Prosimy cytować jako: Inż. Ap. Chem. 2014, 53, 2, 080-081

Mariola JASTRZĘBSKA

e-mail: m.jastrzebska@wpit.am.gdynia.pl

Katedra Chemii i Towaroznawstwa Przemysłowego, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa, Akademia Morska, Gdynia

Kruszywo z recyklingu materiałów budowlanych z odpadami poliestrowo-szklanymi

Wstęp

Masowa produkcja wyrobów z kompozytów wzmacnianych włóknami generuje problem ich odpadów. Szacuje się, że w 2015 roku na świecie na składowiska trafi 304 Mg ton odpadów kompozytów wzmacnianych. Polska jest jednym z większych producentów wyrobów z laminatów poliestrowo-szklanych, co powoduje powstanie rocznie ponad 2 Mg odpadów poprodukcyjnych.

Wcześniejsze prace, prowadzone w *Akademii Morskiej* w Gdyni dotyczące recyklingu materiałowego, wykazały możliwość dodawania odpadów poliestrowo-szklanych jako wypełniaczy do materiałów budowlanych [*Jastrzębska, 2010; 2011*].

Ograniczając strumień odpadów poliestrowo-szklanych, trafiających na składowiska, poprzez zastosowanie ich jako wypełniaczy do wyrobów betonopodobnych, należy również pamiętać, aby nie odsuwać w czasie jedynie umieszczania ich na składowiskach. W kontekście budownictwa zrównoważonego, mając świadomość, że produkty otrzymane z materiałów z odpadami poliestrowo-szklanymi (np. parapety) po pewnym czasie użytkowania staną się odpadem i nie powinny trafić na składowiska, w pracy zbadano możliwość zastosowania ich w budownictwie jako kruszywo z recyklingu. Zastosowanie tego kruszywa może być szerokie i tak można je wykorzystać do budowy dróg i autostrad (np. jako mieszanki do podbudów), czy robót hydrotechnicznych.

W Polsce w 2009 r. oceniono zapotrzebowanie na kruszywa na drogi krajowe, autostrady i drogi ekspresowe w 2010 r. na ok. 11 mln ton, a w 2013 r. – na 73 mln ton [*Zapaśnik, 2009*]. Dodatkowo zużywa się jeszcze kruszywo w kolejnictwie i budownictwie.

Już od dawna materiały alternatywne (np. odpady) stosowane są do budowy dróg [*Sherwood, 1997; Hill, 2001*].

Wzrastające zapotrzebowanie na kruszywo, a jednocześnie możliwość zagospodarowania materiałów budowalnych z odpadami poliestrowo-szklanymi zainspirowało przeprowadzenie badań kruszywa z recyklingu tych odpadów. W niniejszej pracy oceniono możliwość zastosowania tych materiałów jako kruszywo. Po rozdrobnieniu materiałów budowlanych z odpadami poliestrowo-szklanymi, otrzymane kruszywo poddano analizie, określając jego parametry pod kątem wytrzymałości (odporność na rozdrabnianie i ścieralność) oraz badano gęstość, nasiąkliwość i mrozoodporność.

Badania doświadczalne

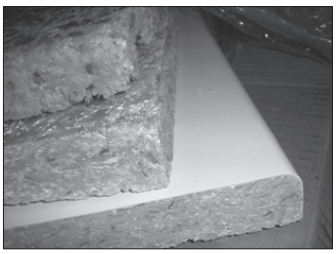
Rozdrobnione materiały budowlane z odpadami poliestrowo-szklanymi mogą stanowić kruszywo z recyklingu, po wcześniejszym zbadaniu ich właściwości i porównaniu z wymaganiami.

Materiały

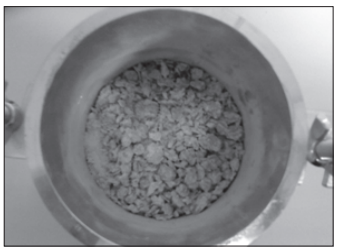
Zastosowano materiał budowlany, otrzymany we wcześniejszych pracach badawczych w *Akademii Morskiej* w Gdyni, wykonany z 20% wag. żywicy poliestrowej, 12% wag. odpadów poliestrowo-szklanych, 68% wag. mączki dolomitowej (Rys. 1).

Metody badawcze

Po rozdrobnieniu materiału budowlanego otrzymano grube kruszywo o uziarnieniu nie przekraczającym 90 mm (Rys. 2), które zostało poddane następującym badaniom zestawionym w tab. 1, zgodnie z obowiązującymi normami.



Rys. 1. Materiał budowlany z odpadami poliestrowo-szklanymi



Rys. 2. Otrzymane kruszywo z recyklingu materiałów budowlanych z odpadami poliestrowo-szklanymi

Tab. 1. Zestawienie wykonanych badań kruszywa

Rodzaj badania	Norma
Oznaczenie odporności na ścieranie (mikro-*Deval)*	PN-EN 1097-1:2011
Oznaczenie odporności na rozdrabnianie *metodą Los Angeles*	PN-EN 1097-2:2010
Oznaczenie gęstości i nasiąkliwości	PN-EN 1097-6:2002
Oznaczenie mrozoodporności w 1% roztworze soli	PN-EN 1367-6:2008
Oznaczenie mrozoodporności w wodzie	PN-EN 1367-1:2007

Współczynnik mikro-Devala dla kruszywa informuje o jego odporności na ścieranie. Oznaczenie polega na określeniu procentowego ubytku początkowej masy próbki w czasie jej ścierania kulami stalowymi przy obrotach 12 tys. bębna. Podstawą do obliczenia współczynnika mikro-*Devala* jest pozostałość materiału badanego na sicie o długości boku oczka 1,6 mm wyrażona w procentach.

Odporność kruszywa na rozdrabnianie metodą Los Angeles określano mierząc ubytek masy po obtaczaniu z metalowymi kulami w czasie 500 obrotów bębna.

Badanie mrozoodporności kruszywa wykonano w celu sprawdzeniu odporności kruszywa na działanie czynników atmosferycznych. Mrozoodporność dostarcza informacji odnośnie zachowania się kruszywa poddanego cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu, a także umożliwia oszacowanie odporności kruszywa na tę formę wietrzenia.

Kruszywo poddano najpierw 24-godzinnemu nasączaniu, a następnie w warunkach ciśnienia atmosferycznego poddano 10 cyklom zamrażania i rozmrażania. Jeden cykl obejmował zamrażanie w odpowiednim roztworze do temperaturze minus 17,5°C, a następnie namaczanie także w odpowiednim roztworze w temperaturze około 20°C. Po wykonaniu określonej liczy cykli sprawdzano zmiany kruszywa oraz określono ubytek masy, który wyrażono w %.

Podczas badania obserwowano zachowanie się kruszywa, powstałe spękania, straty masy, i odpowiednio straty wytrzymałości.

Podatność kruszywa na uszkodzenia z powodu zamrażania i rozmrażania ma bezpośredni wpływ na jakość wyrobu, w którym kruszywo zostanie użyte i zależy między innymi od rozkładu i wielkości porów wewnątrz ziaren kruszywa, co z kolei wpływa na nasiąkliwość kruszywa.

Wyniki badań i ich analiza

Wyniki wybranych właściwości badanego kruszywa z recyklingu materiału budowlanego z odpadami poliestrowo-szklanymi porównano z przedstawionymi w tab. 2 wymaganiami dla kruszywa zarówno do

Prosimy cytować jako: Inż. Ap. Chem. 2014, 53, 2, 080-081

podbudowy, warstwy ścieralnej czy warstwy wiążącej do betonu asfaltowego, zawartymi w *Wymaganiach Technicznych IBDiM* [*WT-1 Kruszywa, 2013*]. Dokument ten nie jest obowiązujący, ale wdraża zapisy normy [*PN-EN 13043, 2013*] i rekomenduje do stosowania w Polsce wymagania dotyczące kruszyw przeznaczonych do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na polskich drogach krajowych. Zaktualizowane wymagania dotyczące kruszyw dostosowane są do polskich warunków klimatycznych oraz do obciążenia ruchem drogowym.

Odporność kruszywa na ścieranie

Współczynnik mikro-*Devala* badanego kruszywa metodą na mokro wyniósł 2,63%, a metodą na sucho: 3,24%, czyli maksymalna strata badanego materiału była mniejsza od 10% i spełniała wymagania najwyższej kategorii $M_{DE}10$. Badane kruszywo charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie. Odporność na ścieranie kruszywa grubego do podbudowy z betonu asfaltowego lub warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej beton asfaltowy, czy warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego nie jest wymagana. Wymogi określone są dla wyższych warstw konstrukcyjnych, które mają bliższy lub bezpośredni kontakt z pojazdami.

Odporność kruszywa na rozdrabnianie

Współczynnik Los Angeles badanego kruszywa wyniósł 11,3%, spełniając najwyższą kategorię LA_{15}, zakładającą maksymalne straty badanego materiału do 15% ubytku masy początkowej. Kruszywo spełnia więc wymagania dla kruszywa do podbudowy, warstwy wiążącej lub warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego (Tab. 2). Duża strata masy mogłaby ewentualnie wskazywać na możliwość kruszenia się ziaren podczas produkcji mieszanki w otaczarce, rozkładania, wałowania i obciążania nawierzchni pojazdami. Badane kruszywo okazało się bardzo odpornym materiałem na rozdrabnianie.

Tab. 2. Wymagania dla kruszywa dla drogi kategorii ruchu KR1÷ KR2* [*WT-1 Kruszywa, 2013*]

Właściwości kruszywa	Wymagania dla kruszywa grubego stosowanego do:		
	podbudowy z betonu asfaltowego	warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej z betonu asfaltowego	warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego
Odporność na rozdrabnianie, współczynnik Los Angeles	LA_{50}	LA_{40}	LA_{30}
	< 50	<40	<30
Gęstość ziaren	deklarowana przez producenta	deklarowana przez producenta	deklarowana przez producenta
Nasiąkliwość	deklarowana przez producenta	deklarowana przez producenta	deklarowana przez producenta
Mrozoodporność, kategoria % ubytek masy	nie wyższa niż F_4 ≤ 4%	nie wyższa niż F_2 ≤ 2%	oznaczana w 1% $NaCl_{aq}$ nie wyższa niż 12 lub 7%

*KR1 kategoria najniższa oznacza do 12 osi obliczeniowych 100 kN/oś/dobę [*Rozporządzenie, 1999*]

Gęstość objętościowa kruszywa

Gęstość objętościowa kruszywa oznaczana piknometrem w temp. 22°C wynosiła 1,99 Mg/cm^3, gęstość ziaren wysuszonych: 1,74 Mg/cm^3, a gęstość ziaren nasyconych wynosiła 1,86 Mg/cm^3. Gęstości kruszywa nie określają żadne wymagania (Tab. 2). Wynik jest jedynie informacją o badanym materiale, szczególnie podczas tworzenia receptur na podbudowy oraz asfalty betonowe i pozwala określić ilość potrzebnego materiału do budowy na danym terenie.

Nasiąkliwość kruszywa wodą

Nasiąkliwość badanego kruszywa wodą w temp. 22°C wynosiła po 24 godzinach 7,3%. Badane kruszywo okazało się bardzo podatnym materiałem na nasiąkliwość, bez względu na frakcję próbki. Zgodnie z wymaganiami technicznymi przedstawionymi w tab. 2 nasiąkliwość kruszywa jest jedynie deklarowana przez producenta.

Mrozoodporność kruszywa

Ubytek masy badanego kruszywa w wodzie po 10 cyklach zamrażania i odmrażania wyniósł 1% (m/m), więc wynik ten spełnia kategorię F1 dla kruszywa, dla której dopuszczalny jest ubytek do 1%. Natomiast ubytek masy kruszywa w 1% roztworze wodnym NaCl wyniósł 5,2% (m/m), spełniając kategorię $F_{NaCl}7$, która zakłada maksymalne straty badanego materiału do 7% ubytku masy początkowej. Badane kruszywo okazało się bardzo odpornym materiałem na działanie właściwości cieplnych i działanie czynników atmosferycznych. Mrozoodporność kruszywa spełnia wymagania dla kruszywa grubego przestawione w tab. 2.

Wnioski

Materiały budowlane z odpadami poliestrowo-szklanymi po eksploatacji mogą zostać poddane rozdrobnieniu na kruszywo. Mimo, że takie kruszywo charakteryzuje się dużą nasiąkliwością, to jednak wykazuje dobrą mrozoodporność, spełniając wymagania stawiane wobec kruszywa do podbudowy, warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej, czy warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego.

Należy dodać, że badane kruszywo wykazuje szczególnie wysoką odporność na rozdrabnianie i ścieranie.

Badane kruszywo z recyklingu może być użyte do podbudowy, czyli fundamentu na którym układa się następne warstwy budowanej drogi, gdyż jest trwałe, nieodkształcalne i tanie.

Warunkiem koniecznym do oznaczenia badanego kruszywa z recyklingu znakiem CE, dopuszczającym wyrób do obrotu i stosowania, jest wykonanie kolejnych badań surowca z uwzględnieniem występowania uwalnianych substancji niebezpiecznych (np. metali ciężkich).

Należy pamiętać, że kruszywa z recyklingu podlegają rozporządzeniu REACH (*Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals*) i muszą być rejestrowane.

Zastosowanie kruszywa z recyklingu materiałów budowlanych z odpadami poliestrowo-szklanymi stwarza jedynie koszty związane z badaniami jakościowymi, ale nie wymaga kosztów inwestycyjnych.

LITERATURA

Hill A.R., Dawson A.R., Mundy M., 2001. Utilisation of aggregate materials in road construction and bulk fill. *Resources, Conservation & Recycling* **32**, 305-320. DOI:10.1016/S0921-3449(01)00067-2

Jastrzębska M**.,** 2010. Próba wdrożenia do produkcji parapetów z recyklatem poliestrowo-szklanym, *Inż. Ap. Chem.*, **49**, nr 5, 49-50

Jastrzębska M., 2011. New glass reinforced polyester waste recycling technology. *Zesz. Nauk. UE Poznań, Commodity Science. New Technologies and Materials*, **212**, 92-101

PN-EN 13043:2013-08E, 2013. *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu*

Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*. Dz.U. 1999 nr 43 poz. 430

Sherwood P.T., 1997. *Alternative materials in road construction: a guide to the use of waste, recycled materials and by-products*. Thomas Telford, London

WT-1 Kruszywa, 2013. Wymagania Techniczne: *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych o powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych*, Inst. Bud. Dróg i Mostów, Warszawa

Zapaśnik W., 2009. *Zapotrzebowanie kruszyw na drogi krajowe w latach 2010-2013.* Seminarium szkoleniowe: „Bilans zasobów polskiego budownictwa drogowego. Materiały podstawowe: kruszywa, cement, asfalt". Polski Kongres Drogowy, Warszawa (03.2014): http://pkd.org.pl/pliki/Zapotrzebowanie_na_kruszywa_WZapasnik.pdf