magnetem, který během protékání čerstvého drátkobetonu zachytí všechny ocelové drátky, které se následně omyjí a zvaží. Ze zvážené hmotnosti drátků a definovaného objemu drátkobetonu lze stanovit stupeň ztužení a porovnat s navrženou recepturou. Definovaný objem drátkobetonu (v našem případě 10 l) se uložil do kýble, následně se rozředil pomocí přidané vody, zamíchal se a poté se nalil do násypky separátoru (obr. 7).

Během výroby drátkobetonu se nelišily naměřené dávky drátků od navržené receptury o více než 5 %, což je považováno za přípustnou chybu.

Zkoušky ztvrdlého drátkobetonu

Při výrobě byl odebírán beton pro normová zkušební tělesa, a to krychle o hraně 150 mm pro stanovení objemové hmotnosti a tlakové pevnosti a trámce o velikosti 100 × 100 × 400 mm pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu. Beton pro zkušební tělesa byl odebírán opět v betonárně, z autodomíhače po příjezdu na stavbu a z pumpy.

Nejsledovanějším parametrem byla tlaková pevnost, u níž byl monitorován i detailní vývoj v čase z důvodu možného zatížení konstrukce. V grafu na obr. 9 jsou vidět

naměřené výsledky z výrobní přípravy rekonstrukce. Nejdůležitější je porovnání červené křivky „PB – stavba – pumpa“, tedy vzorků z prostého betonu vyrobených na stavbě (běžně používané řešení – referenční vzorky), s černou křivkou „DB – stavba – pumpa“, tedy vzorků vyrobených z drátkobetonu odebraného na stavbě za čerpací pumpou (beton použitý pro modernizaci mostního objektu). Obě křivky dosahují prakticky stejných hodnot, čímž se potvrzuje, že přidáním drátků nedochází k nakypření betonu. Zjištěné výsledky zároveň ukazují, že použitý drátkobeton má stejné tlakové pevnosti, jako by měl běžně používaný beton.

Při porovnání černé a modré křivky, tedy drátkobetonu získaného z pumpy a drátkobetonu získaného z autodomíhače, je možno pozorovat malý rozdíl svědčící o tom, že průchod drátkobetonu čerpadlem mírně zhoršuje jeho vlastnosti, ale pouze cca o 5 %.

Zkušební trámce pro stanovení pevnosti v tahu za ohybu byly zkoušeny čtyřbodovým ohybem bez zářezu. Průměrná pevnost po 28 dnech na vzorcích betonu odebraného na stavbě za čerpadlem (tj. odpovídajících materiálu uloženému do konstrukce) činila 4,3 MPa a přesahovala pevnost prostého betonu cca o 10 % (tyto vzorky byly vyráběny pouze na betonárně, dosažená pevnost byla 4 MPa). Se zvýšením tlakové pevnosti došlo současně i ke změně charakteru porušení, kdy z křehkého materiálu vznikl materiál houževnatý.

Byly provedeny též zkoušky odolnosti povrchu drátkobetonu odebraného na stavbě za čerpadlem proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek metodou C. Zkoušky byly provedeny na povrchu válců Ø 150 mm. Zkušební tělesa byla zatěžována 115 cykly a každých 25 cyklů byla zjištěna hodnota odpadu z povrchu válce. Celková hodnota odpadu na konci zkoušky byla v průměru 580 g/m². Drátkobeton tak bezpečně splnil požadavek TKP 18 [1], který činí 1 000 g/m² po 75 cyklech.

Poslední realizovanou zkouškou bylo měření odtrhové síly mezi původním a novým betonem. Tato zkouška byla opět provedena pro prostý beton a drátkobeton. Pro zkoušku byly zhotoveny dvě testovací desky (pro každý materiál jedna) o rozměru cca 1 × 1 m a ve stáří sedm dnů byla měřena soudržnost mezi oběma vrstvami. Drátkobeton dosáhl soudržnosti 1,01 MPa a prostý beton 1,18 MPa, což bylo více, ale rozdíl byl opět minimální. Naměřené hodnoty byly vyšší, než byl požadavek projektanta.

Závěr

Využití drátkobetonu během modernizace mostního objektu významnou měrou pomohlo k eliminaci problémů vznikajících během spojování betonů různého stáří, a to hlavně výrazným snížením smršťování nově betonované vrstvy a zvýšením tahových vlastností vrstvy nové (byla zjištěna tahová pevnost až 6,9 MPa).

Použitím drátkobetonu se změnil charakter porušení betonu nové vrstvy z obecně křehkého na houževnatý. Zkoušky tlakových pevností a odolnosti proti CHRL neprokázaly horší vlastnosti, než kterých by dosáhl běžný beton.

Zdráného výsledku bylo dosaženo díky spolupráci všech partnerů výstavby, kteří se nebáli tuto technologii využít a pomáhat při její realizaci. Věříme, že tento pilotní projekt najde další následovníky, i přestože legislativa pro vláknobeton za legislativou pro běžné betony zatím pokulhává.

Tento příspěvek byl připraven díky podpoře Studentské grantové soutěže (SGS), projekt SGS20/109/OHK1/2T/11 měl název Zkušební metody a aplikace cementových kompozitů. Výzkum a vývoj drátkobetonu probíhal částečně za podpory projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI) řešeného v rámci programu Centra kompetence TAČR č. TE01020168.



Ing. Josef Fládr, Ph.D.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra betonových a zděných konstrukcí
josef.fladr@fsv.cvut.cz



Ing. Vladimír Brejcha
SMP CZ, a. s.
& Ipsum CZ, s. r. o.
brejcha@smp.cz



Ing. Petr Bílý, Ph.D.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Katedra betonových a zděných konstrukcí
petr.bily@fsv.cvut.cz

Zdroj:

- [1] Technické podmínky (TKP 18). *Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních konstrukcí – Kapitola 18 – Betonové konstrukce a mosty*. Praha: Ministerstvo dopravy, aktualizována k datu 15. 1. 2016.
- [2] ZÁZVORKA, P. S mostem ve znaku. *Stavebnictví*. 2010, č. 9, str. 71. EXPO DATA, spol. s.r.o. Brno, 2010. ISSN 1802-2030.