

# PRAKTICKÉ POUŽITÍ VLÁKNOBETONU ■ FIBRE CONCRETE IN PRACTICE

Jan Vodička, Vladimír Veselý, Karel Kolář,  
Jiří Krátký

Vláknobeton, jako specifický stavební materiál, je zkoumán a využíván ve světě již po několik desetiletí a tradice výzkumu, vývoje a použití je dlouhá i v ČR. Příkladem uplatnění výsledků dlouhodobého výzkumu vláknobetonu v praxi je náhrada klasické výztuže železobetonových trub ve výrobně prefabrikátů. ■ *Fibre concrete as a specific building material has been researched and used for several decades in the world and the tradition of its research, development and usage is also long in the Czech Republic. The long-term research of fibre concrete resulted for example in the replacement of the classic reinforcement in prefabricated tubes.*

Betonové vibrolisované trouby pro odvádění splaškových vod jsou vyráběny ve dvou variantách. Jednak z prostého betonu a jednak z betonu vyztuženého. Pro výrobu vyztužených trub se používá výztužný armokoš, tvořený spirálovitě stočeným prutem na celou délku prvku, jehož tvar je v podélném směru zafixován po obvodu bodově přivařenými podélnými pruty.

Armokoše jsou vyráběny na bodové svářečce (obr. 1) a vlastní výroba je poměrně pracná.

Profily trub 300 až 1 200 mm se vyztužují jednoduchým armokošem umístěným uprostřed průřezu, profily 1 400 až 1 600 mm se vyztužují zdvojeným armokošem tvořeným

dvěma spirálami umístěnými při vnějším a vnitřním líci prvku (obr. 2).

Při použití jednoduchého armokoše, umístěného uprostřed průřezu trouby, nedojde ke zlepšení únosnosti trouby, je však zajištěna spolehlivá manipulovatelnost i v případě porušení trouby (trouba se nerozpadne na samostatné části). Trouby vyztužené zdvojeným armokošem vykazují oproti troubám z prostého betonu vyšší únosnost a lze je použít pro trubní vedení ve větších hloubkách.

Cílem projektu bylo ověřit možnost nahrazení výše uvedené způsobu vyztužování betonových trub použitím vláknobetonu, vyráběného přímo na mísicím jádře.

Pro posouzení této možnosti byl zvolen jasně definovaný a měřitelný parametr – únosnost trouby ve vrcholovém tlaku.

Obr. 1 Bodová svářečka ■ Fig. 1 Spot welder

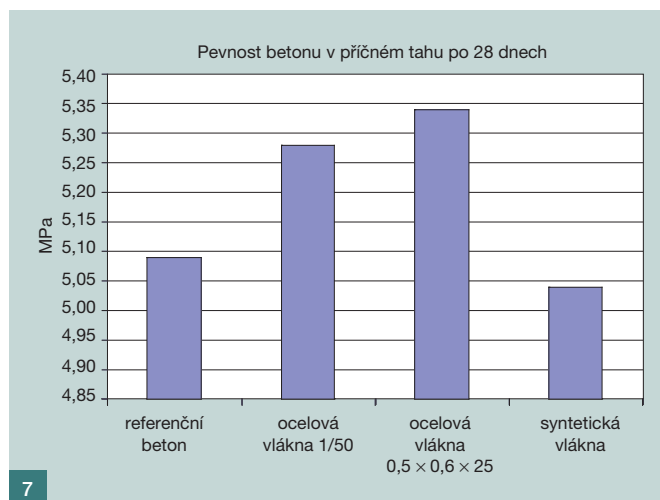
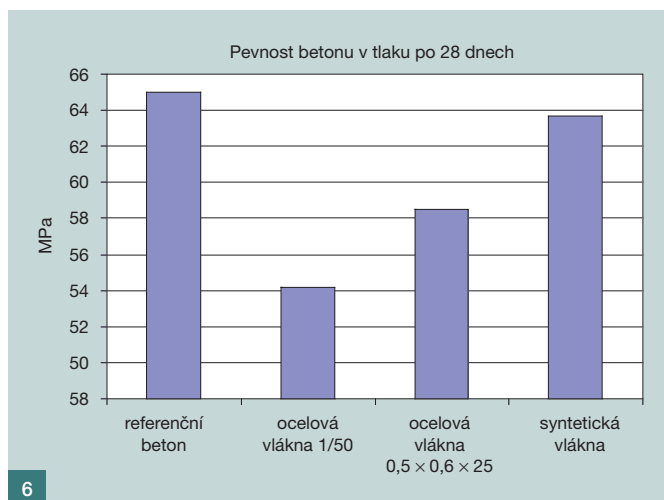
Obr. 2 Detail dvojitého armokoše ■ Fig. 2 Double reinforcement in tubes – detail

Obr. 3 Ocelová vlákna 0,4 × 0,6 × 25 mm ■ Fig. 3 Steel fibres 0,4 × 0,6 × 25 mm

Obr. 4 Ocelová vlákna 1/50 mm ■ Fig. 4 Steel fibres 1/50 mm

Obr. 5 Syntetická vlákna – 55 mm ■ Fig. 5 Synthetic fibres – 55 mm





## PROJEKT

Realizace projektu náhrady klasické výztuže železobetonových trub vlákny byla rozdělena do dílčích etap:

- volba vhodných vláken
- ověření vlastností betonu
- ověření výroby, dopravy a ukládání čerstvého vláknobetonu
- ověření vlastností výrobku

## Volba vhodných vláken

Pro volbu vhodných vláken posloužily dlouhodobé zkušenosti z testů prováděných na pracovišti autorů článku. Pro úvodní zkoušky byly vybrány dva typy ocelových vláken, obdélníkového průřezu  $0,4 \times 0,6 \times 25$  mm (obr. 3) a kruhového průřezu průměru 1 mm a délky 50 mm (obr. 4), a jeden typ vláken syntetických ve svazcích o délce 55 mm (obr. 5).

## Ověření vlastností betonu

Pro ověřování vlastností betonu byl zvolen druh C35/45, XF4, XC0,  $D_{max}$  16, Cl 0,1, který se pro zkoumané výrobky používá. Beton je vyráběn v zavhlé konzistenci (index ztuhnutí 1,5 až 1,6).

Pro zkoušky byla vyrobena referenční záměs z prostého betonu a záměsi s vlákny. Dávky vláken byly zvoleny na úrovni objemového ztužení struktury kompozita vlákny  $\rho_{V,f} = 0,5$  %. Tato hodnota je považována za minimální pro dosažení lepších vlastností betonu, zejména pevnosti v tahu [1]. V případě ocelových vláken byla zvolena dávka  $40 \text{ kg/m}^3$  a syntetická vlákna byla dávkována v množství  $4,6 \text{ kg/m}^3$ .

Výsledky zkoušek betonu a vláknobetonu v tlaku jsou uvedeny na obr. 6, v příčném tahu na obr. 7.

Nižší pevnost betonu s vlákny v tlaku byla zapříčiněna obtížnější ztuhitelností zkušebních těles oproti tělesům z prostého betonu (jedná se o zavhlou směs). Pevnost vláknobetonu s ocelovými vlákny v příčném tahu byla poněkud lepší než u prostého betonu, což bylo očekáváno. U vláknobetonu se syntetickými vlákny byla pevnost v příčném tahu nižší, pravděpodobně z důvodu obtížnějšího kotvení těchto vláken v zavhlé betonové směsi.

Na základě získaných výsledků nebyl vyloučen žádný z typů zvolených vláken z další zkoušky na výrobcích.

## Ověření výroby, dopravy a ukládání vláknobetonu

Postup výroby vláknobetonů byl volen tak, aby byl získán pokud možno homogenní čerstvý vláknobeton. Doba míchání byla prodloužena, ocelová vlákna byla dávkována jako poslední ze složek. Syntetická vlákna byla do míchačky dáv-

Obr. 6 Pevnost betonu v tlaku zjištěná na krychlicích o hraně 150 mm po 28 dnech ■ Fig. 6 Compressive strength of concrete on cubes  $150 \times 150 \times 150$  mm at 28 days

Obr. 7 Pevnost betonu v příčném tahu zjištěná na krychlicích o hraně 150 mm po 28 dnech ■ Fig. 7 Splitting tensile strength of concrete on cubes  $150 \times 150 \times 150$  mm at 28 days

Obr. 8 Sestava zkoušky pevnosti trub ve vrcholovém tlaku ■ Fig. 8 Strength test on upright tubes

Obr. 9 Charakteristické porušení dílce pod břemenem ■ Fig. 9 Typical defects of the element under the loading burden

Obr. 10 Průměrná naměřená maximální síla  $F$  [kN] na mezi vzniku trhlin, a) světlost 600 mm, b) světlost 1 400 mm ■ Fig. 10 The average ascertained maximum strength  $F$  [kN] on the point of crack development – inner diameter, a) 600 mm, b) 1400 mm

kována po kamenivu, aby došlo k lepšímu rozvolnění a poté byly nadávkovány zbylé složky betonu.

Při vlastní výrobě dílců byla sledována doprava betonu a finální vzhled výrobků.

Při dopravě do formy byl beton nejprve dvakrát přesypáván (z míchačky do dopravního koše a z dopravního koše do zásobníku vytvářecího stroje) a poté nasypán do formy (největší výška nasypávání je 2,5 m – výška trouby). Při těchto krocích nedocházelo k vytváření shluků vláknobetonu ani k ucpávání hrdel násypek.

Výrobky s vlákny vykazovaly shodné vlastnosti povrchu s doposud vyráběnými troubami.

## Ověření vlastností výrobku

Pro ověření výroby, dopravy a ztuhnutí vláknobetonu ve formě a pro zkoušky vlastností konečných výrobků bylo vyrobeno pět dvojic trub o **světlosti 600 mm** z prostého betonu, vyztuženého betonu s jednoduchým armokošem a z vláknobetonu s použitím všech tří uvedených typů vláken.

Z výrobků určených ke zkoušce únosnosti ve vrcholovém tlaku byly vyříznutím zhotoveny segmenty o délce 1 m a ty byly po 28 dnech podrobeny zatěžování (obr. 8 a 9).

Při zatěžovací zkoušce byla měřena mezní síla v lisu, a to na mezi vzniku trhlin a na mezi únosnosti po vzniku trhliny, vždy na dvou segmentech z příslušného druhu betonu.

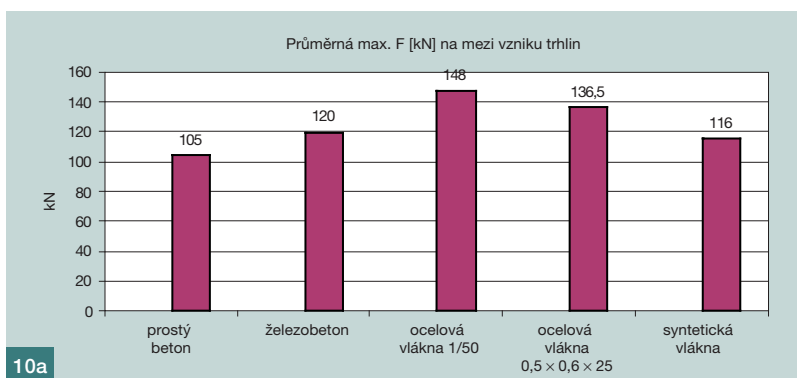
Výsledek testu je patrný na obr. 10a. Betonové trouby s ocelovými vlákny vykazovaly vyšší únosnost na mezi vzniku trhlin než trouby vyztužené jednoduchým armokošem. To je zapříčiněno rovnoměrným spolupůsobením vláken, rozptýlených po celém průřezu, oproti jednoduchému armokoši umístěnému uprostřed průřezu. Betonové trouby se syntetickými vlákny vykazovaly únosnost srovnatelnou s troubami vyztuženými jednoduchým armokošem, což bylo způ-



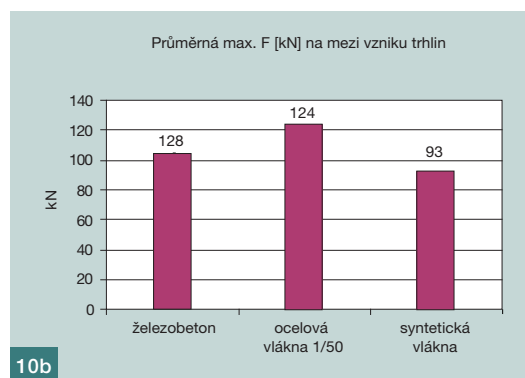
8



9



10a



10b

sobeno jejich menší soudržností v zavhlé betonové směsi.

S ohledem na výsledky testů na troubách menšího průměru byla ze zkoušek na troubách o **světlosti 1 400 mm** s dvojitým armokošem vyloučena ocelová vlákna obdélníkového průřezu (obr. 3). Zároveň nebyly vyrobeny trouby z prostého betonu, protože se v této variantě nepoužívají.

Pro zkoušky konečných vlastností trub byly připraveny tři varianty trub, a to ze železového betonu (vyztužené dvojitým armokošem), z vláknobetonu s ocelovými vlákny kruhového průřezu a se syntetickými vlákny. Výrobky byly zkoušeny stejným způsobem jako v předešlém případě (obr. 10b).

Trouby s ocelovými vlákny vykazovaly prakticky stejnou únosnost na mezi vzniku trhlin jako trouby s dvojitým armokošem. Dvojitý armokoš v nich již působil stejně, jako rovnoměrně rozptýlená ocelová vlákna. Trouby se syntetickými vlákny vykazovaly únosnost podstatně nižší (důvody byly stejné jako v případě trub o světlosti 600 mm). Při následném zatěžování na mez únosnosti po vzniku trhlin vzdorovaly dle očekávání nejlépe trouby vyztužené dvojitým armokošem (únosnost byla vyšší). Trouby s ocelovými vlákny vykazaly po vzniku trhlin pokles únosnosti, únosnost trub se syntetickými vlákny byla vyčerpána při vzniku trhliny. Při následné manipulaci na místo dalších zkoušek došlo k destrukci trouby se syntetickými vlákny, trouba s vlákny ocelovými manipulaci vydržela.

## ZÁVĚR

Popsaný projekt vycházel z dlouhodobých zkoušek vláknobetonu a zkušeností získaných na Katedře betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Postupným vylučováním byl nalezen vhodný typ ocelových vláken pro vláknobeton k výrobě betonových trub. Vlastnosti vláknobetonu s vybranými ocelovými vlákny, ověřené zkouškami, ukázaly, že je možné téměř okamžitě nahra-

dit používání výztužných armokošů ve výrobě betonových trub vláknobetonem.

Výsledky dalších zkoušek uskutečněných v rámci projektu potvrzují skutečnost, že ne každá vlákna, která jsou na trhu nabízena, jsou optimálně využitelná v dané konkrétní aplikaci, a že pro určitý případ je vždy třeba volit nejvhodnější vlákna.

Príspevek byl zpracován za podpory projektu MPO v programu POKROK, evidenční číslo 1H-PK2/17 „Rozvoj technologie, materiálových modelů, návrhových metod a aplikací vláknobetonu“.

Ing. Vladimír Veselý  
Betotech, s. r. o., Beroun 660, Beroun  
tel.: 311 644 063, fax: 311 644 010  
e-mail: vladimir.vesely@cmcem.cz, www. betotech.cz



Doc. Ing. Jan Vodička, CSc.  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz



Doc. Ing. Jiří Krátký, CSc.  
Katedra betonových a zděných konstrukcí  
e-mail: jiri.kratky@fsv.cvut.cz



Doc. Ing. Karel Kolář, CSc.  
Experimentální centrum  
e-mail: karel.kolar@fsv.cvut.cz



všichni tři: Fakulta stavební ČVUT v Praze  
Thákurova 7, 166 29 Praha 6  
www.fsv.cvut.cz