

Bogdan LANGIER, Krzysztof WERNER, Włodzimierz BARANOWSKI

Politechnika Częstochowska

langier@op.pl, krzysztofwerner@tlen.pl, baranowski@ipp.pcz.pl

Modyfikacje betonu dodatkiem rozdrobnionego polipropylenu

Streszczenie: Przedmiotem badań była próba utylizacji polipropylenu poprzez wprowadzenie odpadów z polipropylenu do kształtowania nowych właściwości betonów. W pracy przedstawiono wyniki badań wpływu dodatku w postaci rozdrobnionego polipropylenu na wybrane właściwości betonów cementowych. Ocenie poddano beton żwirowy, do składu, którego wprowadzano od 5% do 20% dodatku tworzywa polimerowego. Zakres badań obejmował ocenę wpływu odpadów tworzywa polimerowego na właściwości betonu a w szczególności zmian wytrzymałości na ściskanie, nasiąkliwość i głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Eksperyment miał na celu wskazanie kierunku dalszych badań nad wykorzystaniem dodatków z polipropylenowych odpadów produkcyjnych w technologii betonu.

Słowa kluczowe: kompozyty cementowe, rozdrobniony polipropylen, wytrzymałość na ściskanie, nasiąkliwość, głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.

MODIFICATION OF CONCRETE WITH ADDITION OF GRINDED POLYPROPYLENE

Abstract: The subject of this research was the trial of polypropylene utilization and application of used polypropylene to forming properties of concrete. The results of investigation of grinded polypropylene addition influence on selected properties of cement concretes were presented in this work. Gravel concrete with 5 – 20% addition of polymer was evaluated. The domain of the study was evaluation of influence of polymer discard on the properties of concrete, especially the change in compression strength, absorbability and depth of penetration of water under pressure. The aim of the experiment was to indicate further research directions with the use of polypropylene discard from production in technology of concrete.

Keywords: cement composites, grinded polypropylene, compression strength, absorbability, depth of penetration of water under pressure.

WSTĘP

Stosowanie w dużej skali różnego rodzaju dodatków, które modyfikują właściwości mieszanki betonowej i cechy betonu [1] jest obecnie nowym trendem w technologii betonu. Przemysł betonowy oferuje olbrzymie możliwości zagospodarowywania odpadów przemysłowych [2]. Wszelkie działania mające na celu efektywne zagospodarowanie odpadów, przekładają się na zmniejszenie powierzchni składowisk i koszt składowania odpadów przemysłowych. Koncepcja produkcji betonu „przyjaznego dla środowiska” wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju, która obecnie jest jednym z czynni-

ków determinujących rozwój gospodarczy. Wprowadzanie odpadowych tworzyw do składu betonu umożliwia zagospodarowanie materiałów, które są dużym problemem dla ochrony środowiska naturalnego. Opis prób doświadczalnych oraz oceny możliwości wykorzystania odpadów jest opisany w literaturze np. w publikacjach [3,4,5]. Wzrastające wymagania stawiane m.in. konstrukcjom budowlanym wymagają od technológów poszukiwania materiałów o coraz korzystniejszych właściwościach [6,7,8]. Zastosowanie rozdrobnionego polipropylenu może pozwolić na uzyskanie kompozytu posiadającego stosunkowo wysokie właściwości użytkowe [9].

1. BADANIA DOŚWIADCZALNE

Celem podjętych badań była ocena przydatności odpadów produkcyjnych w postaci rozdrobnionego polipropylenu (PP) jako składnika betonu. Sprawdzenie i ocena możliwości wykorzystania PP w technologii betonu obej-

Wybrane właściwości charakteryzujące tworzywo polipropylenowe, z którego po rozdrobnieniu pozyskano dodatek były następujące: gęstość 900 kg/m^3 , temperatura mięknięcia w aparacie Vicata (10N) 154°C , granica plastyczności przy rozciąganiu (50 mm/min) 34 MPa , wytrzymałość na zginanie 40 MPa .

Tab. 1. Skład badanych serii mieszanek betonowych

Składnik, kg/m^3	Seria				
	0	1	2	3	4
Cement (CEM I 42,5R)	292	292	292	292	292
Woda	153	153	153	153	153
Kruszywo (żwirowe)	1968	1968	1968	1968	1968
Superplastyfikator (% m.c.)	1,75 (0,6)	1,75 (0,6)	3,50 (1,2)	5,26 (1,8)	7,3 (2,5)
Polipropylen (% m.c.)	– (–)	14,6 (5%)	29,2 (10%)	43,8 (15%)	58,4 (20%)

mowało badania wybranych cech betonów z różną zawartością dodatku. Badaniom poddano 4 serie betonów modyfikowanych dodatkiem rozdrobnionego polipropylenu. Skład badanych mieszanek betonowych zestawiono w tabeli 1. Beton wyjściowy (seria oznaczona jako 0), został zaprojektowany metodą doświadczalną dla założonego stosunku cementowo-wodnego $C/W=1,9$. Do betonu serii kontrolnej (0), wprowadzono na etapie przygotowania mieszanek, rozdrobniony polipropylen w ilości 5, 10, 15 i 20 % w stosunku do masy cementu. Wraz ze wzrostem ilości dodatku, w celu utrzymania tej samej konsystencji i urabialności betonu, należało zwiększać ilość domieszki upłynniającej.

Dla każdej serii modyfikowanej PP, wykonano badania: konsystencji mieszanki betonowej metodą stożka opadowego, zawartości powietrza metodą ciśnieniową, gęstości betonu, wytrzymałości na ściskanie, kapilarnego podciągania wody pod ciśnieniem oraz nasiąkliwości. Do badań przygotowano 11 próbek sześciennych z każdej serii, o boku 150 mm , które zostały przebadane po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych zgodnie z normą [10].

Wielkość ziaren PP wahała się w granicach $d=0,2\div 0,5 \text{ mm}$. Informacje dotyczące danych technicznych o tworzywie i jego przetwórstwie zawiera publikacja [11].

2. WYNIKI BADAŃ I ICH OMÓWIENIE

Ocena konsystencji

Badania wykonano zgodnie z normą [12], metodą stożka opadowego. Wyniki oznaczania stopnia ciekłości badanych mieszanek betonowych przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Konsystencja mieszanek betonowych

Seria	0	1	2	3	4
Opad stożka [mm]	17	15	15	12	10
Klasa konsystencji	S1	S1	S1	S1	S1

We wszystkich badanych seriach, ciekłość mieszanki betonowej mierzona opadem stożka, zawiera się w granicach od 10 do 17 mm , co świadczy o uzyskaniu klasy konsystencji S1. Dodawanie coraz większej ilości rozdrobnionego polipropylenu, wpływało na pogarszanie się urabialności mieszanki betonowej. Wyma-

gało to stosowania coraz większej ilości superplastyfikatora.

Ocena nasiąkliwości betonu

Badanie nasiąkliwości betonu przeprowadzono na 2 próbkach sześciennych o boku 150 mm według metody przedstawionej w normie [13], a wyniki badania przedstawiono w tabeli 3.

Tab. 3. Wyniki badania nasiąkliwości

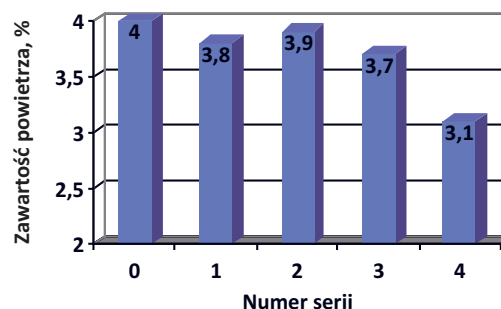
Seria	Masa w stanie suchym [kg]	Masa po nasyceniu wodą [kg]	Nasiąkliwość wagowa [%]	
0	7,71	8,08	4,8	4,8
	7,73	8,10	4,8	
1	7,62	7,88	3,4	3,7
	7,51	7,80	3,9	
2	7,14	7,50	5,0	5,0
	7,15	7,51	5,0	
3	7,10	7,45	4,9	5,0
	6,98	7,33	5,0	
4	7,06	7,31	3,5	3,6
	6,95	7,20	3,6	

Dodanie rozdrobnionego polipropylenu w ilości 5% wpłynęło na zmniejszenie nasiąkliwości badanego betonu z 4,8% (seria 0) do 3,7% (seria 1). Dalsze zwiększenie ilości PP powodowało wzrost nasiąkliwości do wartości 5% (seria 2 i 3), jednak seria 4 z dodatkiem PP w ilości 20% pozwalała na uzyskanie najniższej nasiąkliwości wagowej, która wyniosła 3,6%.

Ocena zawartości powietrza w mieszance betonowej

Badanie zawartości powietrza wykonano dwukrotnie na każdej mieszance betonowej, metodą ciśnieniową zgodnie z normą [14], a wartość średnią przedstawiono na rysunku 1.

Obecność rozdrobnionego PP w badanych seriach, wpłynęła nieznacznie na zmianę całkowitej zawartości powietrza. Maksymalna zastosowana ilość PP (seria 4) spowodowała



Rys. 1. Wyniki badania zawartości powietrza w mieszance betonowej

uzyskanie najniższej zawartości powietrza wynoszącej 3,1%. Jednocześnie w serii 4 stwierdzono maksymalną różnicę pomiędzy pojedynczymi badaniami. W próbie 1 uzyskano 2,9% natomiast w próbie 2 odnotowano 3,3%. Uzyskana mieszanka była bardzo mało urabialna co przełożyło się na wynik badania.

Ocena gęstości objętościowej

Badanie gęstości badanych betonów przeprowadzono zgodnie z normą [15]. Wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tab. 4. Wyniki badania gęstości objętościowej

Seria	Masa próbki [kg]	Gęstość [kg/m ³]	Gęstość średnia [kg/m ³]
0	7,71	2280	2285
	7,73	2290	
1	7,62	2260	2250
	7,51	2230	
2	7,14	2120	2120
	7,15	2120	
3	7,10	2100	2090
	6,98	2070	
4	7,06	2090	2070
	6,95	2060	

W badaniach stwierdzono stopniowy spadek gęstości wraz ze zwiększającym się udziałem zawartości PP w betonie. Seria kontrolna uzyskała gęstość 2285 kg/m³, i wprowadzanie PP spowodowało spadek gęstości do wartości 2070 kg/m³ w serii 4.

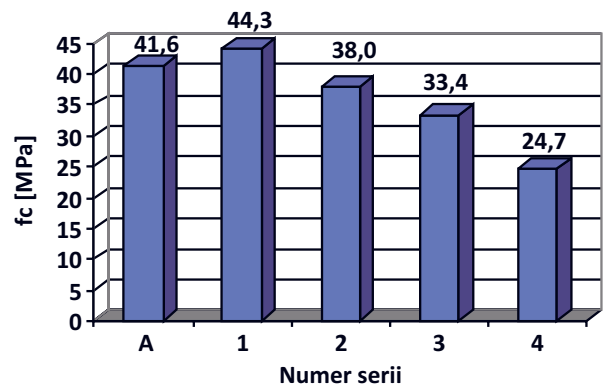
Ocena wytrzymałości na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie f_c przeprowadzono w Laboratorium Materiałów Budowlanych. Ocena betonów przeprowadzono na kostkach sześciennych o boku 150 mm, po 28 dniach dojrzewania w warunkach laboratoryjnych zgodnie z normą [16].

Uzyskane wyniki badań oraz klasyfikację wytrzymałościową przedstawiono w tabeli 5.

Tab. 5. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie

seria	f_{ci}	f_{cm}	Klasa wytrzymałości
0	39,6	41,6	C30/37
	42,3		
	43,0		
1	45,2	44,3	C30/37
	43,5		
	44,1		
2	38,9	38,0	C25/30
	38,0		
	37,1		
3	35,1	33,4	C20/25
	33,1		
	31,9		
4	24,1	24,7	C20/25
	26,8		
	23,3		



Rys. 3. Średnia wytrzymałość na ściskanie badanych serii betonów

Na rysunku 3 przedstawiono wartości średnie wytrzymałości na ściskanie badanych serii betonów z dodatkiem rozdrobnionego polipropylenu.

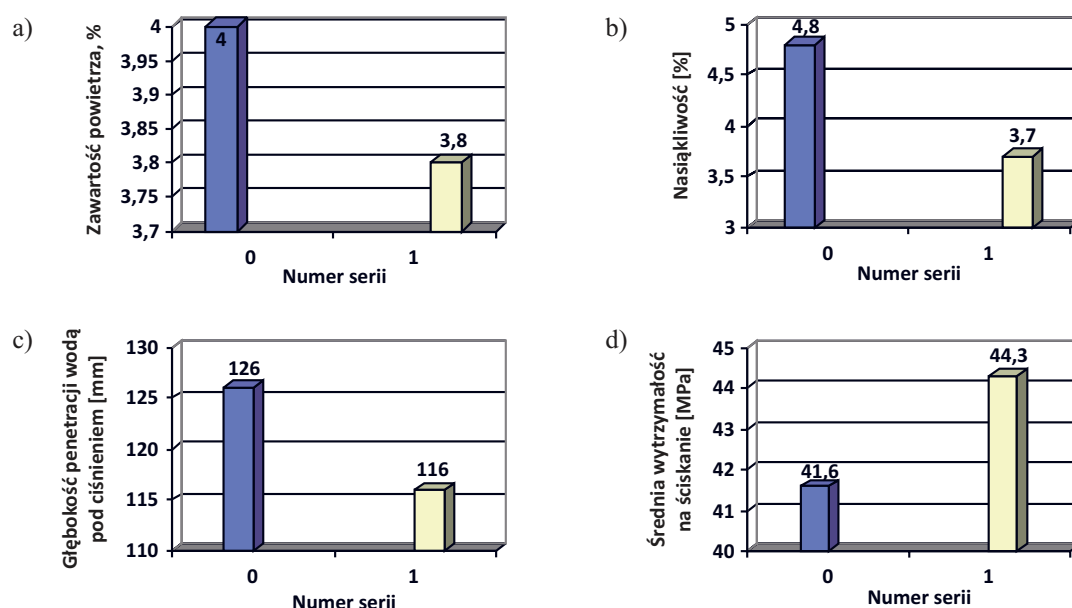
Seria kontrolna uzyskała średnią wytrzymałość na ściskanie równą 41,7 MPa, natomiast dodanie PP w ilości 5%, wpłynęło na zwiększenie średniej wytrzymałości do wartości 44,2 MPa. Zwiększanie ilości pyłu polipropylenowego w pozostałych seriach wpłynęło negatywnie na badaną wytrzymałość na ściskanie.

Ocena głębokości penetracji wody pod ciśnieniem

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą [17]. Wyniki oznaczania przedstawiono w tabeli 6.



Rys. 2. Stanowisko do badania wytrzymałości na ściskanie betonu



Rys. 4. Porównanie wybranych wyników badań serii kontrolnej i modyfikowanej dodatkiem 5% PP

Tab. 6. Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem

Seria	0	1	2	3	4
Głębokość penetracji wodą [mm]	126	116	136	140	140

Obecność PP w badanych betonach nie wpłynęła w istotny sposób na uzyskane wyniki badania.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdzają, że dodatek PP w postaci rozdrobnionej, który jest opadem poprodukcyjnym może być stosowany jako dodatek właściwy dla uzyskania poprawy jakości betonu. W szczególności poprawy jego szczelności, cech mechanicznych co wpłynie na zwiększenie trwałości elementów i konstrukcji betonowych.

Na rysunku 4 porównano wybrane wyniki badania betonów serii kontrolnej 0 oraz serii z dodatkiem rozdrobnionego polipropylenu w ilości 5% (seria 1), dla której uzyskano poprawę badanych cech.

Uzyskana w badaniach zawartość powietrza w mieszance betonowej zmniejszyła się z 4 do 3,8 %, co wpływa na zwiększenie szczel-

ności betonu. Odnotowano spadek nasiąkliwości z 4,8 do 3,7 %. Podobną zależność zaobserwowano podczas badania głębokości penetracji wodą pod ciśnieniem.

Również w badaniu wytrzymałości na ściskanie stwierdzono poprawę a wytrzymałość zwiększyła się z 41,7 MPa w serii kontrolnej 0 do wartości 44,2 MPa w serii 1.

Konieczne są dalsze badania mające na celu sprawdzenie możliwości i warunków efektywnego zastosowania rozdrobnionego polipropylenu PP jako dodatku do betonu.

Literatura

1. Czarnecki L., Łukowski P., Wpływ domieszek i dodatków polimerowych na trwałość betonu, Materiały konferencyjne, VIII Konferencja DNI BETONU 2014, Wisła
2. Wczelik-Nocuń W., Beton – materiał przyjazny środowisku, Materiały konferencyjne, VIII Konferencja DNI BETONU 2014, Wisła
3. Dębska B., Modyfikacja betonów i zapraw polimerowych odpadami z tworzyw sztucznych, Izolacje 2/2009, str. 56-63
4. Czarnecki L., Łukowski P., Betony polimero-cementowe, Cement Wapno Beton 5/2010, 243-258

5. Report on polimer-modified concrete, Report of ACI Committee 548, ACI Publication nr 548. 3R-09, Farmington Hills, USA, 2009
6. Izbicka J., Michalski J., Kompozyty, laminaty, tworzywa sztuczne stosowane w technice, Prace Instytutu Elektroniki, Nr 228/2006, Warszawa 2006
7. Błażejowski W., Gąsior P., Kaleta J., Kamyk Z., Krzysak R., Rybczyński R., Koncepcja konstrukcji nośnej lekkiego kompozytowego mostu pływającego do transportu kołowego. Autobusy 6/2010, str. 1-6.
8. German J., Podstawy mechaniki kompozytów włóknistych. Politechnika Krakowska 2001
9. Nevill A. M., Właściwości Betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012
10. PN-EN 12390-2 Badania betonu Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych
11. Sikora R., Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych, Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej, Warszawa 2007
12. PN-EN 12350-2 Badania mieszanki betonowej Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka
13. PN-88/B-06250 Beton zwykły
14. PN-EN 12350-7 Badania mieszanki betonowej Część 7: Badanie zawartości powietrza
15. PN-EN 12390-7 Badania betonu Część 7: Gęstość betonu
16. PN-EN 12390-3 Badania betonu Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania
17. PN-EN 12390-8 Badania betonu Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem