

WPLYW DODATKU GRANULATU STYROPIANOWEGO POCHODZĄCEGO Z RECYKLINGU NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE BETONU ZWYKŁEGO

Krzysztof Wiśniewski, Gabriela Rutkowska, Kamil Szczęsny
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Niniejsza praca ma na celu porównanie wybranych właściwości fizycznych i mechanicznych mieszanki betonowej, jak również dojrzałego betonu klasy C16/20, w zależności od procentowego udziału granulatu styropianowego w mieszance betonowej. Praca zawiera przegląd piśmiennictwa, omawiający cechy i właściwości mieszanki betonowej, jak również stwardniałego betonu. Ponadto przedstawiono w niej analizę otrzymanych wyników badań: konsystencji mieszanki betonowej, wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie, głębokości penetracji wody pod ciśnieniem oraz nasiąkliwości.

Słowa kluczowe – beton, mieszanka betonowa, granulaty styropianowy

WSTĘP

W ostatnich latach duży nacisk kładzie się na ochronę środowiska oraz wykorzystanie komponentów pochodzących z odzysku, czyli recyklingu. Recyklingowi najłatwiej poddają się materiały nieorganiczne, takie jak: beton, ceramika, metale i szkło. Wykorzystanie w budownictwie materiałów z recyklingu jest bardzo duże, na przykład rozdrobnionego betonu czy materiałów ceramicznych w budownictwie drogowym oraz w produkcji betonu.

Podczas prowadzenia prac termoizolacyjnych powstaje dużo odpadów z przycinanych płyt styropianowych. Wykorzystanie takich odpadów w formie odzyskanego granulatu w produkcji betonów może przyczynić się do utylizacji tego trudno rozkładającego się materiału, co jest bardzo ważnym zagadnieniem pod względem ochrony środowiska.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Krzysztof Wiśniewski, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Katedra Inżynierii Budowlanej, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, e-mail: krzysztof_wisniewski@sggw.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2015

Styrobeton jest kompozytem powstałym przez dodanie granulatu styropianowego do mieszanki betonowej lub mleczka cementowego. Dodatek ten powoduje poprawę parametrów cieplnych kompozytu oraz zmniejsza jego gęstość objętościową. Ze względu na fakt, iż nie ma żadnych oficjalnych wytycznych odnośnie do projektowania i wykonawstwa, styrobeton projektuje się metodą doświadczalną.

MATERIAŁ I METODA

Celem badań było zaprojektowanie betonu zwykłego, odpowiadającego klasie C16/20, klasie ekspozycji X0, konsystencji gęstoplastycznej i uziarnieniu maksymalnym $D_{\max} = 16$ mm, który jest powszechnie stosowany w budownictwie, oraz trzech wariantów tego betonu z dodatkiem określonej ilości granulatu styropianowego pochodzącego z recyklingu, przy jednoczesnym zachowaniu normowych właściwości betonu. Skład mieszanki betonowej wyznaczono na podstawie równania wytrzymałości Bolomey'a, natomiast proporcje składników zostały obliczone metodą trzech równań T. Kluza – K. Eyemana według wytycznych i zaleceń Ściślewskiego [1999].

Przed przystąpieniem do badań postawiono hipotezę badawczą, że przewidywanym skutkiem dodatku granulatu styropianowego do mieszanki betonowej może być zmniejszenie wartości parametrów wytrzymałościowych i poprawa niektórych cech fizycznych stwardniałego betonu, w tym gęstości objętościowej.

Zakres badań obejmował wykonanie zaprojektowanej mieszanki betonowej oraz zbadanie jej podstawowych cech fizycznych: wodoszczelności, gęstości i nasiąkliwości, a także cech mechanicznych: wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie stwardniałych próbek po upływie 28 dni dojrzewania. Wspomniane badania zostały przeprowadzone dla próbek wykonanych z betonu wzorcowego oraz próbek o różnej zawartości granulatu styropianowego.

Procedury projektowe oraz badawcze zostały wykonane na podstawie wytycznych zawartych w aktualnie obowiązujących krajowych normach budowlanych, dotyczących technologii wykonywania mieszanek betonowych. Badania zostały wykonane w Laboratorium Budowlanym Katedry Inżynierii Budowlanej oraz Pracowni Procesów Fizycznych w Budownictwie Centrum Wodnego Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska SGGW w Warszawie.

Przy wykonywaniu mieszanki należy zwrócić uwagę na konsystencję betonu, ponieważ waży granulatu styropianowy ma gęstość mniejszą niż woda i podczas mieszania składników może wypływać na powierzchnię. Z tego względu w badaniach postanowiono zastosować mieszankę o gęstości od gęstoplastycznej do plastycznej.

W badaniach użyto granulatu styropianowego pochodzącego z recyklingu, a mianowicie uzyskanego z rozdrobnienia odpadowych płyt styropianowych. Charakteryzował się on gęstością $40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, klasą reakcji na ogień – E. Średnica granulatu styropianowego wynosiła około 4 mm. W celu poprawy urabialności mieszanki betonowej i ułatwienia formowania zastosowano domieszkę upłynniającą. Producent użytej do badań domieszki gwarantuje, iż jest ona zgodna z wymogami stawianymi przez normę PN-EN 934-2:2001.

Konsystencja mieszanek betonowych została zbadana dwiema metodami: metodą stożka opadowego, według wytycznych zawartych w normie PN-EN 12350-2:2009, oraz metodą Ve-Be, według wytycznych zawartych w normie PN-EN 12350-3:2009.

Do badania wytrzymałości na ściskanie użyto próbek o wymiarach $100 \times 100 \times 100$ mm po 20 sztuk dla każdego z wariantów. Badanie to przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normach PN-EN 12390-3:2009 i PN-EN 12390-4:2009. Próbkę poddano badaniom po upływie 28-dniowego okresu pielęgnacji betonu. Badanie wytrzymałościowe przeprowadzono z dokładnością do 0,1 MPa.

Wytrzymałość na ściskanie została obliczona na podstawie wzoru [PN-EN 12390-3:2009]:

$$f_c = \alpha_i \frac{F}{A_c} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

gdzie: f_c – wytrzymałość na ściskanie [MPa], $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$,

F – maksymalne obciążenie przy zniszczeniu [N],

A_c – pole przekroju poprzecznego próbki, na które działa siła ściskająca $[\text{mm}^2]$,

α_i – współczynnik konwersji; dla próbek sześciennych 100 mm $\alpha_i = 0,9$.

Do badania wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie użyto próbek o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm. Badanie to przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-EN 12390-6:2009 po upływie 28-dniowego okresu pielęgnacji betonu.

Wytrzymałość na rozciąganie została obliczona na podstawie wzoru [PN-EN 12390-4:2009]:

$$f_{ct} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

gdzie: f_{ct} – wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu [MPa] $[\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}]$,

F – maksymalne obciążenie [N],

L – długość linii styku próbki [mm],

d – deklarowany wymiar przekroju poprzecznego [mm].

Przed przystąpieniem do badania wodoprzepuszczalności w pierwszej kolejności próbki poddano szlifowaniu w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny formowania, aby zapewnić jak najdokładniejsze przywieranie do pierścieni uszczelniających. Po umieszczeniu próbek w aparaturze pomiarowej zostały one poddane działaniu strumienia wody pod ciśnieniem 0,5 MPa. Czas doświadczenia wyniósł 72 godziny. Następnie próbki rozłupano w prasie hydraulicznej w płaszczyźnie prostopadłej do działania kierunku ciśnienia wody i odczytano głębokość penetracji wody.

Badania próbek na nasiąkliwość przeprowadzono zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-88/B-06250. Do badania nasiąkliwości użyto próbek o wymiarach $100 \times 100 \times 100$ mm, które zanurzono w wodzie do momentu całkowitego nasycenia wodą. Następnie zostały one poddane ważeniu oraz suszeniu w suszarce w temperaturze 105°C do stałej wagi oraz ponownie zważone. Nasiąkliwość badanych próbek została wyrażona za pomocą stosunku procentowego masy próbki całkowicie nasyconej do wysuszonej według wzoru [PN-EN 12390-8:2009]:

$$n_w = \frac{G_n - G_s}{G_s} \cdot 100\% \quad (3)$$

gdzie: n_w – nasiąkliwość [%],
 G_n – masa próbki nasyconej [kg],
 G_s – masa próbki wysuszonej [kg].

WYNIKI BADAŃ

Badania konsystencji mieszanki betonowej przeprowadzono dwiema metodami. Tabela 1 przedstawia wyniki badania metodą stożka opadowego, a tabela 2 – wyniki uzyskane metodą Ve-Be.

Tabela 1. Średnie wyniki badania konsystencji mieszanki betonowej metodą stożka opadowego
 Table 1. Medium results of the study consistency of concrete mix slump cone method

Wyszczególnienie Specification	SERIA 1 Series 1	SERIA 2 Series 2	SERIA 3 Series 3	SERIA 4 Series 4
Rodzaj opadu Type of precipitation	właściwy appropriate	właściwy appropriate	właściwy appropriate	właściwy appropriate
Wysokość opadu stożka Drop in level cone [mm]	10	20	70	110
Klasa konsystencji Class of consistency	S1 plastyczna retailing	S1 plastyczna retailing	S2 półciekła semi-liquid consistency	S3 ciekła the liquid consistency

Tabela 2. Średnie wyniki badania konsystencji mieszanki betonowej metodą Ve-be
 Table 2. Medium results of the study consistency of concrete mix method of Ve-be

Wyszczególnienie Specification	SERIA 1 Series 1	SERIA 2 Series 2	SERIA 3 Series 3	SERIA 4 Series 4
Rodzaj opadu Type of precipitation	właściwy appropriate	właściwy appropriate	rozsypany up spillage	rozsypany up spillage
Czas [s] Time	23	13	6	3
Klasa konsystencji Class of consistency	V1 gęstoplastyczna thick-consistency	V2 plastyczna retailing consistency	V3 półciekła semi-liquid consistency	V3 półciekła semi-liquid consistency

W tabeli 3 przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie próbek betonowych oraz nasiąkliwości.

W tabeli 4 przedstawiono wyniki badania głębokości penetracji wody pod ciśnieniem. Ze względu na fakt, iż w niektórych przypadkach zaobserwowano przeciek wody, badanie wodoszczelności próbek zostało przerwane.

Tabela 3. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie i nasiąkliwości

Table 3. The results of compressive strength, tensile strength by splitting and testing water absorption

Oznaczenie serii Determination of series	Zawartość granulatu ze styropianu The contents of polystyrene granulate	Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie The average compressive strength of concrete	Średnia wytrzy- małość na roz- ciąganie przez rozłupywanie The average tensile strength by splitting	Średnia nasią- kliwość Medium absorption	Średnia gęstość objętościowa próbek Medium volu- metric density samples
	[%]	[MPa]	[MPa]	[%]	[g·cm ⁻³]
SERIA I Series I	0	23,3	0,38	2,63	2,30
SERIA II Series II	10	21,4	0,30	2,90	2,18
SERIA III Series III	15	19,3	0,28	3,11	2,13
SERIA IV Series IV	20	15,9	0,25	3,68	2,07

Tabela 4. Wyniki badania wodoszczelności betonu

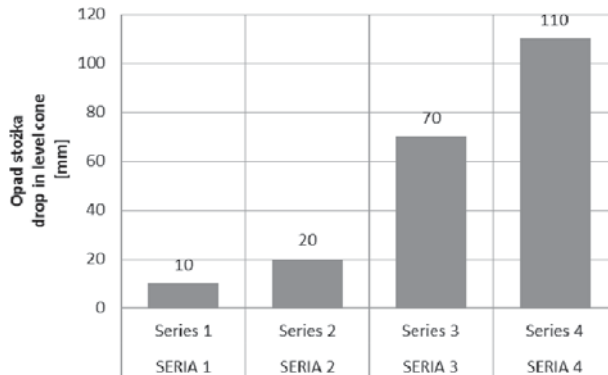
Table 4. The results of the waterproofing concrete study

Oznaczenie serii Determination of series	Nr No	Zaobserwowane zjawiska The observed phenomenon	Wielkość penetracji [mm] The size of penetration
SERIA I Series I	4	brak	całkowita
	5	brak	całkowita
SERIA II Series II	4	przeciek, badanie przerwano 2 dnia.	130
	5	brak	całkowita
SERIA III Series III	4	brak	całkowita
	5	przeciek, badanie przerwano 3. dnia	całkowita
SERIA IV Series IV	4	przeciek, badanie przerwano 1. dnia	112
	5	przeciek, badanie przerwano 2. dnia	całkowita

OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Konsystencja

Podczas badania konsystencji metodą stożka opadowego zaobserwowano opady właściwe dla badania mieszanki betonowej oraz poszczególnych wariantów zawartości granulatu styropianowego. Mieszanka o składzie kontrolnym (SERIA I), niezawierająca dodatku granulatu styropianowego, osiągnęła opad stożka wynoszący 10 mm, co klasyfikuje konsystencję jako S1, czyli plastyczną. Wraz ze wzrostem zawartości granulatu styropianowego opad stożka wyraźnie rósł, co obrazuje wykres na rysunku 1.



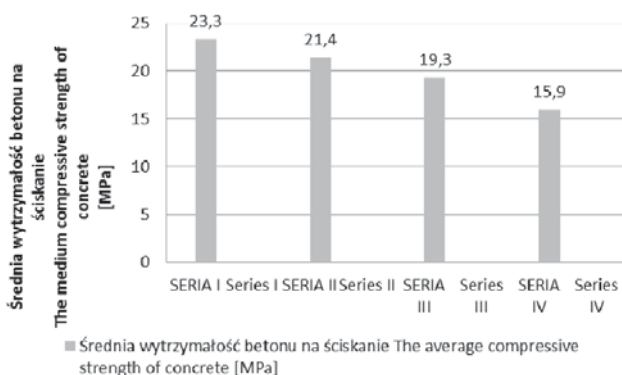
Rys. 1. Wykres wartości opadu stożka w zależności od zawartości granulatu styropianowego
 Fig. 1. Graph drop in level cone value depending on the content foamed polystyrene granulate

Na podstawie danych z tabeli 1 oraz wykresów na rysunku 1 można wyraźnie zauważyć, że wzrost zawartości granulatu styropianowego powoduje zmianę konsystencji plastycznej lub gęstoplastycznej aż do ciekłej lub półciekłej, w zależności od metody badania konsystencji. Wykonując mieszankę betonową, stosowano w każdym składzie taką samą ilość cementu i wody. Natomiast ilość kruszywa frakcji odpowiadającej wielkości ziaren styropianu była zmniejszana i zastępowana taką samą ilością granulatu styropianowego. Powodem tak dużej rozbieżności w zaobserwowanych konsystencjach prawdopodobnie jest fakt, iż styropian, w przeciwieństwie do kruszywa, nie charakteryzuje się tak wysoką wodożądnością jak kruszywo. Na wzrost opadu miała wpływ również zastosowana domieszka poprawiająca urabialność.

Wytrzymałość na ściskanie

Próbki „zerowe”, bez dodatku granulatu styropianowego, osiągnęły średnią wytrzymałość na ściskanie po upływie 28 dni dojrzewania, wynoszącą 23,3 MPa, a wszystkie próbki składu kontrolnego wykazały wyniki na poziomie przekraczającym 20 MPa. W przypadku próbek z 10-procentową zawartością granulatu styropianowego osiągnięto średnie wyniki na poziomie 21,4 MPa, dla próbek z 15-procentową zawartością granulatu styropianowego – na poziomie 19,3 MPa, a dla serii IV – 15,9 MPa. Uśrednione wyniki obrazuje wykres na rysunku 2. Górną linią zaznaczono poziom minimalnej wymaganej projektowanej wytrzymałości na ściskanie dla betonu zwykłego, wynoszący 20 MPa.

Na podstawie wykresu (rys. 2) wyraźnie widać, że w przypadku zastosowania konstrukcyjnego graniczną wartością dodatku granulatu styropianowego jest 10%, przy pozostałych wielkościach dodatku (15 i 20%) granulatu styropianowego widać wyraźny spadek wytrzymałości na ściskanie, a tym samym można sugerować zastosowanie takiego betonu do konstrukcji słabo obciążonych i nienarażonych na czynniki zewnętrzne.

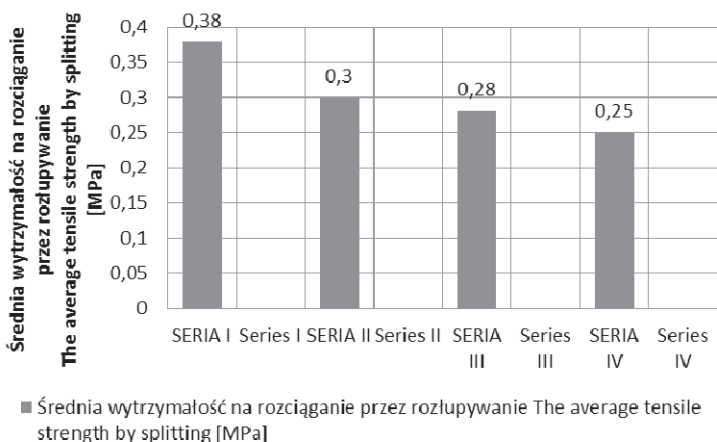


Rys. 2. Wykres średnich wytrzymałości wytrzymałości na ściskanie betonowych próbek po 28 dniach dojrzewania

Fig. 2. Graph medium compressive strength of the concrete samples after 28 days of ripening

Wytrzymałość na rozciąganie

Średnia wytrzymałość na rozciąganie betonowych próbek kontrolnych po upływie 28 dni dojrzewania wyniosła 0,38 MPa. Po dodaniu granulatu styropianowego wytrzymałość wyraźnie zmalała i wyniosła: dla serii II – 0,30 MPa (spadek na poziomie 21%), dla serii III – 0,28 MPa (spadek na poziomie 26%) oraz dla serii IV – 0,25 MPa (spadek na poziomie 34%). Na rysunku 3 przedstawiono wykres średnich wartości wytrzymałości na rozciąganie betonowych próbek. Otrzymane wyniki nie dyskwalifikują otrzymanych styrobetonów z wcześniej wspomnianych możliwości zastosowania.



Rys. 3. Wykres średnich wartości wytrzymałości na rozciąganie przez rozłupywanie betonowych próbek po 28 dniach dojrzewania

Fig. 3. Graph average tensile strength for splitting the concrete samples after 28 days of ripening

Wodoprzepuszczalność

Norma krajowa PN-EN 12390-8 dopuszcza maksymalną głębokość penetracji wody pod ciśnieniem na poziomie 30 mm, aby można było zakwalifikować beton jako wodoszczelny. We wszystkich przebadanych przypadkach zaobserwowano całkowitą penetrację wody pod ciśnieniem, co znaczy, że wszystkie badane próbki nie są wodoszczelne. W czterech przypadkach (dla próbek SERIA II-4, SERIA III-5, SERIA IV-4; 5) zaobserwowano przecieki wody i zaistniała konieczność przerwania badania (rys. 4).



Rys. 4. Przecieki wody podczas badania wodoszczelności

Fig. 4. Leakage of water during the waterproof test

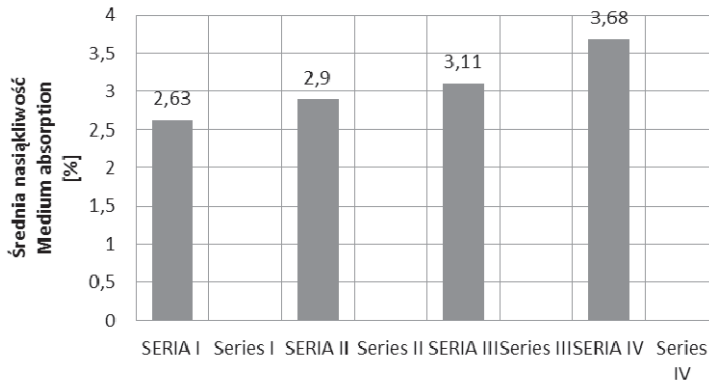
Wszystko wskazuje na to, iż zastosowany granulatu styropianowy wytworzył w betonie porowatą strukturę podatną na penetrację wody. Podczas rozłupywania kostek betonowych zaobserwowano, że ziarna granulatu styropianowego w żaden sposób nie łączą się trwale w kompozycie betonowym z jego składnikami (np. ziarnami kruszywa). Po rozłupaniu ziarna granulatu styropianowego, bez większego wysiłku, odspajały się od betonu.

Nasiąkliwość

Nasiąkliwość betonu zwykłego na poziomie nieprzekraczającym 8% świadczy o poprawnym zaprojektowaniu i wykonaniu betonu. We wszystkich próbkach odnotowano nasiąkliwość poniżej 8%. W przypadku betonu kontrolnego zaobserwowano średnią nasiąkliwość wynoszącą 2,63%. Dodatek styropianowy w wysokości 10% spowodował wzrost średniej nasiąkliwości do 2,90%, co daje pogorszenie na poziomie 10% w stosunku do składu kontrolnego. Dla serii III średnia nasiąkliwość wyniosła 3,11%, a dla serii IV – 3,68%, co daje wzrost o 18%. Wzrost nasiąkliwości w odniesieniu do zawartości granulatu styropianowego przedstawiono na wykresie na rysunku 5.

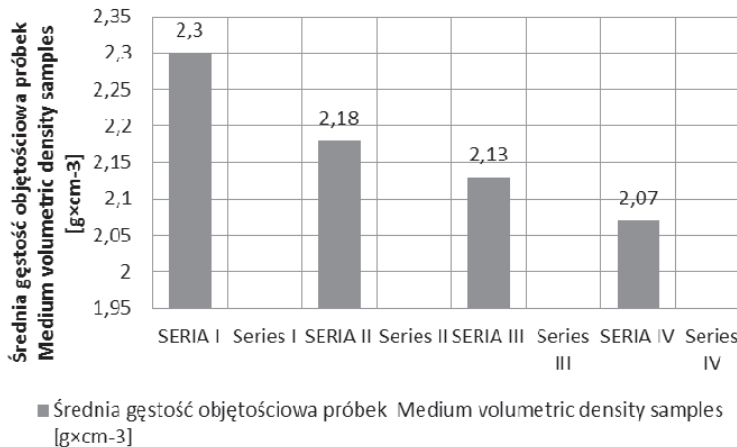
Gęstość objętościowa

Dla wszystkich badanych próbek betonowych zaobserwowano gęstość objętościową odpowiadającą gęstości betonu zwykłego. Dla składu kontrolnego uzyskano średnią gęstość objętościową wynoszącą $2,296 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Natomiast dla pozostałych składów otrzy-



Rys. 5. Wykres średnich wartości nasiąkliwości próbek betonowych
 Fig. 5. The graph of medium water absorption of concrete samples

mano odpowiednio: seria II – $\rho = 2,177 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, seria III – $\rho = 2,129 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ oraz seria IV – $\rho = 2,065 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Spadek gęstości objętościowej wraz ze wzrostem zawartości granulatu styropianowego przestawiono na wykresie na rysunku 6. Dzięki zastosowaniu granulatu styropianowego w składzie mieszanki betonowej masa stwardniałego betonu w badanych próbkach znacząco się zmniejszyła (np. dla serii IV o 10,1%) w porównaniu do próbek kontrolnych, co może wpływać również na przewodzenie ciepła przez styrobeton.



Rys. 6. Średnia gęstość objętościowa próbek betonowych
 Fig. 6. Medium volumetric density of concrete samples

Analizując wartości gęstości objętościowej można w przybliżeniu określić współczynniki przewodzenia ciepła (λ) dla danych betonów na podstawie norm PN-EN 12524 i PN-EN ISO 6946: dla serii I – $\lambda = 1,82 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$, dla serii II – $\lambda = 1,65 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$, dla serii III – $\lambda = 1,50 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$ oraz dla serii IV – $\lambda = 1,35 \text{ W}\cdot(\text{m}\cdot\text{K})^{-1}$. Prognozowane współczynniki przewodzenia ciepła są określone dla warunków średnio wilgotnych.

PODSUMOWANIE

Analiza otrzymanych wyników potwierdza postawioną hipotezę, że dodatek granulatu styropianowego w znacznym stopniu zmniejsza parametry wytrzymałościowe betonu, jednakże wielkość tych zmian nie wpływa na wachlarz możliwości zastosowania w budownictwie. W przypadku słabych wyników związanych z wodoprzepuszczalnością należy zbadać wpływ domieszek poprawiających przyczepność styropianu do betonu.

Wskazane jest, aby w przyszłości rozszerzyć obszar badań o ustalenie rzeczywistego wpływu dodatku granulatu styropianowego na współczynnik przewodzenia ciepła, a także na parametry akustyczne styrobetonu.

WNIOSKI

1. Dodatek granulatu styropianowego pogarsza konsystencję betonu – upłynnia ją, dlatego należy ograniczyć stosowanie domieszek upłynniających.

2. Dodając granulatu styropianowy, należy zredukować ilość wody w mieszance, a odpowiednią zawartość wyznaczyć doświadczalnie.

3. Za optymalną zawartość granulatu styropianowego można przyjąć 20%, gdyż dla takiej wartości zaobserwowano spadek wytrzymałości o 32% w stosunku do składu kontrolnego, lecz średnia wytrzymałość na poziomie 15,9 MPa umożliwia zastosowanie styrobetonu w słabo obciążonych konstrukcjach budowlanych.

4. Żaden z badanych styrobetonów nie wykazywał cech wodoszczelności, co wymaga przeprowadzenia badań mieszanek betonowych z domieszkami poprawiającymi przyczepność granulatu styropianowego do betonu oraz uszczelniającymi.

5. Uzyskana nasiąkliwość w zakresie 2,63–3,68% mieści się w przedziale maksymalnej nasiąkliwości dla betonu zwykłego, nieprzekraczającej 8%, a otrzymane wartości gęstości objętościowej mieszczą się w przedziale wartości gęstości charakterystycznej dla betonu zwykłego.

PIŚMIENNICTWO

PN-88/B-06250 Beton zwykły.

PN-91/B-02020 Ochrona cieplna budynków – wymagania i obliczenia.

PN-EN 206-1 Beton. Część 1. Wymagania, produkcja, właściwości i zgodność.

PN-EN 933-4:2001. Badanie geometrycznych właściwości kruszyw – Część 4: Oznaczenie kształtu ziaren – wskaźnik kształtu.

PN-EN 934-2:2001. Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu – Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie.

PN-EN 12350-2:2009. Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.

PN-EN 12350-3:2009. Badania mieszanki betonowej – Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe.

PN-EN 12390-1 Badanie betonu – Część 1: Kształt, wymiary i inne wymagania dotyczące próbek do badania i form.

PN-EN 12390-3 Badanie betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania.

PN-EN 12390-4 Badanie betonu – Część 4: Wytrzymałość na ściskanie. Wymagania dla maszyn.

PN-EN 12390-6 Badanie betonu – Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań.

PN-EN 12390-8 Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.

PN-EN 12524 „Materiały i wyroby budowlane. Właściwości cieplno-wilgotnościowe.

Ściślewski, Z. (1999). Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości. Polski Cement, Kraków.

EFFECT OF ADDITION OF POLYSTYRENE GRANULES ON SELECTED PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Abstract. The aim of this study is to compare the selected physical and mechanical properties of concrete mix and hardened concrete C16/20, depending on the percentage of polystyrene granules. This work contains presentation of literature which show the characteristics and properties of concrete mix and hardened concrete. In addition, this work presents an analysis of the results of examination of: test the consistency of concrete mix, compressive strength of concrete, tensile strength of concrete, and the depth of penetration of water under pressure and water absorption.

Key words – concrete, concrete mix, polystyrene granules

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 28.09.2015

Cytowanie: Wiśniewski, K., Rutkowska, G., Szczęsny, K. (2015). Wpływ dodatku granulatu styropianowego pochodzącego z recyklingu na wybrane właściwości fizyczne i mechaniczne betonu zwykłego. *Acta Sci. Pol., Architectura*, 14 (3), 67–77.