

ZNOVU K VLÁKNOBETONU, HLAVNĚ K DRÁTKOBETONU ■ ONCE AGAIN ON FIBRE CONCRETE, PARTICULARLY STEEL FIBRE

Alain Štěrba, Pavel Rieger

Článek uvádí poznámky k dosavadním výzkumům vláknobetonu a k jejich realizaci. Připomíná potřebu většího zaměření na využití vláken při smykovém a vícesměrném namáhání a na zkoušení vlivu vláken na napětí a vznik trhlin při smršťování pojivové matrice. ■ This paper comments on present research into fibre concrete and its outcomes. It brings to mind the need for more concentration on application of fibres under shear and omnidirectional stress and on testing of the effect of fibres on stress and process of cracking during shrinkage of the binding matrix.

Vláknobetonu je v současnosti věnována mimořádná pozornost. U nás je to zřejmé např. ze zaměření čísla 2/2010 časopisu Beton TKS a z příspěvků přednesených na nedávných konferencích. Uvedené potvrzují i hlavní články v nových číslech 4/2010 [1] a 5/2010 [2] německého časopisu „Beton“. Pozornost zasluhuje i nové vydání (2010) knihy B. Wieteka [3]. Podobně je zaměřena i betonářská technická literatura v ostatních zemích světa. Následující příspěvek se proto soustředí jen na některé poznámky k prioritám zaměření výzkumu a zkušebnictví, a to z pohledu těch, co nejsou zaměstnání v organizaci zabývající se výzkumem a jsou proto na činnosti těchto a podobných organi-

zací závislí. K omezení rozsahu problematiky se příspěvek soustřeďuje hlavně na drátkobeton.

Jedním z hlavních cílů příspěvku je upozornit na novou německou směrnici pro drátkobeton [4], která doplňuje (event. upravuje) základní německé betonářské normy DIN 1045-1 (navrhování), DIN EN 206-1 společně s DIN 1045-2 (specifikace atd.) a DIN 1045-3 (provádění betonových staveb). Z toho vyplývají i úvahy o současných technických normách a směrnicích, a tím i o zkušebních metodách.

UPLATNĚNÍ DRÁTKŮ PŘI NAMÁHÁNÍ OHYBEM

Ilustrace efektivity využití oceli, porovnání vlivu drátkové a prutové výztuže

U běžných netenkostěnných prvků a konstrukcí namáhaných hlavně ohybem se až na dále uvedené výjimky mohou drátky uplatnit jen ve výjimečných případech. Názorně to ukazují tab. 1 a obr. 1, které využívají výsledky zkoušek publikovaných J. L. Vítkem a S. Smiřinským [5]. Konkrétně jsou to údaje uvedené v tab. 4 článku, tedy experimentálně zjištěné hodnoty při průhybu zkušebních trámčů 3 mm. K posouzení technicko-ekonomické efektivity využití drátků jedenácti alterna-

tiv vyztužení jsou z uvedených výsledků v tab. 1 odvozeny ukazatelé, které kromě užitných hodnot berou v úvahu i celkovou spotřebu energeticky náročné oceli (součet měrných hmotností drátků a betonářské výztuže). Navíc je třeba vzít v úvahu, že z hlediska spotřeby primární energie jsou tenké drátky znatelně náročnější než běžná betonářská ocelová výztuž.

Obr. 1a ilustruje měrnou únosnost [kN/(m³/kg)], která jako ukazatel $U1$ vyjadřuje, jak každý kilogram oceli přispěl ke zjištěnému zatížení při průhybu 3 mm. Z uvedeného grafu je zřejmé, že samotná betonářská výztuž (obsah drátků 0 kg/m³) přispívá ve sledovaném stadiu k únosnosti ohybaného trámce významně víc než drátková výztuž. Nejmenší hodnoty ukazatele $U1$ daly trámce vyztužené pouze vlákny (bez prutové výztuže). Měrný obsah drátků 60 kg/m³ dává poněkud horší ukazatele než měrný obsah 40 kg/m³. Hlavní důvody (plně se uplatní pouze část drátků mezi kotevními délkami, pouze třetina drátků působí ve směru hlavních napětí) rozvádějí autoři článku [5].

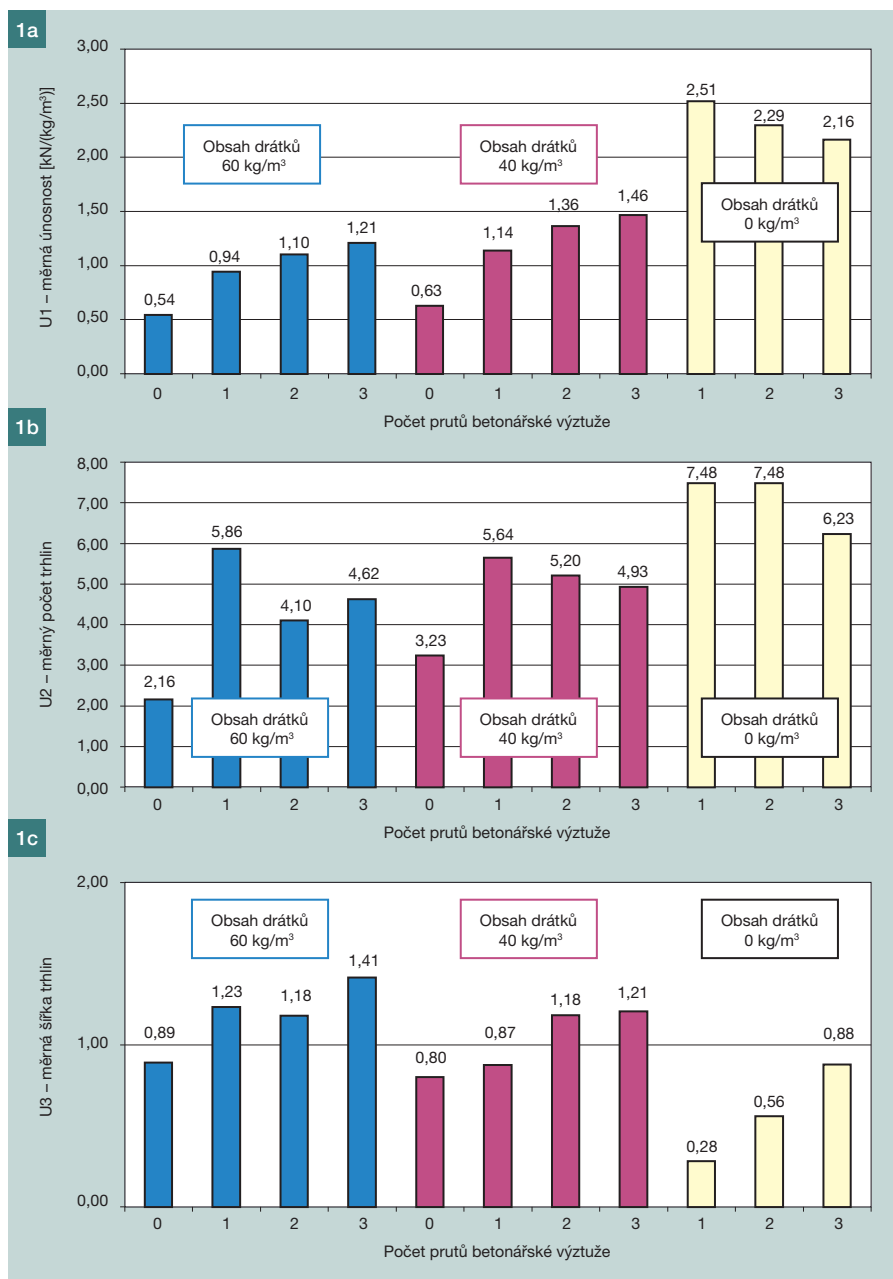
Vliv sledovaného využití výztužné oceli (betonářské oceli a drátků) na počet trhlin, a tím nepřímo i na jejich šířku, ilustruje na obr. 1b ukazatel $U2$. Výpočet ukazatele je zřejmý z tab. 1. Po-

Tab. 1 Výpočet ukazatelů efektivity využití oceli drátků a prutů použitých při zkouškách publikovaných J. L. Vítkem a S. Smiřinským [5] – tabulka 4 citované publikace ■ Tab. 1 Calculation of indicators of the effectiveness of the application of steel fibres and rods used in tests published by J. L. Vítek and S. Smiřinský [5] – table 4 of the quoted publication

Obsah drátků [kg/m ³]	Počet prutů průměru 8 mm	Hmotnost prutů [kg/m ³]	Obsah veškeré oceli [kg/m ³]	Měrný obsah* ¹ veškeré oceli [1]	Výpočet ukazatelů z výsledků zkoušek při průhybu 3 mm					
					Měrná únosnost		Měrný počet trhlin		Měrná šířka trhliny	
					Průměrné zatížení [kN]	Měrná únosnost [kN/(m ³ /kg)]	Průměrný počet trhlin [1]	Měrný počet trhlin [1]	Průměrná šířka trhlin [mm]	Měrná šířka trhliny [1]
M_d	P	M_p	M	$m = M/M_m$	z	$U1 = z/m$	P_t	$U2 = P_t/m$	\bar{S}	$U3 = \bar{S} \cdot M / (\bar{S}_m \cdot M_m)$
60	0	0	60	0,928	32,5	0,54	2	2,16	2,70	0,89
60	1	17,3	77,3	1,195	72,6	0,94	7	5,86	2,90	1,24
60	2	34,6	94,6	1,463	104,2	1,10	6	4,10	2,27	1,19
60	3	51,9	111,9	1,730	135,2	1,21	8	4,62	2,30	1,42
40	0	0	40	0,618	25,0	0,63	2	3,23	3,64	0,80
40	1	17,3	57,3	0,886	65,2	1,14	5	5,64	2,78	0,88
40	2	34,6	74,6	1,154	101,7	1,36	6	5,20	2,88	1,19
40	3	51,9	91,9	1,421	134,4	1,46	7	4,93	2,39	1,21
0	1	17,3	17,3	0,268	43,5	2,51	2	7,48	2,94	0,28
0	2	34,6	34,6	0,535	79,4	2,29	4	7,48	2,94	0,56
0	3	51,9	51,9	0,803	112,2	2,16	5	6,23	3,08	0,88
Průměry			64,7 M_m *)	1,0 mm					2,80 \bar{S}_m **)	

*) Měrný obsah veškeré oceli $m = M / M_m$, kde $M_m = 64,7 \text{ kg/m}^3$ = průměrný obsah veškeré oceli M

**) \bar{S}_m je průměrná šířka [mm] trhliny



Obr. 1 Ukazatelé využití výztuže $U1$, $U2$ a $U3$ v závislosti na hmotnostním obsahu drátků (60, 40 a 0 kg/m³) a na počtu prutů (0, 1, 2 a 3) betonářské výztuže. Ukazatelé jsou specifikovány a vypočteny v tab. 1. Použity výsledky zkoušek publikovaných J. L. Vítkem a S. Smiřinským [5]; a) ukazatel měrné únosnosti $U1$ (únosnost [kN/m³] / měrný obsah oceli [kg/m³]), b) ukazatel $U2$ charakterizující vliv výztuže na počet trhlin, c) ukazatel $U3$ charakterizující vliv výztuže na šířku trhlin ■ Fig. 1 Indicators of the exploitation of reinforcement $U1$, $U2$ and $U3$ depending on the mass content of steel fibres (60, 40 and 0 kg/m³), as well as on the number of rods (0, 1, 2 and 3) of concrete reinforcement. The indicators are specified and calculated in table 1. The author has used results of tests published by J. L. Vitek and S. Smiřinský [5]; a) indicator of specific load capacity $U1$ (load capacity [kN/m³] / specific content of steel [kg/m³]), b) indicator $U2$ characterizing the effect of reinforcement on the number of cracks, c) indicator $U3$ characterizing the effect of reinforcement on the width of cracks

dobně jako u obr. 1a je ve sledovaném stadiu únosnosti nejefektivnější prutová výztuž. Zhruba platí vše uvedené výše pro ukazatel $U1$; nepravidelnosti mohou být ovlivněny nahodilostí spojenou se vznikem trhlin.

Ukazatel $U3$ hodnotí zkoušené alternativy ve vztahu ke zjištěné průměrné hodnotě šířky trhliny $\bar{S}m = 2,8$ mm a k průměrné hodnotě měrného obsa-

hu oceli $Mm = 64,7$ kg/m³ (tab. 1). Opět je v betonářských prutech ocel využívána efektivněji než ve formě použitých drátků. **Měrná šířka trhlin** je u trám-ců vyztužených pouze pruty významně menší než v případě použití drátků.

Obecné zkušenosti a ustanovení směrnic

Výše uvedená ilustrace platí plně jen

pro podmínky uvedeného experimentálního výzkumu (včetně zvolené tloušťky krycí vrstvy). K obdobným výsledkům došli však i mnozí další autoři, např. [6]. **Až na dále uvedené výjimky** (viz další podkapitola) je používání samotných drátků při namáhání čistým ohybem zpravidla málo efektivní. Jak z hlediska únosnosti, tak i z hlediska šířky trhlin, je účelné drátky kombinovat s betonářskou výztuží. Další možností je kombinace s předpětím [7, 8].

Uvedený závěr je potvrzen nejnoveji (března 2010) vydanou německou směrnicí [4]. Podle ní lze při namáhání ohybem nebo tahem zahrnout drátkovou výztuž do statického hodnocení jen tehdy, kdy je splněna alespoň jedna ze tří stanovených podmínek. Jednou z těchto podmínek je kombinace s betonářskou výztuží. (Dalšími dvěma podmínkami jsou kombinace ohybu s normální tlakovou silou a dále použití ve staticky neurčitých systémech, u kterých lze využít redistribuci namáhání). Možnost kombinace s předpětím ve směrnicích uvedena není. Důvodem je neplatnost směrnic [4] pro předpjatý drátkobeton; důvodem neplatnosti je podle [1] současný nedostatek zkušeností.

Výhodné využívání drátků při namáhání ohybem

Výše uvedené skeptické hodnocení efektivnosti použití drátků při namáhání samotným ohybem neplatí všeobecně. Dále jsou uvedeny následující příklady účelného využití:

Tenkostěnné prvky – pro současné nároky na tloušťku krycí vrstvy nelze navrhovat velmi tenkostěnné prvky vyztužené obvyklou betonářskou výztuží. (Technické a ekonomické možnosti využití výztuže odolné v podmínkách běžných vlivů prostředí jsou stručně shrnuté v později uvedené kapitole.) Za určitých podmínek lze však velmi tenkostěnné prvky (např. i s tloušťkou pod 35 mm) vyrábět z drátkobetonu. Směrnice [4] v první řadě v čl. 6.3 stanoví, že minimální tloušťky krycí vrstvy uvedené v DIN 1045-1 platí pouze pro běžnou betonářskou výztuž. Dále se zde uvádí, že drátky sice mohou povrchově korodovat, že však tato koroze neovlivňuje jejich trvanlivost. Je však třeba počítat s možností povrchového zbarvení.

Pro ilustraci sledovaného využití drátkobetonu jsou uvedeny publikace z roku 2010:

- Využití ultravysokohodnotného drátkobetonu pro výrobu kazetových dílců s tloušťkou desky 25 až 35 mm uvádějí P. Hájek, M. Kynčlová a C. Fiala [9].
- V článku [10] J. Vodičky, V. Veselého, K. Koláře a J. Krátkého je mezi praktickými realizacemi vláknobetonu výroba trub bez výrobně náročné betonářské výztuže.
- Hauser [11] velmi stručně popisuje speciální drátkobeton „Ducon“ (Ductile CONcrete) s mimořádně vysokou pevností v tahu za ohybu (alespoň 40 MPa) a jeho použitelnost i pro výrobu prvků tloušťky 15 mm.

Použití tenkostěnných drátkobetonových prvků je výhodné zvláště tehdy, když větší duktilita přispěje k redistribuci namáhání, tedy když se zatížení po vzniku trhliny přeneso do jiné části konstrukce a nejvíce zatěžovaná oblast je odlehčena.

Tenkostěnné povrchové vrstvy pro zvětšení trvanlivosti, nepropustnosti a duktility – hlavním cílem těchto vrstev je omezit šířku trhlinek pod mez (např. 0,15 mm), jejíž překročení by ohrozilo požadovanou funkci konstrukce. Dalším cílem může být redistribuce namáhání staticky neurčitých konstrukcí, na které jsou kladeny vysoké požadavky týkající se mezního stavu použitelnosti. Při použití vysokohodnotného vláknobetonu ovlivní sledovaná povrchová vrstva příznivě i odolnost prvku proti vlivům prostředí.

Historická poznámka: Část výše uvedených požadavků (omezení rozvíření trhlin) byla po roce 1970 v normě [12] ošetřena následujícím požadavkem článku 129: „*Při krytí větším než 3 cm je třeba povrch betonu vyztužit drátěným pletivem (sítí).*“ Tento postup, aplikovaný s obměnami již před rokem 1970, se dnes jeví jako absurdní. Platil však v době, kdy byla např. předepsána minimální tloušťka krycí vrstvy 10 mm a kdy ke krytí vedlejší výztuže (třmíneků) stačila za stanovených lehce dodržitelných podmínek tloušťka krycí vrstvy 5 mm.

K ilustraci současných řešení jsou dále uvedeny následující příklady:

- V přednášce [13] švýcarských autorů je mimo jiné popsáno pokrytí mostu vytvořeného z pěti prefabrikovaných nosníků tvaru T tenkovrstvou (30 mm) na místě betonovanou vrstvou ze samozhutnitelného ultravysokohodnotného drátkobetonu. Požadovanými přínosy ocelových vláken jsou zpevnění (též zmonolitnění), zajištění ex-

trémně vysoké nepropustnosti (tím i trvanlivosti) a změkčení konstrukce (omezení její křehkosti). Z ultravysokohodnotného betonu s rozptýlenou výztuží jsou i prefabrikované římsy.

- Kanadští autoři [14] popsali zkoušky pěti alternativ kombinace běžného betonu s vrstvami drátkobetonu. Velmi dobré výsledky daly i prefabrikované desky obsahující funkční část tloušťky 15 mm z vysokohodnotného vysokopevnostního (120 MPa) drátkobetonu. Pro uvedenou malou tloušťku bylo dosaženo požadované funkce bez ohrožení ekonomické a ekologické hospodárnosti. Kladně je v příspěvku hodnocena i soudržnost prefabrikované vrstvy s nosnou vrstvou (nikdy nedošlo k delaminaci). Na rozdíl od znění nadpisu článku příspěvek nepojednává pouze o prefabrikovaných vláknobetonových pomocných deskách využitých ve funkci ztraceného bednění. Součástí popsaných řešení je i tenkostěnná deska betonovaná na místě nad nosnou mostní deskou.

Nepropustnost – kromě obecnějších údajů o vodonepropustných konstrukcích, hlavně o bílých a oranžových vanách, se příspěvek [15] zabývá **vlivem drátků na kritickou šířku trhliny**, tedy na takovou šířku, při které je za běžných podmínek vyloučen průsak vody. Pro běžný železobeton je uvedena kritická šířka 0,07 mm. Při použití drátků s objemovým podílem 0,38 % (30 kg/m³) může být podle uvedeného obr. 1 tato šířka 0,1 mm, při objemovém podílu drátků 0,76 % (60 kg/m³) pak kolem 0,12 mm. Důležitý je též citovaný údaj Niemanna, že výpočtem určenou šířku trhliny pod 0,1 mm lze u železobetonu s dostatečnou spolehlivostí zaručit jen při použití drátkobetonu vyztuženého konvenční výztuží. Uvedeným zmenšením požadavku na návrhovou šířku trhliny lze však dosáhnout významné úspory ocelové výztuže.

Betonové podlahy – u betonových podlah je hlavním problémem smrštění, nikoliv namáhání ohybem; bližší v kapitole o bezespárých podlahách.

Vhodnost drátkobetonu při smykovém a vícesměrném namáhání

Při smykovém a vícesměrném namáhání může být drátková výztuž využitá efektivněji než při převládajícím namáhání ohybem. Vedle vícesměrnosti je důvodem i pracnost a relativně malá účinnost alternativní třmínkové vý-

ztuže, zvláště pak v případě tenkých desek (směrně pod 300 mm). Přesto je této oblasti věnována podstatně **menší pozornost než využití vláken při převládajícím namáhání ohybem**. Velká část publikovaných zkoušek je prováděna záměrně tak, aby nedošlo ke vzniku smykových trhlin. Tomu odpovídá i zaměření příslušných evropských technických norem (viz kapitola věnovaná normám).

Uvedená kritika zaměření aplikovaného a experimentálního výzkumu se netýká předpjatého betonu.

Smykové namáhání

V ústavu „Institut für Massivbau der RWTH Aachen“ byly provedeny [16] čtyřicet dvě zkoušky, při kterých byl se zaměřením na zvětšení smykové únosnosti (a trvanlivosti) ověřován vliv obsahu vláken, velikosti předpětí, štíhlosti a lokální dodatečné výztuže na plnostěnných vaznicích a na vaznicích s otvory ve stojině. Z uveřejněných výsledků lze soudit, že z hlediska smykové únosnosti je v obvyklých případech technicky a ekonomicky nejvýhodnější obsah drátků kolem 1 % (asi 78 kg/m³).

Na úspornější a technologicky vhodnější obsah drátků 45 kg/m³ se zaměřili Vítek a Kohoutková [7]. Zkoušeny byly nosníky tvaru T o rozpětí 3,2 m vyztužené u referenčních nosníků klasickou betonářskou výztuží a u předpjatých nosníků monostrandem o průměru 15,5 mm, bez soudržnosti. Beton měl ve stáří 28 d krychelnou pevnost 70 MPa. S cílem zvýraznit vliv smykového namáhání byla břemena umístěna ve vzdálenosti 1/6 rozpětí od podpor. Nosníky s drátkovou výztuží měly proti referenčním nosníkům mírně vyšší únosnost, jejich průhyby ve středu nosníku byly však menší. Při zkoušce se porušení lokalizovalo do jediné trhliny. Drátky v použitém množství neumožnily rozložení do více trhlin (podobně jako u referenčního nosníku s klasickou výztuží včetně třmíneků profilu 8 mm ve vzdálenosti 150 mm).

Na smykové působení se soustředila i přednáška T. Noshiravaniho a E. Brühwiler [17] zaměřená v zájmu hospodárnosti na trámce z běžného železobetonu zesílené vrstvou z drátkobetonu obsahující případně i pruty betonářské výztuže.

Drátkobeton v kotevní oblasti

Na tuto oblast byla zaměřena i výše citovaná práce [7]. V kotevní oblasti by-

ly místo běžné spirály (použité v referenčních tělesech) použity drátky Arceclor 75/50 v množství 40 kg/m³. Zkoušky byly prováděny ve stáří betonu 5 až 7 dní, kdy pevnost dosahovala kolem 80 % 28denní pevnosti. Všechny vzorky splnily kritérium únosnosti. Závěr autorů: „U vzorků z drátkobetonu byly pozorovány širší trhliny a to již po prvním cyklu. Jeden vzorek z drátkobetonu kritérium šířky trhlin nesplnil. Přesto lze konstatovat, že drátkobeton je pro kotevní oblasti použitelný, bylo by však asi vhodné množství drátků navýšit.“

Na předpjaté drátkobetonové dílce ze samozhutitelného betonu se zaměřil i citovaný příspěvek [8]. V dílcích byla eliminována veškerá smyková výztuž (třmínky) a měkká výztuž v kotevní oblasti. Přínosem je i zjištění, že za použitých podmínek splnil požadavky na samozhutitelnost i beton obsahující drátky v dávce až 140 kg/m³.

Protlačování, soustředěný tlak, kroucení

Využití vláken ve více než v jednom směru může být velmi efektivní. Kromě problémů s omezením drahého účinného drátkobetonu (směrně s obsahem drátků nad 100 kg/m³) do kritické oblasti (mj. např. do ozubu nosníků) zůstávají zde, podobně jako při použití běžné betonářské výztuže, problémy v navrhování [18]. V Německu, kde dosud platí pro navrhování národní norma DIN 1045-1, řeší toto použití drátkobetonu ve sledované oblasti uvedená nová směrnice [4]. Podobně jako pro namáhání smykem je pro protlačování a pro soustředěný tlak účinnost drátků odvozována ze zkoušek v tahu za ohybu (viz dále uvedené poznámky ke zkoušení). Pro kroucení je však výslovně uvedeno (čl. 10.4), že se nesmí s účinností drátků uvažovat. Z uvedeného je vidět, že je ještě co řešit, též v oblasti zkoušení drátkobetonu.

BEZESPARÉ PODLAHY, OMEZENÍ VZNIKU A ŠÍŘKY SMRŠŤOVACÍCH TRHLIN

Pro výrobní a provozní potřeby s dilatačními a smršťovacími spárami má vláknobeton nezastupitelné místo i pro výrobu **rozměrných betonových ploch**, zvláště podlah. Alternativní řešení (použití běžných sítí, předpětí) mají totiž i dále uvedené nevýhody. Kromě distancování sítí (u tlustších desek se doporučuje umístění sítí v úrovni třetiny tloušťky desky od horního povrchu) mohou zde být i problémy s ukládkou. V případě nepoužití běžné výztuže se vláknobeton (zpravidla drátkobeton) snadněji rozlévá. Absence výztužných sítí navíc umožňuje pohyb autodomíchávačů a lze se proto obejít i bez čerpadla [19].

Při uvedeném použití vláknobetonu hraje největší roli smršťování. Nejrozšířenější zkoušení volně uložených těles nebere dostatečně v úvahu **relaxaci** smrštěním vyvolaného tahového napětí v podmínkách „vázaného smrštění“ (vlivu smrštění na napětí a vznik trhlin v podmínkách téměř nulového přetvoření plochy desky).

Uvedené **provozní zkoušky** popisuje např. Collepardi [19]: Na betonové ploše byly vybetonovány 8 m dlouhé a 0,4 m široké pásy betonů různého složení (pět alternativ), vždy s tloušťkou 60 mm a bez betonářské výztuže. Aby bylo vyloučeno délkové přetvoření, byly zkoušené pásy na obou koncích pevně přitazeny k podkladu. Uvedenými zkouškami byla mimo jiné prokázána účinnost spolupůsobení přísad (superplastifikátor na bázi polykarboxylátů, smrštění redukující přísada na bázi polyetylglykolu) a polypropylenových makrovláken (délka 30 mm, průměr 0,95 mm, množství 3,5 kg/m³). Uvedená málo tuhá makrovlákna zastavila hned v počátku růst drobných trhlinek. Jedině tato alternativa byla proto hodnocena jako bez trhlin (u alternativy se samotným superplastifikátorem byly evidovány čtyři trhliny a maximální šířka 1,05 mm).

Podobně zaměřené zkoušky navrhl Dohnálek [20]. K umožnění **laboratorních zkoušek** je navrženo zkoušení vázaného smrštění v korytkové laboratorní formě (obr. 2). Při zkoušce je beton vázán soudržností k povrchově upraveným stěnám formy, s fixací konců se zatím neuvažovalo. Pro omezenou délku formy (1 m) a malé příčné rozměry uvažovaného ocelového úhelníku (100 mm) by bylo možno uvedenou metodu využívat hlavně pro zkoušení velmi jemnozrnných betonů nebo pro zkoušení pojivových tmelů. V případě zaměření na samotné pojivové tmely by bylo možno příčné rozměry dále zmenšit a umožnit tak žádoucí prodloužení formy i při únosné hmotnosti soustavy.

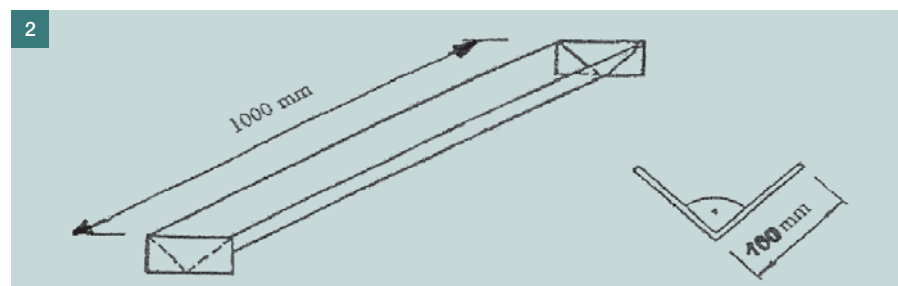
Smrštění pojivového tmelu se neprojevuje pouze přetvořením betonových prvků, vnitřními napětími a vznikem a rozšiřováním trhlin. Závažný je i jeho **vliv na jakost tranzitní zóny, a tím na soudržnost pojivového tmelu s kamenivem**. Jeho důsledkem je pravděpodobně i nevhodnost hrubých zrn kameniva v oboru vysokých pevností (tedy při velmi malých vodo-pojivových součinitelích, při vysokém podílu objemu cementového tmelu, a proto i při velkém autogenním smrštění). Z uvedených důvodů zasluhují pozornost i všechna opatření vedoucí k omezení objemových změn pojivového tmelu.

V prvé řadě jde o zmíněné dosti drahé [19] **příspěvky omezující smrštění SRA** (Shrinkage-Reducing-Admixture), případně o novou řadu superplastifikátorů s funkcí SRA. Dále zasluhují pozornost i rozpínavé přísady. Podle Collepardiho je vhodné „mrtvě pálené“ **vápno** (tedy ostře pálené, i při teplotě nad 1 150 °C) a hlavně jeho kombinace s dalšími přísadami (superplastifikátor, SRA) a s vláknem.

Smrštění pojivového tmelu lze omezit i jakostním ošetřováním. Splnění tohoto požadavku je však někdy obtížné a to nejenom pro provozní důvody, ale i pro důvody fyzikální. Vzhledem k malé propustnosti vysokohodnotného betonu je např. obtížné nasycit vnitřní části konstrukce vodou tak, aby v nich nedocházelo vlivem hydratace k podtlaku, a tím i k nepříznivým důsledkům vyplývajícím z autogenního smrštění pojivového tmelu. S tímto cílem je nyní ověřováno **vnitřní ošetřování betonu s použitím superabsorpčních polymerů (SAP)**, viz např. [21] a četné další publikace. Takto se mohou uplat-

Obr. 2 Korytková forma pro zkoušení vázaného smrštění [20]

■ Fig. 2 Trough mould for testing of coupled shrinkage [20]



nit i vodou nasycená zrna pórovitého kameniva [22].

VLIV PROSTŘEDÍ

Výše bylo již uvedeno, co uvádí nová směrnice [4] k odolnosti drátků proti vlivům prostředí: že drátky sice mohou povrchově korodovat a tato **korozivně neovlivňuje jejich trvanlivost**, že je však třeba počítat s možností povrchového zbarvení. Podle [4] uvedené však **neplatí pro vliv prostředí X0** a dále, při neexistenci betonářské výztuže, pro vlivy prostředí **XS2, XS3, XD2 a XD3**.

Jednou z hlavních funkcí vláken, zvláště při současných velkých tloušťkách krycí vrstvy, je omezit šířku trhlin na exponovaném vnějším povrchu betonových konstrukcí (podobně jako při uvedeném dřívějším používání rabcového nebo jiného pletiva). Zde konkurují vláknům, především drátkům, **výztužné prvky odolné proti korozii**. V tomto oboru je sice i u nás příznivý vývoj, např. [23, 24, 25], trvají však některé technické a ekonomické problémy [19], např.:

- špatná přilnavost nerezové oceli k betonu,
- četné nevýhody pozinkované výztuže, vč. vlivu galvanického článku mezi pozinkovanou a nepozinkovanou výztuží, retardace zpevňování na styku s výztuží, problémy s ohýbáním,
- možnost porušení epoxidového povlaku ocelové výztuže pro jeho křehkost,
- malá tažnost výztuže ze skelných vláken.

POZNÁMKY K NORMÁM A SMĚRNICÍM

Oblast vláknobetonu je technickými evropskými normami bohatě pokryta. Pokud k takto zaměřeným obecným normám přidáme i ty stránky norem pro stříkaný beton, které se vztahují k vláknobetonu (asi 32 stran), dostaneme celkem kolem 114 stran. Tento rozsah by mohl být přiměřený v případě, kdyby kromě těchto norem nebyly velmi často (někde dokonce převážně) používány i další směrnice; tedy jako v případě úspěšného zavádění evropských norem v oblasti přísad, kde se za přispění sekretariátu DIN dospělo k jejich uplatnění bez potřeby jejich doplňování národními normami nebo jinými předpisy.

V případě norem pro vláknobeton, řešených též za spoluúčasti sekretariátu DIN, je situace horší. V Německu, tedy v zemi tohoto sekretariátu, jsou účel-

ně využívány i jinak zaměřené směrnice (případně další předpisy a pomůcky) a to zvláště v oboru zkušebnictví (viz následující kapitola). Podobná situace je i u nás, viz technické podmínky [26].

Jak již bylo uvedeno, byly pro drátkobeton vydány v březnu 2010 **nové směrnice DafStb** [4]. Na jejich titulní stránce je mimo jiné zdůvodněno, proč **tyto směrnice nejsou v rozporu s evropskou technickou legislativou**. Kromě citací příslušných dokumentů je uveden i hlavní důvod: splňují požadovanou úroveň bezpečnosti, ochrany zdraví a dlouhodobé použitelnosti.

Uvedené směrnice mají následující části:

- **Část 1 – Doplnky a změny k normě DIN 1045-1, zaměřené na navrhování.** Tato část je nejobsáhlejší (dvacet tři strany). V úvodu je v prvé řadě uvedeno, že směrnice se nevztahuje na předpjatý, vysokopevnostní, lehký, samozhutnitelný a stříkaný beton a na jmenované vlivy prostředí (hlavně XD2 a XD3, viz předchozí kapitola). Kromě běžných částí norem (termíny, značky) jsou dále uvedeny změny a doplnky mnohých článků DIN 1045-1.
- **Část 2 – Doplnky a změny k normám DIN EN 206-1 a DIN 1045-2.** Zde převládají články, které doplňují **ustanovení o výrobní kontrole a o kontrole shody**. Další změny se týkají příloh DIN EN 206-1: normativní příloha A (průkazní zkoušky) je nahrazena normativní přílohou N, normativní příloha H pro drátkobeton neplatí, **doplněny jsou dále následující normativní přílohy: M** stanovující zkušební postup pro určení obsahu drátků, **N** pro průkazní zkoušky, **O** pro zkoušky k určení zbytkových pevností (viz následující kapitola) a třídy drátkobetonu, **P** pro stanovení součinitele potřebného ke stanovení pevnosti v centrickém tahu a **Q**, které zahrnuje další doplňkové předpisy pro drátkobeton.
- **Část 3 – Doplnky a změny k normě DIN 1045-3, zaměřené na provádění betonových konstrukcí.** Tato část obsahuje doplnky k ukládce a zhutňování betonu a k zařazení drátkobetonu do tříd provádění 2 a 3. Tato část dále obsahuje normativní přílohu A, která stanovuje pravidla o četnosti zkoušek a kritériích vybraných vlastností čerstvého a ztvrdlého drátkobetonu.

POZNÁMKY K MECHANICKÝM ZKOUŠKÁM VLÁKNOBETONU

Pevnost v tahu za ohybu (mez úměrnosti, zbytková pevnost)

ČSN EN 14651 předepisuje zkoušení na hranolech s hranami příčného průřezu 150 mm a délky alespoň 550 mm. Vzdálenost podpěr je 500 mm, síla působí ve středu rozpětí, nad zářezem zabezpečujícím výšku průřezu 125 ± 1 mm (směrně do hloubky 25 mm). Zbytková pevnost v tahu za ohybu se určuje z grafu závislosti rozevření trhliny na zatížení, případně z grafu závislosti průhybu na zatížení.

Další používanou zkouškou je zkouška dle technických podmínek [26] (nyní i dle směrnic [4]). Při ní se používá standardní hranol 150 x 150 x 700 mm, zde však s rozpětím 600 mm a se zatěžováním **v třetinách rozpětí** (čtyřbodová zkouška). Zářez se neprovádí. Zbytková pevnost v tahu za ohybu se určuje z grafu závislosti průhybu na zatížení.

Z hlediska provádění jsou obě zkušební metody nevýhodné pro velkou hmotnost zkušebních těles. Z tohoto důvodu zasluhuje pozornost i zkouška dle **ČSN EN 14483-3**, stanovená pro zkoušení pevnosti **stříkaného betonu** v tahu ohybem. Zde jsou zkoušeny trámce tloušťky 75 mm, šířky 125 mm a délky alespoň 500 mm. Objem těchto trámců je jen 0,38násobkem minimálního objemu trámce dle ČSN EN 14651. Jejich hmotnost je kolem 11,3 kg, tedy podstatně menší než 29,7 kg u nejkratšího trámce dle ČSN EN 14651. Přitom příčné rozměry uvedených lehčích trámců vyhovují naprostě většině nyní používaných drátkobetonů. Z hlediska měření a funkce je připomínaná zkouška blízká k osvědčené zkoušce dle [26], a tím i ke zkoušce dle nejnovějšího předpisu [4]. Přínosem by byla i možná unifikace předpisů.

Další zkoušky

Určitou pozornost si zasluhuje i další zkouška předepsaná normou pro stříkaný beton **ČSN EN 14488-5**. Tato norma popisuje způsob stanovení odezvy na vztah zatížení/průhyb deskového tělesa tloušťky 100 mm a plošných rozměrů 600 x 600 mm s cílem stanovit útlum energie při průhybu 25 mm uprostřed desky. Deska uložena na čtvercovém rámu vnitřních rozměrů 500 mm je uprostřed zatěžována břemenem působícím na čtvercovou desku s hranami 100 mm. Takto lze hodnotit účinnost vláknové výztuže

Literatura:

- [1] *Alfes Ch., Wiens U.*: Stahlfaserbeton nach DAfStb-Richtlinie (Drátkobeton podle směrnice „DAfStb-Richtlinie“), beton 04/2010
- [2] *Empelmann M., Teutsch M., Müller C.*: Tragverhalten von Ultrahochleistungsbeton im Nachbruchbereich (Nosné chování ultravysokohodnotného betonu v době po porušení), beton 05/2010
- [3] *Wietek B.*: Stahlfaserbeton (Drátkobeton), 2. přepr. vydání, 2010, ISBN 978-3-8348-0872-1, Vieweg+Teubner
- [4] DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton (Směrnice DafStb Vlákobeton), vydaná v březnu 2010 Německým výborem pro železobeton (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton), Beuth Verlag GmbH, Berlin-No 65050
- [5] *Vítek J. L., Smiřinský S.*: Spolupůsobení klasické a rozptýlené výztuže, Beton TKS 02/2010
- [6] *Krátký J., Vodička J., Vašková J., Hanzlová H.*: Navrhování konstrukčních prvků z vlákobetonu vyztuženého betonářskou výztuží, Beton TKS 02/2010
- [7] *Vítek J. L., Kohoutková A.*: Předpjatý drátkobeton, 8. konf. Technologie betonu 2009
- [8] *Petřík V., Philipp N.*: Aplikace předpjatého vlákobetonu, Beton TKS 02/2010
- [9] *Hájek P., Kynčlová M., Fiala C.*: Vysokohodnotné vlákobetonu pro subtilní betonové konstrukce, Beton TKS 02/2010
- [10] *Vodička J., Veselý V., Kolář K., Krátký J.*: Praktické použití vlákobetonu, Beton TKS 02/2010
- [11] *Hauser S.*: Mikrobewehrter Hochleistungs-beton. Produkteigenschaften, Technologie, praktische Anwendung. (Mikrovyztužený vysokohodnotný beton. Vlastnosti výrobku, technologie, praktické využití.), BFT 02/2010
- [12] ČSN 73 2001 Projektování betonových staveb, 1970
- [13] *Oesterlee C., Sadouki H., Brühwiler E.*: Analyse structurale d'un pont composé de BFUP et de béton armé (Strukturální analýza mostu z vyztuženého ultravysokohodnotného betonu s rozptýlenou výztuží), Neuvième édition des Journées scientifiques du Regroupement Francophone pour Recherche et la Formation sur le Béton (RF)²B, Lausanne, Suisse, 28-29 aout 2008
- [14] *Charron J.-P., Lessard M.-C., Massicotte B.*: Comportement des dalles de ponts avec pré-dalles préfabriqués en bétons renforcés de fibres (Spolupůsobení mostních desek s prefabrikovanými deskami zpevněnými vlákny), Dixième édition des Journées scientifiques du Regroupement Francophone pour Recherche et la Formation sur le Béton (RF)²B, Cachan, France, 2-3 juillet 2009
- [15] *Petřík V., Půlpán M., Philipp N.*: Vodonepropustné vlákobetonové konstrukce, Beton TKS 02/2010
- [16] *Hegger J., Bertram G.*: Spannbetonbinder aus ultrahochfestem Beton mit Faserbewehrung. Experimentelle Untersuchungen, praktische Anwendung (Předpjaté betonové vazníky z ultravysokopevnostního drátkobetonu. Experimentální vyšetřování, použití v praxi), BFT 02/2010
- [17] *Noshiravani T., Brühwiler E.*: Comportement des éléments composés de béton armé et BFUP sous les effets combinés de flexion et cisaillement (Chování prvků ze železového betonu a z ultravysokohodnotného betonu při působení ohybu a smyku), Dixième édition des Journées scientifiques du Regroupement Francophone pour Recherche et la Formation sur le Béton (RF)²B, Cachan, France, 2-3 juillet 2009
- [18] *Hegger J., Walraven J. C., Häusler F.*: Zum Durchstanzen von Flachdecken nach Eurocode 2, Beton- und Stahlbetonbau 4/2010
- [19] *Colleparidi M.*: Moderní beton, Informační centrum ČKAIT, 2009
- [20] *Dohnálek J.*: Návrh metodiky zkoušení vázaného smrštění za použití korytkové formy, 2008
- [21] *Briatka P., Makýš P.*: Ošetřovanie čerstvého betónu – 2. Superabsorpčné polyméry, Beton TKS 02/2010
- [22] *Briatka P., Makýš P.*: Ošetřovanie čerstvého betónu – 3. Nasiaknuté ľahké kamenivo, Beton TKS 03/2010
- [23] *Štěpánek P.*: Betonové konstrukce se zvýšenou odolností proti agresivním vlivům, 15. Betonářské dny 2008
- [24] *Horák D., Štěpánek P.*: Vývoj nekovových výztuží do betonu 1, Materiály pro stavbu 01/2009
- [25] *Podolka L., Kolísko J., Dlouhá R., Menšík A.*: Zkušenosti z experimentů s FRP a skleněnou výztuží a jejich uplatnění v praxi, 16. Betonářské dny 2009 – Sb. příspěvků konf.
- [26] TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vlákobeton – Část 1 Zkoušení vlákobetonu – Vyhodnocení destruktivních zkoušek a stanovení charakteristického pracovního diagramu vlákobetonu pro navrhování vlákobetonových konstrukcí, ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra betonových a zděných konstrukcí, 2007
- [27] *Strack M.*: Modellbildung zum rissbreitenabhängigen Tragverhalten von Stahlfaserbeton unter Biegebeanspruchung (Modelování únosnosti drátkobetonu při namáhání ohybem), dizertace na Ruhr-Universität Bochum, 2007

na přetvárné vlastnosti (houževnatost, duktilitu, tím i na možnost využít redistribuci zatížení) a schopnost odolat nárazům. (Částečně podobnou funkci mají i zkoušky „bodově“ zatížených kruhových desek uveřejněné v dizertační práci M. Stracka [27]).

Kromě výše uvedených (i dalších) možností ověřování vlivu vázaného smrštění si zasluhuje pozornost i otázka účelnosti laboratorních zkoušek vlákobetonu zaměřených na porušení takovým smykem, při kterém se neuplatňuje ani porušení v hlavním tahu, ani porušení smykem, ke kterému dochází při zkouškách pevnosti v tlaku, tedy k ověření schopnosti odolat protlačení nebo namáhání soustředěným tlakem, případně i kroucení v kombinaci s tlakem.

ZÁVĚREČNÉ POZNÁMKY

Uvedený příspěvek zdaleka nevystihuje celou problematiku vlákobeto-

nu. Pominuty byly hlavně ty oblasti, kde o účelnosti vlákobetonu není třeba diskutovat. Mimo jiné jde o jeho využití ke zvýšení odolnosti proti působení rázů (též účinkům výbuchu), o použití betonu a malt s vlákny pro sanace, o použití polypropylenových nebo obdobných vláken s cílem zvětšit odolnost betonu proti požáru, nebo o využití uvedených vláken k omezení důsledků plastického smrštění. Též nebyl dostatečně zdůrazněn kladný vliv pevnosti betonu na efektivnost využití drátků, případně i jiných vláken. Pro rozsáhlost problematiky byly též zcela pominuty možnosti uplatnění přírodních a minerálních vláken (skleněných, čedičových, struskových).

Též je třeba doplnit, že vše, co platí pro drátkobeton, platí v určité míře i pro použití jiných vláken, které kromě dostatečné pevnosti mají proti běžným polymerům (např. polypropylenu) významně větší i modul pružnosti. Colle-

pardi [19], i jiní, popisují např. vhodnost vláken PVA. Již nyní dále existují uhlíková vlákna i další velmi tuhá a pevná polymerová vlákna, která pro jejich vysokou cenu nelze dosud hromadněji využívat. Je však reálná naděje na jejich zlevnění.

Pro rozsáhlost uvedené „literatury“ se autoři omlouvají, že asi neuvedli některé ze závažných zdrojů a že uvádějí pravděpodobně i poznatky čerpané i z jiných, než z uvedených pramenů.

Ing. Alain Šterba
Loudin a spol., s. r. o.
Křivá 8, 130 00 Praha 3
e-mail: a.sterba@volny.cz



Ing. Pavel Rieger
Zapa beton, a. s.
Vídaňská 495, 142 01 Praha 4
e-mail: pavel.rieger@zapa.cz

