

Alina PIETRZAK (orcid id: 0000-0002-1301-874X)  
Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

## OCENA WPŁYWU RECYKLATÓW Z BUTELEK PET NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI BETONU

Omówiono wpływ odpadów politerftalenu etylenu (PET) na właściwości mieszanki betonowej i betonu. Przedstawiono wyniki badań dla betonów niemodyfikowanych i modyfikowanych dodatkiem rozdrobnionych zużytych butelek PET w ilości 5% masy cementu. Beton wykonano na bazie cementu portlandzkiego CEM I 42,5R i mieszanki kruszyw bazaltowych i piasku. Na podstawie analizy literatury oraz przeprowadzonych badań eksperymentalnych stwierdzono, iż beton, który w swoim składzie zawiera recyklat PET, może znaleźć zastosowanie między innymi w obiektach infrastruktury drogowej, np.: chodniki, podbudowy dla autostrad. Koncepcja produkcji betonu „przyjaznego dla środowiska” doskonale wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju, który w obecnych czasach jest jednym z podstawowych czynników determinujących rozwój gospodarczy.

**Słowa kluczowe:** tworzywo PET, recykling, beton

### WPROWADZENIE

W dzisiejszych czasach istotne staje się zrozumienie konsekwencji podejmowanych przez nas decyzji i działań, racjonalne kształtowanie środowiska, a przede wszystkim odpowiednie i odpowiedzialne gospodarowanie jego zasobami, które kurczą się z dnia na dzień. Znaczną wagę przywiązuje się do wzrostu świadomości społeczeństwa na temat ochrony środowiska naturalnego [1]. Rozwój nauki, techniki i przemysłu przynosi korzyści, ale również stwarza zagrożenia związane z oddziaływaniem na środowisko naturalne nowych, trudnych w zagospodarowaniu materiałów. Jednym z głównych problemów, z którym boryka się współczesne społeczeństwo, jest ciągły wzrost ilości odpadów, w tym również odpadów polimerowych. Produkcja i zużycie tworzyw polimerowych systematycznie wzrastają, od 1950 r. średnio o 9% rocznie. Wielkość światowej produkcji tworzyw polimerowych zwiększyła się z 1,5 miliona Mg w 1950 roku do 245 milionów Mg w 2008 roku [2]. Materiały te wraz z końcem życia stanowią istoty problem i wyzwanie dla naukowców, którzy poszukują nowoczesnych metod ich recyklingu lub utylizacji, ograniczając zanieczyszczenie otaczającego nas środowiska. Od kilkunastu lat

prorowadzone są badania nad wykorzystaniem recyklatów z tworzyw syntetycznych jako substratów w technologii produkcji zapraw oraz mieszanek betonowych.

## 1. ZASTOSOWANIE ODPADÓW POLIMEROWYCH JAKO SUBSTRATÓW DO PRODUKCJI BETONÓW

Beton stanowi najważniejszy materiał konstrukcyjny, który dzięki swej wytrzymałości i trwałości daje pełną swobodę w wykorzystywaniu go w budownictwie, a tym samym w kształtowaniu przestrzeni. Pomimo wielu zalet (łatwość stosowania, duża wytrzymałość na ściskanie, niski koszt produkcji, odporność na działanie wysokich temperatur) posiada też wady, do których zalicza się przede wszystkim niską wytrzymałość na rozciąganie oraz wrażliwość na niszczące działanie czynników chemicznych. W celu wyeliminowania tych wad podjęto próby jego modyfikacji między innymi za pomocą polimerów. Jednym z najczęściej zagospodarowywanych odpadów polimerowych w technologii betonu jest polietylen tereftalanu (PET), który można wykorzystać na kilka różnych sposobów. Choi i współautorzy [3] modyfikowali beton odpadami PET, które pochodziły z butelek po napojach. Butelki pocięto na włókna o długości od 5 do 15 mm. Następnie włókna pokryto mieszaniną popiołu lotnego, wulkanicznego oraz żużla. Tak przygotowanymi włóknami zastąpiono piasek, przyjmując następujące wartości: 0, 25, 50 i 75%. Zmianie ulegał również stosunek W/C, który wynosił odpowiednio: 0,53; 0,49 i 0,45. Wyniki pokazały, że 28-dniowa wytrzymałość na ściskanie próbek z betonu kontrolnego była większa niż próbek, które zawierały więcej modyfikatora. Pozytywny wpływ, jaki wywarł modyfikator na mieszankę betonową, to poprawa jej urabialności, co pozwalało na redukcję ilości wody w mieszance.

Silva i współautorzy [4] prowadzili badania nad zachowaniem się włókien pożytkowych odpadów PET zmieszanych z cementu portlandzkiego. Próbki do badań składały się z zaprawy wykonanej w stosunku cement-piasek równym 1:3, zakładając stosunek W/W równy 0,61. Próbki zawierały włókna z pożytkowego PET w ilości 0,4 i 0,8% objętości próbki. Na podstawie otrzymanych wyników autorzy stwierdzili, że włókna nie wpłynęły w istotny sposób na poprawę właściwości wytrzymałościowych zaprawy, natomiast same uległy uszkodzeniu podczas jej przygotowania. Inni autorzy [5] zbadali zachowanie mechaniczne betonu zawierającego PET z recyklingu, zmieniając stosunek wodno-cementowy (0,50 i 0,60), zawartość PET (10 i 20% objętościowych) oraz rozmiar cząsteczek polimeru. Badania wykazały, że beton zawierający materiały PET pochodzące z recyklingu posiadają niższą wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie oraz moduł sprężystości. PET implikuje wady wewnętrznej struktury betonu, co ogranicza przenoszone siły oraz zmniejsza jego sztywność. Beton zawierający 10% dodatku PET można wykorzystać w przypadku, gdy wymagana jest pewna plastyczność materiału.

## 2. BADANIA WŁASNE

Głównym celem badań było określenie wpływu odpadów PET na wybrane cechy betonów. Do badań betonów wykorzystano: cement portlandzki CEM I 42,5R, piasek płukany, kruszywo bazaltowe o frakcji 2÷8 mm oraz frakcji 8÷16 mm, superplastyfikator ISOLA 755. Do serii IPET wprowadzono wypełniacz w postaci rozdrobnionego odpadu polimerowego w ilości 5% masy cementu. Skład poszczególnych betonów przedstawiono w tabeli 1. Dla każdej serii betonu wykonano następujące badania: zawartość powietrza w mieszance betonowej, klasa konsystencji metodą stożka opadowego, badanie wytrzymałości na ściskanie oraz zginanie po 28 dniach dojrzewania, mrozoodporność betonu F100.

Tabela 1. Skład mieszanek betonowych w przeliczeniu na 1 m<sup>3</sup> betonu

Seria betonu	Składniki [kg/m <sup>3</sup> ]				
	Cement	Woda	Kruszywo	Superplastyfikator	Dodatek PET
1K	326	175	2055	3,26	–
IPET	326	175	2055	3,26	16,3

Odpady PET (polietylen tereftalanu) wykorzystane do badań pochodziły z butelek użytkowych. Butelki po oczyszczeniu z pozostałości produktów zostały poddane rozdrobnieniu mechanicznemu na cząstki o nieregularnej formie i różnych wymiarach do wielkości boków ok 10x10x2 mm.

Każda seria składała się z próbek o wymiarach 100x100x100 mm, 150x150x150 mm oraz 600x150x150 mm.

Przed formowaniem próbek, bezpośrednio po mieszanii, wykonano pomiar konsystencji za pomocą stożka opadowego wg normy PN-EN 12350-2 Badania mieszanki betonowej - Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka oraz zbadano zawartość powietrza wg normy PN-EN 12350-7 Badania mieszanki betonowej - Część 7: Badanie zawartości powietrza - Metody ciśnieniowe. Mieszankę podczas układania w formach zagęszczano w dwóch warstwach, każda warstwa była zagęszczana na stole wibracyjnym.

Dodatek odpadowego PET nie powodował trudności podczas mieszania i zagęszczania mieszanki i rozprowadzał się w mieszance równomiernie. Wyniki badań dla świeżych mieszanek przedstawiono w tabeli 2, natomiast w tabeli 3 podano wyniki badań dla poszczególnych serii betonów po 28 dniach dojrzewania próbek betonowych w warunkach laboratoryjnych.

Tabela 2. Właściwości świeżych mieszanek betonowych

Seria betonu	Opad stożka [cm]	Klasa konsystencji	Zawartość powietrza [%]
1K	15	S4	1,7
1PET	15	S4	2,6

Tabela 3. Właściwości betonów poszczególnych serii

Właściwości betonów	Seria betonu		
	1K	1PET	
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	65,8	63,48	
Wytrzymałość na zginanie [MPa]	3,50	3,58	
Mrozoodporność	średni ubytek masy [%]	0,4	0,5
	średni spadek wytrzymałości na ściskanie [%]	22,5	23,9

Badania wytrzymałości na ściskanie betonu przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 206-1 [6]. Dodatek odpadu polimerowego - PET powoduje nieznaczny spadek wytrzymałości betonu na ściskanie w stosunku do betonu niemodyfikowanego 1K, który wynosi 3,52%. Dodatek recyklatów PET zwiększył wytrzymałość na zginanie badanych betonów średnio o około 3%. Wynik ten rekompensuje niewielką utratę wytrzymałości na ściskanie, co powoduje, że zastosowanie odpadów w takiej formie, jaką wykorzystano do przeprowadzenia badań, może przyczynić się do poprawy właściwości mechanicznych betonu oraz zagospodarowania odpadów bez skomplikowanych metod recyklingu.

Badane próbki dla badania mrozoodporności F100 uzyskały spadek wytrzymałości większy niż 20% w stosunku do próbek kontrolnych, mimo bardzo małej utraty masy. Spadek wytrzymałości na przemienne zamrażanie i rozmrażanie dla serii kontrolnej był na poziomie 22,5% i był o 1% mniejszy niż dla próbek betonowych z dodatkiem odpadu PET. Przyczyną takiego zachowania się badanych betonów może być niska zawartość powietrza w mieszankach betonowych. Projektowany beton nie zawierał w swoim składzie dodatków napowietrzających poprawiających mrozoodporność betonu poprzez zwiększenie jego porowatości. Aby poprawić mrozoodporność betonów modyfikowanych odpadami polimerowymi, należy opracować recepturę, w której skład będzie wchodziła domieszka napowietrzająca.

## WNIOSKI

Kosztowne metody odzysku i recyklingu tworzyw sztucznych nakłaniają do poszukiwania alternatywnych i bardziej ekonomicznych procesów ich zagospodarowania i utylizacji. Według przeprowadzonych badań branża budowlana oraz produkcji materiałów budowlanych posiada największy potencjał w dziedzinie zagospodarowania i utylizacji odpadów tworzyw sztucznych.

Na podstawie analizy literatury oraz przeprowadzonych badań eksperymentalnych można stwierdzić, że zastosowanie recyklatu PET w ilości 5% masy cementu jako dodatek do wytwarzania betonu powoduje spadek własności mechanicznych betonu. Mimo tego takie betony mogą znaleźć zastosowanie w obiektach, gdzie wysoka wytrzymałość nie jest najważniejsza. Do takich obiektów zalicza się między innymi konstrukcje boisk sportowych czy chodników, podbudowy dla autostrad i innych struktur transportowych. Koncepcja produkcji betonu „przyjaznego dla środowiska” doskonale wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju, który obecnie jest jednym z podstawowych czynników determinujących rozwój gospodarczy.

## LITERATURA

- [1] Pietrzak A., Proekologiczne technologie w budownictwie na przykładzie „zielonego betonu”, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym 2014, 1(13), 86-93.
- [2] PlasticsEurope, The Compelling Facts About Plastics - Analysis of plastics production, demand and recover for 2008 in Europe.
- [3] Choi Y.W., Moon D.J., Chung J.S., Cho S.K., Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete, Cement and Concrete Research 2005, 35, 776-781.
- [4] Silva D.A., Bettioli A.M., Gleize P.J.P., Roman H.R., Gómez L.A., Ribeiro J.L.D., Degradation of recycled PET fibers in Portland cement-based materials, Cement and Concrete Research 2005, 35, 1741-1746.
- [5] Albano C., Camacho N., Hernandez M., Matheus A., Gutierrez A., Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios, Waste Manage. 2009, 2707-2716.
- [6] PN-EN 206-1:2014 Beton. Wymagania właściwości, produkcja i zgodność.

### ASSESSMENT OF THE IMPACT OF RECYCLING FROM PET BOTTLES IN SELECTED CONCRETE PROPERTIES

**This article discusses the effect of polyethylene terephthalate (PET) waste on the properties of concrete mix and concrete. The results of tests for unmodified and modified concrete with 5% by weight of cement are used. Concrete is based on Portland cement CEM I 42.5R and mixes of basalt and sand aggregates. Based on**

the analysis of literature and experimental research, it was found that the concrete in its composition contains recycled PET, it can be used in inter alia in road infrastructure such as pavements, motorway infrastructure. The concept of “environmentally friendly” concrete is ideally suited to a sustainable development strategy that is one of the key determinants of economic development today.

**Keywords:** PET, recycling, concrete