ZKOUŠKY KONSTRUKČNÍHO VLÁKNOBETONU ▮ TESTS OF STRUCTURAL FIBRE CONCRETE

Vladimír Veselý, Jan Vodička, Jitka Vašková, Jiří Krátký

Článek popisuje standardní i některé speciální zkoušky konstrukčního vláknobetonu, jejich účel a možnost následného použití pro návrh konstrukcí z tohoto materiálu. Dále diskutuje zkušební postupy netradiční a zkušební postupy vláknobetonu pro jiné než konstrukční účely. ▮ The article describes standard and some special test of structural fibre concrete, their objective and possibility of utilization for the design of structures from structural fibre concrete. It furthermore discusses non-standard testing procedures and testing of fibre concrete for structural and non-structural purposes of use.

Zkoušení kompozitních materiálů s cílem objasnění jejich vlastností v rozsahu potřebném pro praktické využívání (návrh konstrukcí) vede na nepřeberné množství zkoušek. Každý kompozit má svá specifika, a tím i své specifické zkoušky.

Vláknobeton, který patří mezi kompozitní materiály, je třeba považovat za specifický konstrukční materiál a to jak s ohledem na jeho výrobu, tak i na zkoušení. Protože vláknobeton se řadí do skupiny kompozitních materiálů s cementovou matricí, kam patří i běžný beton, je skutečností, že vedle specifických zkoušek je rozumné využívat i zkoušek dosud standardizovaných pro obyčejný beton.

Zkoušení obyčejného betonu, který je nejrozšířenějším kompozitem využívaným v praxi, se dnes uskutečňuje řadou definovaných a standardizovaných zkoušek. V zásadě je možné tyto zkoušky rozdělit do dvou skupin:

- zkoušky čerstvého betonu, které charakterizují jeho reologické vlastnosti,
- zkoušky ztvrdlého betonu, jejichž výsledky jsou obrazem pevnostních charakteristik a trvanlivosti.

Zkoušení vláknobetonu je možné provádět stejnými postupy jako u obyčejného betonu s tím, že vláknobeton je v podstatě dalším kompozitním materiálem se širokou řadou modifikací. Vyznačuje se rozdílnými vlastnostmi, které je třeba prokázat zkouškami, ze kterých by se daly potřebné charakteristiky přímo odvodit. Je proto nezbytné při zkouškách vláknobetonu postupovat uvedenými cestami zkoušek:

- využívajích standardizovaných zkoušek běžného betonu s jejich rozumným a reálným rozšířením s cílem získat výsledky nezbytné pro návrh vláknobetonových konstrukcí,
- nových, kterými zjistíme chování vláknobetonu při zatěžování do takové míry, že jejich výsledky umožní tvorbu předpokladů pro teorie návrhu vláknobetonových konstrukcí,
- spadajících do oblasti výzkumu pro určení nejen reologických vlastností vláknobetonu, ale též zkouškami, jejichž výsledky budou dostatečně vypovídat o trvanlivosti vláknobetonu,
- na modelech konstrukcí nebo zatěžováním již zbudovaných reálných konstrukcí pro ověření shody použitých konkrétních postupů návrhu konstrukce s jejím reálným chováním.

Dospět k širšímu poznání vlastností vláknobetonu, tak jako u jiných materiálů, lze pouze na základě souboru testů a zkušeností, získaných ze skutečných aplikací v dostatečně dlouhém období. Pouze spojením zkušebnictví s praxí se zpětnou vazbou na zkušebnictví můžeme dospět k vytčenému cíli. V současnosti lze přispět k urychlení naznačeného procesu dosáhnutím většího počtu aplikací vláknobetonu s praktickým využitím v krátkém čase. Jednou z možných cest k tomu je postupné sjednocování zkušebních postupů, které povede ke stejnému posuzování charakteristik vláknobetonu a výstupům umožňujícím jednotný postup v přípravách a realizacích vytipovaných aplikací.

ZKOUŠKY ZÁKLADNÍCH VLASTNOSTÍ KONSTRUKČNÍHO VLÁKNOBETONU

Aplikace vláknobetonů v betonovém stavitelství se stále více ukazují jako reálné. Přínos vlastností vláknobetonů pro některé konstrukce může být nejen ekonomický, ale někdy i rozhodující pro realizaci konstrukce. To platí i v případech, kdy vláknobeton bude použit v konstrukcích s tradičním vyztužením betonářskou ocelí, eventuálně konstrukcích předpjatých. Způsob ověřování vlastností vláknobetonů, které vstupují do návrhu konstrukcí, není v současné době jednotný z pohledu velikosti zkušebních těles, uspořádání zkoušek a jejich vyhodnocení. Není dosud shoda ve značení vláknobetonů podle pevnostních tříd tak, jak je tomu v případě betonu obyčejného.

Vláknobetony s vhodnými vlákny (ocelovými a konstrukčními syntetickými) je třeba zařadit mezi konstrukční materiály. Jejich využití může být v konstrukcích z prostého vláknobetonu, v konstrukcích vyztužených tradiční betonářskou výztuží a též v předpjatých prvcích. Všechny typy konstrukcí však nemusí být vhodné pro aplikaci vláknobetonů. Rozhodovat budou nadstandardní požadavky na konstrukce, technologie jejich výroby a ekonomické možnosti.

Využití vláknobetonů je vždy podmíněno dobrou znalostí vlastností vláknobetonů a jejich zkoušením s vhodným vyhodnocením.

ZKOUŠKY ČERSTVÉHO VLÁKNOBETONU

Vlastnosti čerstvého vláknobetonu se ověřují standardizovanými zkušebními postupy shodnými pro zkoušky obyčejného čerstvého betonu, tedy dle souboru norem ČSN EN 12350.

Při stanovení konzistence je třeba zvážit množství a typ použitých vláken s tím, že ze standardizovaných metod bude pravděpodobně nejvhodnější metoda dle ČSN EN 12350 – 5 „Zkouška rozlitím". To vyplývá z působení vláken ve struktuře betonu, která ji stabilizují a poněkud brání přirozenému tečení, s kterým se počítá při zkoušce sednutím kužele. Navíc je třeba podotknout, že vláknobetony se vždy hutní a vnáší se do nich tedy dodatečná energie, tak jako při zkoušce na rozlivové desce. V případě varianty samozhutnitelného vláknobetonu je třeba použít pro samozhutnitelný beton typické zkoušky, uváděné například v dokumentu [1].

Důležitou kontrolou čerstvého vláknobetonu je navíc kontrola obsahu vláken v betonu, kterou lze do jisté míry popsat jeho homogenitu (v případě opakované zkoušky betonu z jedné dávky – autodomíchávače), nebo stabilní obsah vláken během rozsáhlejší dodávky (v případě periodického provádění zkoušky různých dávek během betonáže).

Zkoušku obsahu vláken v betonu je možné provádět rozplavením definovaného množství čerstvého vláknobetonu, extrakcí vláken, jejich vysušením a následným zvážením. V případě použití ocelových vláken je pak možno tuto zkoušku s výhodou urychlit extrakcí vláken pomocí magnetu. Příkladem je zařízení s názvem „Dozometr" (obr. 1) (vyvinuté společností ArcelorMittal).

ZKOUŠKY ZTVRDLÉHO VLÁKNOBETONU

Zkoušky ztvrdlého vláknobetonu se provádějí rovněž standardizovanými postupy dle norem řady ČSN EN 12390 a dalšími dosud nestandardizovanými zkušebními metodami pro ověření specifických vlastností vláknobetonu, např. zkouška ohybem.

Pevnost v tlaku

Zkouška pevnosti betonu v tlaku se provádí dle ČSN EN 12390-3 na zkušební krychli, nebo zkušebním válci. Třída betonu se proto označuje oběma charakteristickými hodnotami těchto pevností (např. C25/30).

Předpokládá se, že válcová pevnost betonu v tlaku lépe odpovídá pevnosti v tlaku v reálné konstrukci (dříve používaná hranolová pevnost). Z toho důvodu se jako výchozí pevnost v tlaku pro návrh konstrukcí uvažuje tato pevnost v charakteristické hodnotě.

Pro obyčejné betony byl zaveden poměr mezi charakteristickými hodnotami pevností získaných z měření na válcích a na krychlích $\alpha_c = f_{c,cyl} / f_{c,cub} = 0{,}8$. V tom je zahrnuta i skutečnost, že při zkoušce je válec zatěžován ve směru hutnění betonu a krychle kolmo na směr hutnění (obr. 2).

Z dlouhodobého pohledu výsledky těchto zkoušek ukázaly, že pro konstrukční vláknobetony s ocelovými vlákny lze tento poměr změnit na poměr $\alpha_{fc} = f_{fc,cyl} / f_{fc,cub} = 0{,}9$ [2].

Pevnost v tahu

Pevnost v tahu má pro chování vláknobetonových prvků podstatně větší význam. To platí zvláště u prvků z prostého vláknobetonu bez prutové podélné výztuže, kde vesměs rozhoduje o únosnosti prvku. Rozptýlená ocelová vlákna mohou totiž podstatně ovlivnit nejen mez vzniku tahových trhlin u prvku, ale dokonce i zajistit určitou reziduální únosnost prvku po vzniku trhlin a jeho duktilitu. Tahová pevnost po vzniku trhlin se dá využít při navrhování staticky neurčitých konstrukcí. Tato pevnost by měla proto být uvedena v označení pevnostní třídy vláknobetonu, jako zaručená ekvivalentní pevnost v tahu po vzniku trhlin.

Doporučené značení pevnostní třídy vláknobetonů, kde se kromě charakteristických pevností v tlaku uvedou i obě charakteristické pevnosti tahové, tj. charakteristická pevnost v tahu při vzniku trhlin a ekvivalentní pevnost v tahu, je tedy:

FC $f_{fck,cyl} / f_{fck,cube} - f_{fc,tk} / f_{fc,tk,eq}$, např. FC22/25 – 1,8/1,2.

Vliv vláken na tahovou pevnost je mnohem výraznější než u pevnosti v tlaku. Proto nelze pro vláknobeton aplikovat přibližné vztahy k určení pevností v tahu z pevnosti v tlaku, používané pro obyčejný beton. U vláknobetonů, zvláště u vláknobetonů s ocelovými vlákny, je nutné pevnosti v tahu zjistit experimentálními zkouškami na vhodných tělesech. Určí se tak zaručené hodnoty uvedených pevností nutné pro zatřídění materiálu a pro navrhování vláknobetonových konstrukcí. Jedná se o pevnosti na mezi vzniku trhlin ($f_{fc,tk}$) a dále po vzniku trhlin v jejich ekvivalentní hodnotě ($f_{fc,tk,eq,i}$), potřebné pro návrh z hlediska únosnosti [2].

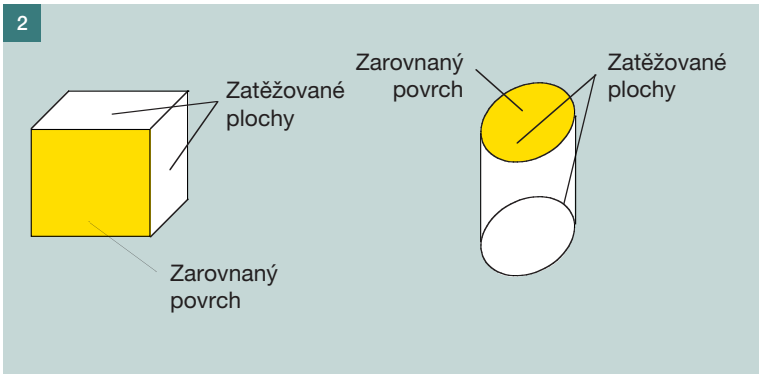
Obr. 1 Zařízení na extrakci ocelových vláken z betonu pomocí magnetu ▮ Fig. 1 Device for extracting of steel fibres from concrete using magnet

Obr. 2 Poloha zkušebních těles při zkoušce pevnosti v tlaku; a) krychle, b) válec ▮ Fig. 2 Position of test specimens in a compression test; a) cube b) cylinder

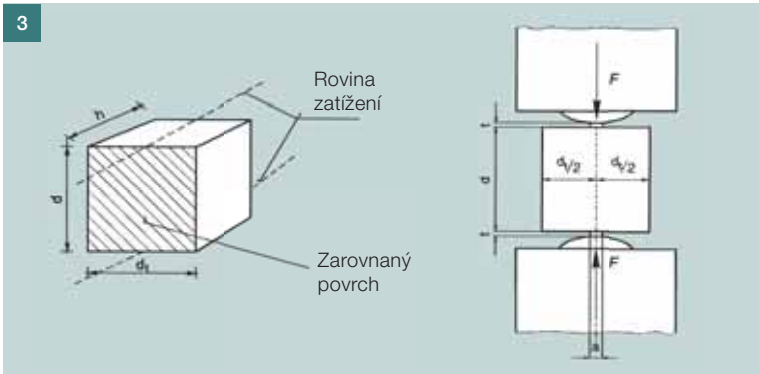
Obr. 3 Uspořádání zkoušky v příčném tahu ▮ Fig. 3 Setup of the tensile splitting test

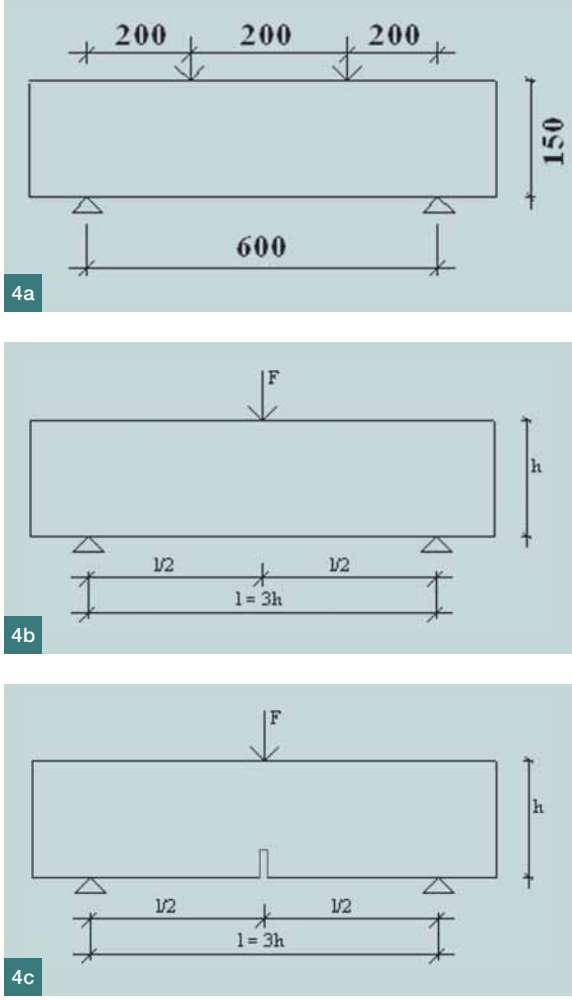
1

2



3





Obr. 4 Varianty uspořádání zkoušky ohybem, a) čtyřbodové zatěžování trámku, b) tříbodové zatěžování trámku, c) tříbodové zatěžování trámku se zářezem ▮ Fig. 4 Variants of the bending test, a) four-point bending test, b) three-point bending test, c) three-point bending test with notch

Obr. 5 Test modelu stropní desky (materiály společnosti ArcelorMittal) ▮ Fig. 5 Test of the slab ceiling model (ArcelorMittal company)

Obr. 6 Test stropní desky v dokončeném objektu (materiály společnosti ArcelorMittal) ▮ Fig. 6 Test of the slab ceiling in a finished structure (ArcelorMittal company)

Pevnost v osovém tahu betonu se zjišťuje obtížně. Proto byly zavedeny zkoušky náhradní, tj. v příčném tahu dle ČSN EN 12390-6 (obr. 3) a zkoušky ohybem (obr. 4), pro něž existují různé zkušební postupy, které nejsou standardizovány na úrovni CEN.

Pro vzájemný vztah pevností je třeba odvodit experimentálně poměry α_t mezi osovou pevností v tahu $f_{t,ax}$ a příslušnou pevností v tahu: pro příčný tah $\alpha_{t,sp} = f_{t,ax} / f_{t,sp}$ a pro tah za ohybu $\alpha_{t,fl} = f_{t,ax} / f_{t,fl}$. Hodnoty součinitele $\alpha_{t,i}$ se od hodnot pro obyčejný beton liší. Na základě výsledků zkoušek lze užít hodnot $\alpha_{t,sp} \cong 0{,}85$, a $\alpha_{t,fl} \cong 0{,}7$.

Zkouška v příčném tahu je zkouškou poměrně jednoduchou a rychlou. Nedostatkem je, že pevnost je prokazována v předem stanoveném průřezu. Proto by její využití mělo být při návrzích složení vláknobetonových směsí a na stavbě k orientačnímu posouzení shody. V každém případě by se její hodnota měla uvádět ve značení pevnostních tříd vláknobetonů, tj. např. takto:

FC $f_{fck,cyl} / f_{fck,cube} - f_{fc,tk} / f_{fc,tk,eq} - (f_{fc,tk,sp})$,
např. FC22/25 – 1,8/1,2 – 2,1.

Pro zkoušení vláknobetonů ohybem jsou užívány tři varianty sestavy zkoušky (obr. 4). Rovněž je používán odlišný postup zatěžování zkušebního tělesa od postupu zatěžování obyčejného betonu dle ČSN EN 12390–5 [6]. V případě zkoušky obyčejného betonu dle [6] je zatěžování břemenem řízeno plynulým přírůstkem síly, která má vyvíjet v betonu konstantní přírůstek napětí v tahu v rozsahu 0,04 až 0,06 N mm^{-2} s^{-1} až do porušení. Při zkoušce vláknobetonu ohybem je naopak zatěžování břemenem (silou *F*) proměnné a je řízeno rychlostí průhybu tělesa. Typ zkoušky ovlivňuje hodnotu $\alpha_{t,fl}$ (poměr pevností v tahu $f_{t,ax} / f_{t,fl}$) a nedosahuje se vždy stejných výsledků pro pevnost v tahu za ohybu při vzniku trhliny $f_{t,fl}$. U obyčejných betonů jsou rozdíly malé, u vláknobetonů mohou být podstatně větší.

Při čtyřbodovém zatěžování trámku (obr. 4a) není předem určen kritický průřez, ve kterém vznikne ohybová trhlina, což je výhodou tohoto postupu.

Pro zkoušení vláknobetonu v tahu ohybem dle varianty na obr. 4a (čtyřbodový ohyb) jsou dostupné čtyři postupy:

- v ČR dle TP FC 1-1 [2],
- v Rakousku dle Richtlinie Faserbeton [3],
- v SRN dle DBV Merkblat [4],
- v Evropě pro zkoušení pouze stříkaného vláknobetonu dle ČSN EN 14488-3 [7].

Uvedené postupy se liší ve velikosti zkušebních těles, vzdálenosti podpor (rozměr *l*), vzdálenosti břemen *F* (rozměr *h*) a v rychlosti zatěžování (tab. 1).

Tab. 1 Porovnání odlišností zkoušek dle obr. 4 ▮ Tab. 1 Comparison of differences in tests depicted in fig. 4

	Rozměry těles $b \times h \times l$ [mm]	Vzdálenost podpor l [mm]	Vzdálenost břemen h [mm]	Rychlost zatěžování [mm průhybu/min]
TP FC 1-1 [2]	150 × 150 × 700	600	200	**1.** 0,01 do průhybu 0,2 **2.** 0,2 do přírůstku průhybu 6 **3.** 0,5 do přírůstku průhybu 10 **4.** nebo alternativně průměrně 0,2 ± 0,05
Richtlinie Faserbeton [3]	150 × 150 × 600 až 700	450	150	0,2 ± 0,03
DBV Merkblat [4]	150 × 150 × 700	600	200	průměrně 0,2
ČSN EN 14488-3 [7]	75 × 125 × 500 a více	375	125	**1.** 0,25 ± 0,05 do průhybu 0,5 mm **2.** dále 1 do průhybu 4 mm nebo do zlomení

Tab. 2 Pevnostní třídy vláknobetonu v tlaku (FC) stanovené podle zkoušek krychelné pevnosti ▮ Tab. 2 Strength classes of fibre concrete in compression determined according to cube strength tests

Pevnostní třída v tlaku	Charakteristická válcová pevnost $f_{fc,ck}$ [MPa]	Charakteristická krychelná pevnost $f_{fc,ck,cub}$ [MPa]
FC9/10	9	10
FC13/15	13	15
FC18/20	18	20
FC22/25	22	25
FC27/30	27	30
FC33/37	33	37
FC40/45	40	45
FC45/50	45	50
FC50/55	50	55
FC55/60	55	60
FC60/67	60	67
FC67/75	67	75
FC75/85	75	85
FC85/95	85	95
FC95/105	95	105

Tab. 3 Pevnostní třídy vláknobetonu v tahu na mezi vzniku makrotrhliny ▮ Tab. 3 Strength classes of fibre concrete in tensile at cracking

Pevnostní třída v dostředném tahu $f_{fc,tk}$ [MPa]	Charakteristická pevnost v tahu za ohybu $f_{fc,tk,fl}$ [MPa]	Charakteristická pevnost v příčném tahu $f_{fc,tk,sp}$ [MPa]
0,9	1,3	1,1
1,1	1,6	1,3
1,3	1,9	1,5
1,5	2,2	1,8
1,8	2,6	2,1
2,0	2,9	2,4
2,2	3,2	2,6
2,5	3,6	2,9
2,7	3,9	3,2
2,9	4,2	3,4
3,0	4,4	3,5
3,1	4,5	3,6
3,2	4,6	3,8
3,4	4,9	4,0
3,5	5,1	4,1
3,6	5,2	4,2
3,7	5,4	4,4
atd.	atd.	atd.

Tab. 4 Pevnostní třídy vláknobetonu v reziduálním tahu po vzniku makrotrhliny ▮ Tab. 4 Strength classes of fibre concrete in residual tensile after macro-crack occurred

Pevnostní třídy vláknobetonu v reziduálním dostředném tahu $f_{fc,tk,res,j}$ [MPa]				
0,4	2,0	3,6	5,2	6,8
0,6	2,2	3,8	5,4	7,0
0,8	2,4	4,0	5,6	7,2
1,0	2,6	4,2	5,8	7,4
1,2	2,8	4,4	6,0	7,6
1,4	3,0	4,6	6,2	7,8
1,6	3,2	4,8	6,4	8,0
1,8	3,4	5,0	6,6	atd.

Pro zkoušku dle obr. 4c (tříbodový ohyb) je vydána evropská norma ČSN EN 14845-2 [5]. Předmětem této normy je však zkušební metoda pro stanovení vlivu ocelových nebo polymerových vláken na zbytkovou pevnost v tahu ohybem referenčního betonu. Dle této normy se zkouší několik záměsí referenčního betonu s různými dávkami stejných vláken, aby bylo možno stanovit obsah vláken, který je potřebný k dosažení zbytkové pevnosti v tahu ohybem min. 1,5 MPa při šířce rozevření trhliny (CMOD) 0,5 mm (což odpovídá středovému průhybu 0,47 mm) a průměrné zbytkové pevnosti v tahu ohybem min. 1 MPa při šířce rozevření trhliny (CMOD) 3,5 mm (což odpovídá středovému průhybu 3,02 mm). Z toho vyplývá, že norma je určena pro zkoušení vláken a jejich minimálního množství ve vláknobetonu, aby bylo dosaženo uvedených hodnot pevnosti a průhybu. Zkouška nemůže sloužit pro zjišťování charakteristik vláknobetonu různého složení (cement, kamenivo, přísady, příměsi apod.), potřebných pro návrh konkrétních vláknobetonů pro konkrétní konstrukci a to ani z důvodu způsobu jejího vyhodnocení. Dále je pro zkoušku tříbodovým ohybem vydána evropská norma ČSN EN 14651+A1 [8], která stanovuje zkušební metodu pro určení meze úměrnosti a hodnoty zbytkové pevnosti v tahu za ohybu u betonu vyztuženého kovovými vlákny do délky 60 mm a u betonu s kovovými vlákny kombinovanými s jinými vlákny.

Výsledky potřebného počtu zkoušek vláknobetonu dle [2], [3] a [4] jsou následně použity k zatřídění vláknobetonu dle:

- pevnostní třídy vláknobetonu v tlaku
- pevnostní třídy vláknobetonu v tahu na mezi vzniku makrotrhliny
- pevnostní třídy vláknobetonu v reziduálním tahu po vzniku makrotrhliny

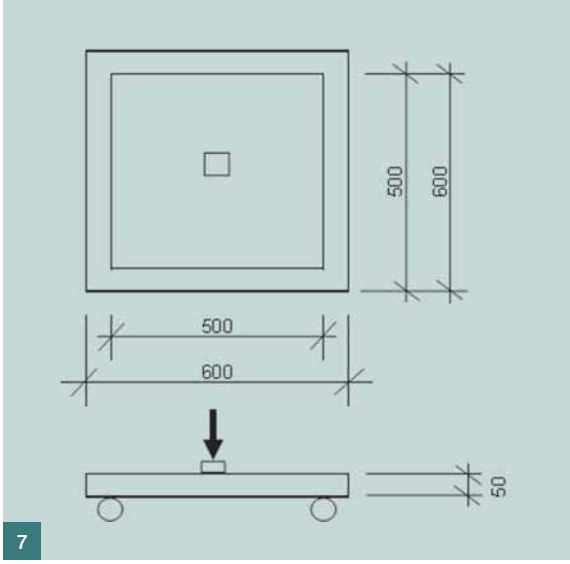
Dle TP FC 1-1 vydaného v ČR jsou třídy vláknobetonu stanoveny následovně (tab. 2, 3 a 4).

ZKOUŠKY VLÁKNOBETONU NA MODELECH A HOTOVÝCH KONSTRUKCÍCH

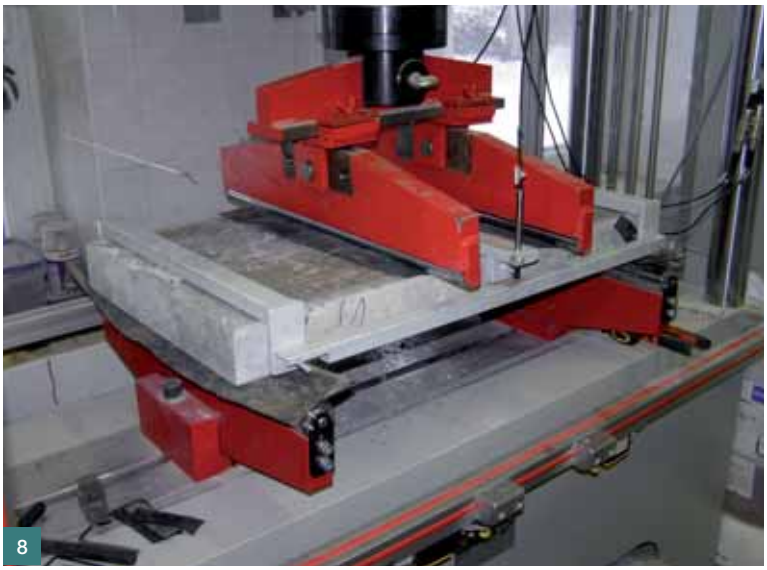
Zkoušky konkrétního vláknobetonu na modelech nebo přímo na hotových konstrukcích jsou časově a finančně velmi náročné. Přesto významně přispívají k poznání, jak se vláknobeton chová v konkrétních případech a jak se shoduje teoretický výpočet konstrukce s reálným chováním. Tyto zkoušky jsou ve většině případů iniciovány výrobci vláken, kteří tak přispívají k možnosti rozšíření tohoto kompozitu ve stavební praxi (obr. 5 a 6).

NĚKTERÉ DALŠÍ ZKUŠEBNÍ METODY

Konstrukční vláknobetony jsou zkoušeny i řadou dalších metod s cílem exaktně popsat chování vláknobetonu v kon-



7



8

Obr. 7 Schéma zatěžování po obvodě podepřené desky ▮ Fig. 7 Scheme of the loading of a slab supported on sides

Obr. 8 Zatěžování desky čtyřbodovým ohybem ▮ Fig. 8 Loading of a slab in a four-point bending test

strukci. Tyto zkušební metody jsou zavedeny v laboratořích výrobců vláken nebo technických univerzit. Pro zkoušení chování vláknobetonu v deskových prvcích se v laboratořích používají desky čtvercového nebo kruhového průřezu po obvodě podepřené (obr. 7). Případně lze desky zkoušet čtyřbodovým ohybem (obr. 8).

Pro ověření návrhového modelu a metodiky výpočtu ohýbaných prvků jsou doporučeny zkoušky trámců (např. rozměrů 100 × 150 × 1800 mm) vyztužených betonářskou výztuží [9]. Zkoušky již několik let probíhají na Fakultě stavební ČVUT v Praze a výsledky slouží jako podklad pro vypracování teorie navrhování vláknobetonových konstrukcí.

ZÁVĚR

Příspěvek ukazuje typy zkoušek, které jsou v současnosti k dispozici pro hodnocení vláknobetonu. Pro stanovení pevnosti v tahu na mezi vzniku trhlin lze využít i zkoušku v příčném tahu. Ze zkoušek pevnosti v tahu za ohybu se doporučuje zkouška tzv. čtyřbodovým ohybem (obr. 4a). Ve prospěch zavedení zkoušky uvedeného uspořádání jako standardní pro vláknobetony hovoří skutečnost, že tahovému namáhání je vystavena celá oblast zkušebního tělesa mezi působícími silami oproti zkoušce tělesa se zářezem. Zde je nejasnost napjatosti, která vzniká v místě zářezu (zkouška dle obr. 4c).

Doporučené typy zkoušek lze realizovat ve zkušebnách se standardním vybavením a po vyhodnocení výsledků zařadit vláknobetony do pevnostních tříd. Tím lze přispět k rozvoji aplikací vláknobetonu. Sjednocení typů zkoušek a jejich vyhodnocení je nezbytným předpokladem pro vývoj metodiky navrhování vláknobetonových konstrukcí.

Zkoušky na modelech a hotových konstrukcích jsou vysoce prospěšné pro další prohlubování a zpřesňování návrhových metod, jejich provádění je však limitováno časem a finančními prostředky.

Uvedený příspěvek vznikl za podpory grantového projektu č. 103/09/2039 s využitím výsledků získaných při řešení projektů 103/09/1788, 103/06/0685 a 103/06/1559 GAČR.

Literatura:

[1] TP 187 Samozhutnitelný beton pro mostní objekty pozemních komunikací, MD ČR, Praha, duben 2008
[2] TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1 Zkoušení vláknobetonu – Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vláknobetonu pro navrhování vláknobetonových konstrukcí, zpracovatel ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, Praha 2007; vydal Českomoravský beton, a. s.
[3] Richtlinie Faserbeton, Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, Wien, March 2002
[4] DBV Merkblat – Stahlfaserbeton (Deutscher Beton-und Bautechnik Verein E. V., Oktober 2001
[5] ČSN EN 14845-2 Zkušební metody pro vlákna do betonu, Část – 2 : Vliv na beton
[6] ČSN EN 12390-5 Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles
[7] ČSN EN 14488-3 Zkoušení stříkaného betonu – Část 3: Ohybová únosnost (při vzniku trhliny, mezní a zbytková) vláknobetonových trámcových zkušebních těles
[8] ČSN EN 14651+A1 Zkušební metoda betonu s kovovými vlákny – Měření pevnosti v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)
[9] *Vašková J.:* Experimentální ověřování chování vláknobetonových prvků, Beton TKS 2/2010, str. 74–78

Doc. Ing. Jan Vodička, CSc.
e-mail: jan.vodicka@fsv.cvut.cz

Ing. Jitka Vašková, CSc.
e-mail: jitka.vaskova@fsv.cvut.cz

Doc. Ing. Jiří Krátký, CSc.

všichni: Katedra betonových a zděných konstrukcí
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
http://concrete.fsv.cvut.cz/

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

Text článku byl posouzen odborným lektorem.