

DŘEVO-VLÁKNOBETONOVÉ KOMPOZITNÍ KONSTRUKCE – EXPERIMENTÁLNÍ PROGRAM ■ TIMBER-FIBRE CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES – EXPERIMENTAL PROGRAM

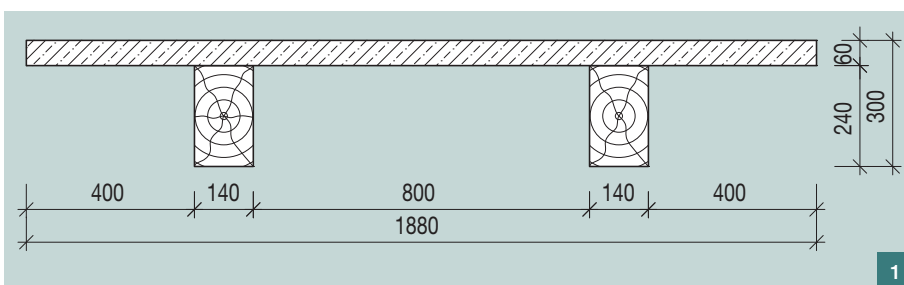
Vojtěch Petřík, Norbert Philipp

Experimentální program poskytující rozsáhlý soubor dat popisujících chování spřažených kompozitních dřevo-vláknobetonových konstrukcí zahrnoval zkoušky k identifikaci materiálových charakteristik vláknobetonu a ultravysokohodnotného vláknobetonu, smykových parametrů spřažení a deformačního chování full-scale modelu spřažené dřevo-vláknobetonové konstrukce. ■ The experimental program providing an extensive collection of a data set describing the behaviour of composite timber-fibre reinforced concrete structures included tests of material characteristics of fibre reinforced concrete and ultra high performance fibre reinforced concrete, shear parameters of connection between the timber and fibre concrete parts of a composite structure and deformation behaviour of a full-scale model of composite timber-fibre reinforced concrete structures.

Cíleným a efektivním využitím charakteristických vlastností jednotlivých materiálů kompozitní konstrukce lze navrhnout konstrukční prvky vysoké únosnosti a vynikajících užitných vlastností. Při rekonstrukcích budov s dřevěnými stropy se k jejich zesílení často využívá poměrně subtilní železobetonové desky, spřažené různými typy spřahovacích prostředků. Známe jsou však i aplikace v novostavbách, ať už v prefabrikované nebo v monolitické podobě.

Úlohou spřahovací desky je zajistit spolupůsobení jednotlivých dřevěných trámů a zvýšit jejich ohybovou tuhost, čímž výrazně roste zatížitelnost konstrukce, a zároveň redukovat nadměrné průhyby rekonstruovaných konstrukčních prvků. Mimořádně důležitou úlohu přitom hraje míra spřažení jednotlivých komponent, tedy schopnost přenosu smykových napětí spřahovacími prvky.

Aplikací vláknobetonů (dále FRC – fibre reinforced concrete) a zejména moderních ultra vysokohodnotných vláknobetonů (dále UHPFRC – ultra high performance fibre reinforced concrete) lze spřažené dřevo-betonové konstrukce dále optimalizovat, snížit poměr zatížení vlastní tíhou, a tím zvýšit jejich užitnou hodnotu. Čás-



Tab. 1 Přehled materiálových zkoušek ■ Tab. 1 Summary of materials tests

Materiál	E-modul		Pevnost v tlaku		Čtyřbodový ohyb	
	n [ks]	E [MPa]	n [ks]	f_c [MPa]	n [ks]	$f_{ct,fl}$ [MPa]
FRC	6	29 017	13	43	5	4,01
UHPFRC	3	50 467	6	144	5	15,22

tečný řez spřaženou dřevo-vláknobetonovou konstrukcí je pro ilustraci řešené problematiky uveden na obr. 1.

EXPERIMENTÁLNÍ PROGRAM

Aproximace reálného chování spřažených dřevo-vláknobetonových konstrukcí je v současné době realizovatelná nelineární numerickou analýzou. Její výstižnost je však podmíněna implementací takových materiálových modelů, které lze verifikovat a kalibrovat na základě experimentálních poznatků.

Realizovaný experimentální program poskytl k tomuto účelu širokou bázi dat, zahrnující materiálové charakteristiky FRC a UHPFRC, a zejména poznatky o deformačním chování spřažení FRC-dřevo a UHPFRC-dřevo a reálné kompozitní dřevo-vláknobetonové konstrukce prostřednictvím full-scale fyzikálních modelů.

Destruktivní materiálové zkoušky

Pro materiál vláknobetonové komponenty spřažené konstrukce byly zvoleny tyto varianty:

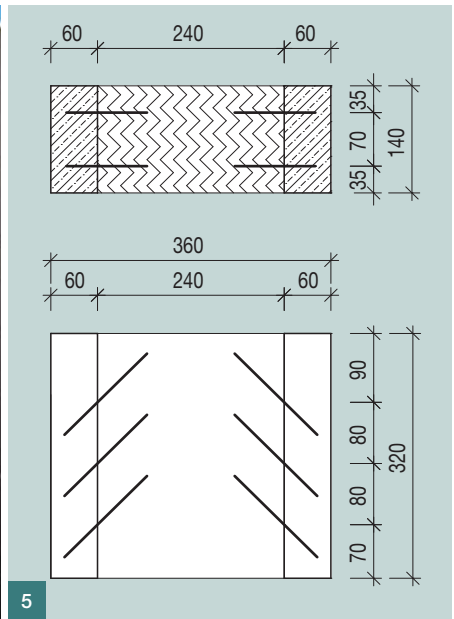
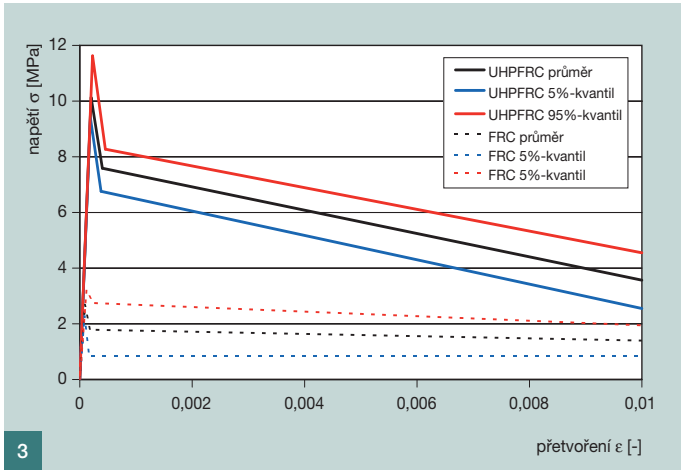
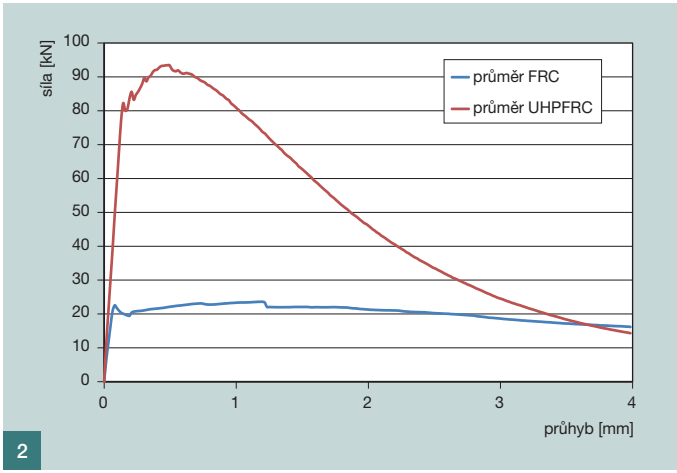
- vláknobeton základní matrice s pevností v tlaku odpovídající třídě C25/30 (podle ČSN EN 206-1), s příměsí ocelových vláken délky 50 mm s koncovými háky (objemový podíl vláken 0,57 %).
- ultra vysokohodnotný vláknobeton s příměsí ocelových mikrovláken délky 12 mm (objemový podíl vláken 1,5 %).

Vyrobeno bylo celkem třicet osm zkušebních těles, přičemž devět sloužilo k určení modulu pružnosti (6 FRC, 3 UHPFRC), devatenáct ke zkoušce v prostém tlaku (13 FRC a 6 UHPFRC), a deset ke zkoušce čtyřbodovým ohybem. Přehled provedených destruktivních materiálových zkoušek a průměrných pevnostních charakteristik udává tab. 1. Všechny testy proběhly při stáří vláknobetonů 28 dní.

Deformační zkoušky čtyřbodovým ohybem byly provedeny na trácích s délkou 700 mm o průřezu 150 x 150 mm. Zkoušky byly řízeny deformací nosníku s takovou rychlostí přírůstku deformace, která zaručila minimalizaci vlivu rychlosti zatěžování na pevnostní charakteristiky zkoušených materiálů. Diagram na obr. 2 znázorňuje porovnání průměrných hodnot působící síly v závislosti na deformaci pro FRC a UHPFRC.

Vliv složení směsi a vysokého objemového podílu ocelových vláken se v případě UHPFRC v porovnání s FRC projevuje podstatně většími pevnostními charakteristikami, přičemž délka aplikovaných mikrovláken je rozhodujícím faktorem výraznějšího deformačního změkčení UHPFRC.

Experimentálně zjištěné závislosti působící síly na průhybu jsou výchozím podkladem pro odvození konstitutivních vztahů (závislosti napětí na přetvoření), které bylo realizováno inverzní analýzou na základě vrstvič-



kového modelu pomocí speciálně vytvořeného programu v prostředí MS Excel. Odvozené pracovní diagramy v tahu pro obě varianty (FRC a UHPFRC) vláknobetonů v idealizované formě (průběh jednotlivých funkcí byl pro účely numerických simulací idealizován přímkami) znázorňuje diagram na obr. 3.

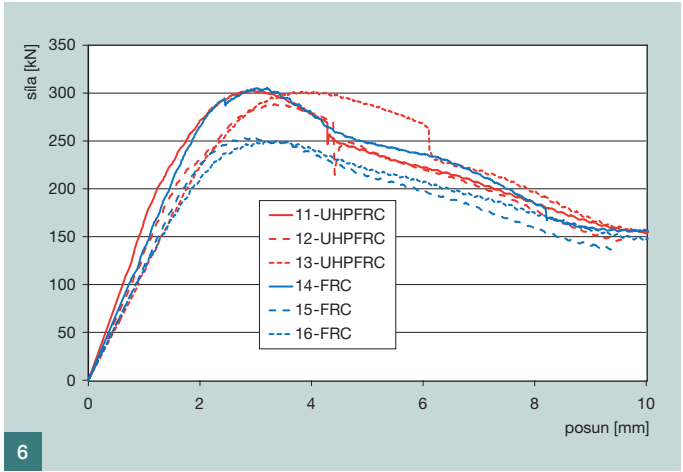
Je zřejmé, že testované vláknobetonu podle očekávání vykazují napros-

to odlišné deformační chování. Zajímavé je rovněž porovnání rozptylů, resp. kvantilů. Odvozené konstitutivní vztahy budou dále použity pro nelineární numerické analýzy. Dosažené materiálové parametry jsou důležitým předpokladem zamýšlené optimalizace konstrukčního systému sřážených dřevo-vláknobetonových konstrukcí redukci tloušťky sřáhovací desky.

Smykové zkoušky sřážení
 Smyková tuhost a únosnost sřáhovacích prostředků všech typů sřážených konstrukcí zásadně ovlivňuje jejich deformační chování. Implementace správných materiálových modelů sřážení je esenciální z hlediska výstižnosti nelineárních numerických analýz dřevo-vláknobetonových konstrukčních systémů.

Za účelem odvození materiálových parametrů sřážení pro následné ne-

Obr. 1 Příčný řez ■ Fig. 1 Cross section
 Obr. 2 Záznam průměrných výsledků zkoušky čtyřbodovým ohybem ■ Fig. 2 Averaged results of 4-Point-Bending-Tests
 Obr. 3 Odvozené pracovní diagramy ■ Fig. 3 Derived stress-strain diagrams
 Obr. 4 Zkušební tělesa (UHPFRC a FRC varianta) ■ Fig. 4 Test specimens (UHPFRC and FRC variant)
 Obr. 5 Geometrie zkušebního tělesa (FRC-varianta) ■ Fig. 5 Geometry of test specimen (FRC variant)
 Obr. 6 Záznamy protlačovacích zkoušek ■ Fig. 6 Results of shear tests





7



8

Obr. 7 Detail dřevěných nosníků se spřahovacími trny ■ Fig. 7 Detail of timber beams with the connectors

Obr. 8 Full-scale model kompozitní dřevo-UHPFRC konstrukce ■ Fig. 8 Full-scale model of the timber-UHPFRC composite structure

Obr. 9 Uspořádání zkoušky full-scale modelu ■ Fig. 9 Arrangement of the full-scale model test

Obr. 10 Smyková trhlina v zatěženém nosníku, FRC varianta ■ Fig. 10 Shear crack in the directly loaded beam

Obr. 11 Průhyb středů přímo zatěžených nosníků FRC a UHPFRC varianty ■ Fig. 11 Deflection in the midpoint of the directly loaded beam for both FRC and UHPFRC variants

Za zmínku stojí vynikající pohledová kvalita horní plochy spřahovací desky z UHPFRC. Příčný trám, spojující zhlaví nosníků, slouží pouze k vyztužení konstrukce pro účely transportu, po usazení do zkušebního zařízení byl odstraněn před vlastní zkouškou.

Vyrobená tělesa byla podrobena zkoušce čtyřbodovým ohybem, přičemž zatížení bylo zaváděno ve třetinách délky asymetricky, tedy nad podélnou osou jednoho z nosníků. Deformace systému byla měřena snímači průhybu s přesností 0,001 mm, umožňujícím měření deformací až do hodnoty 50 mm. Dále byl v podporových oblastech nosníku měřen vodorovný pokluz ve spáře mezi oběma komponentami. Uspořádání zkoušky je zobrazeno na obr. 9.

Měření poskytlo v obou případech množství dat, která jsou v současnosti dále vyhodnocována. Na obr. 11 je uvedeno srovnání závislosti působící síly na průhybu středu přímo zatěženého nosníku pro obě zkušební tělesa. Podle očekávání je celková tuhost konstrukce se spřahovací deskou z UHPFRC tloušťky 35 mm nižší, než v případě desky tloušťky 60 mm z FRC.

Při průhybu ca. 23 mm došlo k porušení dřevěného nosníku alternativy s FRC deskou smykovou trhlinou (obr. 10), provázené náhlým poklesem zatěžovací síly. V polovině rozpětí došlo rovněž k porušení vláknobetonové spřahovací desky ohybovou trhlinou. Při dalším zatěžování se trhlina dále rozvířala, při průhybu ca 27 mm došlo k dalšímu skokovému poklesu síly, načež byla zkouška přerušena.

Spřažená konstrukce UHPFRC-dřevo vykazovala téměř lineární závislost působící síly na rostoucím průhybu, při hodnotě ca 42 mm byla zkouška pře-

lineární numerické analýzy bylo laboratorně vyrobeno šest zkušebních těles, tři s tloušťkou FRC komponenty 60 mm, a tři s tloušťkou UHPFRC-komponenty 35 mm. Spřažení bylo realizováno speciálními vruty délky 150 mm a průměru 7,3 mm.

Protlačovací zkoušky byly provedeny na pracovištích Kloknerova ústavu ČVUT v Praze. Dřevěná komponenta je realizována z rostlého dřeva třídy C24. Rozměry zkušební tělesa a průběh zkoušky jsou znázorněny na obr. 4 a obr. 5.

Výsledkem zkoušky je závislost působící síly na zatlačení, na obr. 6 jsou tyto funkce zobrazeny pro všech šest zkušebních těles.

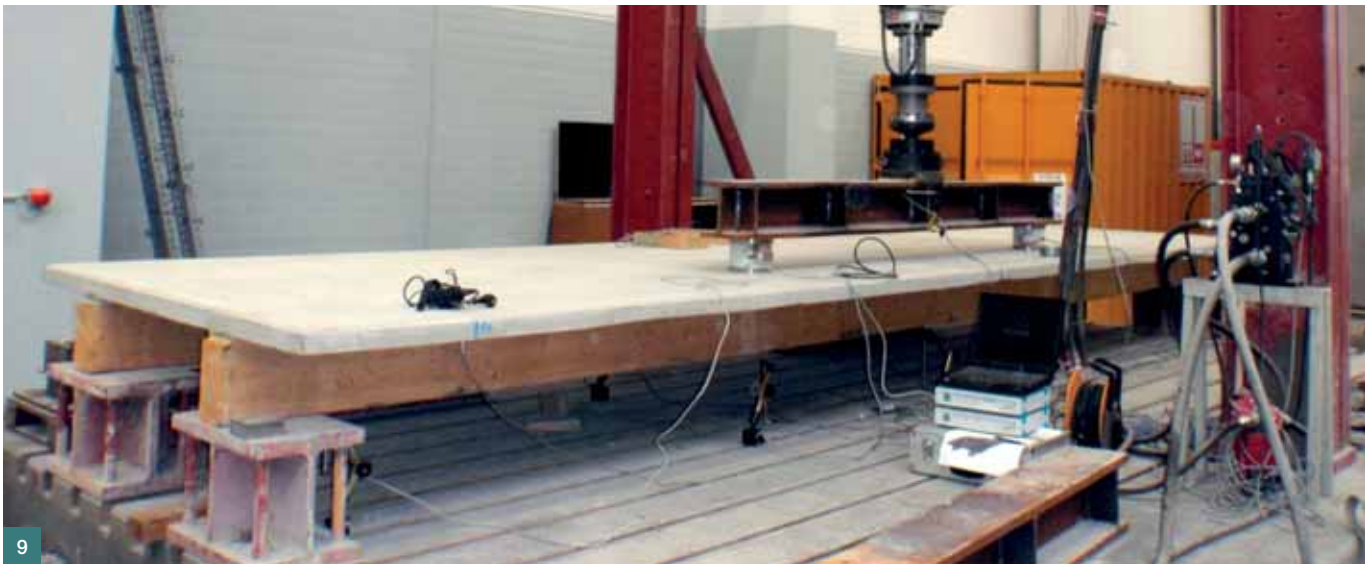
Full-scale testy

Vyrobeno byla dvě zkušební tělesa délky 6,5 m a šířky 1,88 m s příčným řezem, zobrazeným na obr. 1. V případě FRC varianty byla tloušťka desky 60 mm, v případě UHPFRC varianty pouze 35 mm. Spřažení bylo v obou případech realizováno spřahovacími vruty TCC Ø7,3 mm délky 150 mm,

aplikovanými pod úhlem 45° ve dvou řadách (tedy ve shodě se zkušebními tělesy pro protlačovací zkoušku). Návrh roztečí spřahovacích prvků byl proveden tak, aby respektoval předpokládaný průběh smykového namáhání ve spáře dřevo-beton. Minimální rozteč činila 80 mm a maximální 110 mm. Detailní pohled na zhlaví dřevěných trámů s aplikovanými spřahovacími trny zobrazuje obr. 7.

Dřevo trámů odpovídalo třídě C24 ve smyslu ČSN EN. Rostlé dřevo bylo použito záměrně, neboť je cílem využít potenciál systému spřažených dřevo-vláknobetonových konstrukcí nejenom v novostavbách, ale také při rekonstrukcích.

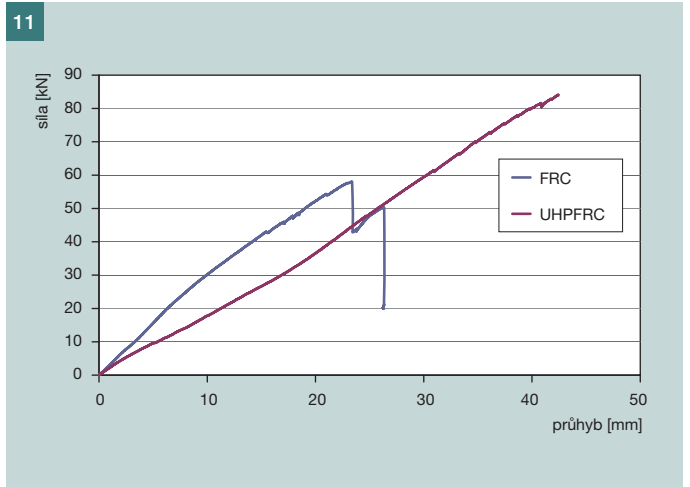
Výroba zkušebních těles proběhla v provozovně firmy Max Bögl GmbH. Postup betonáže spřahovacích desek respektoval požadavek na vysokou rovinnost horní plochy desek. Betonáž proběhla na vibrovacím stole s nosníky obrácenými tak, aby spřahovací prvky byly kryty požadovanou krycí vrstvou. Vyrobenou spřaženou konstrukci UHPFRC-dřevo zobrazuje obr. 8.



9



10



11

rušena, aby nedošlo k poškození snímačů. Na snímači průhybu středního nosníku byl nastaven nový nulový bod a zkouška pokračovala až do zatížení 110 kN, kdy průhyb dosáhl hodnoty 55 mm, a zkouška byla zastavena, aniž by došlo ke kolapsu zkušebního prvku. Zaznamenána byla ovšem ohybová trhлина v dřevěném zatěžovaném trámu v polovině jeho rozpětí.

ZÁVĚR

Cílem příspěvku bylo podat ucelený přehled o realizovaném experimentálním programu v oboru kompozitních dřevo-vláknobetonových konstrukcí s využitím moderních ultravysokohodnotných vláknobetonů.

Detailní rozbor výsledků a jejich využití, včetně verifikací odvozených materiálových modelů, a problematika numerických simulací bude publikován v dalších z řady plánovaných článků o dřevo-vláknobetonových kompozitních konstrukcích.

Provedené full-scale testy však prokázaly, že spřažené konstrukce dřevo-vláknobeton jsou vysoce únosné i při malých tloušťkách spřahovací desky, zejména u tělesa s UHPFRC spřahovací deskou. I v případě porušení dřevěného nosníku jednoho z těles širokou smykovou trhlinou (obr. 10) nedošlo k celkovému kolapsu konstrukce, což ukazuje na její vysokou robustnost.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu 103/09/2097 GAČR. Poděkování rovněž patří firmě Max Bögl GmbH za významnou podporu v přípravě a provedení prezentovaných výsledků.

Ing. Vojtěch Petřík, Ph.D.
Helika, a. s.
Beranových 65, 199 21 Praha 9
tel.: 281 097 218
e-mail: vojtech.petrik@helika.cz
www.helika.cz



Dipl.-Ing. Norbert Philipp
Max Bögl
Postfach 11 20, 92301 Neumarkt
tel.: +49 9181 909 10213
email: nophilipp@max-boegl.de
www.max-boegl.de



MĚSTA BEZ SMOGU SE VRACÍ

1. března 2013 startuje druhý ročník architektonické soutěže Města bez smogu! Po mimořádném úspěchu prvního ročníku vyhláší pořadatel soutěže společnost Českomoravský cement, a. s., další ročník.

Úkolem je navrhnout objekt z betonu, který bude díky použití unikátního materiálu TX Active čistit vzduch ve svém

okolí. Hlavní cenou je odměna ve výši 50 000 Kč, připravena je také řada vedlejších cen a ceny z hlasování veřejnosti. Soutěž je určena studentům a tentokrát i mladým architektům do 35 let. Navštivte soutěžní stránky www.bezsmogu.cz, přihlaste se, pošlete svůj návrh a vyhrajte!