

VLIV TYPU OCELOVÝCH VLÁKEN NA TAHOVOU PEVNOST DRÁTKOBETONU

Jan Fleissig, *

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

ABSTRAKT

Předložený článek se zabývá vlivem typu ocelových vláken na tahovou pevnost drátkobetonu. V článku jsou konfrontovány 4 materiály – 1. prostý beton, 2. drátkobeton s objemovým zastoupením 1% ocelových vláken Fibrex, 3. drátkobeton s objemovým zastoupením 1% ocelových vláken Tritreg a 4. drátkobeton s objemovým zastoupením 1% ocelových vláken Fibrex + 1% ocelových vláken Tritreg. Ocelová vlákna Fibrex jsou 25 mm dlouhá a průřezu 0,4x0,6 mm bez koncových úprav. Pevnost v tahu mají drátky Fibrex 450 MPa a modul pružnosti 200 000 MPa. Ocelová vlákna Tritreg jsou 50 mm dlouhá a kruhového průřezu o průměru 1,05 mm s koncovou úpravou. Pevnost v tahu mají drátky Tritreg 1000 MPa a modul pružnosti 200 000 MPa. Cílem článku je popsat zásadní rozdíly ve vlivu ocelových vláken na tahové pevnosti drátkobetonu s ohledem na použití jednotlivých typů.

KLÍČOVÁ SLOVA

prostý beton, drátkobeton, ocelová vlákna, pevnost v příčném tahu, pevnost v tahu za ohybu, reziduální tahová pevnost

ABSTRACT

The paper is focused on the influence of the type of steel fibres on the tensile strength of steel fibre reinforced concrete. In the paper are compared 4 materials – 1. concrete, 2. steel fibre reinforced concrete with 1% Fibrex steel fibres, 3. steel fibre reinforced concrete with 1% Tritreg steel fibres and 4. steel fibre reinforced concrete with 1% Fibrex steel fibres + 1% Tritreg steel fibres. The length of Fibrex steel fibre is 25 mm and the cross section is 0.4x0.6 mm without the end adjustment. The tensile strength of Fibrex is 450 MPa and the modulus of elasticity is 200 000 MPa. The length of Tritreg steel fibre is 50 mm with circular cross section 1.05 mm with the end adjustment. The tensile strength of Tritreg is 1000 MPa and the modulus of elasticity is 200 000 MPa. The aim of paper is to describe the fundamental differences in the influence of steel fibres on tensile strength of steel fibre reinforced concrete with respect to the use of individual types of steel fibres.

KEYWORDS

concrete, steel fibre reinforced concrete, steel fibres, tensile splitting strength, tensile strength by the bending

1. ÚVOD

V předloženém článku jsou konfrontovány 4 zvolené materiály s ohledem na jejich tahové pevnosti – 1. pevnost v příčném tahu, 2. pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny a 3. reziduální pevnost v tahu za ohybu po vzniku makrotrhliny. Receptury pro výrobu jednotlivých materiálů viz Tabulka 1.

Charakteristická pevnost v příčném tahu je statisticky vyhodnocena pro každý jednotlivý materiál z výsledků zkoušek 3 zkušebních těles. Jako zkušební tělesa byly použity krychle o rozměrech cca 150x150x150 mm. Zkouška vychází z principu, že při lokálním vnesení tlakové síly dojde dříve k porušení zkušebního tělesa od příčných tahových napětí.

Charakteristická pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny je statisticky vyhodnocena pro každý jednotlivý materiál z výsledků zkoušek 4 nebo 6 zkušebních těles. Jako zkušební tělesa byly použity trámce o rozměrech cca 700x150x150 mm. Zkoušky byly provedené při čtyřbodovém uspořádání (čtyřbodový ohyb). Trámce byly ve zkušebním lisu uspořádány tak, aby směr zatížení působil kolmo na směr hutnění. Rychlost zatěžování byla konstatní a to 0,2 mm/min. Zkoušky byly řízeny průhybem, aby bylo možné zachytit sestupnou větev diagramu odolnosti a mohla být také vyhodnocena reziduální tahová pevnost.

Charakteristická reziduální pevnost v tahu za ohybu po vzniku makrotrhliny je statisticky vyhodnocena pro každý jednotlivý materiál z výsledků zkoušek 4 nebo 6 zkušebních těles. Jako zkušební tělesa byly použity trámce o rozměrech cca 700x150x150 mm (reziduální tahová pevnost byla zkoušena na stejných tělesech jako pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny). Hodnota reziduální tahové pevnosti je stanovena po vzniku makrotrhliny při průhybu trámce 3,5 mm.

Tabulka 1: Receptury jednotlivých materiálů

	$m_{v,i}$ 0-4	$m_{v,i}$ 4-8	$m_{v,i}$ 8-16	$m_{c,v,i}$	$m_{c,v,i}$	$V_{v,v,i}$	$m_{d,F,i}$	$m_{d,T,i}$	$V_{p,v,i}$
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[l/m ³]	[kg/m ³]	[kg/m ³]	[l/m ³]
1)	877	99	739	1715	518	181	0	0	2,42
2)	851	96	717	1663	534	187	78,5	0	2,50
3)	842	95	710	1647	544	190	0	78,5	2,54
4)	815	92	687	1594	560	196	78,5	78,5	2,62

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

2. METODY

2.1. Stanovení charakteristické pevnosti v příčném tahu

Pevnost v příčném tahu na krychlích o rozměrech cca 150x150x150 mm byla zkoušena v hydraulickém lisu (lis dle normy ČSN EN 12390-4).

Legenda:

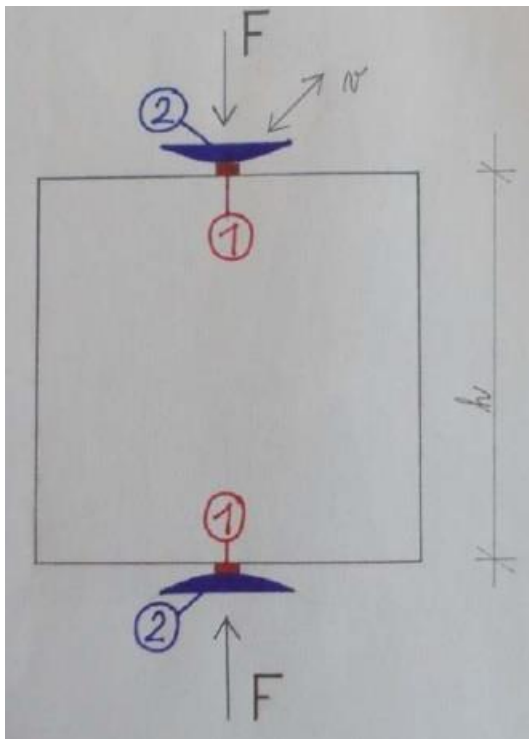
1 – dřevěná podložka

2 – ocelový segment umožňující přímkové zatížení

F = síla ve směru zatěžování [kN]

v = rozměr krychle ve směru roznášení zatížení [mm]

h = rozměr krychle ve směru zatěžování [mm]



Obrázek 1: Schéma zkoušky v příčném tahu na krychlích



Obrázek 2: Zkouška v příčném tahu na krychlích

Krychle z prostého betonu se při zkoušce rozlétly na dva kusy – křehký lom (viz Obrázek 3). Krychle z drátkobetonu se chovaly po vzniku makrotrhliny duktilně (viz Obrázek 4 a Obrázek 5).



Obrázek 3: Křehké chování krychle z prostého betonu



Obrázek 4: Duktilní chování krychle z drátkobetonu



Obrázek 5: Krychle z drátkobetonu po zkoušce v příčném tahu

Použité typy ocelových vláken pro výrobu zkušebních těles viz Obrázek 6 a Obrázek 7.

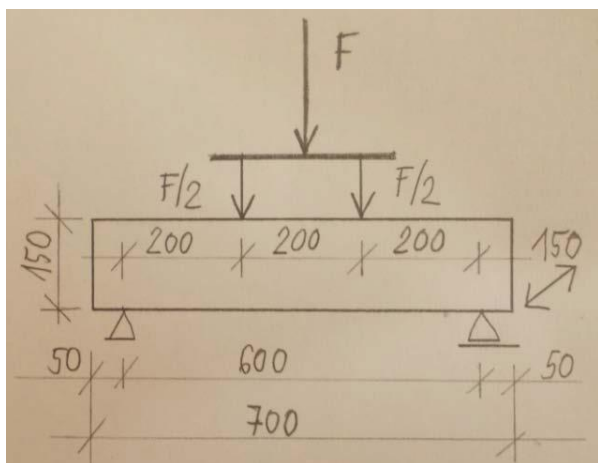


Obrázek 6: Ocelové vlákno Fibrex



Obrázek 7: Ocelové vlákno Tritreg

2.2. Stanovení charakteristické pevnosti v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny



Obrázek 8: Schéma zkoušky v tahu za ohybu při čtyřbodovém uspořádání



Obrázek 9: Zkouška v tahu za ohybu při čtyřbodovém uspořádání

Jako zkušební tělesa byly použity trávce o rozměrech cca 700x150x150 mm. Zkoušky v tahu za ohybu byly provedené při čtyřbodovém uspořádání (čtyřbodový ohyb). Trávce byly ve zkušebním lisu uspořádány tak, aby směr zatížení působil kolmo na směr hutnění. Rychlost zatěžování byla konstantní a to 0,2 mm/min. Zkoušky byly řízeny průhybem, aby bylo možné zachytit sestupnou větev diagramu odolnosti a mohla být vyhodnocena reziduální tahová pevnost.

2.3. Stanovení charakteristické reziduální pevnosti v tahu za ohybu po vzniku makrotrhliny

Jako zkušební tělesa byly použity trávce o rozměrech cca 700x150x150 mm (reziduální tahová pevnost byla zkoušena na stejných tělesech jako pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny). Hodnota reziduální tahové pevnosti je stanovena po vzniku makrotrhliny při průhybu trávce 3,5 mm.

3. VÝSLEDKY

3.1. Pevnost v příčném tahu

Charakteristická pevnost v příčném tahu je statisticky vyhodnocena pro každý jednotlivý materiál z výsledků zkoušek 3 zkušebních těles. Jako zkušební tělesa byly použity krychle o rozměrech cca 150x150x150 mm. Zkouška vychází z principu, že při lokálním vnesení tlakové síly dojde dříve k porušení zkušebního tělesa od příčných tahových napětí.

Tabulka 2: Pevnosti v příčném tahu

Materiál	Č. vzorku	Pevnost v příčném tahu [MPa]
Prostý beton	1.	3,74
	2.	4,19
	3.	4,79
charakteristická pevnost		3,25
Drátkobeton 1% Fibrex	1.	6,30
	2.	5,94
	3.	5,55
charakteristická pevnost		5,22
Drátkobeton 1% Tritreg	1.	5,47
	2.	5,94
	3.	5,09
charakteristická pevnost		4,99
Drátkobeton 1% Fibrex +1% Tritreg	1.	7,20
	2.	8,32
	3.	6,80
charakteristická pevnost		5,95

3.2. Pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny

Charakteristická pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny je statisticky vyhodnocena pro každý jednotlivý materiál z výsledků zkoušek 4 nebo 6 zkušebních těles. Jako zkušební tělesa byly použity trávce o rozměrech cca 700x150x150 mm. Zkoušky byly provedené při čtyřbodovém uspořádání (čtyřbodový ohyb).

Tabulka 3: Pevnosti v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny

Materiál	Č. vzorku	Pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny [MPa]
Prostý beton	1.	3,29
	2.	3,04
	3.	3,65
	4.	3,46
	5.	2,89
	6.	3,71
charakteristická pevnost		2,76
Drátkobeton 1% Fibrex	1.	5,89
	2.	3,76
	3.	5,14
	4.	5,38
	5.	5,44
	6.	4,78
charakteristická pevnost		3,76
Drátkobeton 1% Tritreg	1.	4,45
	2.	5,13
	3.	4,83
	4.	4,70
	5.	-
	6.	-
charakteristická pevnost		4,26
Drátkobeton 1% Fibrex +1% Tritreg	1.	5,22
	2.	5,58
	3.	5,28
	4.	6,22
	5.	5,66
	6.	6,10
charakteristická pevnost		4,95

3.3. Reziiduální pevnost v tahu za ohybu po vzniku makrotrhliny

Tabulka 4: Reziiduální pevnosti v tahu za ohybu po vzniku makrotrhliny

Materiál	Č. vzorku	Reziiduální pevnost v tahu za ohybu [MPa]
Prostý beton	1.	
	2.	
	3.	
	4.	
	5.	
	6.	
charakteristická pevnost		0
Drátkobeton 1% Fibrex	1.	0,06
	2.	0,04
	3.	0,03
	4.	0,02
	5.	0,05
	6.	0,04
charakteristická pevnost		0,04
Drátkobeton 1% Tritreg	1.	1,11
	2.	1,10
	3.	1,41
	4.	1,67
	5.	-
	6.	-
charakteristická pevnost		0,83
Drátkobeton 1% Fibrex +1% Tritreg	1.	1,46
	2.	1,06
	3.	0,79
	4.	1,37
	5.	0,80
	6.	1,01
charakteristická pevnost		0,58

4. DISKUZE

Z výše uvedených výsledků zkoušek vyplývá, že ocelová vlákna Fibrex mají významný vliv na zvýšení tahové pevnosti drátkobetonu na mezi vzniku makrotrhliny, přičemž reziiduální tahová pevnost drátkobetonů s ocelovými vlákny Fibrex je téměř nulová (což odpovídá prostému betonu). Tyto skutečnosti jsou zapříčiněny délkou ocelových vláken a jejich koncovou úpravou. Ocelová vlákna Fibrex fungují dobře v cementové matrici drátkobetonu, přičemž po vzniku makrotrhliny je jejich zakotvení v cementové matrici nedostatečné.

Z výše uvedených výsledků zkoušek vyplývá, že ocelová vlákna Tritreg mají významný vliv na zvýšení tahové pevnosti drátkobetonu na mezi vzniku makrotrhliny a současně na zvýšení tahové pevnosti po vzniku makrotrhliny (reziiduální tahové pevnosti). Tyto skutečnosti jsou zapříčiněny délkou ocelových vláken a jejich koncovou úpravou. Ocelová vlákna Tritreg fungují dobře v cementové matrici drátkobetonu a po vzniku makrotrhliny je jejich zakotvení v cementové matrici dostatečné k tomu, aby dále přenášely tahové napětí. Dostatečné zakotvení drátků Tritreg v cementové matrici je dáno jejich koncovou úpravou. Díky této vlastnosti se stává z křehkého betonu duktilní materiál.

Při potřebě dosažení duktilního materiálu s vyšší tahovou pevností oproti prostému betonu, je vhodné pro výrobu drátkobetonu použít kombinaci krátkých vláken bez koncové úpravy (např. Fibrex) a dlouhých vláken s koncovou úpravou (např. Tritreg).

Tabulka 5: Porovnání tahových pevností 4 zkoušených materiálů

Porovnání tahových pevností prostého betonu a drátkobetonu				
Materiál	Č. vzorku	Pevnost v průměrném tahu [MPa]	Pevnost v tahu za ohybu na mezi vzniku makrotrhliny [MPa]	Reziiduální pevnost v tahu za ohybu [MPa]
Prostý beton	1.	3,74	3,29	
	2.	4,19	3,04	
	3.	4,79	3,65	
	4.	-	3,46	
	5.	-	2,89	
	6.	-	3,71	
charakteristická pevnost		3,25	2,76	0
Drátkobeton 1% Fibrex	1.	6,30	5,89	0,06
	2.	5,94	3,76	0,04
	3.	5,55	5,14	0,03
	4.	-	5,38	0,02
	5.	-	5,44	0,05
	6.	-	4,78	0,04
charakteristická pevnost		5,22	3,76	0,04
Drátkobeton 1% Tritreg	1.	5,47	4,45	1,11
	2.	5,94	5,13	1,10
	3.	5,09	4,83	1,41
	4.	-	4,70	1,67
	5.	-	-	-
	6.	-	-	-
charakteristická pevnost		4,99	4,26	0,83
Drátkobeton 1% Fibrex +1% Tritreg	1.	7,20	5,22	1,46
	2.	8,32	5,58	1,06
	3.	6,80	5,28	0,79
	4.	-	6,22	1,37
	5.	-	5,66	0,80
	6.	-	6,10	1,01
charakteristická pevnost		5,95	4,95	0,58

5. ZÁVĚR

Z uvedených výsledků (viz 3.1., 3.2., 3.3 a 4) lze konstatovat, že vliv ocelových vláken na tahovou pevnost drátkobetonu je značný. Ocelová vlákna Fibrex mají značný vliv na nárůst tahové pevnosti na mezi vzniku makrotrhliny a to díky dostatečné štíhlosti, která zajišťuje kotvení v cementovém tmelu. Po vzniku makrotrhliny však ocelová vlákna Fibrex nejsou schopna přenášet téměř žádné reziduální napětí, protože nemají provedenou žádnou koncovou úpravu.

Ocelová vlákna Tritreg mají značný vliv na nárůst tahové pevnosti na mezi vzniku makrotrhliny a též na nárůst tahové pevnosti po vzniku makrotrhliny a to díky dostatečné štíhlosti, která zajišťuje kotvení v cementovém tmelu a také díky koncové úpravě, která zajišťuje kotvení ocelového vlákna v cementové matici i po vzniku makrotrhliny.

Použití ocelových vláken je vhodné zejména u konstrukcí, kde je kladen důraz na vyšší tahové pevnosti a duktilitu materiálu, přičemž ideálním řešením je hybridní drátkobeton, ve kterém jsou použity oba typy ocelových vláken (Fibrex i Tritreg).

Vzhledem k cenové náročnosti drátkobetonů, jejich složitější receptuře a náročnější aplikaci je však nutné pečlivě zvážit v jakých případech tento materiál použít.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za finanční podporu v rámci grantu SGS16/041/OHK1/1T/11.

Literatura

Krátký J, Trtík K, Vodička J: Drátkobetonové konstrukce;
Praha 1999