

VARIATION OF STEEL-FIBRE CONCRETE PARAMETERS DEPENDING ON THE MIXING PROCEDURE

ROZPTYL PARAMETRŮ DRÁTKOBETONU VE VAZBĚ NA ZPŮSOB JEHO VÝROBY.

Vítek Jan L., Smiřinský Stanislav, Veselý Pavel, Veselý Vladimír

Abstract: This paper discusses results of an experiment which tested different mixing times, different shapes and dosages of fibres and their influence on fresh and hardened concrete. The experiment included 18 different combinations of the above-mentioned variables. The paper summarizes the results of the tests as well as the discussion of the results.

Příspěvek se týká výsledků experimentu, při kterém byly pozorovány vlivy tvaru drátků, různých dávek a doby míchání na vlastnosti drátkobetonu v čerstvém a ztvrdlém stavu. Experiment zahrnoval celkem 18 různých variant a v příspěvku jsou uvedeny dosažené výsledky měření a diskuse výsledků

Keywords: drátkobeton, doba míchání, vlastnosti drátkobetonu,

1. Úvod

Výroba drátkobetonu je dlouhodobě praktikovaná technologie, ověřená zejména při zhotovování betonových průmyslových podlah. V těchto konstrukcích se množství rozptýlené výztuže pohybuje max. do 30 kg/m³. S rozvojem typů a tvarů ocelových vláken souvisí i statické spolupůsobení. Základním předpokladem k širšímu využití vlastností drátkobetonu je dosažení rovnoměrného rozptýlení ocelových vláken ve vyráběném objemu, v jejich rovnoměrné prostorové orientaci a v definování požadovaných technických parametrů.

Cílem rozsáhlého experimentu bylo navrhnout složení betonu a ověřit vliv různého tvaru drátků a různé doby míchání na homogenitu výsledného produktu. rozptylu mechanických vlastností.

2. Návrh experimentu

Experiment byl omezen na ocelová vlákna – drátky. Ocelová vlákna se používají nejčastěji do betonu pro průmyslové podlahy a do konstrukčních vláknobetonů.

Sestavení experimentu vycházelo z dosud obecně uznávaných technologických zásad pro výrobu homogenního vláknobetonu:

- dokonalé rozmíchání zajistí míchačky s nuceným oběhem
- na dokonalé rozmíchání vláken má vliv délka doby míchání
- tvar drátků a jejich poměr délky k tloušťce L/d ovlivňuje do značné míry

zpracovatelnost a mechanické vlastnosti drátkobetonu

Pro volbu zkušebních postupů a pro vyhodnocení výsledků experimentu řešitelé vycházeli z předpokladů :

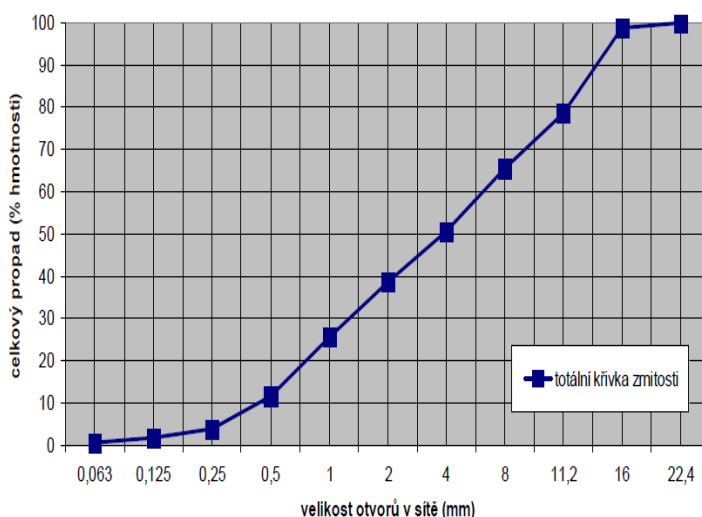
- homogenitu drátkobetonu určuje rozptyl měřitelných parametrů
- rovnoměrné rozmístění ocelových vláken co do množství a co do směru orientace vláken ovlivňuje mechanické vlastnosti drátkobetonu
- pro měřitelné parametry je třeba použít prakticky používané a pokud možno ověřené zkušební postupy

2.1 Složení betonu

Pro návrh drátkobetonu byly použity frakce kameniva, cement, přísady a příměs běžně dostupné na betonárně, kde byly zkoušky uskutečněny.

Směs kameniva byla volena tak, aby byl mezi zrny kameniva vytvořen dostatečný prostor pro ocelová vlákna. Totální křivka zrnitosti je uvedena na Obr. č.1. Složení betonu je uvedeno na Obr. č 2. Předpokládaná třída betonu byla C35/45, D_{max} 16, F5.

TOTÁLNÍ KŘIVKA ZRNITOSTI SMĚSI KAMENIVA



Obr.1 Totální křivka zrnitosti směsi kameniva

složka		
Cement CEM III / B 32,5 sv Mokrý	kg/m ³	400
Příměs popílek ELED	kg/m ³	120
DTK 0/4 Roztyly	kg/m ³	866
HTK 4/8 Roztyly	kg/m ³	245
HTK 8/16 Roztyly	kg/m ³	605
Přísada Sika 3088 CZ	kg/m ³	5,2
Voda	kg/m ³	175
v/c		0,42

Obr.2 Složení betonu bez drátků

Pro zhotovení drátkobetonu byly vybrány dva typy drátků s označením :

DE 30/0,8 ROT – délka 30mm, průměr 0,8mm $L/d = 37,5$

DE 50/1,0 N - délka 50 mm, průměr 1,0 mm $L/d = 50$

2.2 Postup míchání jednotlivých dávek

Pro postup míchání byl volen tak aby:

- Odpovídal reálným podmínkám výroby betonu na betonárně
- Podmínky míchání jednotlivých dávek byly stejné
- Podmínky pro vmíchání různé dávky a typu drátků byly stejné

Sekvence všech záměsí a odběru vzorků byla jednotná :

- Dávkování složek a míchání betonu bez drátků do $T=55$ sec.
- Přerušení cyklu, otevření míchačky a nadávkování zvoleného množství zvoleného typu drátků
- Uzavření míchačky a míchání dané záměsi po stanovenou různou dobu (30 – 90 – 180 sec)
- Vyprázdnění míchačky do lžice nakladače ve stanovený okamžik po dosažení zvolené doby míchání (30 – 90 – 180 sec).
- Stanovení obsahu drátků v čerstvém betonu 1x z betonu v horní části lžice nakladače a 1x z betonu ve spodní části lžice nakladače
- Stanovení zpracovatelnosti čerstvého drátkobetonu ze vzorku odebraného z plné lžice nakladače
- Výroba těles pro zkoušku pevnosti drátkobetonu v tahu za ohybu, tlaku, příčného tahu a modulu pružnosti tak, že vláknobeton pro zhotovení těles byl rovnoměrně odebírán z prostřední části lžice a z pravé a levé části.



Obr. 3 – Odběr čerstvého drátkobetonu z mísícího jádra



Obr.4 – Odběr vzorků

2.3 Návrh rozsahu zkoušek a zkušebních metod

Pro získání dostatečného množství výsledků byla vypracována matice četnosti zkoušek a zkušebních postupů viz obr.4

	Typ ocelových láken	DE 30/0,8 ROT									DE 50/1,0 N									
		30			50			70			30			50			70			
zkoušky čerstvého drátkobetonu	Dávka drátků m (kg)	30			50			70			30			50			70			
	Doba míchání T (s)	30	90	180	30	90	180	30	90	180	30	90	180	30	90	180	30	90	180	celk.
	Teplota betonu tb (°C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
	Teplota prostředí tp (°C)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18
	Konzistence rozlitem (mm) ¹⁾	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
	Mn.drátků (kg) ²⁾	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
zkoušky ztvrdlého drátkobetonu	Pevnost betonu v tahu za ohybu ³⁾	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	108
	Pevnost betonu v tlaku ⁴⁾	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	54
	Pevnost betonu v příčném tahu ⁵⁾	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	54
	Modul pružnosti betonu v tlaku ⁶⁾	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	36
	Obsah drátků přístrojem BSM ⁷⁾	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	54
	Obsah drátků rozborem																			10
	1) ČSN EN 12350-5																			
	2) magnetickou separací přístrojem PROFOMETR																			
	3) čtyřbodovým ohybem dle TP FC 1-1 na trámcih 150x150x700 mm																			
	4) ČSN EN 12390-3																			
	5) ČSN EN 12390-6																			
	6) ČSN ISO 6784																			
	7) měřením el. magnetického pole ve třech osách přístrojem BSM																			

Obr.4 provedené zkoušky a zkušební metody

Při zkoušce pevnosti drátkobetonu v tahu za ohybu byla zároveň měřena vzdálenost makrotrhliny od podpory.

3. Výsledky jednotlivých zkoušek

3.1 Zkoušky čerstvého drátkobetonu

Souhrnné výsledky zkoušek čerstvého drátkobetonu jsou uvedeny na Obr.5.

typ ocelových vláken	dávka ocelových vláken [kg/m ³]	doba míchání [s]	konzistence rozlítím [mm]	teplota čerstvého vláknobet. [°C]	objem.hm. čerstvého. vláknobet. [kg/m ³]	1) obsah vláken v čerstvém vláknobetonu		
						1.měření [kg/m ³]	2.měření [kg/m ³]	průměr [kg/m ³]
DE 30/0,8 N	30	30	660	17,2	2319	28,1	32,8	30,5
DE 30/0,8 N	30	90	660	17,1	2280	25,7	29,5	27,6
DE 30/0,8 N	30	180	600	17,6	2264	26,4	28,0	27,2
DE 30/0,8 N	50	30	605	17,6	2304	58,7	52,9	55,8
DE 30/0,8 N	50	90	550	18,1	2267	51,2	51,6	51,4
DE 30/0,8 N	50	180	640	18,0	2267	48,9	53,2	51,1
DE 30/0,8 N	70	30	570	16,8	2305	72,9	73,8	73,4
DE 30/0,8 N	70	90	560	17,1	2317	71,5	73,2	72,4
DE 30/0,8 N	70	180	510	16,5	2289	74,5	75,1	74,8
DE 50/1,0 N	30	30	600	17,3	2323	26,2	29,1	27,7
DE 50/1,0 N	30	90	660	18,3	2298	24,8	29,8	27,3
DE 50/1,0 N	30	180	570	16,9	2308	23,0	31,0	27,0
DE 50/1,0 N	50	30	630	17,3	2287	43,8	61,2	52,5
DE 50/1,0 N	50	90	600	17,3	2289	45,9	51,2	48,6
DE 50/1,0 N	50	180	460	16,9	2284	43,4	43,5	43,5
DE 50/1,0 N	70	30	565	16,7	2300	58,9	73,0	66,0
DE 50/1,0 N	70	90	530	17,2	2309	60,1	65,9	63,0
DE 50/1,0 N	70	180	615	17,4	2282	57,9	73,7	65,8

Obr.5 – Výsledky zkoušek čerstvého drátkobetonu

3.1.1 Konzistence

Hodnoty naměřené konzistence ukazují na pokles hodnot se vzrůstající dobou míchání s výjimkou případu maximální dávky drátků DE 50/1,0N. Pokles konzistence může být způsoben úbytkem vody, která se váže na povrch ocelových vláken s delším mícháním směsi.

3.1.2 objemová hmotnost čerstvého betonu

S prodlužováním doby míchání se projevovala tendence k mírnému poklesu objemové hmotnosti. To může být způsobeno mírným zvýšením obsahu vzduchu v čerstvém betonu, který se do směsi dostává právě procesem míchání.

3.1.3 obsah vláken v čerstvém betonu

Obsah vláken v čerstvém betonu byl zjišťován metodou magnetické separace přístrojem PROFOMETR. Definovaný objem betonu projde samospádem štěrbinou se silným permanentním magnetem. Separovaná ocelová vlákna se zvaží. Přepočtem se získá hodnota hmotnosti drátků na 1m³ drátkobetonu.

Ilustrační fotografie k metodě jsou uvedeny na obrázku č.6.



Obr. 6- Ilustrační foto separace drátků - PROFOMETR

Zjištěný obsah drátků v případě typu DE 30/0,8 ROT koreloval se skutečně nadávkovanou hodnotou, v případě delších drátků s větším průměrem typu DE 50/1,0 N byl nižší než dávkované množství.

Předpokládaná příčiny tohoto zjištění :

- kratší drátky s menším průřezem se lépe separují z matrice čerstvého betonu
- v hmotnostní jednotce je kratších drátků s menším průřezem daleko více než větších drátků a při separaci je chyba měření (neseparované drátky) nižší.

3.2 Zkoušky ztvrdlého drátkobetonu

Souhrnný přehled výsledků zkoušek vlastností ztvrdlého drátkobetonu je uveden na obr. 7

typ ocelových vláken	dávka drátků [kg/m ³]	doba míchání [s]	zjištěná hmot. drátků [kg/m ³]	krychelná pevnost v tlaku [MPa]	pevnost v příčném tahu [MPa]	statický modul pružnosti [GPa]	průměrná pevnost v tahu za ohybu [MPa]
DE 30/0,8 ROT	30	30	36,9	56,8	4,4	29,5	4,0
DE 30/0,8 ROT	30	90	36,7	54,6	3,7	29,0	4,5
DE 30/0,8 ROT	30	180	33,9	47,5	3,5	28,5	4,7
DE 30/0,8 ROT	50	30	52,9	51,4	4,0	30,0	5,3
DE 30/0,8 ROT	50	90	44,1	50,2	3,9	29,5	5,1
DE 30/0,8 ROT	50	180	60,3	51,3	3,9	26,5	4,3
DE 30/0,8 ROT	70	30	60,7	53,3	3,5	28,5	5,0
DE 30/0,8 ROT	70	90	62,1	52,1	3,7	28,5	5,3
DE 30/0,8 ROT	70	180	60,4	49,9	3,4	29,5	5,1
DE 50/1,0 N	30	30	23,3	52,7	3,5	28,0	4,5
DE 50/1,0 N	30	90	24,2	56,4	3,9	32,0	5,3
DE 50/1,0 N	30	180	26,9	44,6	3,4	27,5	4,2
DE 50/1,0 N	50	30	41,5	49,0	4,0	28,0	4,9
DE 50/1,0 N	50	90	42,8	47,8	3,9	28,0	4,5
DE 50/1,0 N	50	180	43,5	46,4	3,8	26,0	4,7
DE 50/1,0 N	70	30	58,7	51,3	4,1	30,0	4,7
DE 50/1,0 N	70	90	59,2	48,3	4,1	28,0	5,3
DE 50/1,0 N	70	180	65,1	47,4	5,0	28,0	5,3

Obr.7 – Souhrnný přehled výsledků zkoušek ztvrdlého drátkobetonu

3.2.1 Hmotnost drátků ve ztvrdlém drátkobetonu

Hmotnost drátků ve ztvrdlém drátkobetonu byla zjišťována BSM 100. Do objímky se vkládala tělesa vždy ve třech na sebe prostorově kolmých osách. Přístroj pak vyhodnotil obsah drátků ve směrech jednotlivých os i celkově viz obrázky č 8, 9 a 10.



Obr. 8 – Měřicí objímka přístroje BSM 100 Obr. 9 – Měření tělesa ve směru osy “z”



Obr. 10 – Zobrazení hodnot zjištěných přístrojem BSM 100

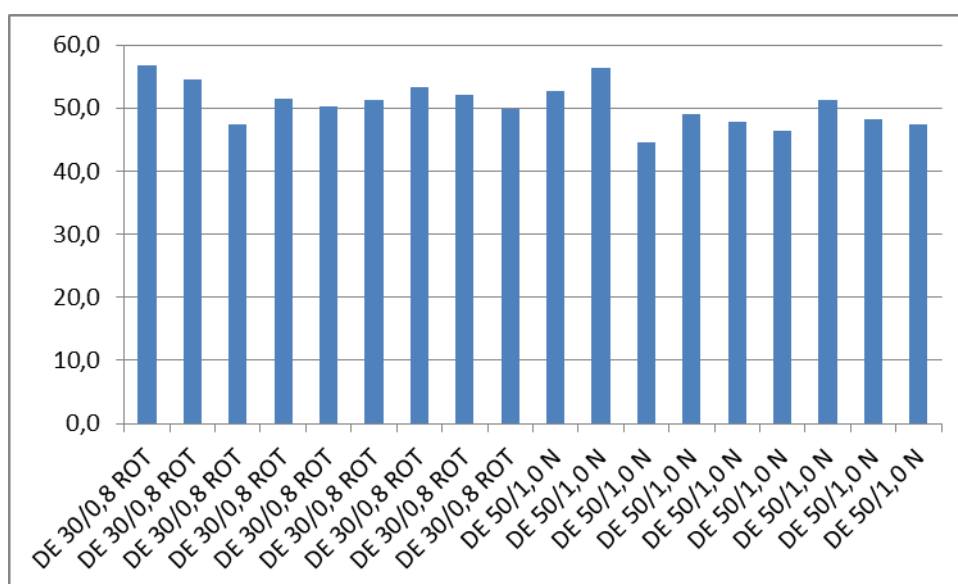
Pro posouzení relevance naměřených hodnot bylo provedeno navíc stanovení obsahu drátků ve ztvrdlém betonu mechanickou separací u 2 těles po provedení zkoušky pevnosti v tlaku. Výsledek je uveden v tabulce na Obr.11.

označení tělesa	změřené množství drátků přístrojem BSM 100 (kg/m ³)	přepočítané množství drátků z rozdrčené krychle (kg/m ³)	procentní rozdíl (%)
3/4/30/50/30	20,6	19,0	8,4
15/4/90/30/70	62,0	64,6	- 4,0

Obr.11 – Hodnoty obsahu drátků zjištěné přístrojem BSM 100 a mechanickou separací. Měření obsahu drátků ve ztvrdlém betonu přístrojem BSM 100 vykázalo velmi dobrou shodu s hodnotami, zjištěnými mechanickou separací.

3.2.2 Krychelná pevnost

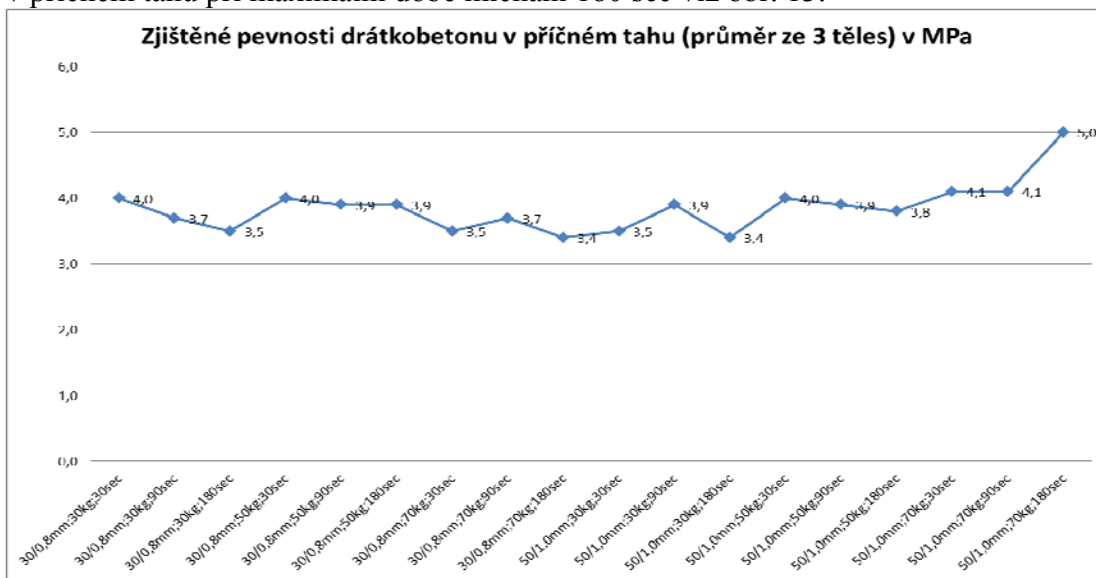
Zjištěné krychelné pevnosti betonu v tlaku se pohybovaly v rozmezí 46,4 až 56,8 MPa. Mírný pokles byl zaznamenán v pořadí drátků DE 50/1,0 N, tedy delších s větším průměrem o poměru L/d = 50 a rovněž s přidáním množstvím drátků v betonu viz obr 12



Obr. 12 – Hodnoty krychelné pevnosti betonu v tlaku dle typu, dávky a doby míchání

3.2.3 Pevnost drátkobetonu v příčném tahu

Naměřené výsledky pevnosti betonu v příčném tahu byly srovnatelné bez ohledu na to, zda šlo o typ DE 30/0,8 ROT L/d = 37,5 nebo DE 50/1,0 N L/d = 50.m v jaké dávce (30-50-70 kg/m³) byly použity a jak dlouho trvalo míchání. Pouze při použití maximální dávky 70 Kg/m³ drátků typu DE 50/1,0 N došlo k pozorovatelnému zvýšení pevnosti betonu v příčném tahu při maximální době míchání 180 sec viz obr. 13.



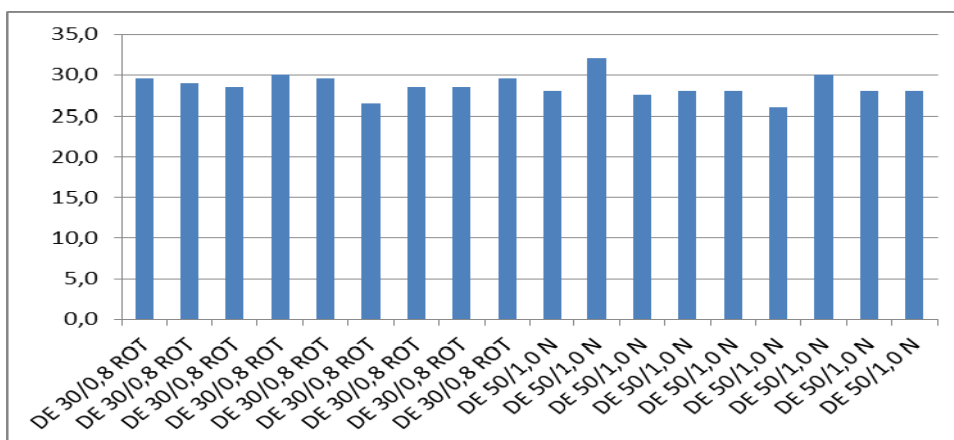
Obr. 13 – zjištěné průměrné hodnoty (průměr ze 3 těles) pevnosti drátkobetonu v příčném tahu

Předpokládaná příčina tohoto zjištění :

- použitý zkušební lis o tlačné síle 300 kN je v oblasti nízkých hodnot zatěžovacích sil potřebných k porušení tělesa nepřesný

3.2.4 Statický modul pružnosti drátkobetonu v tlaku

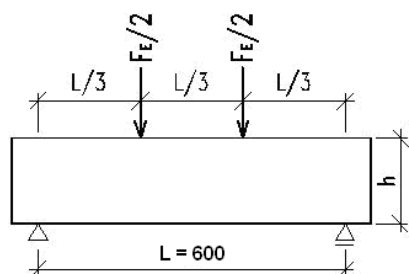
Zjištěné hodnoty statického modulu drátkobetonu v tlaku viz obr.14 ukazují, že typ, dávka a doba míchání neměly vliv na hodnotu statického modulu. Hodnota však byla podstatně nižší, než předpokládá návrhová EUROCODE 1992-1 ve vztahu k pevnosti v tlaku.



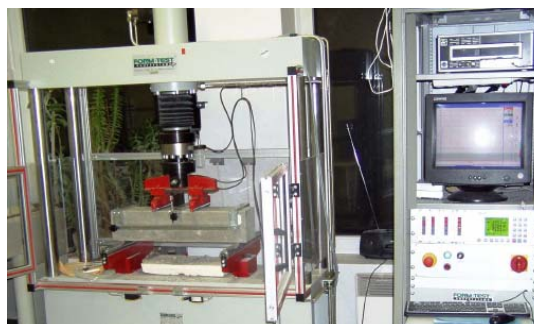
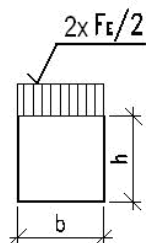
Obr. 14 – Zjištění hodnoty statického modulu pružnosti drátkobetonu v tlaku dle typu, dávka a doby míchání.

3.2.5 Duktilita

Duktilita drátkobetonu byla zjišťována zkouškou v tahu za ohybu čtyřbodovým zatěžováním dle postupu v TP FC 1-1 [1]. Schéma zatěžování a použitý lis viz obr. 15 a 16.

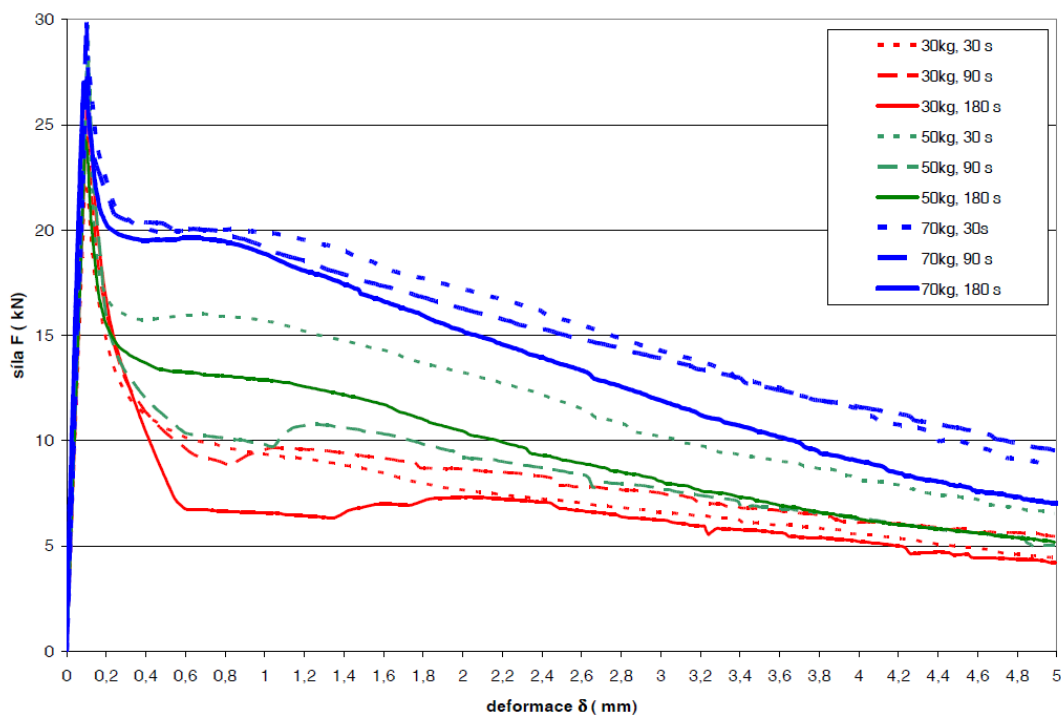


Obr.15 schéma zatěžování

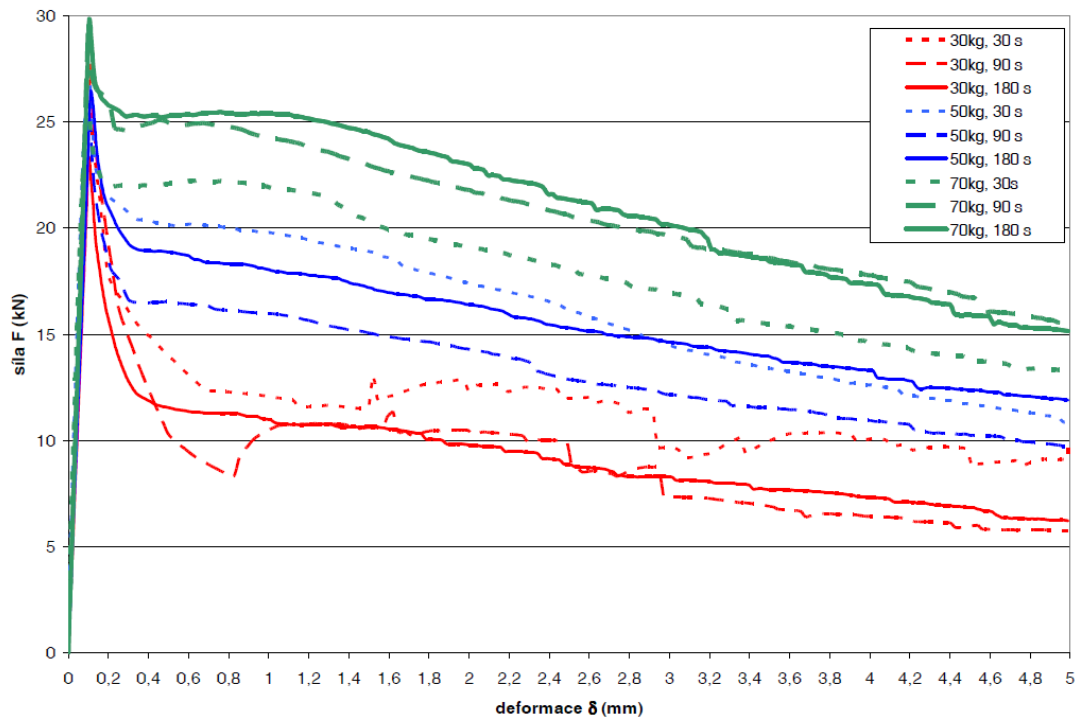


Obr. 16 – Použitý lis

Průměrná rychlost zatěžování byla 0,2 mm.s⁻¹. Zároveň byla měřena vzdálenost vzniklé makrotrhliny od levé podpěry. Naměřené pracovní diagramy jsou uvedeny na obr. Č. 17. a 18.



Obr. 17 – Souhrnné znázornění pracovních diagramů drátkobetonu s drátky DE 30/0,8 ROT



Obr.

18 – Souhrnné znázornění pracovních diagramů drátkobetonu s drátky DE 50/1,0 N

Vzdálenosti trhlin byly měřeny na spodní tažené ploše od levé podpory při pohledu na stroj a to na přední i zadní straně zkušebního trámce. Zprůměrované výsledky měření jsou uvedeny v tabulce na obr. 19. Makrotrhliny u červeně označených trámů byly mimo střední třetinu rozpětí trámce.

typ drátků	dávka drátků (kg/m ³)	doba míchání (s)	vzdálenost trhliny od levé podpory (cm)					
			trámec číslo					
			1	2	3	4	5	6
DE 30/0,8 ROT	30	30	37,8	36,1	28,9	28,8	38,1	38,0
DE 30/0,8 ROT	30	90	31,7	29,7	33,9	33,8	36,9	38,1
DE 30/0,8 ROT	30	180	37,8	26,7	37,3	33,0	30,2	35,0
DE 30/0,8 ROT	50	30	39,3	34,9	39,0	19,8	28,1	22,2
DE 30/0,8 ROT	50	90	35,0	19,7	37,4	39,1	41,3	31,6
DE 30/0,8 ROT	50	180	36,9	35,8	39,5	23,0	39,6	41,3
DE 30/0,8 ROT	70	30	39,2	25,0	28,7	37,0	26,2	29,3
DE 30/0,8 ROT	70	90	37,0	30,4	24,8	39,3	39,5	39,9
DE 30/0,8 ROT	70	180	24,7	23,0	34,9	38,0	40,3	37,2
DE 50/1,0 N	30	30	21,0	34,2	27,8	32,9	35,2	27,3
DE 50/1,0 N	30	90	18,5	34,1	23,0	35,4	43,2	34,1
DE 50/1,0 N	30	180	42,0	38,1	19,5	40,5	30,3	35,9
DE 50/1,0 N	50	30	32,2	35,0	35,5	30,6	38,5	35,8
DE 50/1,0 N	50	90	33,3	38,0	38,8	24,3	39,8	36,3
DE 50/1,0 N	50	180	36,4	38,6	35,5	23,4	33,5	39,3
DE 50/1,0 N	70	30	34,3	34,3	36,0	38,8	24,6	41,5
DE 50/1,0 N	70	90	39,1	27,5	27,3	34,0	38,8	37,3
DE 50/1,0 N	70	180	34,9	35,1	24,0	30,8	39,4	33,0

Obr. 19 Umístění makrotrhliny při čtyřbodovém zatěžování

U celkového počtu 108 odzkoušených trámců v 8 případech došlo po vzniku makrotrhliny k neočekávanému zlomení trámce. V kritickém průřezu, při vzniku kvaziplastického kloubu, vlákna nezachytila sílu vyvolanou hmotností zlomeného trámce. Utěchto trámců byl přírůstek deformace příliš náhlý, průběh deformace tedy nebyl korektně změřen.

Podkladem pro stanovení vlastností drátkobetonu je charakteristická pevnost v tahu za ohybu - $f_{fc,tk,fl}$ (MPa). Z výše uvedeného důvodu je vlivem nekorektního měření vysoký rozptyl naměřených hodnot. Tím jsou významně ovlivněny výpočty charakteristických hodnot, resp. jsou sníženy výsledky reziduálních pevností konkrétních záměsí drátkobetonu označených v tabulce obr. 20 červeně.

typ drátka	množství drátků (kg/m ³)	doba míchání (s)	objemový stupeň vyztužení $\rho_{v,f}$ (%)	Charakteristické pevnosti				
				krychel. pevnost v tlaku $f_{fc,ck,ctb}$ (MPa)	pevnost v tahu za ohybu $f_{fc,tk,c}$ (MPa)	pevnost v dostřed. tahu na mezi trhl. $f_{fc,tk}$ (MPa)	pevnost v příčném tahu $f_{fc,tk,sp}$ (MPa)	reziduální pevnost v dostřed. tahu*) $f_{fc,tk,res.1}$ (MPa)
DE 30/0,8 ROT	30	30	3,75	53,0	3,4	2,3	2,6	0,18
DE 30/0,8 ROT	30	90	3,75	54,2	3,5	2,4	2,6	0,21
DE 30/0,8 ROT	30	180	3,75	43,7	4,3	3,0	3,4	0,06
DE 30/0,8 ROT	50	30	6,25	48,7	4,2	2,9	3,4	0,36
DE 30/0,8 ROT	50	90	6,25	47,2	4,1	2,8	3,2	0,22
DE 30/0,8 ROT	50	180	6,25	46,4	3,7	2,5	2,9	0,22
DE 30/0,8 ROT	70	30	8,75	49,5	3,8	2,6	2,9	0,59
DE 30/0,8 ROT	70	90	8,75	49,6	4,4	3,1	3,5	0,50
DE 30/0,8 ROT	70	180	8,75	42,2	4,3	2,9	3,4	0,58
DE 50/1,0 N	30	30	3,75	42,2	4,5	3,1	3,5	0,29
DE 50/1,0 N	30	90	3,75	53,0	5,3	3,6	4,2	0,00
DE 50/1,0 N	30	180	3,75	35,6	3,6	2,5	2,9	0,38
DE 50/1,0 N	50	30	6,25	45,5	4,1	2,8	3,2	0,62
DE 50/1,0 N	50	90	6,25	45,8	4,5	3,1	2,9	0,05
DE 50/1,0 N	50	180	6,25	43,3	4,0	2,8	3,2	0,76
DE 50/1,0 N	70	30	8,75	49,3	4,1	2,8	3,2	0,74
DE 50/1,0 N	70	90	8,75	46,2	4,6	3,2	3,6	0,89
DE 50/1,0 N	70	180	8,75	45,7	4,7	3,3	3,8	0,82

Poznámka: *) při deformaci $\delta_1 = 3,5$ mm

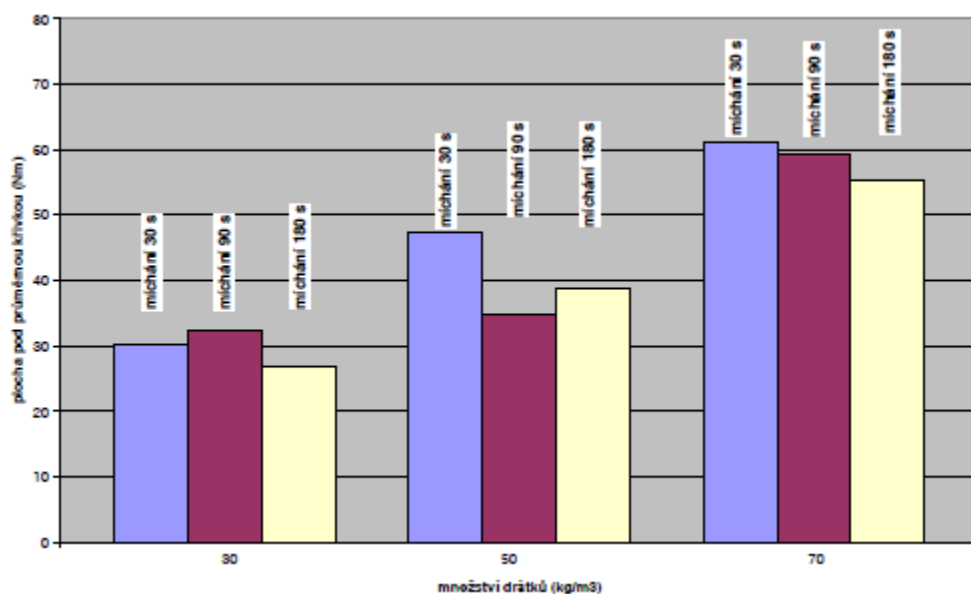
Obr. 20 - Přehled pevnostních charakteristik drátkobetonů

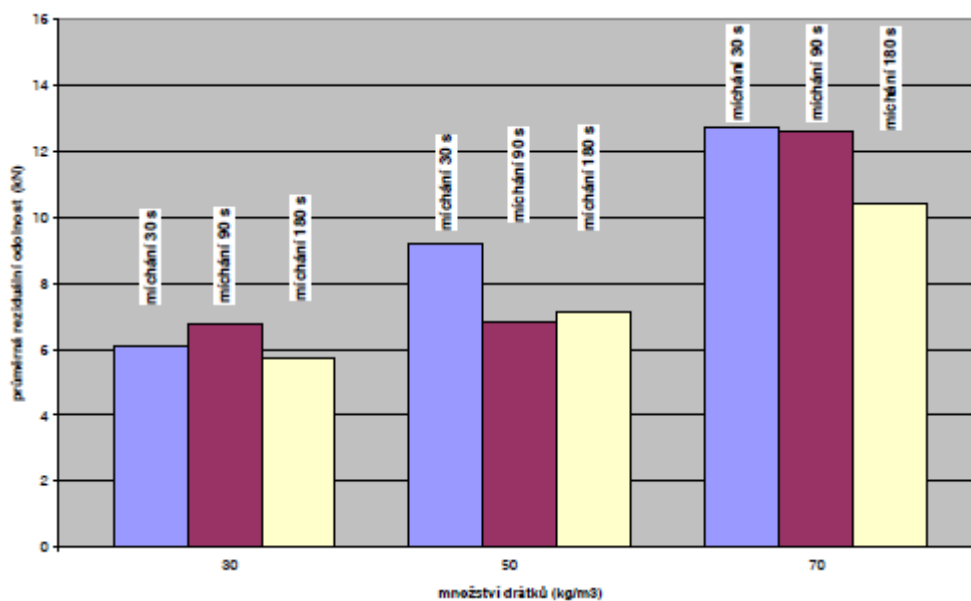
Dalším hodnotícím prvkem účinnosti drátků v betonu mohou být velikosti ploch pod průměrnou, resp. charakteristickou křivkou odolnosti drátkobetonů. Čím větší tato plocha je, tím drátkobeton při čtyřbodovém zatěžování vykazuje větší odolnost. Velikosti ploch a jejich vzájemný poměr je uveden v tabulce na obr. č. 21.

V grafech na obr. 22 až 25 je znázorněn vliv množství nadávkovaných drátků a doby míchání na velikost plochy pod průměrnou křivkou až do dohodnutého průhybu $d_{t1} = 3,5$ mm.

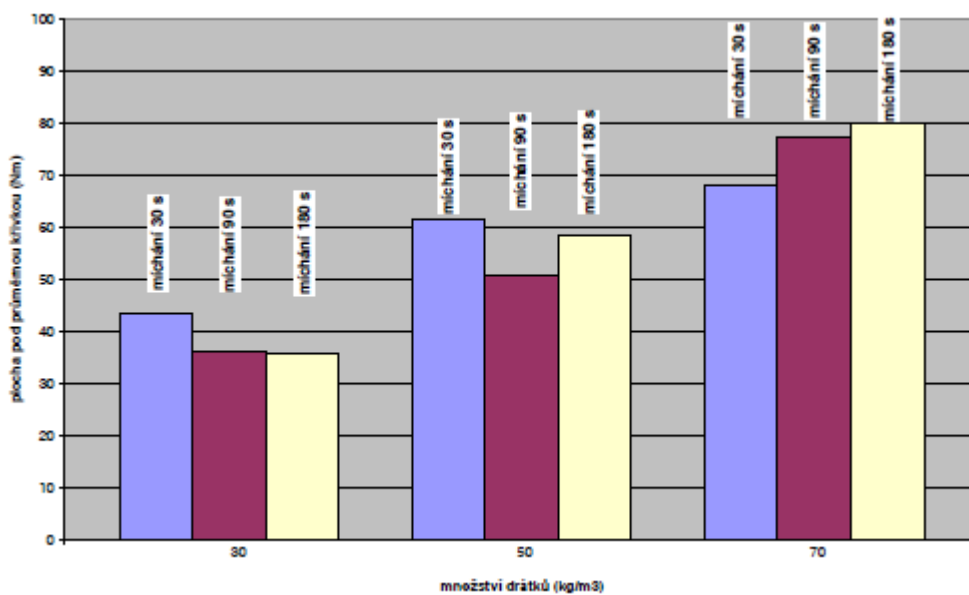
typ drátků	množství drátků (kg/m ³)	doba míchání (s)	plocha pod křivkou				poměr char / prům do 3,5 mm
			průměrná		charakteristická		
			celková	do 3,5 mm	celková	do 3,5 mm	
DE 30/0,8 ROT	30	30	38,24	30,36	25,62	21,26	0,70
DE 30/0,8 ROT	30	90	41,46	32,47	24,54	20,09	0,62
DE 30/0,8 ROT	30	180	34,21	26,91	5,42	4,73	0,18
DE 30/0,8 ROT	50	30	58,89	47,25	43,20	36,19	0,77
DE 30/0,8 ROT	50	90	43,72	34,78	19,51	14,97	0,43
DE 30/0,8 ROT	50	180	47,72	38,71	24,15	19,66	0,51
DE 30/0,8 ROT	70	30	77,03	61,11	56,47	44,83	0,73
DE 30/0,8 ROT	70	90	75,78	59,27	48,25	37,93	0,64
DE 30/0,8 ROT	70	180	68,14	55,47	57,51	46,16	0,83
DE 50/1,0 N	30	30	57,74	43,32	25,79	16,50	0,38
DE 50/1,0 N	30	90	45,40	36,14	-8,57	-2,71	-0,07
DE 50/1,0 N	30	180	46,39	35,93	36,15	27,59	0,77
DE 50/1,0 N	50	30	79,73	61,59	61,05	47,94	0,78
DE 50/1,0 N	50	90	66,59	50,77	8,47	7,16	0,14
DE 50/1,0 N	50	180	77,38	58,32	65,61	49,12	0,84
DE 50/1,0 N	70	30	89,17	67,88	62,71	47,62	0,70
DE 50/1,0 N	70	90	102,67	77,14	75,02	55,90	0,72
DE 50/1,0 N	70	180	104,67	79,85	75,62	57,56	0,72

Obr. 21 - Velikosti ploch pod hodnocenými křivkami pracovních diagramů

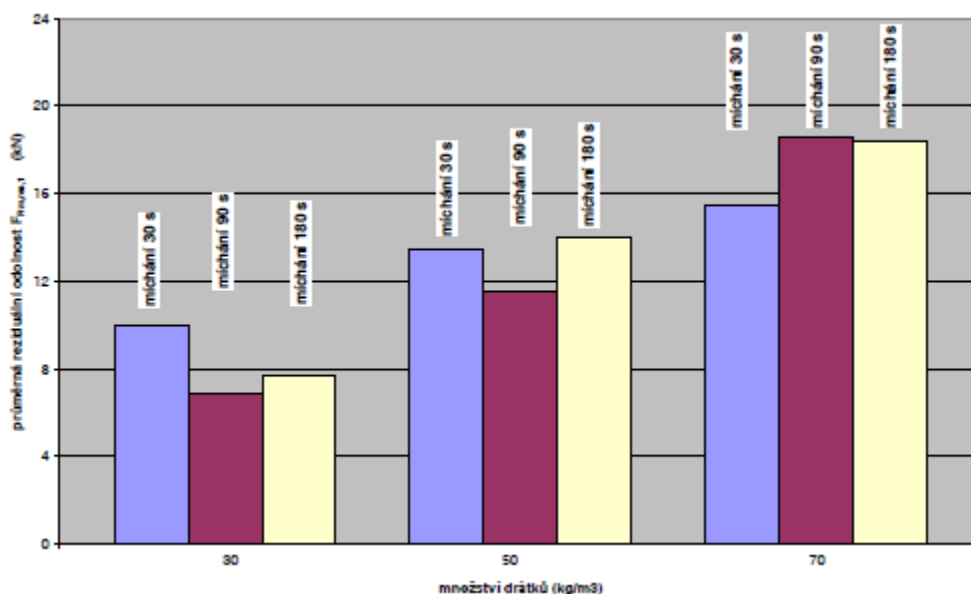

 Obr. 22 - Vliv množství drátků DE 30/0,8 ROT a doby míchání na velikost plochy pod průměrnou křivkou do průhybu $d_t1 = 3,5$ mm



Obr. 23 - Vliv množství drátků DE 30/0,8 ROT a doby míchání na hodnotu průměrné odolnosti zkušebních trámů při dohodnutém průhybu $\delta t_1 = 3,5$ mm



Obr. 24 - Vliv množství drátků DE 50/1,0 N a doby míchání na velikost plochy pod průměrnou křivkou do průhybu $\delta t_1 = 3,5$ mm



Obr. 25 - Vliv množství drátků DE 50/1,0 N a doby míchání na hodnotu průměrné odolnosti zkušebních trámů při dohodnutém průhybu $dt_1 = 3,5$ mm

4. Diskuse zjištěných výsledků

Přestože byl o počátku a v průběhu tohoto rozsáhlého projektu kladen důraz na pečlivost a důslednost při provádění jednotlivých úkonů, projevil se klíčové zkušební a provozní výrobní momenty, kterým nebylo možné účinně čelit.

Při výrobě drátkobetonu se konzistence řídila různou dávkou přísad. Zde byly proti sobě postaveny dvě skutečnosti. Na jedné straně byla určena doba míchání drátkobetonu, na druhé straně pak zvyšující se účinnost použité přísady s dobou míchání. Pro zachování přibližně stejné konzistence byly do záměsí s 90 resp. 180 sekundovou dobou míchání snižovány dávky přísady. S drátky DE 30/08 ROT se udržení konzistence podařilo lépe, než v záměsích s drátky DE 50/1,0. Přesto je možné konstatovat, že vyrobený drátkobeton byl přibližně stejně zpracovatelný a tím byly zachovány stejné podmínky při vmíchávání drátků do betonu, způsob vyprazdňování míchačky u zpracovávání drátkobetonu do forem. Procentuální rozdíl zjištěného obsahu vláken v daném objemu čerstvého drátkobetonu Profometrem od nadávkovaného množství byl v případě použitých drátků DE 30/08 ROT + 5%. V záměsích s drátky DE 50/1,0 se rozdíl pohyboval od -13 do +5% bez vlivu na množství drátků. Použitou metodu lze hodnotit za dostatečně spolehlivou a pro potřeby operativního ověření množství drátků na stavbách za dostatečně průkaznou.

Pro zjišťování množství drátků ve ztvrdlém betonu a jejich rozložení ve zkušebním tělese jsme použili měřicí přístroj BSH 100. Přestože měřicí metoda není normativně popsána, získané hodnoty mají svoji vypovídající schopnost. A to zejména u drátků DE 30/08 ROT v množství do 50 kg/m³ se rozptýly ze základního souboru šesti měření pohybují do 7 kg/m³. Ve vyšších dávkách drátků byly zjištěny vysoké rozptýly mezi zkušebními tělesy a měřicí zařízení upozorňovalo na shluky drátků. Další metoda ke stanovení množství drátků ve zkušebním tělese spočívající v rozdrčení a následným zvážení drátků je sice přesnější, neudává však představu o prostorovém rozložení drátků v tělese.

Vliv doby míchání na krychelnou pevnost v tlaku nebyl jednoznačně prokázán, přestože je s delší dobou míchání zřejmý sestupný trend. Stejně tak nelze jednoznačně tvrdit, že dobou míchání byly ovlivněny pevnosti v příčném tahu, pevnosti v tahu za ohybu a moduly pružnosti. Množství drátků v drátkobetonu rovněž neovlivnilo výsledné pevnosti v tlaku, modulu pružnosti a u drátků DE 30/08 ROT i pevnosti v příčném tahu. Vzestupný trend hodnot pevností v příčném tahu je zřejmý jen u drátků DE 50/1,0 N. Naměřené hodnoty jsou relativně malé avšak viditelné rozdíly v naměřených hodnotách nemusí nutně vypovídat o přímé závislosti. K podobnému názoru se přikláníme i v případě zjištěných hodnot pevností v tahu za ohybu. Mírný vzestupný trend pevností s množstvím drátků je patrný, podobný trend mají však i hodnoty pevnosti v tlaku.

Při čtyřbodovém zatěžování trámců bezprostředně po vzniku makrotrhliny došlo ojediněle k neočekávané situaci, které měly za následek nekorektní měření. Naměřené hodnoty významně snížily charakteristické vlastnosti a tím i hodnoty zbytkové únosnosti drátkobetonu. Zejména z tohoto důvodu bylo hlavním kritériem pro hodnocení vlivu doby míchání a množství drátků porovnávání pracovních diagramů průměrných odolností drátkobetonů a velikostí ploch pod průměrnou křivkou. Podle očekávání se vzrůstajícím množstvím drátků rovněž zvyšovala odolnost drátkobetonu. Nejdelší doba míchání drátků rozhodně snížila rozptyly dosažených hodnot v konkrétních sadách zkoušených trámců. Z porovnání velikostí ploch pod průměrnými křivkami u obou typů použitých drátků je zřejmé, že v 90 % z 18 modelových případů bylo dosaženo nejvyšších hodnot při míchání 30 sekund. S delší dobou homogenizace drátkobetonu se obvykle plocha pod průměrnou křivkou snižovala.

Za předpokladu relativně stejných podmínek při odběru vzorků (lžíce nakladače byla naplněna vždy ze stejné míchačkou promísené vrstvy) lze usuzovat, že drátky po dobu 30s nebyly promíchány dostatečně rovnoměrně. Až s delší dobou míchání došlo k rovnoměrnějšímu rozptýlení drátků ve vyrobeném objemu 0,8 m³ drátkobetonu resp. zkušebních trámcích. Rozptýlení drátků se v kritických průřezích jeví náhodným. Jejich usměrněním – např. řízeným tokem drátkobetonu při ukládání – by bylo možné významně zvýšit hodnoty reziduálních pevností.

References (separated by one line from previous paragraph)

- [1] TP FC 1-1 Technické podmínky 1: Vláknobeton – Část 1, řešitelský kolektiv projektu MPO pod vedením doc.Ing. Aleny Kohoutkové, CSc., vydal Českomoravský beton, a.s., prosinec 2007

prof. Ing. Jan L. Vitek, CSc.

☒ Metrostav a.s.



☺ vitek@metrostav.cz

 URL www.metrostav.cz
Ing. Pavel Veselý

☒ BETOTECH, s.r.o.

Beroun 660

266 01 Beroun



311



311 644 010

 ☺ pavel.vesely@betotech.cz

 URL www.betotech.cz
Ing. Stanislav Smiřinský

☒ BETOTECH, s.r.o.

Beroun 660

266 01 Beroun



311 644 783



311 644 780

 ☺ stanislav.smirinsky@betotech.cz

 URL www.betotech.cz
Ing. Vladimír Veselý

☒ BETOTECH, s.r.o.

Beroun 660

266 01 Beroun



311 644 063



311 644 010

 ☺ vladimir.vesely@betotech.cz

 URL www.betotech.cz