

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Możliwość zastosowania betonów modyfikowanych rozdrobnionymi odpadami gumowymi w budownictwie rolniczym

EWA OŁDAKOWSKA

**POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA,
ZAKŁAD INŻYNIERII DROGOWEJ**

Słowa kluczowe: beton, rozdrobnione odpady gumowe

STRESZCZENIE

Rozdrobnione odpady gumowe pochodzące ze zużytych opon samochodowych znajdują różne zastosowanie już od wielu lat. Jedną z form zagospodarowania jest wykorzystanie „gumy” do produkcji betonów cementowych.

Artykuł opisuje wybrane wyniki badań eksperymentalnych przeprowadzonych w celu oceny skutków dodania różnej ilości rozdrobnionej gumy do betonów cementowych wykorzystywanych w budownictwie rolniczym oraz porównanie modyfikowanego betonu z betonem zawierającym naturalne kruszywo piaskowo-żwirowe.

Possibility of using the concretes modified with the disintegrated rubber waste material in the agricultural building engineering

Keywords: concrete, disintegrated rubber waste material

ABSTRACT

The disintegrated rubber waste material from used vehicle tyres are used in various ways for many years. One of methods of their utilization is use of “rubber” during cement concretes production.

This article describes selected results of experimental research, performed in order to evaluate effects of adding various amounts of disintegrated rubber to the cement concretes, used in the agricultural building engineering, as well as comparing the modified concrete with the concrete containing natural sand and gravel aggregate.

1. WPROWADZENIE

Beton jest od kilkudziesięciu lat głównym materiałem budowlanym i pozostanie nim zapewne nadal ze względu na wszechstronność zastosowania, stosunkowo niski koszt i powszechność występowania podstawowych jego składników, a także prostą, w porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi, technologię wytwarzania. Duże znaczenie betonu nie oznacza bynajmniej, że pozostaje on w niezmienionej postaci. Wręcz przeciwnie, wciąż poddawany jest modyfikacjom. Pojęcie „modyfikacji” jest zagadnieniem bardzo szerokim, może mieć ona charakter naturalny, związany z oddziaływaniem czynników zewnętrznych, bądź ingerujący w strukturę kompozytu. Modyfikacje określane mianem „naturalnych” doczekały się opracowań teoretycznych i wdrożeń już w minionych 30–40 latach. Obecnie zauważa się tendencję ukierunkowaną na wyraźną ingerencję w strukturę. Nie byłaby ona możliwa bez rozwoju i powstawania coraz skuteczniejszych modyfikatorów w postaci dodatków (drobno uziarniony składnik betonu w formie pyłów, odruchów lub włókien w ilości większej niż 5% masy cementu) bądź domieszek (substancje dodawane w ilości nie większej niż 5% masy cementu) [1]. Celem modyfikacji materiału jest odpowiadająca wymaganiom zmiana jego właściwości technologicznych i (lub) użytkowych. W wyniku modyfikacji otrzymujemy:

- materiały substytucyjne o cechach zbliżonych do cech materiałów dotychczas stosowanych,
- materiały modyfikowane – gdy uzyskano istotną zmianę jednej lub kilku cech technicznych,
- materiały nowe, w których osiągnięto nowe relacje pomiędzy poszczególnymi cechami technicznymi.

Potrzeba modyfikacji mieszanki betonowej, materiałów budowlanych i betonu jest wynikiem:

- zwiększających się wymagań konstrukcyjnych, architektonicznych, technologicznych, a także energooszczędności,
- wzrostu obciążeń: chemicznych, mechanicznych, cieplnych, biologicznych, radiacyjnych,
- wzrostu wymagań w zakresie higieniczności materiałów budowlanych,
- wyczerpywania się dotychczasowych zapasów.

Wydaje się, że zastosowanie w betonach rozdrobnionych odpadów gumowych, pochodzących ze zużytych opon samochodowych, wychodzi na przeciw przesłankom modyfikacji. Mamy z jed-

nej strony możliwość, a zarazem konieczność wykorzystania dużych ilości materiału odpadowego, natomiast z drugiej strony – perspektywę otrzymania materiału o polepszonych właściwościach technicznych.

Beton w budownictwie rolniczym ma wszechstronne zastosowanie. Każdorazowo należy dostosowywać jego skład i parametry do warunków, w jakich będzie pracował, bowiem wymagania, jakie powinien spełniać są ściśle związane z określonymi warunkami środowiskowymi zależnymi od przeznaczenia budynku. Betony w obiektach, w których odbywa się produkcja zwierzęca bądź roślinna narażone są na działanie zupełnie innych czynników niż betony w budynkach składowych czy magazynowych. Beton modyfikowany rozdrobnionymi odpadami gumowymi jest przykładem betonu, który może być stosowany w stodołach, garażach, magazynach narzędzi, maszyn i sprzętu rolniczego, wiatkach czy zadaszeniach, będąc jednocześnie alternatywą dla betonów tradycyjnych.

2. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Do wykonania próbek betonowych zastosowano cement CEM I 32,5 R spełniający wymagania norm PN-EN 197-1:2002 i PN-EN 197-2:2002 [2, 3] (zawartość cementu – 300 kg/m³), mieszankę piasku rzeczno-gumowego i kruszywa grubego w postaci mieszanki żwirowej o uziarnieniu do 8 mm oraz rozdrobnione odpady gumowe o uziarnieniu 0÷2 mm (mieszanka pyłu, miazgi i granulatu) pochodzące ze zużytych opon samochodowych, wyprodukowane przez firmę ABC Recykling S.A Krosno Odzrzańskie. Zachowano jednakową konsystencję mieszanek betonowych, co wymagało każdorazowo odpowiedniej korekty ilości potrzebnej wody zarobowej. Rozdrobnione odpady gumowe wprowadzano do zarobu poprzez zmniejszenie zawartości kruszywa (piasek 0÷2 mm), uwzględniając objętość zamienianych materiałów. Przygotowano różne serie mieszanek betonowych: mieszanki betonowe zawierające wyłącznie kruszywo naturalne oraz mieszanki zawierające 2%, 4% i 6% rozdrobnionych odpadów gumowych (co odpowiada 10%, 20% i 30% piasku o uziarnieniu do 2 mm wymienionego objętościowo na gumę). Składy zaprojektowanych mieszanek zamieszczono w Tabeli 1.

Tabela 1 Składy mieszanek betonowych na 1 m³
Table 1 Concrete mix compositions per 1 m³

SERIA (*)	CEMENT	ROZDROBNIONE ODPADY GUMOWE	KRUSZYWO NATURALNE	WODA
-	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1	300	-	1 996	150
2	300	39	1 927	146
3	300	78	1 854	143
4	300	117	1 783	140

* 1 – mieszanka betonowa kontrolna, zawierająca kruszywo naturalne piaskowo-żwirowe
 2, 3, 4 – mieszanki betonowe, zawierające rozdrobnione odpady gumowe w ilości odpowiednio 2%, 4% i 6% w stosunku do masy kruszywa

Z mieszanek betonowych, sporządzonych w oparciu o receptury przedstawione w Tabeli 1, wykonano próbki beleczkowe o wymiarach 4×4×16 cm i próbki kostkowe o wymiarach 10×10×10 cm, które po 28 dniach dojrzewania poddano badaniom: wytrzymałości na ściskanie, wilgotności, wilgotności sorpcyjnej, nasiąkliwości i odporności na działanie mrozu, a także badaniom ich struktury przy wykorzystaniu elektronowej mikroskopii skaningowej.

Badanie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na próbkach sześciennych zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2002 [4]. Do badań wykorzystano legalizowaną prasę hydrauliczną trójzakresową o regulowanej szybkości narastania naprężenia. Próbki umieszczano w specjalnej wkładce zapewniającej nacisk o powierzchni 100 cm². Zakres pomiarowy siłomierza prasy wytrzymałościowej dobrano tak, aby największa siła potrzebna do zniszczenia próbki nie przekraczała 70% pełnego zakresu obciążeń. Szybkość przyrostu naprężenia wynosiła 0,2 MPa/s. Wytrzymałość określano jako średnią z sześciu pomiarów. Oznaczenie wykonano po 28, 90 i 180 dniach dojrzewania próbek.

Oznaczenie nasiąkliwości przeprowadzono, w oparciu o nieobowiązującą już normę PN-B-06250:1988 [5], metodą nasycania w wodzie, o temperaturze pokojowej, próbek beleczkowych, które uprzednio wysuszono w temperaturze 105±5°C do stałej masy, w suszarce elektrycznej o automatycznej regulacji temperatury w zakresie 40÷250°C.

Próbki beleczkowe poddano także oznaczeniu wilgotności (określenie masy wody jaką zawiera próbka w stanie rzeczywistym) oraz badaniu wilgotności sorpcyjnej (wysuszone do stałej masy i zważone z dokładnością do 1 g próbki umieszczono w szczelnie zamykanej komorze na ruszcie nad wodą; nasycanie próbek zakończono, gdy wyniki dwóch kolejnych ważeń w odstępie 24 h nie różniły się o więcej niż 0,5 g). Wilgotność sorpcyjną (n_s) przyjmowano jako średnią z wyników badania sześciu próbek, obliczoną wg wzoru 1.

Na podstawie oznaczonej nasiąkliwości objętościowej i wilgotności sorpcyjnej określono porowatość kapilarną (p_k) [6]:

$$p_k = n_o = \frac{n_w \cdot \rho_o}{\rho_w} \cdot 100\% \quad (1)$$

gdzie:

n_o – nasiąkliwość objętościowa [%],
 n_w – nasiąkliwość wagowa [%],
 ρ_o – gęstość objętościowa betonu [kg/dm³],
 ρ_w – gęstość wody [kg/dm³].

Zgodnie z zaleceniami normy GOST 12730.4-78 [7] oznaczono wskaźnik mikroporowatości betonu (w_{mp}), będący stosunkiem wilgotności sorpcyjnej betonu (n_s), badanej przy wilgotności względnej powietrza około 95%, odniesionej do jego porowatości kapilarnej. Wskaźnik zawiera się w granicach od 0 do 1 i służy do oszacowania zawartości mezoporów (pory o promieniu mniejszym od 100 nm) w betonie. Im jego wartość jest wyższa, tym zawartość mezoporów w materiale większa.

Do wyznaczenia mrozoodporności betonu wykorzystano jedną z najsurowszych metod, oceniającą procesy destrukcyjne, zachodzące w materiale podczas cyklicznego zamrażania i odmrażania w obecności roztworu soli odladzającej, poprzez utratę masy próbek. Odporność na powierzchniowe łuszczenie badano zgodnie z procedurą zawartą w pracy: „Trwałość betonów wysokowartościowych w aspekcie oddziaływania zmian termicznych” [8], opracowaną na podstawie projektu normy europejskiej CEN/TC 51/WG 12 [9, 10] wzorowanego na szwedzkiej normie SS 13 72 44 [11]. Obecnie, kryteria stosowane w [10, 11] odpowiadają metodzie referencyjnej (*slab test*) normy PKN-CEN/TS 12390-9 [12]. Odporność betonu na zamrażanie i odmrażanie, zgodnie z zastoso-

waną procedurą (kryteria zawarto w Tabeli 2), oceniana jest po 56 cyklach na podstawie masy złuszczonego materiału. Do badania stosowano próbki kostkowe 10×10×10 cm. Z każdej kostki, prostopadle do jej górnej powierzchni, odcinano płytkę grubości 5 cm. Wycięte płytki oklejano 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 regulowa-

nej szybkości nagrzewania i chłodzenia. Roztwór chlorku sodu wymieniano co 7 dni; jednocześnie zbierano materiał złuszczonego z każdej próbki i suszono go do stałej masy oraz ważono. Dla każdego pomiaru i dla każdej próbki obliczano masę złuszczeń w odniesieniu do powierzchni poddanej próbie działania mrozu.

Badanie struktury stwardniałych betonów wykonano, przy zastosowaniu skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi S-3000N, z przystawką do mikroanalizy rentgenowskiej – EDS firmy THERMO NORAN typ QUEST, w Katedrze Inżynierii Materiałowej i Technologii Maszyn Wydziału Mechanicznego Politechniki Białostockiej. Za pomocą mikroskopii skaningowej badano mikrostrukturę i skład fazowy stwardniałego zaczynu betonów z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych oraz porównawczo betonu opartego tylko na kruszywie naturalnym. Obserwacje prowadzono bez napyłania materiałem przewodzącym prąd elektryczny i bez konieczności stosowania wysokiej próżni.

Tabela 2 Kryteria oceny mrozoodporności betonu, badanej wg [8]

Table 2 Criteria of concrete frost resistance, measured according to [8]

MROZOODPORNOŚĆ	WYMAGANIA
BARDZO DOBRA	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż 0,10 [kg/m ²]
DOBRA	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż 0,20 [kg/m ²] lub średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż 0,50 [kg/m ²], przy czym m_{56} / m_{28} jest mniejsza niż 2 lub średnia złuszczeń po 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż 0,50 [kg/m ²]
DO PRZYJĘCIA	średnia złuszczeń po 56 cyklach (m_{56}) jest mniejsza niż 1,00 [kg/m ²], przy czym m_{56} / m_{28} jest mniejsza niż 2 lub średnia złuszczeń po 112 cyklach (m_{112}) jest mniejsza niż 1,00 [kg/m ²]
NIE DO PRZYJĘCIA	jeżeli nie są spełnione wymagania mrozoodporności możliwej do przyjęcia

Tabela 3 Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania próbek

Table 3 Results of compression strength tests after 28 days of curing of samples

	ZAWARTOŚĆ ROZDROBNIONYCH ODPADÓW GUMOWYCH			
	0%	2%	4%	6%
WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCISKANIE [MPa]	36,6	29,4	27,6	24,6
KLASA BETONU	C25/30	C20/25	C20/25	C16/20

3. WYNIKI BADAŃ I ICH ANALIZA

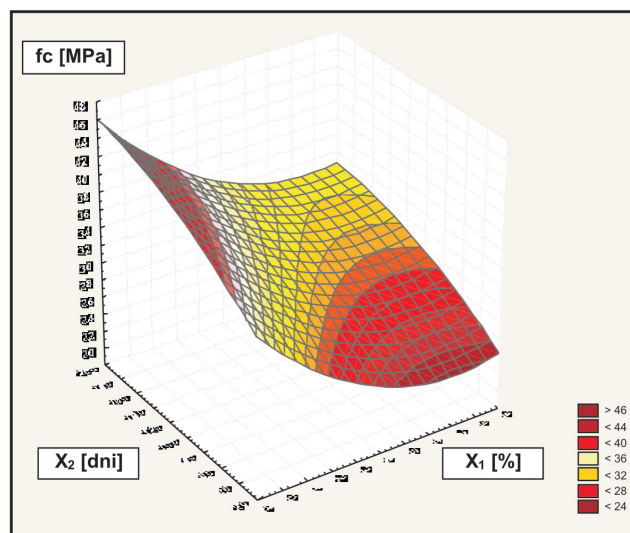
W Tabeli 3 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na ściskanie, które posłużyły do określenia klasy betonu, a na Rysunku 1 pokazano zależność wytrzymałości na ściskanie (f_c) od zawartości rozdrobnionych odpadów gumowych (X_1) i wieku betonu (X_2).

Z Tabeli 3 wynika, że wytrzymałość betonu ulega zmianie wraz ze wzrostem zawartości pyłu, miazgi i granulatu gumowego – im więcej dodatku rozdrobnionych odpadów gumowych, tym większy spadek wytrzymałości. I tak: dodatek 2% frakcji gumowej spowodował spadek wytrzymałości o około 20%, dodatek 4% – o około 25%, a 30% – prawie 33%. Badane betony, przy zawartości 300 kg/m³ cementu wykazały wytrzymałości odpowiadające betonowi zwykłemu powyżej klasy C 20/25 (betony z 2% i 4% frakcji gumowej) i klasy C 16/20 (dodatek 6% frakcji gumowej).

Z Rysunku 1 wynika, że frakcja gumowa, niezależnie od jej ilości, wpływa ujemnie na wytrzymałość na ściskanie, natomiast wiek betonu, zarówno dla betonu kontrolnego, jak i betonów modyfikowanych, jest czynnikiem dającym efekt zwiększenia wartości wytrzymałości na ściskanie wraz z wydłużeniem okresu dojrzewania.

Wyniki badań związanych z oddziaływaniem wody na betony modyfikowane gumą oraz wyniki wskaźnika mikroporowatości betonu przedstawiono w Tabeli 4.

Wyniki zawarte w Tabeli 4 wskazują na wyraźny związek między ilością rozdrobnionych odpadów gumowych w próbkach a możliwością wchłaniania przez nie wody. W każdym przypadku betony z frakcją gumową charakteryzowały się niższą zawartością wody niż beton porównawczy.



Rysunek 1 Zależność wytrzymałości na ściskanie od zawartości rozdrobnionych odpadów gumowych i wieku betonu

Figure 1 Relation of compression strength and content of disintegrated rubber waste material and concrete age

Dodatek 2% mieszaniny pyłu, miazgi i granulatu gumowego spowodował zmniejszenie wilgotności, wilgotności sorpcyjnej i nasiąkliwości o odpowiednio 5%, 9% i 13%; zawartość 4% gumy to wartości niższe o 6,5%, 11% i 20%. Natomiast obecność 6% rozdrobnionych odpadów to wyniki na poziomie niższym o 8%, 13% i 28%.

Badanie mrozoodporności w obecności roztworu środków odladzających przeprowadzono na próbkach z różną zawartością rozdrobnionych odpadów gumowych oraz porównawczo – na betonach zawierających tylko kruszywo piaskowo-żwirowe. W Tabeli 5 zamieszczono ocenę odporności na jednoczesne działanie mrozu i 3% roztworu NaCl, zgodnie z kryteriami stosowanej

Tabela 4 Wyniki badania nasiąkliwości, wilgotności, wilgotności sorpcyjnej oraz wskaźnika mikroporowatości betonu

Table 4 Results of absorbability, humidity, sorption humidity and concrete microporosity index tests

	ZAWARTOŚĆ ROZDROBNIONÝCH ODPADÓW GUMOWYCH			
	0%	2%	4%	6%
NASIĄKLIWOŚĆ [%]	5,27	4,55	4,19	3,77
WILGOTNOŚĆ [%]	3,24	3,07	3,03	2,98
WILGOTNOŚĆ SORPCYJNA [%]	4,28	3,89	3,81	3,74
WSKAŹNIK MIKROPOROWATOŚCI	0,40	0,41	0,44	0,48

Tabela 5 Wyniki badania mrozoodporności betonu w obecności środków odladzających
Table 5 Results of concrete frost resistance tests in presence of deicing agents

ROZDROBNIONE ODPADY GUMOWE	MASA ZŁUSZCZEŃ PO n CYKLACH [kg/m ²]				MROZOODPORNOŚĆ WEDŁUG KRYTERIÓW [8]
	m ₁₄	m ₂₈	m ₄₂	m ₅₆	
0%	0,059	0,104	0,122	0,193	dobra
2%	0,044	0,085	0,105	0,132	dobra
4%	0,056	0,120	0,143	0,222	dobra
6%	0,115	0,245	0,289	0,376	dobra

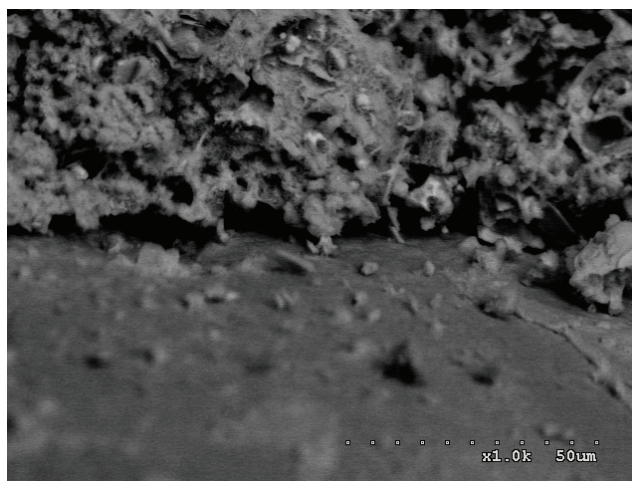
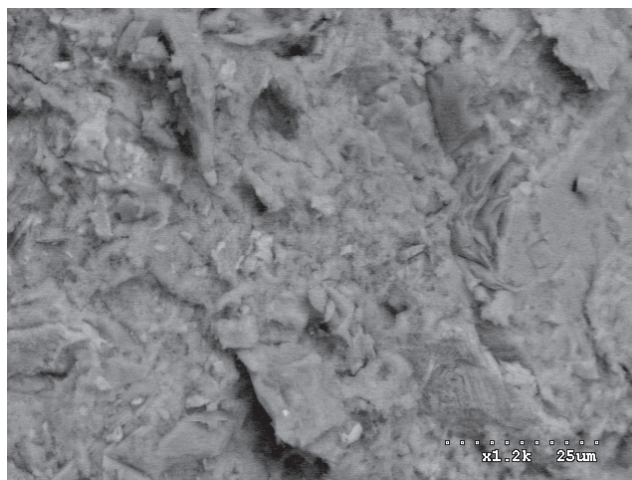
procedury badawczej zawartej w pracy „Trwałość betonów wysokowartościowych w aspekcie oddziaływania zmian termicznych” [8].

Wszystkie betony charakteryzowały się dobrą mrozoodpornością wg [8]. Zauważyć należy, że zawartość 2% frakcji gumowej spowodowała mniejszą masę złuszczeń powierzchniowych w stosunku do betonu kontrolnego, zarówno po 28 cyklach, jak i po 56 cyklach.

Badania, prowadzone na przełomach próbek, umożliwiły jakościową ocenę wpływu rozdrobnionych odpadów gumowych, pochodzących ze zużytych opon samochodowych, na mikrostrukturę i skład fazowy stwardniałego zaczynu cementowego. W betonach kontrolnych występuje typowa, zwarta forma fazy C-S-H (żel krzemianu wapniowego) (Rys. 2), w skład, której wchodzi mikrokrystalły C₃S i C₂S oraz kryształy Ca(OH)₂. Zdecydowaną większość stanowią uwodnione krzemiany o dominującej formie włóknistej oraz płytkowe kryształy portlandytu, natomiast słupkowe kryształy ettringitu są słabiej widoczne.

Dodatek frakcji „gumowej” w ilości występującej w badanych betonach nie wpływa znacząco na powstanie fazy C-S-H (Rys. 3), za to modyfikuje nieznacznie granicę międzyfazową (Rys. 4) oraz zmienia strukturę porowatości stwardniałych zaczynów (Rys. 5).

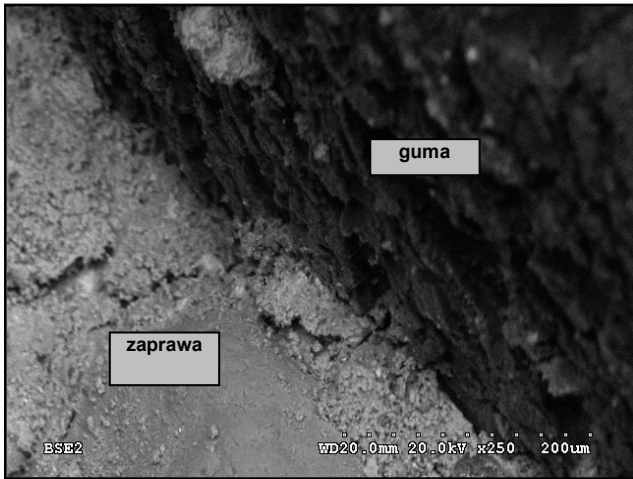
Żel C-S-H, podobnie jak w przypadku betonów zawierających tylko kruszywo piaskowo-żwirowe, charakteryzuje się strukturą włóknistą z obserwowaną niewielką ilością pałeczek ettringitu. Jedynie w warstwie kontaktowej guma – zaczyn wytwarza się nieco więcej portlandytu Ca(OH)₂ z powodu lokalnie większego współczyn-



Rysunek 2 Widok zaczynu cementowego w betonie kontrolnym (powiększenie × 1200) oraz (powiększenie × 1000)

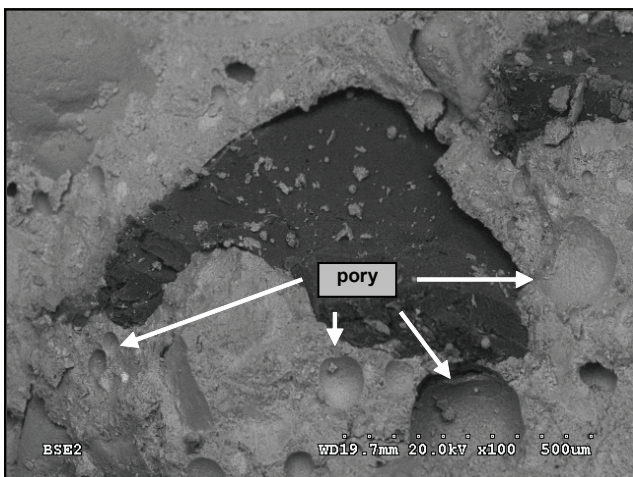
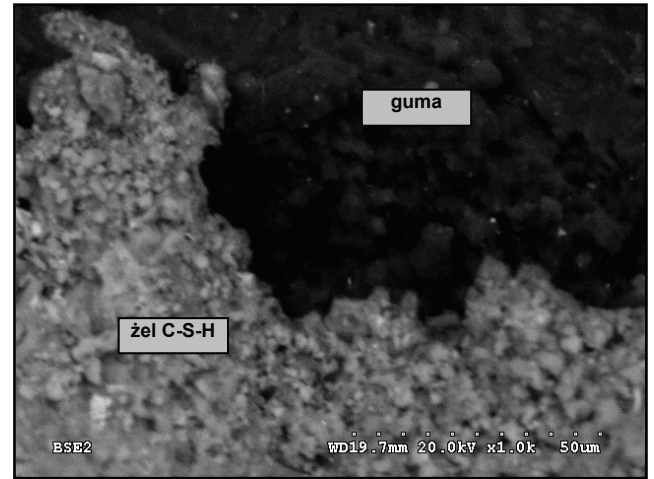
Figure 2 View of concrete grout in the reference concrete (magnification x 1200) and (magnification x 1000)

nika w/c (guma w temperaturze do 100°C nie absorbuje wody) [13].



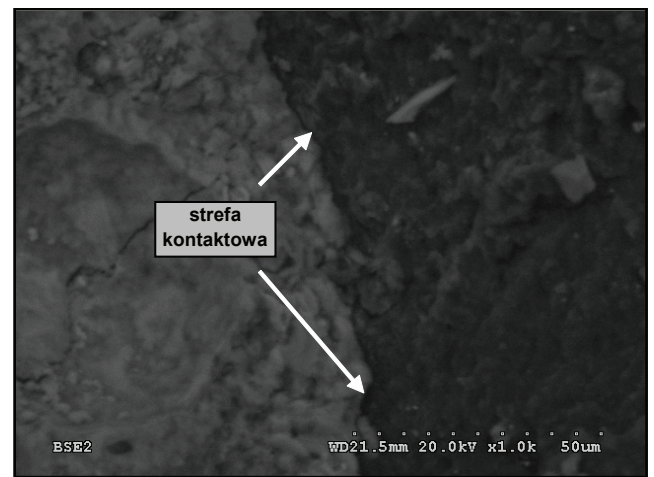
Rysunek 3 Widok zaczynu cementowego w betonie w zawierającym rozdrobnione odpady gumowe (powiększenie $\times 250$ oraz powiększenie $\times 1000$)

Figure 3 View of concrete grout in the concrete containing disintegrated rubber waste material (magnification $\times 250$ and magnification $\times 1000$)



Rysunek 4 Widok strefy kontaktowej guma - beton (powiększenie $\times 1000$)

Figure 4 View of rubber – concrete contact zone (magnification $\times 1000$)



Rysunek 5 Widok porów w strukturze betonów z rozdrobnionymi odpadami gumowymi (powiększenie $\times 100$)

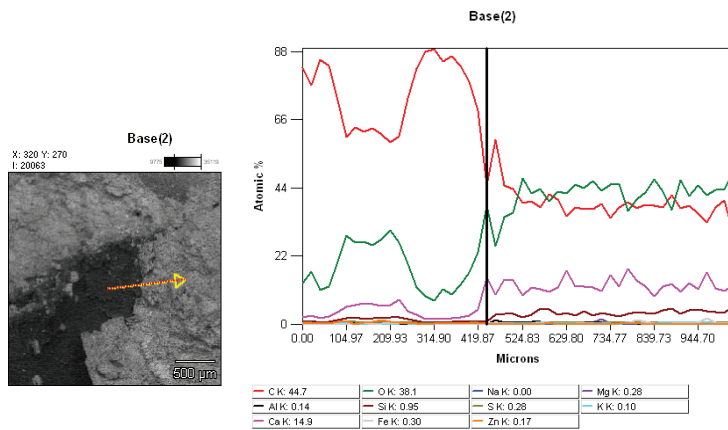
Figure 5 View of pores in the structure of concretes with disintegrated rubber waste material (magnification $\times 100$)

Obserwacje mikroskopowe potwierdziły, że obecność rozdrobnionych odpadów gumowych w mieszance betonowej zmienia strukturę porowatości stwardniałych zaczynów (Rys. 5).

Pory, widoczne na Rysunku 5, mają w większości regularny, kulisty kształt. Mogą one być przyczyną destrukcji betonu, w kontekście budowy matrycy cementowej. Matryca cementowa, zgodnie z [14], jest jednym z dwóch miejsc, gdzie mogą pojawiać się pierwsze uszkodzenia w betonie (drugim jest warstwa stykowa kruszywo – zaczyn). Porowata budowa wnętrza zaczynu obniża nieco wytrzymałość mechaniczną materiału, ale wpływa korzystnie na poprawienie własności termoizolacyjnych kompozytu. Według [15] pory

w betonie można też potraktować jako ziarna o zerowej wytrzymałości i nieskończenie wielkiej odkształcalności.

Do oszacowania zawartości porów o promieniu mniejszym od 100 nm w badanych betonach, wykorzystano wskaźnik mikroporowatości (wartości wskaźnika zawiera Tabela 4). Jego wartość jest najwyższa w przypadku betonu z 6% zawartością rozdrobnionych odpadów gumowych, pochodzących ze zużytych opon samochodowych. Oznacza to, że beton ten ma największą, w porównaniu z innymi badanymi betonami, ilość porów o promieniu mniejszym od 100 nm.



Rysunek 6 Wyniki mikroanalizy rentgenowskiej strefy stykowej guma – zaczyn

Figure 6 Results of X-ray microanalysis of rubber – grout contact zone

Na Rysunku 6 przedstawiono wyniki mikroanalizy rentgenowskiej mikroobszaru strefy kontaktowej guma – zaczyn. Analiza jakościowa mikroobszaru na powierzchni gumy wskazuje na obecność pierwiastków będących składnikami produktów hydratacji cementu, co oznacza, że istnieje dobra przyczepność zaczynu cementowego do cząstki gumy. Przyczepność zdecydowanie o charakterze

adhezyjnym. Pierwiastki występujące w strefie kontaktowej oraz na powierzchni zaczynu to budulce uwodnionej fazy C-S-H.

4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania dowodzą, że:

- rozdrobnione odpady gumowe pochodzące ze zużytych opon samochodowych mogą stanowić częściowy substytut naturalnego kruszywa w produkcji betonu,
- modyfikowane betony mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych betonów wykorzystywanych w stodołach, garażach, magazynach narzędzi, maszyn i sprzętu rolniczego, wiatkach czy zadaszeniach,
- obecność gumy powoduje spadek wytrzymałości na ścislenie o 1 klasę przy umiarkowanej zawartości cementu (300 kg/m^3),
- frakcja „gumowa” ogranicza pochłanianie wody przez beton,
- wprowadzenie rozdrobnionych odpadów gumowych nie wpływa na zmianę odporności na działanie niskich temperatur oraz na zjawiska fizykochemiczne towarzyszące formowaniu się struktury betonów.

LITERATURA

- Czarnecki L., Beton wg normy PN-EN 206-1 – komentarz, Kraków, Wydawnictwo Polski Cement, 2004.
- PN-EN 197-1:2002 Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- PN-EN 197-2:2002 Cement – Część 2: Ocena zgodności.
- PN-EN 12390-3:2002 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania.
- PN-B-06250:1988 Beton zwykły.
- Brussier M. I., Gufan R. M., Zielikman E. G., Sowierszenstwowanie standartnogo metoda opriedieleniya paramietrow porowoj struktury bietona, Bieton i Żelazobieton, 1990.
- GOST 12730.4-78 Bietony. Metody opriedieleniya pokazatieliej poristosti.
- Grodzicka A., Trwałość betonów wysokowartościowych w aspekcie oddziaływania zmian termicznych, Praca naukowo-badawcza nr NB – 25, ITB, Warszawa, 1999.
- Wawrzeńczyk J., Metodyka badania mrozooporności betonu w kontekście nowej normy europejskiej, Materiały XLV Konferencji Naukowo-Technicznej Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZiTb, Wrocław – Krynica, 2000.
- CEN/TC 51/WG 12 Test methods for freeze-thaw resistance of concrete. Draft, April 1999.
- SS 13 72 44 Concrete testing; Hardened concrete; Scaling at freezing, Swedish Standard, 1995.
- PKN-CEN/TS 12390-9 Testing hardened concrete – Part 9: Freeze-thaw resistance – Saling.
- Guma. Poradnik inżyniera i technika, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1981.
- Peng J., Zhimin W., Zhao G., Fractal analysis of fracture in concrete, Theoretical and Applied Fracture Mechanics, Vol. 27, No. 2, 1997, p. 135-140,
- Jaworski J., Kajfasz S.: Możliwość kształtowania struktury kompozytów betonopodobnych, Warszawa – Łódź, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1989.