

Możliwości wykorzystania betonów lekkich na kruszywie odpadowym w kontekście właściwości wytrzymałościowych

Mgr inż. Wojciech Kostrzewski, dr inż. Marta Sybis, dr inż. Jacek Mądrawski,
dr hab. inż. Ireneusz Laks, Instytut Budownictwa i Geoinżynierii, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

1. Wprowadzenie

Nowoczesne materiały budowlane, w tym również betony, powinny charakteryzować się wysoką wytrzymałością mechaniczną, dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi i akustycznymi, a także powinny być przyjazne dla środowiska. Aby sprostać licznym wymaganiom konstrukcyjnym, eksploatacyjnym, ekologicznym czy ekonomicznym, producenci nieustannie modyfikują skład mieszanek betonowych, w celu uzyskania betonu o jak najlepszych parametrach. Aktualne pozostaje jednak pytanie, na ile wprowadzane ulepszenia przekładają się na przykład na realne efekty ekonomiczne.

Zgodnie z najnowszymi tendencjami w technologii betonu szczególnie pożądane są betony lekkie [3], które zgodnie z normą PN-EN 206-1:2003 [4] mają gęstość poniżej 2000 kg/m³, obejmujące klasy wytrzymałości od LC8/9 do LC80/88, z czego klasy od LC50/55 do LC80/88 to klasy lekkiego betonu o wysokiej wytrzymałości. Stosowanie takich betonów, dzięki wykorzystaniu kruszyw lekkich, pozwala wytwarzać elementy konstrukcyjne o mniejszym ciężarze, co redukuje obciążenia stałe przy zwiększonej nośności [2]. Niestety, mniejsza gęstość często prowadzi do obniżenia wytrzymałości materiału na ściskanie i zmienia właściwości izolacyjne materiału.

W pracy przedstawiono porównanie cech wytrzymałościowych betonów wykonanych z kruszyw odpadowych, którymi były żużel oraz pollytag [1]. Przeprowadzono analizę porównawczą, wykorzystując wyniki obliczeń konstrukcji płyty stropowej wykonanej z zaprojektowanego betonu bazującego na wspomnianych kruszywach oraz z betonu zwykle go o podobnej wytrzymałości.

2. Badania

2.1. Materiały i ich właściwości

W procesie badawczym wykorzystano poniższe materiały.

- Cement CEM III A 52,5, pochodzący z cementowni Górażdże Cement S.A. Heidelbergcement Group.

- Pollytag – lekkie kruszywo typu Lytag powstające na drodze granulowania i spiekania popiołu lotnego w temperaturze 1000–1350°C [1]. Kruszywo to charakteryzuje się dużą lekkością, żaroodpornością i wytrzymałością na ściskanie. Podczas badań korzystano z kruszywa wyprodukowanego w przedsiębiorstwie POLLYTAG, Gdańsk Polska. Średnica ziaren mieści się w przedziale 4–8 mm i 8–14 mm, gęstość nasypowa wynosi 770 kg·m⁻³. Nasiąkliwość 10-minutowa wynosi 23,6% natomiast 24h jest równa 27,9%. Kruszywo pokazano na rysunku 1a.

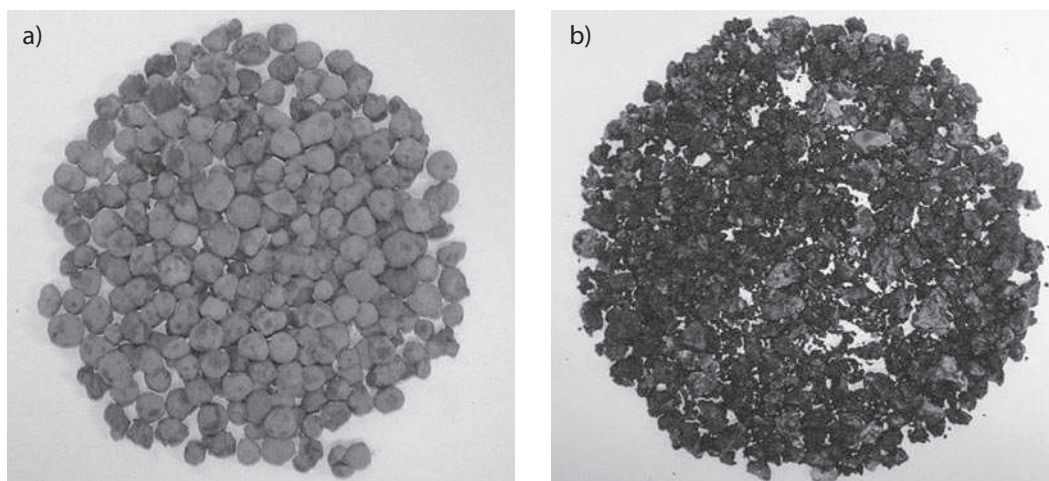
- Żużel paleniskowy – produkt odpadowy ze spalania węgla kamiennego w paleniskach rusztowych. Użyty w badaniach żużel został skruszony w kruszarce szczękowej, aby maksymalny wymiar ziarna nie przekraczał 16 mm. Zastosowany żużel pochodził z elektrociepłowni zlokalizowanej w Poznaniu. Proces spalania realizowany w podanej elektrociepłowni obejmował również proces gaszenia gorących żużli wodą, dlatego kruszywo nie wymagało dodatkowego płukania. Gęstość nasypowa wynosi 885 kg·m⁻³. Nasiąkliwość 10-minutowa wynosi 19,9% natomiast 24 h jest równa 22,4%. Kruszywo pokazano na rysunku 1b.

- Omega-spheres – lekkie kruszywo w postaci pustych w środku ceramicznych mikro-kuleczek, charakteryzujące się dobrymi właściwościami mechanicznymi i termicznymi. Stosowane w pracy kruszywo pochodziło z firmy Omega Minerals z Niemiec. W recepturach zastosowano kruszywo o średnicy ziaren 0,5 mm. Gęstość nasypowa wynosi 800 kg·m⁻³.

- Mikrokrzemionka jest odpadem wychwytywanym w procesie wytopu żelazokrzemu. Wykorzystana w pracy mikrokrzemionka pochodziła z Huty Łaziska na Śląsku. Skład mikrokrzemionki był podobny do składu popiołów lotnych krzemionkowych i podobnie jak popioły wykazywał własności pucolanowe. Średnica ziarenek mikrokrzemionki wynosi około 0,5 μm, natomiast gęstość nasypowa 2180 kg·m⁻³.

- Żużel mielony otrzymano przez zmielenie żużla paleniskowego (opisanego w pracy). Proces realizowano w młynie kulowym aż do uzyskania miąłkości cementu, czyli do powierzchni 3600 cm²/g.

Rys. 1. Zdjęcia wykorzystanych materiałów: a) pollytag, b) żużel paleniskowy



- Domieszki chemiczne – zastosowano wysokowydajny superplastyfikator czwartej generacji wykonany na bazie eterów polikarboksylowych niemieckiej firmy Schomburg oznaczony symbolem SP 10 w celu uzyskania betonów o możliwie wysokiej wytrzymałości.
- Woda – użyto wody wodociągowej z sieci miasta Poznań.

2.2. Mieszanki betonowe

Z przedstawionych składników opracowano receptury mieszanek betonowych, których składy zamieszczono w tabeli 1. Mieszanki z kruszywem pollytag oznaczono symbolem „P”, a z żużlem symbolem „Ż”.

Tabela 1. Skład mieszanek betonowych użytych w badaniach

Skład mieszanki betonowej	P [kg·m ⁻³]	Ż [kg·m ⁻³]
Cement	380	320
Piasek Pollytag (0–2) mm	213	
Pollytag (2–4) mm	67	
Pollytag (4–14) mm	605	
Żużel (0–4) mm		409
Żużel (4–8) mm		607
Omega sferis	85	68
Uplynnacznik	3,8	5,3
Woda	155	258
Mikrokrzemionka	62	60

2.3. Właściwości betonów

Wyniki badań laboratoryjnych dotyczących: określenia gęstości, współczynnika przenikania ciepła oraz wytrzymałości na ściskanie zestawiono w tabeli 2. Właściwości betonów badano w warunkach laboratoryjnych. Badanie gęstości przeprowadzono w oparciu o normę PN-EN 12390-7:2001 „Badania betonu. Część 7 [5]. Gęstość betonu”.

Wytrzymałość mechaniczną na ściskanie wykonano na podstawie normy PN-EN 12390-3:2002 „Badania betonu. Część 3 [4].

Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania”, wykorzystując prasę Walter+Baig typ 107/3000A/J.

Określenie wartości współczynnika przenikania ciepła wykonano, posługując się przystosowanym do tego celu urządzeniem Isomet.

Liczba przygotowanych do badań próbek w postaci kostek sześciennych wynosi po 6 sztuk.

Tabela 2. Zestawienie wyników badań laboratoryjnych

Zakres badań laboratoryjnych	Zestawienie wyników		
	P	Ż	Beton zwykły
Średnia gęstość próbki [kg·m ⁻³]	1400	1700	2200
Odchylenie średnie gęstości	14,16	28,45	
Średnia wartość λ [W/mK]	0,38	0,63	1,3
Odchylenie średnie wartości λ	0,01	0,024	0,027
Średnia wytrzymałość na ściskanie próbek referencyjnych [MPa]	36,4	45,6	30
Odchylenie średnie wytrzymałości na ściskanie	3,21	6,52	7,27

2.4. Obliczenia konstrukcyjne płyty stropowej

Zastosowanie betonów lekkich jako materiału konstrukcyjnego może wiązać się z realnymi oszczędnościami w całym procesie budowlanym, ze względu na możliwość zmniejszenia ciężaru własnego konstrukcji przy zachowaniu wysokiej klasy wytrzymałościowej, jak i na oszczędnościach na stali zbrojeniowej.

Aby sprawdzić, czy faktycznie można to uczynić, zaprojektowano trzy płyty żelbetowe wykonane z trzech różnych betonów:

- z wykorzystaniem kruszywa pollytag (zwanego dalej betonem lekkim P),
- z wykorzystaniem kruszywa żużel (zwanego dalej betonem lekkim Ż),

REWITALIZACJA OBSZARÓW ZURBANIZOWANYCH

- z wykorzystaniem kruszywa naturalnego (zwanego dalej betonem zwykłym). Badany beton charakteryzował się różną gęstością, zatem ciężary własne poszczególnych płyt, wraz ze zbrojeniem, były różne i zostały przedstawione w tabeli 3.

Tabela 3. Wartości charakterystyczne ciężaru własnego płyt

Typ płyty	Wartość charakterystyczna [kN·m ⁻²]
Beton zwykły	4,00
Beton lekki Ż	2,77
Beton lekki P	2,29

Zaprojektowano płyty o wymiarach 5,5 m (kierunek x) na 7,0 m (kierunek y) o grubości 16 cm. Na podstawie badań laboratoryjnych wytrzymałości na ściskanie sześciennych kostek betonowych o bokach równych 15 cm wyznaczono klasę betonu C30/37. Płyty zostały zbrojone prętami ze stali RB 500 W o charakterystycznej granicy plastyczności równej $f_{yk} = 500$ MPa. Zastosowano pręty żebrowane o średnicach 6 mm (wzdłuż dłuższego boku – kierunek y) oraz 8 mm (wzdłuż krótszego boku – kierunek x).

Przyjęto charakterystyczną wartość obciążenia użytkowego wraz z obciążeniem ściankami działowymi równą 3,25 kN·m⁻². Przyjęto schemat płyty jako swobodnie podpartej na wszystkich krawędziach. Momenty zginające obliczono, korzystając z tablic Baresia. Zbrojenie zaprojektowano zgodnie z PN-EN 1992-1-1 [6].

Po wyznaczeniu pola przekroju zbrojenia dobrano pręty, wykonano rysunki konstrukcyjne oraz zestawienie stali zbrojeniowej dla poszczególnych płyt. Całkowite masy zaprojektowanego zbrojenia przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Całkowita masa zbrojenia poszczególnych płyt

Typ płyty	Całkowita masa zbrojenia [kg]
Beton zwykły	291,69
Beton lekki Ż	247,69
Beton lekki P	235,84

Analizując wyniki przedstawione w tabeli 4, można stwierdzić, że stosując beton na bazie kruszywa pollytag, możliwe jest zaoszczędzenie prawie 25% stali zbrojeniowej. Zastosowanie lekkiego betonu pollytag wiąże się również

ze znacznie mniejszą masą całego stropu (ponad 40%), co będzie wpływać na dalsze oszczędności w procesie budowlanym (tabela 5).

Tabela 5. Masa całkowita płyt i zysk procentowy

Typ płyty	Masa płyty ze zbrojeniem [kg]	Redukcja masy płyty w stosunku do płyty referencyjnej [%]
Beton zwykły	15,090	-
Beton lekki Ż	10,300	31,7
Beton lekki P	8,840	41,4

3. Podsumowanie

Zastosowanie betonu lekkiego jako materiału konstrukcyjnego przyczynia się przede wszystkim do zmniejszenia ciężaru własnego elementu budynku. W omawianym przykładzie płyty stropowej ciężar zmniejszył się o ponad 40%, w stosunku do płyty wykonanej z betonu zwykłego. Skutkuje to zmniejszeniem wartości obciążeń stałych działających na całą konstrukcję.

Zaprojektowane, bazując na kruszywie odpadowym, betony lekkie pozwalają na oszczędności dotyczące między innymi redukcji zbrojenia (nawet o 25%) oraz zmniejszenie wysokości przekroju konstrukcji płyty, a tym samym ciężaru takich elementów. Warto podkreślić również istotne zmniejszenie współczynnika przewodności cieplnej λ , zwłaszcza dla betonu bazującego na pollytag, którego wartość jest około trzykrotnie mniejsza niż dla betonu zwykłego.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Ahmad S., Sallam Y. S., Al-Hashmi I. A., Optimising dosage of Lytag used as coarse aggregate in lightweight aggregate concretes" Journal of South African Institution of Civil Engineering, tom 55, Midrand 1/2013
- [2] Chandra S., Berntsson L., Lightweight Aggregate Concrete, Science, Technology, and Applications" Noyes Publications, William Andrew Publishing, Norwich, New York, USA, 2003
- [3] Kostrzewski W., Mądravski J., Smoczkiwicz-Wojciechowska A., Thermal and mechanical properties of lightweight concretes based on waste aggregates, Indian journal of engineering & materials sciences (IJEMS) JEMS 25/2018, str. 191–198
- [4] PN-EN 12390-3:2002 Badania betonu. Część 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek do badania
- [5] PN-EN 12390-7:2001 Badania betonu. Część 7. Gęstość betonu
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu



III KONFERENCJA DROGOWO-MOSTOWA
WARUNKI GRUNTOWE
A PROJEKTOWANIE ORAZ BUDOWA DRÓG I MOSTÓW

1-3 października 2019 r.
 Katowice

Więcej informacji: www.konferencjadrogowo-mostowa.elamed.pl