mgr inż. Paweł Piekarski^{1*)}
 dr inż. Łukasz Mrozik¹⁾
 mgr inż. Agnieszka Grzybowska¹⁾

Właściwości betonów lekkich na bazie regranulatu polistyrenu ekspandowanego

Properties of lightweight concrete with recycled ground expanded polystyrene aggregate

DOI: 10.15199/33.2017.05.

(Doniesienie naukowe)

Streszczenie. Celem artykułu jest przedstawienie możliwości zagospodarowania odpadu regranulatu polistyrenu ekspandowanego (EPS) do produkcji betonów lekkich. Opisano zależność pomiędzy ilością odpadu dodawanego do mieszanki betonowej a wytrzymałością na ściskanie i gęstością pozorną uzyskanego kompozytu cementowego. Wykonano dwie serie badawcze mieszanek betonowych. W pierwszej objętość regranulatu EPS zmieniano na rzecz kruszywa drobnego przy stałej ilości zaczynu. W drugiej objętość regranulatu EPS była rekompensowana objętością zaprawy o stałych proporcjach kruszywa, wody i spoiwa. Obie serie potwierdzają, iż wytrzymałość na ściskanie i gęstość pozorna kompozytów cementowych zmniejszają się wraz ze wzrostem ilości dodawanego odpadu. Ponadto badania wskazują, że lekkie betony konstrukcyjne na bazie regranulatu EPS mogą objętościowo zawierać maksymalnie 40% tego surowca ze względu na wytrzymałość wykonywanych konstrukcji.

Słowa kluczowe: regranulat EPS, zrównoważony rozwój, beton lekki.

Abstract. This article presents the possibilities of recycled ground expanded polystyrene (EPS) aggregate management used for lightweight concrete. In the paper, relations between the amount of added waste to the concrete mixture and both compressive strength and apparent density of received concrete composite, has been described. The authors have conducted two research cycles of concrete mixtures, which contained variable formulas. In the first one, the volume of recycled ground EPS aggregate has been changed in favour of fine aggregate with the constant quantity of cementitious paste. During the second one, the volume of recycled ground EPS aggregate has been compensated by the volume of mortar (with constant ratio of aggregate, water and binder). Both series has shown that compressive strength and bulk density of concrete composites diminish in accordance with added waste. Moreover, the research has indicated that light structural concrete created on the basis of recycled ground EPS aggregate might contain volumetrically a maximum of 40 percent of this material.

Keywords: recycled ground EPS aggregate, sustainable development, lightweight concrete.

EPS jest materiałem powszechnie stosowanym do produkcji wyrobów styropianowych. Negatywnym aspektem towarzyszącym jego obróbce jest powstawanie odpadów w postaci granulki i kawałków styropianu. Z tego powodu przedsiębiorstwa często zmuszane są do ponoszenia kosztów związanych z całkowitą lub częściową utylizacją tego materiału. Warto wspomnieć, że odpady styropianowe stanowią ok. 0,1% wszystkich odpadów komunalnych [1].

Ze względu na wspomniany problem, zakłady produkujące EPS często wyposażone są w młyny rozdrabniające. Dzięki tym urządzeniom użytkiwany jest surowiec wtórny w postaci regranulatu, częściowo wykorzystywany do ponownej produkcji styropianu. W wielu publikacjach [2 – 4] po-

twierdza się, iż materiał może być również stosowany do produkcji betonów lekkich (tzw. styrobetonów). Zdaniem autorów brakuje metod projektowania takich materiałów, pozwalających na optymalizację składników. Istnieje zatem konieczność szukania zależności pomiędzy ilością dodawanego regranulatu EPS do mieszanki betonowej a parametrami powstałego z niego kompozytu.

Metoda i wyniki badań

W celu dokonania wstępnej analizy cech styrobetonów wykonano dwie serie badawcze mieszanek betonowych:

- **seria nr 1** – próbki o zmiennej objętości regranulatu EPS na rzecz kruszywa drobnego, przy stałym stosunku wodno-cementowym 0,35 (tabela 1); masa cementu wynosiła 372 kg/m³.

- **seria nr 2** – próbki o zmiennej objętości regranulatu EPS na rzecz zaprawy, przy stosunku wodno-cemento-

Tabela 1. Udziały objętościowe składników w 1 m³ mieszanki betonowej – seria nr 1

Table. 1. Concrete mix proportions by volumetric percentage – series 1

Numer receptury	Udziały objętościowe składników								Superplastyfikator
	woda		cement		kruszywo drobne		reg. EPS		
[-]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[%]	
1	13,0	130,1	12,0	371,7	15,0	397,5	60,0	3,0	
2	13,0	130,1	12,0	371,7	20,0	530,0	55,0	3,0	
3	13,0	130,1	12,0	371,7	25,0	662,5	50,0	3,0	
4	13,0	130,1	12,0	371,7	35,0	927,5	40,0	3,0	
5	13,0	130,1	12,0	371,7	45,0	1192,5	30,0	3,0	
6	13,0	130,1	12,0	371,7	55,0	1457,5	20,0	3,0	
7	13,0	130,1	12,0	371,7	75,0	1987,5	0,0	3,0	

wym 0,35 (tabela 2); masa cementu wynosiła 297÷743 kg/m³.

Badania wytrzymałości oraz gęstości pozornej wykonano w czternastym dniu dojrzewania próbek. Do doświadczenia wykorzystano: wodę wodociągową, regranulat EPS o szacowanej

¹⁾Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Adres do korespondencji: pawel.piekarski@utp.edu.pl

Tabela 2. Udziały objętościowe składników w 1 m³ mieszanki betonowej – seria nr 2
Table. 2. Concrete mix proportions by volumetric percentage – series 2

Numer receptury	Udziały objętościowe składników							superplastyfikator
	woda		cement		kruszywo drobne		reg. EPS	
[-]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[kg]	[%]	[%]
1	10,0	104,1	10,0	297,4	20,0	530,0	60,0	3,0
2	12,0	117,1	11,0	334,5	22,0	596,3	55,0	3,0
3	13,0	130,1	12,0	371,7	25,0	662,5	50,0	3,0
4	16,0	156,1	14,0	446,0	30,0	795,0	40,0	3,0
5	18,0	182,1	17,0	520,4	35,0	927,5	30,0	2,0
6	21,0	208,2	19,0	594,7	40,0	1060,0	20,0	2,0
7	26,0	260,2	24,0	743,4	50,0	1325,0	0,0	2,0

średniej średnicy 4 mm; kruszywo otoczkowe o średnicy ziaren 0 ÷ 2 mm; cement CEM I 42, R oraz superplastyfikator na bazie eterów polikarboksylanowych. Ilość superplastyfikatora w obu seriach określono w stosunku do masy cementu (bez wliczenia go w udziały objętościowych składników). Wytrzymałość na ściskanie oraz gęstość pozorną kompozytów cementowych, w zależności od procentowej zawartości regranulatu EPS, przedstawiono w tabeli 3 oraz na rysunkach 1 i 2.

Obie serie potwierdzają zmniejszenie gęstości pozornej oraz wytrzymałość

Tabela 3. Analiza statyczna oznaczenia wytrzymałości na ściskanie próbek – seria nr 1 i 2
Table. 3. Static analysis mean compressive strength – series 1 and 2

Seria	Numer receptury	Wytrzymałość średnia f_{cm} [MPa]	Wytrzymałość minimalna f_{min} [MPa]	Odchylenie standardowe	Współczynnik zmienności [%]	Wytrzymałość charakterystyczna f_{ck} [MPa]
1	1	1,29	1,20	0,08	6,58	1,15
	2	2,28	2,10	0,15	6,71	2,03
	3	6,12	5,30	0,81	13,24	4,79
	4	4,41	4,20	0,18	4,08	4,11
	5	9,45	9,40	0,09	0,95	9,30
	6	15,44	12,90	0,49	3,21	14,62
	7	14,99	12,40	0,59	3,90	14,03
2	1	1,04	0,90	0,14	13,04	0,38
	2	2,88	2,50	0,51	17,68	2,05
	3	5,64	5,00	0,52	9,15	4,79
	4	9,24	9,00	0,47	5,11	8,47
	5	11,88	12,20	0,25	2,14	11,46
	6	13,41	12,60	0,81	6,04	12,08
	7	46,14	45,90	0,18	0,40	45,84

Uwaga: Wytrzymałość charakterystyczną wyznaczano przy poziomie ufności 95%.

Rys. 1. Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek – seria nr 1 i 2
Fig. 1. Mean compressive strength – series 1 and 2

Fig. 1. Mean compressive strength – series 1 and 2

Rys. 2. Średnia gęstość pozorna próbek – seria nr 1 i 2
Fig. 2. Average bulk density – series 1 and 2

ści na ściskanie powstałych kompozytów przy zwiększaniu udziału objętościowego regranulatu EPS. Korzystniejsze wyniki wytrzymałości na ściskanie uzyskano w przypadku serii nr 2, szczególnie przy zawartości do 20%

regranulatu EPS. Gęstość pozorną próbek z obu serii nie różniła się znacznie.

Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie regranulatu EPS do betonu pozwala na skuteczne zagospodarowanie odpadu oraz zmniejszenie zużycia kruszywa naturalnego. Główny problem stanowi ustalenie relacji pomiędzy proporcjami składników (cementu, kruszywa, wody i regranulatu EPS) a właściwościami uzyskanego kompozytu cementowego. W tym celu na bazie warunku szczelności wykonano dwie serie receptur z różnym udziałem objętościowym składników. Wyniki obu serii świadczą, że wytrzymałość styrobetonów uzależniona jest przede wszystkim od objętości i struktury matrycy cementowej. Korzystniejsze parametry wytrzymałościowe styrobetonów otrzymano, zamieniając udział objętościowy regranulatu EPS na rzecz zaprawy (seria nr 2). Wynika to z faktu, iż stała proporcja piasku, cementu oraz wody powoduje uzyskanie szczelniejszej i wytrzymalszej matrycy cementowej. Dlatego projektując tego typu kompozyty, należy zwrócić uwagę nie tylko na jakość składników, ale również na ich ilość i wzajemne proporcje. Biorąc to pod uwagę, zdaniem autorów lekkie betony konstrukcyjne na bazie regranulatu EPS można uzyskać, dodając nawet do 40% odpadu.

Literatura

- [1] Ferrandiz-Mas V., E. Alcocel-Garcia 2013. „Durability of expanded polystyrene mortars”. *Construction and Building Materials* (46): 175 – 182.
- [2] Hernandez-Zaragoza J. B., T. Lopez-Lara, J. Horta-Rangel, C. Lopez-Cajun, E. Rojas-Gonzalez, F. J. Garcia-Rodriguez, J. Adué. 2013. „Cellular Concrete Brick with Recycled Expanded Polystyrene Aggregate”. *Advances in Materials Science and Engineering*.
- [3] Kekanović M., D. Kukaras, Ceh Arpad, G. Karaman. 2014. „Lightweight concrete with recycled ground expanded polystyrene aggregate”. *Tehnicky vjesnik* 21, 2: 309 – 315.
- [4] Outzen K. S., C. Chen. 2012. *A study of Recycled Polystyrene for Structural Concrete Application*.

Przyjęto do druku: 03.04.2017 r.