

ANALÝZA POMĚRU JEDNOTLIVÝCH FRAKČÍ KAMENIVA V 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 analýzou poměru jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu s ohledem na minimalizaci nakypření směsi kameniva ocelovými vlákny. Pro analýzu byly použity frakce kameniva 0-4, 4-8 a 8-16 a ocelová vlákna Dramix 3D 65/60 BG. Intuitivně lze předpokládat, že frakce kameniva 0-4 bude ocelovými vlákny ovlivněna nejméně s ohledem na nakypření a naopak frakce 8-16 bude ocelovými vlákny ovlivněna nejvíce s ohledem na nakypření. Z tohoto předpokladu by vycházelo jako ideální nahrazení frakce 8-16 frakcí 0-4, čímž by ale byla výrazně narušena struktura výsledného drátkobetonu. Cílem je tedy stanovit ideální poměr frakcí 4-8 a 8-16 (s ohledem na nakypření ocelovými vlákny) a tento poměr doplnit vhodným množstvím frakce 0-4.

KLÍČOVÁ SLOVA

analýza, kamenivo, ocelová vlákna, nakypření, drátkobeton

ABSTRACT

The paper is focused on the analysis of the ratio of individual fractions of aggregate in the steel fibre reinforced concrete with regard to reduction the loosening of the aggregate mixture influenced the steel fibres. The aggregate fractions 0-4, 4-8 and 8-16 and the steel fibres Dramix 3D 65/60 BG were used for the analysis. It can be assumed intuitively that the aggregate fraction 0-4 is less affect by steel fibres with regard to loosening than aggregate fraction 8-16. According to the previous statement it would be ideal the using fraction 0-4 instead of fraction 8-16, which would significantly disrupt the structure of the steel fibre reinforced concrete. The aim is to determine the ideal ratio of fraction 4-8 and 8-16 (with regard to loosening influenced the steel fibres) and the fraction of aggregate 4-8 plus fraction 8-16 to supplement with the appropriate amount of fractions 0-4.

KEYWORDS

analysis, aggregates, steel fibres, loosening, steel fibre reinforced concrete

1. ÚVOD

V předloženém článku je popsán postup pro stanovení ideálního poměru jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu v závislosti na zadaném objemovém množství ocelových vláken. V rámci výzkumu byla provedena řada měření sypaných hmotností jednotlivých frakcí kameniva bez drátků a s drátky a kombinace jednotlivých frakcí kameniva bez drátků a s drátky. Z naměřených hodnot byla vypracovaná rozsáhlá databáze. A byl stanoven postup pro stanovení ideálního poměru jednotlivých frakcí kameniva s ohledem na zvolené množství ocelových vláken. Správný poměr jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu je velmi důležitý s ohledem na jeho dostatečnou homogenitu a pevnost. Poměru jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu je tedy nutné věnovat dostatečnou pozornost.

2. METODY

Stanovení vhodného poměru jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu je v tomto článku omezeno na množství drátků 0 až 75 kg/m³ (25, 50 a 75 kg/m³). Laboratorně byly měřeny mezerovitosti jednotlivých frakcí kameniva bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny a kombinace jednotlivých frakcí kameniva bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny. Vždy byla provedena 3 měření a z těchto měření byla spočítána průměrná hodnota. Mezerovitosti byly měřeny následujícím způsobem:

1. vložení směsi kameniva bez ocelových vláken / směsi kameniva s ocelovými vlákny do nádoby o objemu 0,00867 m³
2. setřesení směsi pomocí vibračního stolu
3. zvážení setřesené směsi
4. vyhodnocení mezerovitosti setřesené směsi

Nejprve byly měřeny mezerovitosti frakce kameniva 4-8 bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny a následně taktéž měřeny mezerovitosti frakce 8-16.

Dále byly měřeny mezerovitosti směsí frakcí 4-8 a 8-16 bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny v poměru 1:19 až 19:1. Z výsledků mezerovitostí směsí frakcí 4-8 a 8-16 bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny byl vybrán poměr těchto frakcí s minimální mezerovitostí.

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

V posledním kroku byly měřeny mezerovitosti směsí frakcí 0-4 a 4-8 + 8-16 bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny v poměru 6:14 až 12:8. Z výsledků mezerovitostí směsí frakcí 0-4 a 4-8 + 8-16 bez ocelových vláken a s ocelovými vlákny byl vybrán poměr těchto frakcí s minimální mezerovitostí. Z tohoto poměru byly následně spočítány ideální poměry jednotlivých frakcí pro jednotlivé materiály.

3. VÝSLEDKY

3.1. Mezerovitost kameniva frakce 4-8

3.1.1. Bez ocelových vláken

Mezerovitost frakce 4-8 bez ocelových vláken je deklarovaná jeho dodavatelem, v rámci měření byla však hodnota mezerovitosti ověřena. Výsledné hodnoty viz Tabulka 1.

Tabulka 1: Mezerovitost frakce 4-8 bez ocelových vláken

Mezerovitost kameniva frakce 4-8						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	1	0		
Množství a typ ocelových vláken:		0	kg/m ³			
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	13,513	0,000	13,513	0,000	41,844
2.	0,000	13,563	0,000	13,563	0,000	41,628
3.	0,000	13,473	0,000	13,473	0,000	42,016
Ø	0,000	13,516	0,000	13,516	0,000	41,829

3.1.2. S ocelovými vlákny

Mezerovitost frakce 4-8 s ocelovými vlákny roste s ohledem na množství ocelových vláken (25, 50 a 75 kg/m³). Výsledné hodnoty viz Tabulka 2, 3 a 4.

Tabulka 2: Mezerovitost frakce 4-8 s ocel. vlákny (25 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 4-8 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	1	0		
Množství a typ ocelových vláken:		25	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	13,316	0,000	13,316	0,217	42,372
2.	0,000	13,266	0,000	13,266	0,217	42,587
3.	0,000	13,276	0,000	13,276	0,217	42,544
Ø	0,000	13,286	0,000	13,286	0,217	42,501

Tabulka 3: Mezerovitost frakce 4-8 s ocel. vlákny (50 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 4-8 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	1	0		
Množství a typ ocelových vláken:		50	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	13,030	0,000	13,030	0,434	43,287
2.	0,000	13,050	0,000	13,050	0,434	43,201
3.	0,000	13,110	0,000	13,110	0,434	42,943
Ø	0,000	13,063	0,000	13,063	0,434	43,144

Tabulka 4: Mezerovitost frakce 4-8 s ocel. vlákny (75 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 4-8 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	1	0		
Množství a typ ocelových vláken:		75	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	12,843	0,000	12,843	0,650	43,773
2.	0,000	12,823	0,000	12,823	0,650	43,859
3.	0,000	12,813	0,000	12,813	0,650	43,902
Ø	0,000	12,826	0,000	12,826	0,650	43,844

3.2. Mezerovitost kameniva frakce 8-16

3.2.1. Bez ocelových vláken

Mezerovitost frakce 8-16 bez ocelových vláken je deklarovaná jeho dodavatelem, v rámci měření byla však hodnota mezerovitosti ověřena. Výsledné hodnoty viz Tabulka 5.

Tabulka 5: Mezerovitost frakce 8-16 bez ocelových vláken

Mezerovitost kameniva frakce 8-16						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	0	1		
Množství a typ ocelových vláken:		0	kg/m ³			
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	0,000	13,293	13,293	0,000	42,576
2.	0,000	0,000	13,243	13,243	0,000	42,792
3.	0,000	0,000	13,223	13,223	0,000	42,878
Ø	0,000	0,000	13,253	13,253	0,000	42,749

3.2.2. S ocelovými vlákny

Mezerovitost frakce 8-16 s ocelovými vlákny roste s ohledem na množství ocelových vláken (25, 50 a 75 kg/m³). Výsledné hodnoty viz Tabulka 6, 7 a 8.

Tabulka 6: Mezerovitost frakce 8-16 s ocel. vlákny (25 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 8-16 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	0	1		
Množství a typ ocelových vláken:		25	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	0,000	12,816	12,816	0,217	44,317
2.	0,000	0,000	12,876	12,876	0,217	44,058
3.	0,000	0,000	12,736	12,736	0,217	44,663
Ø	0,000	0,000	12,810	12,810	0,217	44,346

Tabulka 7: Mezerovitost frakce 8-16 s ocel. vlákny (50 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 8-16 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	0	1		
Množství a typ ocelových vláken:		50	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	0,000	12,430	12,430	0,434	45,669
2.	0,000	0,000	12,380	12,380	0,434	45,885
3.	0,000	0,000	12,290	12,290	0,434	46,274
Ø	0,000	0,000	12,366	12,366	0,434	45,943

Tabulka 8: Mezerovitost frakce 8-16 s ocel. vlákny (75 kg/m³)

Mezerovitost kameniva frakce 8-16 s ocelovými vlákny						
Vstupní údaje:		0-4	4-8	8-16		
Poměr jednotlivých frakcí kamení		0	0	1		
Množství a typ ocelových vláken:		75	kg/m ³		Dramix 3D 65/60 BG	
č. měření	m 0-4 [kg]	m 4-8 [kg]	m 8-16 [kg]	m _{kamenivo} [kg]	m _{drátky} [kg]	Mezerovitost [%]
1.	0,000	0,000	11,923	11,923	0,650	47,540
2.	0,000	0,000	11,793	11,793	0,650	48,102
3.	0,000	0,000	12,043	12,043	0,650	47,022
Ø	0,000	0,000	11,919	11,919	0,650	47,554

Souhrn výsledných průměrných mezerovitostí pro frakci 4-8 viz Tabulka 9: Mezerovitost frakce 4-8 a pro frakci 8-16 viz Tabulka 10: Mezerovitost frakce 8-16.

Tabulka 9: Mezerovitost frakce 4-8

Výsledná mezerovitost - průměrná hodnota ze 3 měření [%]				
Vstupní údaje:		Typ ocelových vláken: Dramix 3D 65/60 BG		
Frakce:		Množství ocelových vláken:		
4-8	bez vláken	25 kg/m ³	50 kg/m ³	75 kg/m ³
		41,829	42,501	43,144

Tabulka 10: Mezerovitost frakce 8-16

Výsledná mezerovitost - průměrná hodnota ze 3 měření [%]				
Vstupní údaje:		Typ ocelových vláken: <i>Dramix 3D 65/60 BG</i>		
Frakce:		Množství ocelových vláken:		
8-16	bez vláken	25 kg/m ³	50 kg/m ³	75 kg/m ³
		42,749	44,346	45,943

3.3. Mezerovitost směsí frakcí 4-8 a 8-16

Pro směsi frakcí 4-8 a 8-16 bylo snahou nalézt poměry s minimálními mezerovitostmi.

Tabulka 11: Mezerovitost směsí frakcí 4-8 a 8-16

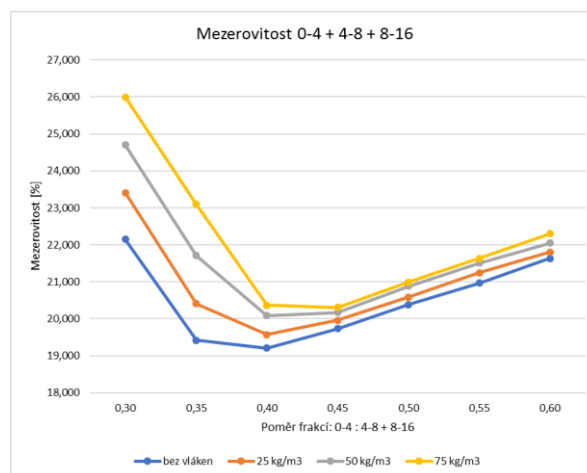
Výsledná mezerovitost - průměrná hodnota ze 3 měření [%]					
Vstupní údaje:		Typ ocelových vláken: <i>Dramix 3D 65/60 BG</i>			
Poměr frakcí:		Množství ocelových vláken:			
4-8	8-16	bez vláken	25 kg/m ³	50 kg/m ³	75 kg/m ³
1	: 19	40,283	41,808	43,290	44,771
2	: 18	38,150	39,573	40,997	42,492
3	: 17	36,175	37,570	38,993	40,459
4	: 16	35,597	36,934	38,314	39,693
5	: 15	36,458	37,766	39,102	40,438
6	: 14	36,786	38,007	39,372	40,636
7	: 13	37,158	38,407	39,628	40,891
8	: 12	37,457	38,677	39,869	41,032
9	: 11	37,814	38,947	40,124	41,287
10	: 10	38,185	39,289	40,423	41,571
11	: 9	38,498	39,559	40,664	41,768
12	: 8	38,883	39,907	40,962	41,966
13	: 7	39,153	40,128	41,174	42,178
14	: 6	39,509	40,440	41,444	42,418
15	: 5	39,822	40,753	41,670	42,572
16	: 4	40,192	41,080	41,896	42,784
17	: 3	40,533	41,349	42,194	43,053
18	: 2	40,932	41,690	42,492	43,293
19	: 1	41,244	42,002	42,760	43,490
Minimum		35,597	36,934	38,314	39,693

3.4. Mezerovitost směsí frakcí 0-4 a 4-8 + 8-16

Pro směsi frakcí 0-4 a 4-8 + 8-16 bylo snahou nalézt poměry s minimálními mezerovitostmi.

Tabulka 12: Mezerovitost směsí frakcí 0-4 a 4-8 + 8-16

Výsledná mezerovitost - průměrná hodnota ze 3 měření [%]					
Vstupní údaje:		Typ ocelových vláken: <i>Dramix 3D 65/60 BG</i>			
Poměr frakcí:		Množství ocelových vláken:			
0-4	4-8 + 8-16	bez vláken	25 kg/m ³	50 kg/m ³	75 kg/m ³
6	: 14	22,148	23,411	24,703	25,994
7	: 13	19,417	20,406	21,715	23,096
8	: 12	19,210	19,575	20,086	20,364
9	: 11	19,730	19,965	20,171	20,304
10	: 10	20,383	20,590	20,884	20,989
11	: 9	20,965	21,245	21,511	21,631
12	: 8	21,636	21,801	22,053	22,305
Minimum		19,210	19,575	20,086	20,304



Graf 1: Mezerovitost 0-4 a 4-8 + 8-16

Na základě vyhodnocených mezerovitostí byly stanoveny ideální poměry jednotlivých frakcí kameniva pro výrobu drátkobetonů.

Tabulka 13: Výsledné poměry jednotlivých frakcí kameniva

Výsledný poměr jednotlivých frakcí kameniva				
Vstupní údaje:		Typ ocel. vláken: <i>Dramix 3D 65/60 BG</i>		
Množství ocelových vláken:	Poměr frakcí:			
	0-4	4-8	8-16	Celkem
bez vláken	0,473	0,082	0,446	1,000
25 kg/m ³	0,400	0,120	0,480	1,000
50 kg/m ³	0,400	0,120	0,480	1,000
75 kg/m ³	0,450	0,110	0,440	1,000

Z výsledných poměrů jednotlivých frakcí kameniva byly sestaveny receptury pro výrobu jednotlivých materiálů.

Tabulka 14: Legenda jednotlivých materiálů

A	Beton bez ocelových vláken
B	DB (25 kg/m ³ Dramix 3D 65/60 BG)
C	DB (50 kg/m ³ Dramix 3D 65/60 BG)
D	DB (75 kg/m ³ Dramix 3D 65/60 BG)

Tabulka 15: Výsledné receptury

	0-4 [kg/1 m ³]	4-8 [kg/1 m ³]	8-16 [kg/1 m ³]	m _{c,v,i} [kg/1 m ³]	V _{v,v,i} [l/1 m ³]	m _{u,v,i} [kg/1 m ³]
A)	783	235	940	384	135	0
B)	761	228	913	392	137	25
C)	761	228	913	399	140	50
D)	861	211	842	413	145	75

Výsledné receptury byly ověřené s ohledem na jejich kvazihomogenitu – zkouškou míry segregace ocelových vláken v čerstvém drátkobetonu (viz Tabulka 16: Výsledky zkoušky segregace ocelových vláken).

Tabulka 16: *Výsledky zkoušky segregace ocelových vláken*

č.	Receptura	$m_{F,i}$ [kg/ m ³]	m_{0-4} [kg/ m ³]	m_{4-8} [kg/ m ³]	m_{8-16} [kg/ m ³]	m_c [kg/ m ³]	$m_{D,i}$ [g]	$m_{H,i}$ [g]	$m_{C,i}$ [g]	S_i [%]
1a	Betonárka	25	870	150	820	300	78,0	57,0	135,0	15,56
1b	Úprava I	25	832	143	784	315	75,0	61,0	136,0	10,29
1c	Úprava II	25	761	228	913	392	72,3	62,2	134,5	7,51
2a	Betonárka	50	870	150	820	300	145,0	117,0	262,0	10,69
2b	Úprava I	50	822	142	775	330	141,0	119,0	260,0	8,46
2c	Úprava II	50	761	228	913	399	140,6	123,4	264,0	6,52
3a	Betonárka	75	870	150	820	300	215,0	180,0	395,0	8,86
3b	Úprava I	75	810	140	765	345	212,0	188,0	400,0	6,00
3c	Úprava II	75	861	211	842	413	211,0	191,0	402,0	4,98

4. DISKUZE

V předchozích experimentech byl poměr kameniva pro výrobu drátkobetonu buď stejný jako pro výrobu betonu bez ocelových vláken a nebo empiricky upraven. Z výsledků míry segregace ocelových vláken v čerstvém drátkobetonu (viz Tabulka 16: *Výsledky zkoušky segregace ocelových vláken*) je patrné, že použití stejného poměru kameniva pro výrobu drátkobetonu jako pro výrobu běžného betonu není vhodné. Empirickou úpravu poměru kameniva pro výrobu drátkobetonu lze považovat za významnou, nikoliv však dostačující. Z výsledků míry segregace ocelových vláken v čerstvém drátkobetonu je patrné, že separátní návrh poměru jednotlivých frakcí kameniva pro výrobu drátkobetonu založený na principu setřesených syných hmotností je přínosný.

5. ZÁVĚR

Ideální poměr jednotlivých frakcí kameniva v drátkobetonu je značně ovlivněn typem a množstvím ocelových vláken, které jsou v něm obsaženy. Během experimentu byl ověřen předpoklad, že frakce kameniva 0-4 je ocelovými vlákny ovlivněna minimálně s ohledem na nakypření a naopak frakce 8-16 je ocelovými vlákny ovlivněna nejvíce s ohledem na nakypření. Významným poznatkem je také skutečnost, že frakce kameniva 4-8 je výrazně méně ovlivněna ocelovými vlákny s ohledem na nakypření než frakce 8-16 (viz Tabulka 9 a 10). Tento postup návrhu poměru jednotlivých frakcí kameniva pomocí analýzy mezerovitostí se ukázal jako vhodný s ohledem na výsledky zkoušky segregace ocelových vláken v čerstvém drátkobetonu. Lze tedy konstatovat, že tento postup návrhu poměru jednotlivých frakcí kameniva zohledňuje zachování kvazihomogenity navrhovaných drátkobetonů.

PODĚKOVÁNÍ

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

Literatura

- Krátký J, Trtík K, Vodička J: Drátkobetonové konstrukce; Praha 1999
- Hobst, O. Anton, J. Vodička, J. Štučka, Ověřování homogenity drátkobetonu, Konference zkoušení a jakost ve stavebnictví, Sborník recenzovaných příspěvků, Brno 2010, str. 43-50, ISBN 978-80-214-4144-6