

WPLYW WŁÓKIEN STALOWYCH NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU ZWYKŁEGO

Gabriela Rutkowska, Ewa Klepacka

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości (konsystencji, zawartości powietrza, gęstości, nasiąkliwości, mrozoodporności, wytrzymałości na ściskanie i zginanie) betonów zwykłych oraz betonów zawierających w swoim składzie różną ilość włókien stalowych. Do wykonania betonu użyto cementu portlandzkiego wieloskładnikowego CEM II/B-M (V - LL) 32,5 R, kruszywa naturalnego 0–16 mm (ze zwiększoną ilością piasku – 38%). Beton z dodatkiem włókien stalowych wykonano w trzech partiach, gdzie włókna dodawano w ilości 0,8, 1,6, 2,4% objętości mieszanki betonowej. Po wykonaniu badania stwierdzono, że dodatek w postaci włókien stalowych zwiększa (w małym stopniu) gęstość i zawartość powietrza w mieszance betonowej oraz nasiąkliwość betonu, ponadto pozytywnie wpływa na właściwości wytrzymałościowe. W badaniu mrozoodporności kostki betonu modyfikowanego wykazywały mniejszą wartość wytrzymałości na ściskanie w odniesieniu do zwiększającej się ilości włókien stalowych.

Słowa kluczowe: włókna stalowe, beton zwykły

WSTĘP

Beton zbrojony włóknami stalowymi (SFRC – Steel Fibre Reinforced Concrete) jest nowoczesnym materiałem kompozytowym, należącym do grupy betonów specjalnych. Biorąc pod uwagę fakt, że beton jest materiałem obecnie najbardziej wykorzystywanym w budownictwie, należy mu poświęcić dużo uwagi, zarówno pod względem ochrony środowiska (duża emisja CO₂ do atmosfery przy produkcji cementu), jak i ciągłego udoskonalania właściwości technicznych [Czarnecki Kurdowski 2006].

Proces powstawania betonów z włóknami stalowymi został rozpoczęty w 1874 roku przez A. Bernarda, który opatentował procedurę wzmocnienia betonu opiłkami stalowymi. W 1910 roku H. Porter doszedł do wniosku, że beton z dodatkiem krótkich drutów wpływa pozytywnie na jednorodność betonu zbrojonego. W 1918 roku H. Alfsen zmo-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Gabriela Rutkowska, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: gabriela_rutkowska@sggw.pl

dyfikował beton długimi stalowymi włóknami, co miało zwiększyć wytrzymałość betonu na rozciąganie. Jednak dopiero od 1963 roku rozpoczęto definiować zagadnienia SFRC. W tym to czasie postawiono tezy o przeciwdziałaniu włókien stalowych ograniczaniu powstawania rys, ich rozstawów i rozmiarów. Efektywność włókien zależy przede wszystkim od kształtu włókien stalowych (najlepsze włókna haczykowate) i wytrzymałości stali, z której są wykonane (>1000 MPa) [Katzer 2003, Westfal 2010].

Przed przystąpieniem do badania postawiono hipotezę badawczą, że przewidywanym skutkiem dodatku włókien stalowych do mieszanki betonowej może być poprawa badanych cech fizycznych stwardniałego betonu przy odpowiedniej zawartości dodatku.

Celem pracy było zbadanie wpływu włókien stalowych na właściwości betonu zwykłego. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie wytrzymałości badanego materiału przy różnej zawartości włókien stalowych i ocenie ich roli jako dodatku do betonu.

MATERIAŁ I METODYKA

W celu przeprowadzenia badań zaprojektowano beton zwykły klasy C20/25 o konsystencji gęstoplastycznej (S2) dla klasy oddziaływania środowiska X0. Ilość składów mieszanki betonowej obliczono metodą trzech równań według Bukowskiego [Jamróży 2009]. Dla najefektywniejszego wykorzystania obecności włókien stalowych wykorzystano kruszywo o uziarnieniu maksymalnym $D_{\max} = 16$ mm oraz cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R. Ponadto zwiększono ilość piasku do 38%, przyjęto wskaźnik wodno-cementowy 0,41 oraz włókna o długości od 2 do 4 razy większej niż maksymalne uziarnienie [PN-EN 14889-1:2007].

Badania polegały na porównaniu właściwości betonów zwykłych zawierających w swoim składzie różne ilości włókien stalowych do betonu porównawczego (referencyjnego). Przygotowano cztery rodzaje betonu:

- beton porównawczy o składzie podstawowym,
- beton z zawartością włókien stalowych w ilości 0,80% objętości mieszanki betonowej,
- beton z zawartością włókien stalowych w ilości 1,60% objętości mieszanki betonowej,
- beton z zawartością włókien stalowych w ilości 2,40% objętości mieszanki betonowej.

Badania zostały wykonane w Laboratorium Budowlanym Katedry Inżynierii Budowlanej oraz Pracowni Procesów Fizycznych w Budownictwie Centrum Wodnego Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie. Zgodnie z obowiązującymi normami sprawdzono właściwości mieszanki betonowej: gęstość według PN-EN 12350-6:2011, konsystencję metodą stożka opadowego według PN-EN 12350-2:2014, zawartość powietrza metodą ciśnieniową według PN-EN 12350-7:2011 oraz sprawdzono właściwości betonu – wytrzymałość na ściskanie i zginanie, nasiąkliwość i mrozoodporność.

Do badania wytrzymałości na ściskanie użyto próbek o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm. Badania te przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach PN-EN 12390-3:2011 i PN-EN 12390-4:2001. Próbkę poddano badaniu po 28 dniach dojrzewania. Dla każdego rodzaju betonu przygotowano po trzy próbki.

Badanie próbek na nasiąkliwość przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 12390-2:2011. Do badania użyto próbek o wymiarach $100 \times 100 \times 100$ mm. Dla każdego rodzaju betonu przygotowano po pięć próbek. Badanie rozpoczęto bezpośrednio po zakończeniu okresu dojrzewania betonu. Po 28 dniach próbki

wyjęto z wody, wytarto do sucha oraz zważono. Następnie poddano je suszeniu w komorze badań cieplnych KBC 125G w temperaturze 110°C, aż do uzyskania stałej masy. Po osuszeniu próbki ponownie zważono. Nasiąkliwość nie powinna być większa niż 9% dla betonów osłoniętych przed działaniem czynników atmosferycznych i 5% dla betonów narażonych na działanie czynników atmosferycznych [Mizera i in. 2000].

Badanie mrozoodporności polega na określeniu spadku wytrzymałości na ściskanie próbki zamrożonej w stosunku do próbki niezamrożonej (tzw. przodki). Obniżenie wytrzymałości na ściskanie nie powinno być większe niż 20%. Według normy PN-88/B-06250 próbki poddane zamrożeniu nie powinny mieć pęknięć, a ubytek masy nie powinien przekraczać 5% masy próbek niezamrożonych. Do badania zastosowano sześciennie próbki o wymiarze nominalnym 100 mm. Badanie przeprowadzono w komorze zamrażalniczej „Toropol”. Próbki umieszczone w komorze poddano 150 cyklom. Jeden cykl badania polegał na zamrażaniu próbek w komorze w temperaturze -18°C, a następnie rozmrażaniu ich w wodzie o temperaturze +18°C. Czas jednego cyklu wyniósł 6 godzin. Dla każdego rodzaju betonu przygotowano po dwanaście próbek (sześć próbek świadków i sześć próbek do zamrażania).

Badanie wytrzymałości na zginanie próbek betonowych przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12390-5:2011 na próbkach prostopadłościennych o wymiarach 100 × 100 × 500 mm, w maszynie wytrzymałościowej ZD-40. Dla każdego rodzaju betonu przygotowano po trzy próbki.

WYNIKI

Wykazano wpływ dodania włókien stalowych na właściwości betonów zwykłych wykonanych bezpośrednio na budowie oraz określono możliwość wykonania dobrej jakości betonów bez dodatku oraz z dodatkiem włókien stalowych.

Dobór kruszywa

Zarówno w próbkach niezawierających dodatku, jak i w próbkach z dodatkiem włókien stalowych zachowano stały skład granulometryczny kruszywa dobranego metodą iteracji – kolejnych przybliżeń (tab. 1).

Do przyjętych założeń projektowania mieszanki betonowej przy użyciu metody trzech równań ustalono recepturę na 1 m³ mieszanki betonowej (tab. 2).

Badania mieszanki betonowej

Klasa konsystencji. Analizując wyniki badań konsystencji, zauważono, że partie mieszanki betonowej bez dodatku charakteryzują się konsystencją gęstoplastyczną (S2), natomiast z dodatkami włókien stalowych konsystencją S1. Najmniejszy opad stożka (23 mm) otrzymano dla partii z dodatkiem włókien stalowych w ilości 2,4%, natomiast największy (65 mm) dla partii bez dodatków (tab. 3).

Gęstość. Po przeprowadzeniu badania gęstości mieszanki betonowej zauważono nieznaczny wzrost gęstości wraz ze zwiększającą się ilością włókien w mieszance. Mieszanka betonowa z zawartością 2,4% włókien uzyskała największą gęstość, równą 2378 kg·m⁻³, mieszanka bez dodatku – najmniejszą, równą 2345 kg·m⁻³ (tab. 3).

Tabela 1. Skład ziarnowy kruszywa
Table 1. Granual composition of aggregate

Frakcja Fraction	Procentowy stosunek zmieszania frakcji Percentage of the mixing fraction			Skład ziarnowy Granual composition	
	I etap I stage	II etap II stage	III etap III stage	piasku sand [%]	żwiru aggregate [%]
0–0,125				0,99	0,4
0,125–0,250				17,82	6,8
0,250–0,5			38	39,59	15,0
0,5–1,0				34,31	13,0
1,0–2,0				7,31	2,7
2,0–4,0		32			19,8
4,0–8,0	45		62		19,0
8,0–16,0	55	68			23,3

Tabela 2. Receptura mieszanki betonowej na jeden zarób
Table 2. Recipe of the concrete mix for one portion

Cement Cement [kg·dm ⁻³]	Kruszywo Aggregate [kg·dm ⁻³]	Woda Water [dm ³ ·dm ⁻³]	Włókna stalowe Steel fibers	
			[%]	[kg·dm ⁻³]
5,12	21,81	2,10	0,80	0,23
	29,03		1,60	0,46
			2,40	0,70

Tabela 3. Właściwości mieszanki betonowej
Table 3. Properties of concrete mix

Rodzaj badania Type of test	Gęstość Density [kg·m ⁻³]	Opad stożka Slump [mm]	Klasa konsystencji Consistency class	Pozorna zawartość powietrza Apparent air content [%]
Bez dodatku włókien Without fiber addition	2345	65	S2	2,7
0,8% włókien – fiber	2347	35	S1	2,8
1,6% włókien – fiber	2363	30	S1	3,0
2,4% włókien – fiber	2378	23	S1	2,7

Pozorna zawartość powietrza. Zawartość powietrza w mieszance betonowej dla poszczególnych próbek jest do siebie zbliżona. Dla mieszanki betonowej z zawartością 1,6% włókien określono zawartość powietrza równą 3,0%, z zawartością 0,8%– 2,8%. Zarówno w mieszance betonowej bez dodatku, jak i zawartością 2,4% włókien stalowych zawartość powietrza była taka sama i wynosiła 2,7%.

Badania betonu

Nasiąkliwość. Nasiąkliwość betonów jest zjawiskiem niepożądanym, ponieważ zmniejsza jego odporność i może prowadzić do większej podatności na działanie mrozu. Nasiąkliwość badanego betonu zwykłego na poziomie nieprzekraczającym 9% świadczy o prawidłowym zaprojektowaniu i wykonaniu betonu. Próbki betonu wykazują nasiąkliwość w okolicy wartości 5%. W przypadku betonu porównawczego zaobserwowano średnią nasiąkliwość wynoszącą 4,5%. Dodatek włókien stalowych spowodował nieznaczny wzrost średniej nasiąkliwości do 5,0% (tab. 4).

Tabela 4. Nasiąkliwość
Table 4. Absorbability

Beton Concrete	Próbka Sample	Masa próbki max nasyconej Mass of maximally saturated sample [kg]	Masa próbki wysuszonej Mass of dried sample [kg]	Nasiąkliwość Absorbability n_w [%]	Wartość średnia Average value n_w [%]
Bez dodatku włókien Without fiber addition	1	6,145	5,886	4,4	4,5
	2	5,662	5,419	4,5	
	3	5,175	4,949	4,6	
	4	5,242	5,011	4,6	
	5	5,529	5,291	4,5	
0,8% włókien 0,8% fibry	1	5,513	5,261	4,8	4,9
	2	4,298	4,090	5,1	
	3	5,669	5,414	4,7	
	4	5,455	5,205	4,8	
	5	5,510	5,248	5,0	
1,6% włókien 1,6% fibry	1	6,205	5,909	5,0	5,1
	2	5,825	5,533	5,3	
	3	4,948	4,706	5,1	
	4	5,644	5,375	5,0	
	5	4,980	4,743	5,0	
2,4% włókien 2,4% fibry	1	5,299	5,047	5,0	5,0
	2	5,333	5,087	4,8	
	3	5,795	5,508	5,2	
	4	5,325	5,076	4,9	
	5	5,654	5,380	5,1	

Mrozoodporność. Próbki, które były poddane działaniu obniżonej temperaturze, charakteryzowały się nieznacznymi zniszczeniami naroży bądź krawędzi próbek (rys. 1). Kryterium mrozoodporności betonu (tab. 5) są warunki:

- spadek wytrzymałości nie większy niż 20%,



Rys. 1. Próbkki w komorze „Toropol”

Fig. 1. The sample chamber „Toropol”

Tabela 5. Kryterium mrozoodporności betonu

Table 5. Criterion of concrete frost resistance

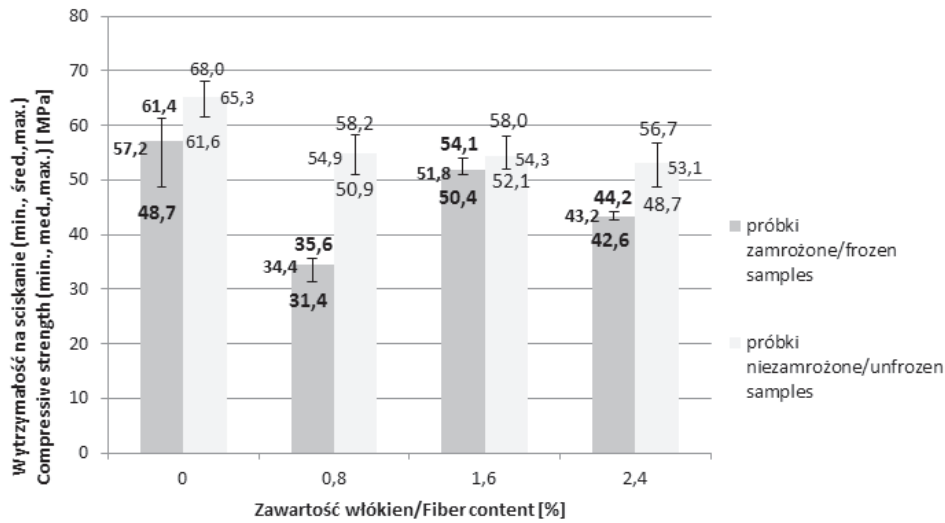
Beton Concrete	Ubytek masy Loss of weight [%]	Spadek wytrzymałości Loss of strenght [%]	Mrozoodporność Frost resistance
Bez dodatku włókien Without fiber addition	- 0,1	12,4	+
0,8% włókien 0,8% fibry	- 0,9	37,3	-
1,6% włókien 1,6% fibry	- 0,2	4,6	+
2,4% włókien 2,4% fibry	- 0,2	18,6	+

– ubytek masy nie większy niż 5%.

Ubytek masy badanych próbek betonowych na skutek badania mrozoodporności był ujemny i nieznaczny. Świadczy to o tym, że masa próbek zwiększyła się po przeprowadzonym badaniu w komorze. Na podstawie badań zaobserwowano, iż tylko jeden rodzaj betonu z zawartością włókien stalowych w ilości 0,8% nie wykazał stopnia mrozoodporności, gdyż zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie przekracza dopuszczalną wartość 20%. Beton z zawartością włókien stalowych 1,6% wykazał największą odporność na działanie niszczących procesów mrozowych.

Na rysunku 2 przedstawiono rozkład wytrzymałości na ściskanie próbek zamrożonych i niezamrożonych, który obrazuje zmniejszenie wytrzymałości poszczególnych rodzajów betonu. Największy spadek, równy 37,3%, zanotowano dla partii próbek z zawartością 0,8% włókien stalowych, najmniejszy 4,6% dla partii próbek z zawartością 1,6% włókien stalowych.

Wytrzymałość na ściskanie. Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2011 w maszynie wytrzymałościowej. Na podstawie uzyskanych wyników (tab. 6) sprawdzono, iż zaprojektowane betony spełniają wymagania kwalifikacji do założonej klasy betonu.



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie

Fig. 2. Compressive strength

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałości na ściskanie stwierdzono, że partia betonu o zawartości 2,4% włókien stalowych charakteryzuje się największą średnią wytrzymałością, równą 46,2 MPa. Włókna stalowe zwiększyły wytrzymałość w stosunku do partii betonu bez dodatku o 3,9%. W dwóch pozostałych modyfikacjach wytrzymałość zmalała, przyczyną tego zjawiska mogło być rozluźnienie struktury mieszanki podczas mieszania jej z włóknami. Najmniejszą średnią wytrzymałość, równą 36,0 MPa, otrzymano dla betonu z zawartością 1,6% włókien. W stosunku do próbek referencyjnych wytrzymałość spadła o 18,9% (tab. 6).

Tabela 6. Wytrzymałość na ściskanie

Table 6. Compressive strength

Rodzaj badania Type of test	Masa Weight [kg]	Wymiary Dimensions [mm]			Siła Force [kN]	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength		Średnia Average f_{cm} [MPa]	Spr. warunku Checking the condition $f_{ck} = 25$ MPa		
						f_c [MPa]	odczyt		wzór	$f_{cm} \geq f_{ck+4}$	$f_{ci} \geq f_{ck-4}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Beton Concrete	1	8,069	150,53	150,37	150,80	1035,9	45,7	45,8		+	
	2	8,050	150,92	150,64	150,28	998,1	43,9	43,9	44,4	+	+
	3	8,123	151,48	151,01	150,90	999,0	43,6	43,7			+
Włókna Fibry 0,8%	1	7,895	150,65	149,56	150,51	930,2	41,2	41,3			+
	2	8,024	151,04	151,36	150,60	872,5	38,1	38,2	40,1	+	+
	3	7,970	151,33	148,48	151,73	921,3	41,0	41,0			+

Tabela 6, cd.
Table 6, cont.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Włókna	1	8,001	151,01	151,04	150,53	807,7	35,4	35,4			+
Fibry	2	8,023	151,52	150,76	150,62	914,8	40,0	40,0	36,0	+	+
1,6%	3	8,120	150,69	150,89	151,77	743,9	32,7	32,7			+
Włókna	1	8,211	151,76	151,49	151,43	968,3	42,1	42,1			+
Fibry	2	8,136	151,00	150,53	150,60	1097,4	48,2	48,3	46,2	+	+
2,4%	3	8,006	150,60	150,03	150,40	1087,1	48,1	48,1			+

Objaśnienia – Explanation:

+ warunek spełniony – condition satisfied,

 f_{cm} – średnia z n wyników badania wytrzymałości serii próbek [MPa] – average from n results of strength tests performed on a series of samples [MPa], f_{ck} – wytrzymałość charakterystyczna na ściskanie (klasa betonu) [MPa] – characteristic compressive strength (concrete class) [MPa], f_{ci} – pojedynczy wynik badania wytrzymałości z serii próbek [MPa] – individual result of strength tests performed on a the series of samples [MPa].

Tabela 7. Wytrzymałość na zginanie

Table 7. Flexural strength.

Rodzaj badania Type of test	Masa Weight [kg]	Wymiary Dimensions [mm]			Siła Force [kN]	Wytrzymałość na zginanie Flexural strenght f_{cf} [MPa]	Odległość Milage [cm]	Średnia wytrzyma- łość na zginanie Average floxural strenght [MPa]
		d_1	L	d_2				
Beton Concrete	1	12,042	101,60	500,0	100,52	13,4	3,9	25
	2	11,942	100,36	500,0	100,53	18,0	5,3	22
	3	11,979	100,87	500,0	100,72	20,2	5,9	23
Włókna Fibry 0,8%	1	11,886	101,29	500,0	100,67	15,1	4,4	26
	2	12,075	101,94	500,0	100,70	16,8	4,9	28
	3	11,836	101,06	500,0	100,56	16,4	4,8	26
Włókna Fibry 1,6%	1	11,982	101,42	500,0	101,51	17,4	5,0	24
	2	11,835	99,86	500,0	101,40	18,7	5,5	24
	3	11,794	99,87	500,0	100,14	20,1	6,0	22
Włókna Fibry 2,4%	1	11,868	100,60	500,0	100,48	20,8	6,1	23
	2	12,175	101,76	500,0	100,32	26,1	7,6	22
	3	12,193	101,89	500,0	101,13	24,5	7,1	24

Wytrzymałość na zginanie. Na podstawie uzyskanych wyników badań stwierdzono, że najmniejszą wytrzymałość na zginanie, równą 4,7 MPa, uzyskał beton z zawartością 0,8% włókien stalowych. W porównaniu z próbkami referencyjnymi spadek wytrzymałości wyniósł 7,8%. W miarę dodawania włókien zauważono wzrost wytrzymałości na zginanie. Największą wytrzymałość na zginanie, równą 6,9 MPa, uzyskał beton z zawartością 2,4% włókien stalowych. W stosunku do receptury porównawczej dodatek włókien stalowych spowodował wzrost wytrzymałości na zginanie o 35,3% (tab. 7).

WNIOSKI

Na podstawie uzyskanych wyników badań można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Dla każdej z trzech partii mieszanki betonowej z włóknami stalowymi uzyskano konsystencję wilgotną (S1), natomiast dla mieszanki betonowej referencyjnej – konsystencję gęstoplastyczną (S2), założoną do projektowania.

2. Pozorna zawartość powietrza wahała się od 2,7% dla mieszanek bez dodatku i z zawartością 2,4% włókien do 3,0% w mieszance z zawartością 1,6% włókien.

3. Gęstość mieszanek betonowych rosła wraz ze zwiększającą się ilością włókien stalowych. Najmniejsza gęstość wynosiła $2345,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, natomiast największa była równa $2378,0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

4. Dodatek w postaci włókien stalowych powodował nieznaczny wzrost nasiąkliwości.

5. Beton zawierający 0,8% włókien stalowych nie wykazał stopnia mrozoodporności.

6. Największą wytrzymałość na ściskanie, równą 46,2 MPa, uzyskał beton z zawartością 2,4% włókien stalowych, natomiast najmniejszą, równą 40,1 MPa, beton z zawartością 0,8% włókien.

7. Wytrzymałość na zginanie rosła stopniowo w miarę zwiększania ilości włókien stalowych. Największą wytrzymałość, równą 6,9 MPa, uzyskano dla betonu, do którego dodano 2,45% włókien stalowych.

PISMIENNICTWO

Czarnecki, L., Kurdowski, W. (2006). Tendencje kształtujące przyszłość betonu. Konferencja „Dni betonu, tradycja i nowoczesność”, 9–11 października 2006 r., Wisła.

Jamroży, Z. (2009). Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Katzer, J. (2003). Włókna stalowe stosowane do modyfikacji betonu. Budownictwo, technologie, architektura. Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków.

Mizera, J. i in. (2000). Ćwiczenia laboratoryjne z materiałów budowlanych i technologii betonu. Politechnika Opolska, Opole.

PN-88/B-06250. Beton zwykły (norma nieaktualna).

PN-EN 12350-2:2014. Badania mieszanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą stożka.

PN-EN 12350-6:2011. Badania mieszanki betonowej. Część 6: Gęstość.

PN-EN 12350-7:2011. Badania mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe.

- PN-EN 12390-2:2011. Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- PN-EN 12390-3:2011. Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- PN-EN 12390-4:2001. Badania betonu. Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn wytrzymałościowych.
- PN-EN 12390-5:2011. Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań.
- PN-EN 14889-1:2007. Włókna do betonu. Część 1: Włókna stalowe. Definicje, wymagania i zgodności.
- Westfal L. (2010). Dzieje betonu. Budownictwo, technologie, architektura. Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków.

THE INFLUENCE OF STEEL FIBRES ON THE PROPERTIES OF ORDINARY CONCRETE

Abstract. The paper presents the results of investigations of properties (consistency, air content, density, water absorbability, freeze resistance, compressive and bending strength) of ordinary concretes as well as concretes containing various amount of steel fibres. To make the samples, the Portland cement CEM II/B-M (V-LL) 32.5 R and natural aggregate with graining of 0÷16 mm (with increased quantity of sand – 38%) were used. The concrete samples with addition of steel fibres were made in three batches where the added fibres constituted 0.8%, 1.6% and 2.4% of the mass of concrete mix. After the tests it was stated that the admixture of steel fibres causes the increase (to a small extent) of the density and air content in the concrete mix, the water absorbability of the concrete, moreover it has positive influence on the strength properties. In the freeze resistance tests, the cubes made of the modified concrete presented lower compressive strength with the increase of the quantity of steel fibres.

Key words: steel fibres, concrete

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.11.2016

Cytowanie: Rutkowska, G., Klepacka, E. (2016). Wpływ włókien stalowych na właściwości betonu zwykłego. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (4), 223–232.