

VÝROBA A ZKOUŠENÍ DESEK Z LEHKÉHO TEXTILÍ VYZTUŽENÉHO BETONU

Tereza Cibulka, *

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
tereza.cibulka@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Článek se zabývá lehkým betonem vyztuženým vlákny usměrněnými v podobě sítě a jeho aplikací v tenkostěnných konstrukcích. Součástí experimentálního výzkumu byla výroba zkušebních vzorků v podobě tenkostěnných desek a dále doprovodné vzorky pro zjištění materiálových charakteristik lehkého betonu. Použitá receptura jemnozrnného betonu obsahuje pórovité kamenivo Liapor. K vyztužení desek byly použity dva typy 3D skelných sítí lišící se hustotou ok. Desky byly betonovány horizontálně ve speciálních dřevěných formách. Vhodná receptura zamezila nežádoucí separaci lehkého kameniva. Vzorky prokázaly vysokou pevnost i při nízké objemové hmotnosti. Desky zkoušené tahem za ohybu vykázaly po odtižení schopnost částečného uzavření trhlin a redukce výsledného průhybu. Tím bylo prokázáno, že tato výtuz působí částečně jako předem předpjatá.

KLÍČOVÁ SLOVA

Lehký beton • Pórovité kamenivo • Textilní beton • Tenkostěnné konstrukce

ABSTRACT

The paper deals with lightweight concrete with fibre reinforcement fixed in the net form and its application in thin-walled structures. The experimental research included the production of thin-walled slabs and complementary test specimens to determine the lightweight concrete material characteristics. The recipe of fine-grained concrete used contains Liapor porous aggregate. Two types of 3D glass textiles with different mesh densities were used to reinforce the slabs. The slabs were concreted horizontally in special wooden formworks. A suitable recipe avoids undesirable separation of lightweight aggregates. Specimens showed high strength even at low bulk density. Slabs tested in flexural strength demonstrated, after unloading, the ability to partially close cracks and reduce the resulting deflection. This fact proved that this reinforcement acts partially pre-stressed.

KEYWORDS

Lightweight concrete • Lightweight aggregate • Textile reinforced concrete • Thin-walled structures

1. ÚVOD

Vzrůstající poptávka po speciálních betonech, jak z hlediska estetického, tak i z hlediska náročných požadavků na vlastnosti fyzikálně-mechanické, vybízí k hledání netradičních možností pro splnění daných nároků. Tento článek se zaměřuje na kombinaci dvou základních přístupů pro získání velmi tenkých a lehkých konstrukcí při zachování vysoké únosnosti takto vyrobených prvků.

Kromě redukce tloušťky konstrukce, lze požadavek na snížení vlastní tíhy konstrukce splnit například vylehčením samotné matrice betonu nahrazením přírodního kameniva pórovitým kamenivem. Takto vzniklý kompozit lze nazvat lehkým betonem (LC), je-li jeho objemová hmotnost ve vysušeném stavu větší než 800 kg/m^3 a menší než 2000 kg/m^3 .

Beton vyztužený textilií (TRC) se rovněž ukázal jako slibná alternativa pro dosažení vytyčených požadavků, která umožňuje realizaci tenkých a lehkých konstrukcí a zároveň nabízí odolnost proti korozi. (Hegger et al. 2008) Oproti vyztužení rozptýlenými jednotlivými vlákny v případě vláknobetonu (FRC) jsou vlákna TRC uložena ve vhodné poloze vzhledem k uvažovanému namáhání a vůči sobě fixována ve formě sítě.

Při vhodném návrhu a technologii výroby umožňuje tento způsob vyztužení dosažení tvarově složitých tenkostěnných konstrukcí při zachování vysoké únosnosti. (Brückner et al. 2006) Konkrétně výroba nástřikem betonu na síť umožňuje sice poměrně velkou volnost při návrhu tvarů, avšak při tomto způsobu výroby oproti odlití do formy lze dosáhnout pouze relativně nízkého stupně vyztužení, což vylučuje její použití v mnoha různých zatěžovacích situacích. (Schneider et al. 2006) Ačkoli TRC je rozsáhle zkoumána, formalizace experimentálních metod a standardů návrhu stále probíhá.

Výzkum probíhající na Katedře betonových a zděných konstrukcí Fakulty stavební ČVUT v Praze se zabývá mimo jiné možnostmi vhodných aplikací lehkého textilbetonu (TRLIC), technologií výroby a jeho materiálovými charakteristikami.

Významnou součástí výzkumu je také ověřování hypotéz experimentální cestou. Tento článek se soustředí na poznatky získané opakovanými experimenty a demonstruje zásadní zjištění na dvou sadách vzorků tenkostěnných desek vyztužených 3D skelnou sítí s rozdílnou hustotou ok vláken. Součástí experimentu byla rovněž výroba doprovodných zkušebních vzorků pro zjištění materiálových charakteristik.

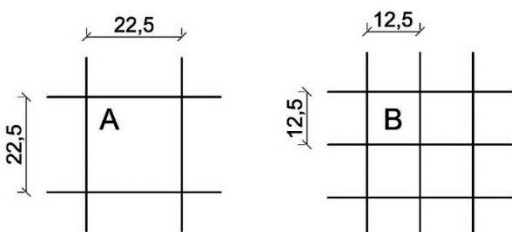
* Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc.

2. EXPERIMENTÁLNÍ VÝZKUM

V rámci výzkumu této problematiky bylo přistoupeno k výrobě zkušebních vzorků. Jako referenční zkušební vzorek pro tenkostěnné konstrukce byla zvolena deska o šířce 150 mm, délce 620 mm a tloušťce 18 mm. Pro porovnání chování vzorků TRLC bylo vyrobeno celkem dvě sady s rozdílnou hustotou sítí A a B, každá po třech vyztužených deskách, a doprovodné nevyztužené zkušební vzorky.

2.1. Výztuž

Použitá 3D skelná výztuž není náchylná ke korozi a krycí vrstva může být tedy výrazně nižší ve srovnání se standardním železobetonem. Pevnost svazku vláken činí 1100 MPa, plocha svazku vláken pak $3,7 \text{ mm}^2$. Vzdálenost 2D vrstev sítí sady A s oky $12,5 \times 12,5$ [mm] a sady B s oky $22,5 \times 22,5$ [mm] je 11 mm (obrázek 1).



Obrázek 1: Srovnání hustoty sítí obou sad.

2.2. Receptura

Obecně pro TRC je vhodné použití textilií mřížových struktur s dostatečným rozstupem vláken a k nim odpovídající velikosti zrn kameniva, aby byla zajištěna dostatečná soudržnost mezi textilií a betonem. Protože je pevnost pórovitého kameniva obvykle nižší než pevnost cementového tmelu, odvíjí se tedy pevnost výsledného betonu převážně od pevnosti použitého cementového pojiva.

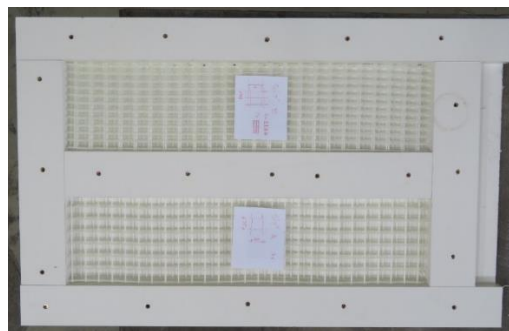
Jako vhodná náhrada přírodního kameniva byl zvolen expandovaný jíl – Liapor. Frakce pórovitého kameniva byla vzhledem k uvažované aplikaci do tenkostěnných prvků a současně z důvodu zajištění dostatečného spolupůsobení s uvažovanou textilní výztuží zvolena 0-2 mm. Liapor zvolené frakce vykazuje sypanou hmotnost 575 kg/m^3 .

Použitá receptura obsahuje dále portlandský cement CEM I 52,5, písek, popílek, mikrosiliku a superplastifikátor pro zajištění dostatečně tekuté konzistence čerstvého betonu. Vhodná konzistence čerstvého betonu byla prověřována průběžně zkouškou rozlivem. Receptura byla navržena tak, aby docházelo k minimalizaci separace cementového tmelu a lehkých zrn Liaporu.

2.3. Bednění

Oproti dřívějším experimentům bylo z důvodu ověření chování lehkého betonu při odlišném způsobu betonáže přistoupeno k betonáži do vodorovného bednění. Skelné sítě byly nejprve

vloženy do připravených forem s povrchovou úpravou laminací a jejich poloha byla od spodního povrchu fixována plastovými distančními prvky (obrázek 2). Krycí vrstva byla 2 mm. Až poté byl čerstvý beton pro výrobu desek umístěn do bednění.



Obrázek 2: Umístění 3D skelných textilií v horizontálním bednění.

2.4. Postup betonáže

Požadovaná konzistence byla v průběhu betonáže ověřována zkouškou rozlitím na setřásacím stolku, jejíž výsledky byly využity pro zpracování směsi. Vibrování čerstvého betonu v horizontálním bednění bylo minimalizováno z důvodu eliminace separace složek při dodržení dostatečné doby potřebné ke zhuštění. Ostatní vzorky byly taktéž krátce vibrovány.



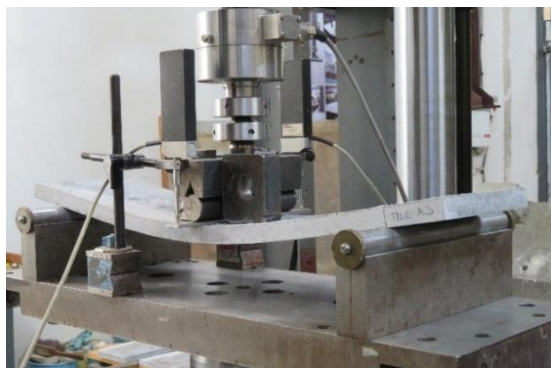
Obrázek 3: Pohled na vybetonované vzorky desek.

2.5. Zkoušení vzorků

Pro zjištění materiálových charakteristik byly vzorky podrobeny destruktivním zkouškám. Pro zkoušení vyrobených desek bylo použito stroje pro zkoušky ohybem řízenou deformací. Vzhledem k charakteru výztuže byly vzorky zkoušeny třibodovým uspořádáním, což zjednodušilo zkoušku ohybem. Vzdálenost podpor byla 500 mm.

Desky byly zkoušeny do vzniku první trhliny. Vzhledem k charakteru výztužení a k průběhu viditelném na záznamu závislosti síly na průhybu v průběhu zkoušení bylo rozhodnuto ve zkušence zatěžování desek pokračovat i po vzniku první trhliny. Desky byly zkoušeny do zvolených průhybů 14, 21 a 30 mm, což odpovídalo přibližně pětadvaceti, pětaticeti

a padesátinásobku průhybu při vzniku první trhliny. Z důvodu ověření chování desek po odtížení bylo přistoupeno k ukončení zkoušky pro desky před konečnou destrukcí prvku. Díky tomu bylo možné sledovat chování desek při odtížení.

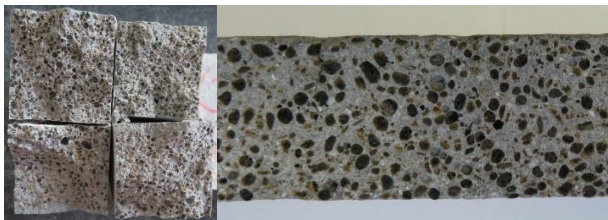


Obrázek 4: Průhyb a porušení desky tříbodovým ohybem.

Vzorky trámčů o rozměrech 40 x 40 x 160 [mm] byly zkoušeny čtyřbodovým ohybem. Krychle o hranách délky 150 mm byly zkoušeny v tlaku.

3. VÝSLEDKY ZKOUŠEK

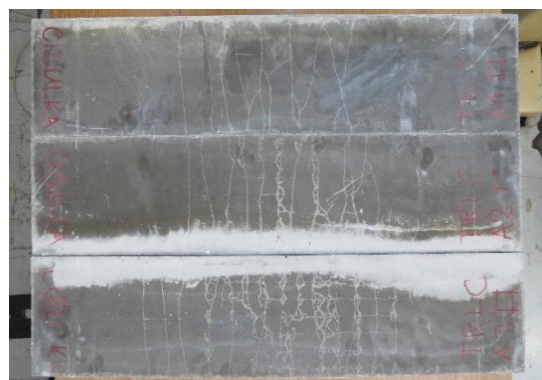
Vhodně zvolená receptura a postup betonáže i přes uložení do horizontálního bednění eliminovaly separaci složek čerstvého betonu a bylo tedy dosaženo rovnoměrného rozmístění jednotlivých složek v betonu (obrázek 5).



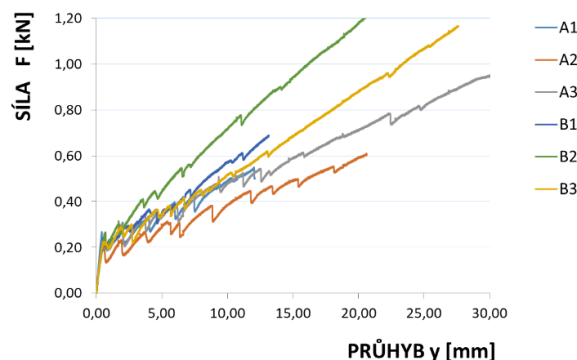
Obrázek 5: Rozmístění složek betonu ve vzorcích.

3.1. Zkoušení desek tříbodovým ohybem

Při odtěžování a po vyjmutí z lisu bylo pozorováno uzavírání trhlin a tak bylo přistoupeno k měření trvalého průhybu desek. Vizualně se ukázalo, že dochází k uzavírání trhlin, což je vidět v tabulce 1 s výsledky zkoušek. Napnutá vlákna vrátila odtíženou horizontálně betonovanou desku až o 80 % průhybu nazpět do její původní polohy. Vyšší pevnost při zkoušce v tahu za ohybu prokázaly desky sady B s výztuží s vyšší hustotou ok sítě. Výsledky průběhu zkoušky v tahu za ohybu pro desky lze vidět na obrázku 7.



Obrázek 6: Porovnání porušení spodního povrchu desek sady A s výztuží a trhlinami po zkouškách ohybem.



Obrázek 7: Průběh zkoušky ohybem pro dvě sady desek.

3.2. Zkouška trámčů čtyřbodovým ohybem

Výsledky zkoušek pro jednotlivé vzorky trámčů o rozměrech 40 x 40 x 160 [mm] jsou obsaženy v tabulce 2.

Tabulka 2: Výsledky zkoušek ohybem na trámčích.

zkušební vzorky	objemová hmotnost	síla	pevnost v tahu ohybem
	ρ [kg/m ³]	F [kN]	f_{ef} [MPa]
LC1	1635,2	1,53	2,38
LC2	1563,9	1,79	2,61
LC3	1572,9	1,71	2,59
LC4	1700,6	2,05	3,05
LC5	1540,0	1,66	2,41
LC6	1540,0	1,77	2,54
průměrné hodnoty			
LC	1599,6	1,7	2,5

Tabulka 1: Výsledky zkoušek ohybem na deskách 18 x 150 x 620 [mm].

zkušební vzorky	objemová hmotnost ρ [kg/m ³]	při vzniku trhlin			maximální zvolený průhyb			trvalá deformace po odtížení	
		síla	napětí	průhyb	síla	napětí	průhyb	průhyb	návrat
		F_1 [kN]	σ_1 [MPa]	y_1 [mm]	F_{max} [kN]	σ_{max} [MPa]	y_{max} [mm]	y_{fin} [mm]	% [mm]
A1	1632	0,27	3,57	0,43	0,57	7,6	14,2	4,5	68
A2	1701	0,22	3,22	0,55	0,61	8,9	20,7	9,0	56
A3	1707	0,26	3,54	0,63	0,96	13,1	30,4	13,0	57
B1	1641	0,24	3,28	0,54	0,77	10,5	15,2	5,6	57
B2	1625	0,27	3,56	0,70	1,25	16,7	21,3	4,4	63
B3	1659	0,22	3,19	0,50	1,26	18,1	30,4	12,5	80
průměrné hodnoty									
A	1680	0,25	3,44	0,56	0,71	9,9	21,7	8,8	61
B	1641	0,24	3,34	0,58	1,09	15,1	22,3	7,5	67

3.3. Zkouška krychlí v tlaku

Výsledky zkoušek pro jednotlivé vzorky krychlí o rozměrech 150 x 150 x 150 [mm] jsou obsaženy v tabulce 3.

Tabulka 3: Výsledky pevností v tlaku na krychlích .

zkušební vzorky	objemová hmotnost	síla	pevnost v tlaku
	ρ [kg/m ³]	F [kN]	σ [MPa]
LC1	1649,3	652,4	29,7
LC2	1648,9	690,0	31,4
LC3	1639,5	724,8	32,4
průměrné hodnoty			
LC	1645,9	689,0	31,1

4. DISKUZE

Při porovnání výsledků zkoušek v tahu za ohybu pro desky TRLC s 3D skelnou textilií lze konstatovat, že zvolená hustota výztuže má nezanedbatelný vliv na vlastnosti výsledného produktu. Jednoznačně se ukázalo, že typ výztuže A vykazuje menší únosnost než B. Zkoušky však prokázaly u obou sad vysokou únosnost takto vyztužených prvků.

Z chování vzorků po odtížení a z celkového pohledu na výsledky lze usuzovat, že výztuž působila v desce jako v předem předjatém betonu. Z měřených trvalých průhybů lze pozorovat, že porušení při vzniku trhlin může předpětí po odtížení v podstatě odstranit tím, že se deska vrátí do polohy před zatěžováním, tím se průhyb odstraní a trhliny se uzavrou. Zjištěný efekt v deskách vyztužených 3D skelnou sítí je třeba podrobně prokázat dalšími zkouškami zaměřenými na hustotu sítí, rychlost zatěžování a výpočty velikosti předpětí.

5. ZÁVĚR

Při požadavku na vylehčení betonového prvku je jednou z možností použití pórovitého kameniva. Takto vzniklý lehký beton lze pro použití v nosných konstrukcích vyztužit například vlákny usměrněnými v podobě sítě (TRLC). Tato kombinace umožňuje vytvářet lehké a tenké betonové díly s vysokou únosností. Pro účely výzkumu byly vyrobeny dvě sady tenkostěnných desek vyztužených 3D skelnou textilií, lišící se hustotou ok sítě, a doprovodné vzorky. Z výsledků destruktivních zkoušek vyplývá, že výztužná síť byla při průhybech předjata, což se projevilo uzavíráním trhlin po odtížení. Z toho plyne i využití desek při krátkodobém přetížení v praxi, kdy uvedené porušení nemusí předznamenávat kolaps konstrukce desky vzhledem ke korozivní odolnosti použité skelné výztuže.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek vznikl za finanční podpory ČVUT v Praze v rámci projektu SGS18/115/OHK1/2T/11. Tímto bych chtěla poděkovat svému školiteli panu doc. Ing. J. Vodičkovi, CSc.

Reference

- Hegger, J., Zell, M. & Horstmann, M. (2008), Textile Reinforced Concrete–Realization in applications, in 'Proceedings of International fib Symposium Tailor Made Concrete Structures: New Solutions For Our Society', pp. 357-362.
- Brückner, A., Ortlepp, R. & Curbach, M. (2006), Textile reinforced concrete for strengthening in bending and shear, in 'Materials and structures', Vol. 39, pp. 741-748.
- Schneider, H.N., Schätzke, C. & Bergmann, I. (2006), Textile Reinforced Concrete – Applications and Prototypes, in '1st International Conference Textile Reinforced Concrete (ICTRC)', pp. 287-297.