ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2008
Seria: BUDOWNICTWO z. 113 Nr kol. 1799

Ewa OŁDAKOWSKA*
Politechnika Białostocka

ROZDROBNIONE ODPADY GUMOWE W DROBNOZIARNISTYM BETONIE CEMENTOWYM

Streszczenie. Rozdrobnione odpady gumowe w postaci drobnych lub większych cząstek znajdują różne zastosowanie już od wielu lat. Jednym z nich są próby wykorzystania pyłu, miału i granulatu gumowego do produkcji betonów cementowych.

Artykuł opisuje wybrane wyniki badań eksperymentalnych, przeprowadzonych w celu oceny skutków dodania różnej ilości mieszaniny pyłu, miału i granulatu gumowego do betonów cementowych, oraz porównanie modyfikowanego w ten sposób betonu z betonem zawierającym tylko naturalne kruszywo piaskowo-żwirowe.

FRAGMENTED RUBBER WASTE MATERIAL IN SMALL-GRAINED CEMENT CONCRETE

Summary. Fragmented rubber waste materials in form of fine or bigger particles are used in various ways for many years. One of them are trials of use of rubber dust, fines and granulate during cement concretes production.

This article describes selected results of experimental research, performed in order to evaluate effects of adding various amounts of rubber dust, fines and granulates mixture to cement concretes, as well as comparing of modified concrete with concrete containing only natural sand and gravel aggregate.

1. Wprowadzenie

Przemysł gumowy generuje znaczne ilości odpadów poprodukcyjnych i poużytkowych. Wynika to ze specyfiki procesu technologicznego. Ostateczną formę i parametry użytkowe wyrobów uzyskuje się w nieodwracalnym procesie wulkanizacji. Recykling wymaga kosztownych praco- i czasochłonnych zabiegów umożliwiających destrukcję istniejącego produktu [3]. Zarówno w Polsce,

* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski.

jak i w krajach Unii Europejskiej około 80% poeksploatacyjnych wyrobów gumowych stanowią zużyte opony, 7% to taśmy przenośnikowe i pasy pędne, a 13% inne rodzaje poeksploatacyjnych wyrobów gumowych przedstawianych zwykle w danych statystycznych jako jedna grupa.

Zużyte opony stanowią cenne zasoby ze względu na swoje właściwości fizyczne i chemiczne. Opony można przetwarzać w 100% [4]. Zgodnie z Konwencją Bazylejską Narodów Zjednoczonych „Identyfikacja i postępowanie ze zużytymi oponami" (1998), zużyte opony nie są ani materiałem niebezpiecznym, ani stwarzającym ryzyko, o ile się je w odpowiedni sposób przetwarza, transportuje i magazynuje. Większość kauczuków używanych obecnie do produkcji to kauczuki syntetyczne wytwarzane z surowców otrzymywanych z ropy naftowej. Ponadto, opony są nietoksyczne, odporne na pleśń, wilgoć, promienie słoneczne i ultrafioletowe, wykazują bardzo wolny rozkład pod wpływem bakterii. Charakteryzują się odpornością na oleje, wiele rozpuszczalników, kwasy i inne chemikalia, a ich kształt, waga i elastyczność czynią je atrakcyjnymi surowcami do wielu różnych zastosowań, czy to w całości czy też w postaci rozdrobnionej. Proces rozdrobnienia zużytych wyrobów gumowych jest punktem wyjścia do dalszego przetwarzania i stwarza różne możliwości ich stosowania. Polega na mechanicznym cięciu i rozcieraniu (są to najbardziej znane i sprawdzone metody) prowadzonym w temperaturze pokojowej lub metodą kriogeniczną, po zamrożeniu w ciekłym azocie.

Rozdrobnioną gumę w zależności od wielkości cząstek i możliwości wykorzystania można podzielić wg [2] na cztery rodzaje.

Tabela 1

Podział rozdrobnionej gumy w zależności od uziarnienia

RODZAJ	UZIARNIENIE [mm]
pył gumowy	< 0,2
miał gumowy	0,2÷1,0
Granulat	1,0÷10,0
Grys	>10,0

Mieszankę pyłu, miału i granulatu gumowego wykorzystano do modyfikacji betonów cementowych.

W pracy przedstawiono wybrane wyniki badań pozwalające na ocenę wpływu różnej ilości rozdrobnionych odpadów gumowych pochodzących ze zużytych opon samochodowych na właściwości fizyczne i wytrzymałościowe badanych betonów.

Rys. 1. Miał gumowy
Fig. 1. Fragmented rubber waste material

2. Badania własne

Badania wykonano na próbkach betonów drobnoziarnistych.

2.1. Składniki badanych betonów

- cement portlandzki CEM I 32,5,
- piasek rzeczny płukany 0÷2 mm,
- kruszywo grube naturalne frakcji 2÷8 mm,
- rozdrobnione odpady gumowe pochodzące ze zużytych opon samochodowych, o uziarnieniu 0÷2 mm, wprowadzane do zarobu przez zmniejszanie zawartości kruszywa przy uwzględnieniu objętości zamienianych materiałów.

2.2. Próbki i metodyka badań

Przygotowano trzy serie mieszanek betonowych zawierających różne ilości rozdrobnionych odpadów gumowych o recepturach podanych w tabeli 2, gdzie:

- B0 – mieszanka betonowa oparta wyłącznie na kruszywie naturalnym,
- B1 – mieszanka zwierająca 10% piasku wymienionego objętościowo na rozdrobnioną gumę,
- B2 – mieszanka zwierająca 20% piasku wymienionego objętościowo na rozdrobnioną gumę,
- B3 – mieszanka zwierająca 30% piasku wymienionego objętościowo na rozdrobnioną gumę.

Tabela 2

Skład mieszanek betonowych na $1m^3$

SERIA	Cement	Woda	W/C	Piasek 0÷2 mm	Piasek 0÷2 zastąpiony rozdrobnioną gumą	Żwir 2÷4 mm	Żwir 4÷8 mm
-	[kg]	[kg]	-	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
B0	300	150	0,5	798	-	599	599
B1	300	150	0,5	718	80	599	599
B2	300	150	0,5	638	160	599	599
B3	300	150	0,5	558	240	599	599

Podstawowe właściwości technologiczne mieszanek betonowych zaprezentowano w tabeli 3.

Tabela 3

Właściwości technologiczne mieszanek betonowych

WŁAŚCIWOŚCI	B0	B1	B2	B3
Konsystencja Vebe [s] wg PN-EN 12350-3	21	23	22	21
Gęstość [kg/dm3] wg PN-EN 12350-6	2,33	2,30	2,23	2,17

Dla betonów B0, B1, B2 i B3 przeprowadzono badania gęstości objętościowej, badania związane z wytrzymałością na ściskanie, wytrzymałością na rozciąganie przy zginaniu, wyznaczaniem modułu sprężystości podłużnej oraz nasiąkliwością i mrozoodpornością. Dokonano oceny mikrostruktury stwardniałych betonów przy zastosowaniu skaningowego mikroskopu elektronowego.

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie wykonano na próbkach sześciennych o wymiarach 10×10×10 cm oraz na połówkach beleczek pozostałych po badaniu wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, za pomocą legalizowanej prasy hydraulicznej. Oznaczenie wykonano po 28 dniach dojrzewania. Wyniki przedstawiono w tabeli 5.

Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu wykonano na beleczkach 4×4×16 cm, przy wykorzystaniu systemu badawczego firmy MTS z zamontowanymi przetwornikami do pomiaru sił oraz przemieszczeń, sprzężonego z komputerem umożliwiającym jednoczesne i synchroniczne sterowanie kilkoma kanałami wymuszeń. Maszynę wytrzymałościową wzbogacono o specjalne wyposażenie

umożliwiające właściwe badanie próbki w kształcie beleczki. Wyniki zaprezentowano w tabeli 5.

Badanie siecznego modułu sprężystości betonu z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych wykonano na próbkach w formie walców o średnicy d = 15 cm i wysokości h = 30 cm, po 28 dniach dojrzewania. Na pobocznicy każdej próbki naklejano wzdłuż tworzącej walca, w połowie wysokości, co 120°, trzy tensometry elektrooporowe RL 300/50 o bazie pomiarowej 50 mm. Każdą próbkę obciążano trzykrotnie do poziomu ~ 50% siły niszczącej, a następnie odciążano. Pomiaru odkształceń w trakcie cyklicznego obciążania i odciążania dokonano za pomocą systemu pomiarowego DAQVIEW firmy IOTECH, obsługiwanego przez oprogramowanie IOTECH DAQVIEW. Wartości modułu sprężystości podłużnej zawiera tabela 5.

Mrozoodporność betonu oceniono na podstawie złuszczeń powierzchniowych pod wpływem zamrażania w obecności roztworu soli odladzającej. Do badania stosowano próbki w formie kostek 10×10×10 cm. Z każdej kostki, prostopadle do jej górnej powierzchni, odcinano płytkę grubości 5 cm. Wycięte płytki oklejono miękką gumą, pozostawiając nieoklejoną powierzchnię zamrażaną. Brzeg płaszcza gumowego wystawał 2 cm ponad krawędź próbki. Następnie z pianki poliuretanowej wykonano izolację cieplną grubości 2,5 cm, dolnej i bocznych powierzchni próbki. Górną powierzchnię tak przygotowanych próbek nasycano wodą przez 72 godziny. Bezpośrednio przed umieszczeniem w komorze zamrażalniczej dokonano wymiany wody na 3% roztwór chlorku sodu. Każdą próbkę przykryto osłoną zapobiegającą odparowywaniu cieczy. Próbki, po 6 sztuk z każdej receptury, poddawano cyklicznemu zamrażaniu i odmrażaniu (56 cykli) w programowalnej komorze testowej MK 720 Binder o pojemności 720 l i zakresie zmian temperatur od –40°C do 180°C oraz regulowanej szybkości nagrzewania i chłodzenia. Roztwór chlorku sodu wymieniano co 7 dni. Jednocześnie zbierano materiał złuszczony z każdej próbki, suszono go do stałej masy i ważono. Dla każdego pomiaru i każdej próbki obliczano masę złuszczeń w odniesieniu do powierzchni poddanej próbie działania mrozu.

Zgodnie ze stosowaną procedurą [1], oceny odporności betonu na zamrażanie i odmrażanie w roztworze soli dokonuje się wg kryteriów zawartych w tabeli 4.

Tabela 4

Kryteria oceny mrozoodporności betonu wg [1]

MROZOODPORNOŚĆ	WYMAGANIA
BARDZO DOBRA	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m56) jest mniejsza niż 0,10 [kg/m2]
DOBRA	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m56) jest mniejsza niż 0,20 [kg/m2] lub średnia złuszczeń po 56 cyklach (m56) jest mniejsza niż 0,50 [kg/m2], przy czym m56/ m28 jest mniejsza niż 2 lub średnia złuszczeń po 112 cyklach (m112) jest mniejsza niż 0,50 [kg/m2],
DO PRZYJĘCIA	Średnia złuszczeń po 56 cyklach (m56) jest mniejsza niż 1,00 [kg/m2], przy czym m56/ m28 jest mniejsza niż 2 lub średnia złuszczeń po 112 cyklach (m112) jest mniejsza niż 1,00 [kg/m2],
NIE DO PRZYJĘCIA	Jeżeli nie są spełnione wymagania mrozoodporności możliwej do przyjęcia

3. Omówienie wyników badań

Wyniki wytrzymałości na ściskanie próbek (beleczki i kostki), wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, wartości statycznego współczynnika sprężystości betonu oraz gęstości objętościowej przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

Właściwości techniczne betonów cementowych

WŁAŚCIWOŚCI	B0	B1	B2	B3
Gęstość objętościowa [kg/dm3]	2,38	2,12	2,11	2,10
Wytrzymałość na ściskanie [MPa] (próbki kostkowe)	36,6	29,4	27,6	24,6
Wytrzymałość na ściskanie [MPa] (próbki beleczkowe)	34,1	26,3	23,2	19,0
Klasa betonu według PN-EN 206-1	C 25/30	C 20/25	C 20/25	C 16/20
Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu [MPa]	5,7	5,1	4,8	4,4
Sieczny moduł sprężystości [GPa]	32,5	30,4	29,8	28,8

Z danych zawartych w tabeli 5 wynika, iż wytrzymałość na ściskanie betonu z rozdrobnionymi odpadami gumowymi (próbki kostkowe 10^3 cm) spada o około 20% przy zawartości 10% gumy, o 25% w przypadku betonu B2 i o 33% przy zastąpieniu piasku 30% frakcją „gumową". Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, podobnie jak wytrzymałość na ściskanie, ulega zmianie wraz ze wzrostem ilości pyłu, miału i granulatu gumowego. W stosunku do betonu kontrolnego jest ona niższa o 10% (dla B1), 16% (dla B2) i 23% (dla B3). Badania siecznego modułu sprężystości potwierdzają wyraźny wpływ ilości gumy na jego wartość. Podczas wykonywania

powyższych badań zauważono, iż próbki z dodatkami charakteryzują się większą odkształcalnością.

W tabeli 6 zamieszczono ocenę odporności betonów na jednoczesne działanie mrozu i 3% roztworu NaCl, na podstawie kryteriów stosowanej procedury badawczej [1], oraz wyniki badania nasiąkliwości.

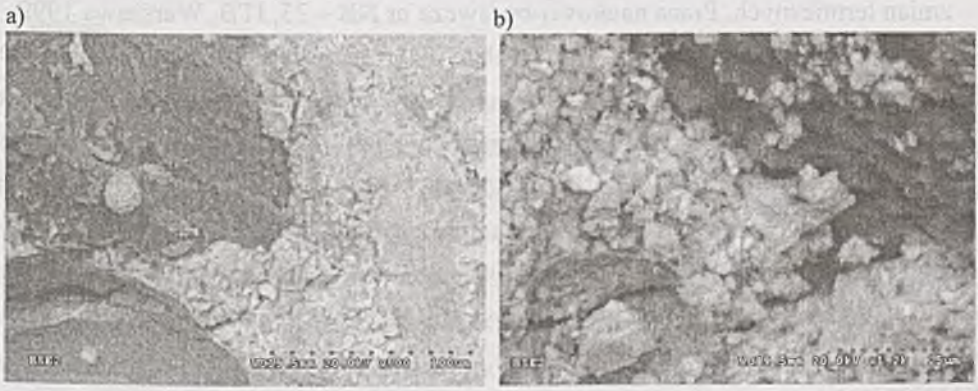
Tabela 6

Nasiąkliwość i mrozoodporność betonów cementowych

WŁAŚCIWOŚCI	B0	B1	B2	B3
Nasiąkliwość	5,27	4,55	4,19	3,77
Masa złuszczeń po 28 cyklach [kg/m^2]	0,104	0,094	0,139	0,208
Masa złuszczeń po 56 cyklach [kg/m^2]	0,176	0,150	0,202	0,376
m56/ m28	1,69	1,60	1,45	1,81
Mrozoodporność	DOBRA	DOBRA	DOBRA	DOBRA

Betony z dodatkiem rozdrobnionych zużytych opon samochodowych charakteryzują się wg [1] dobrą mrozoodpornością oraz ograniczonym pochłanianiem wody przez próbkę pod działaniem normalnego ciśnienia atmosferycznego.

Na rysunku 2 pokazano mikrostrukturę wybranych fragmentów modyfikowanego betonu, obserwowaną przy wykorzystaniu elektronowego mikroskopu skaningowego bez napylania materiałem przewodzącym prąd elektryczny i bez konieczności stosowania wysokiej próżni.



Rys. 2. Mikrofotografia: a) powiększenie ×500, b) powiększenie ×1 200
Fig. 2. Microphotography: a) magnification ×500, b) magnification ×1 200

Na rysunku 2 dosyć dobrze widoczne jest połączenie guma-beton, które może sugerować, iż adhezja nie jest wystarczająca, by przenieść wysokie naprężenia, powodując tym samym przedwczesne zniszczenie.

4. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań wytrzymałościowych potwierdzają fakt istotnego wpływu rozdrobnionych odpadów gumowych na wytrzymałość (na ściskanie, na rozciąganie przy zginaniu) drobnoziarnistego betonu cementowego – spadek wytrzymałości w porównaniu z betonem kontrolnym, przy jednoczesnym uelastycznieniu uwidaczniającym się w postaci zwiększonej odkształcalności.

Betony zawierające frakcję „gumową" charakteryzują się dobrą mrozoodpornością i niższą nasiąkliwością, co pozwala sądzić, że modyfikowane betony będą miały zwiększoną trwałość.

BIBLIOGRAFIA

1. Goulias D.G., Ali A.H.: Enhancement of portland cement concrete with tire rubber particles. Proceedings of the Twelfth International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, USA 1996.
2. Grodzicka A.: Trwałość betonów wysokowartościowych w aspekcie oddziaływania zmian termicznych. Praca naukowo-badawcza nr NB – 25, ITB, Warszawa 1999.
3. Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D.: Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2002.
4. Parasiewicz W., Pyskało L., Magryta J.: Recykling zużytych opon samochodowych. Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL", Piastów 2005.
5. Wprowadzenie do recyklingu opon: 2004. Stowarzyszenie Przemysłu Gumowego EKOGUMA. Instytut Przemysłu Gumowego „STOMIL", Piastów 2004.

Publikacja zrealizowana w ramach projektu badawczego W/WBiIŚ/10/07.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jacek Śliwiński