

Właściwości kruszyw lekkich do zastosowania w budownictwie

Properties of lightweight aggregates for use in construction

KEVIN BUJNAROWSKI, ROBERT GRYGO

DOI 10.36119/15.2022.7-8.10

W artykule przedstawiono właściwości istniejących kruszyw lekkich oraz kruszywa lekkiego z odpadów tworzywa sztucznego. Zestawiono właściwości kruszyw tj. Certyd, Gransil, Perlit, Keramzyt, Penostek i kruszywa z odpadów tworzyw sztucznych. Porównano gęstość nasypową, nasiąkliwość, wytrzymałość na miażdżenie i współczynnik przewodzenia ciepła. Zaprezentowano również główne materiały do produkcji kruszyw lekkich. W celu dokładniejszej analizy zestawiono również właściwości betonów wykonanych na istniejących kruszywach lekkich tj. gęstość i wytrzymałość na ściskanie. Właściwości kruszyw i betonów lekkich otrzymano zgodnie z obowiązującymi normami. Analiza wykazała, że do zastosowań konstrukcyjnych (konstrukcji lekkich) możliwe jest wykorzystanie betonu na bazie kruszywa popiołoporytowego z uwagi na wysoką wytrzymałość i niską gęstość. Natomiast na warstwy izolacyjne najlepiej nadają się betony wykonane z kruszywa Perlit i Penostek. Ponadto wiele zalet wykazuje kruszywo z odpadów z tworzywa sztucznego, zarówno pod względem właściwości, jak również aspektów środowiskowych. *Słowa kluczowe: kruszywa sztuczne, kruszywo z odpadów PET, recykling, lekki beton, zagospodarowanie odpadów*

The article presents the properties of the existing lightweight aggregates and lightweight aggregate made of plastic waste. The properties of aggregates, ie Certyd, Gransil, Perlite, Keramzite, Penostek and aggregates made of plastic waste, were summarized. The bulk density, water absorption, crushing strength and thermal conductivity were compared. The main materials for the production of lightweight aggregates were also presented. For a more detailed analysis, the properties of concretes made on the existing lightweight aggregates, i.e. density and compressive strength, were also compiled. Properties of aggregates and lightweight concretes were obtained in accordance with the applicable standards. The analysis showed that for structural applications (light structures) it is possible to use concrete based on ash-pore aggregate due to its high strength and low density. On the other hand, concrete made of Perlit and Penostek aggregates are best suited for insulating layers. In addition, the waste plastic aggregate has many advantages, both in terms of properties as well as environmental aspects.

Keywords: artificial aggregates; PET aggregate; recycling; lightweight concrete; waste management

Wprowadzenie

Lekki beton kruszywowy składa się z lekkiego kruszywa grubego i drobnego (lub piasku), cementu i wody. W zależności od rodzaju kruszyw lekkich, beton można podzielić na zwarty beton lekki (kruszywo grube i drobne zaliczają się do lekkich) i lekki beton piaskowy, gdzie całość lub część kruszywa drobnego stanowi piasek. Kruszywa lekkie stosowane w tego rodzaju betonach mają zwykle dużą porowatość, niską gęstość pozorną, znaczną nasiąkliwość i niską wytrzymałość. Kruszywa lekkie można podzielić na trzy typy ze względu na ich źródła pochodzenia [3]:

a) Lekkie kruszywo z odpadów przemysłowych – które jest wytwarzane

Tabela 1. Lekkie kruszywa do betonów (opracowanie własne)

Table 1. Light aggregates for concrete (author's work)

NATURALNE	SZTUCZNE		ODPADOWE
	Z SUROWCÓW MINERALNYCH	Z ODPADÓW PRZEMYSŁOWYCH	
pumeks			żużel elektrowniany
skoria	spiekane gliny, łyłki pęczniejące	spiekany popiół lotny	żużel paleniskowy
tuf wulkaniczny	spiekane gliny, łyłki niepęczniejące	spiekany tupek przywęglowy	przekruszony samoistnie przepalony tupek przywęglowy
popiół lawowy	perlit ekspandowany	granulowany żużel wielkopiecowy	
węglanoporyt	vermikulit ekspandowany	pumeks hutniczy	
krzemoporyt		utwardzony popiół lotny	
		szkło ekspandowane	

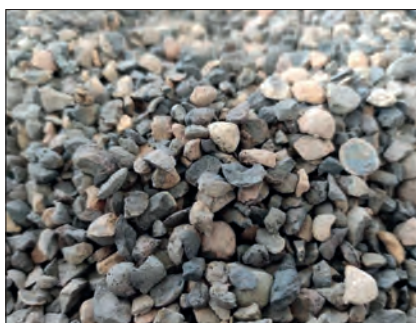
z odpadów przemysłowych, takich jak: popiół lekki, żużel wielkopiecowy itp.
b) Sztuczne kruszywo lekkie – które jest wytwarzane z lokalnych materiałów, takich jak: glina, ekspandowany perlit itp.

c) Kruszywo naturalne – które powstaje w procesach naturalnych, bez ingerencji człowieka, takich jak: pumeks, żużel wulkaniczny itp.
Kruszywa zaliczane są do lekkich kruszyw, gdy frakcja gruba powyżej 5 mm

mgr inż. Kevin Bujnarowski <https://orcid.org/0000-0002-6471-8180>, dr inż. Robert Grygo <https://orcid.org/0000-0002-2522-4313> – Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku. Correspondence address/Adres do korespondencji: e-mail: kevin.bujnarowski@gmail.com

posiada gęstość nasypową mniejszą niż 1000 kg/m^3 i frakcja drobna poniżej 5 mm, której gęstość nie przekracza 1200 kg/m^3 . Lekkie betony kruszywowe charakteryzują się niską gęstością oraz modulem sprężystości, w efekcie posiadają podwyższone właściwości asejsmiczne. Ponadto cechują się przewodnością cieplną na niskim poziomie w zestawieniu z tradycyjnym betonem [3].

Betony lekkie wykorzystuje się w budownictwie zarówno przemysłowym jak i mieszkalnym, jako warstwy izolacyjne, izolacji konstrukcyjnej oraz konstrukcji



Rys. 1. Kruszywo lekkie Certyd (opracowanie własne)
Fig. 1. *Certyd lightweight aggregate (author's work)*



Rys. 2. Kruszywo lekkie Gransil [9]
Fig. 2. *Gransil lightweight aggregate [9]*

Tabela 2. Zastosowanie lekkiego betonu kruszywowego (opracowanie własne)
Table 2. The use of lightweight aggregate concrete (author's work)

Nazwa	Zakres klasy wytrzymałości	Zakres stopnia gęstości [kg/m^3]	Cel
Warstwa izolacyjna z betonu lekkiego	CL 5.0	800	Warstwy izolacyjne konstrukcji
Lekki beton kruszywowy z izolacją strukturalną	CL 5.0 – CL 15	800 – 1400	Konstrukcje nośne i warstwy izolacyjne
Lekki beton konstrukcyjny	CL 15 – CL 50	1400 – 1900	Prefabrykaty lub konstrukcje nośne

nośnej. Szczególne powodzenie znajdują one przy modernizacji budynków zabytkowych, nadbudowy budynków o niskiej wytrzymałości oraz do ciepłych posadzek.

Aktualnie do kruszyw lekkich stosuje się normę PN-EN 13055-1, która wprowadza podział na cztery podstawowe rodzaje kruszyw lekkich do betonów: naturalne, sztuczne, odpadowe i z recyklingu. Podział ten obejmuje kruszywa obecnie stosowane do betonów. Jednakże, z uwagi na brak przyporządkowania poszczególnych asortymentów kruszyw lekkich, podział ten może wydawać się mniej jednoznaczny niż w PN-B-23006 [11]. Wątpliwości budzi z pewnością rozróżnienie pomiędzy kruszywami sztucznymi, odpadowymi i z recyklingu. Według nieaktualnej już normy kruszywowej [11], wszystkie trzy grupy objęte były terminem kruszyw sztucznych. W tabeli 1 przedstawiono schemat klasyfikacji kruszyw lekkich w oparciu o podstawowy podział wprowadzony w [16, 2].

Materiały

Certyd

Lekkie, wysokowytrzymałe kruszywo Certyd produkowane przez spółkę LSA wg innowacyjnej technologii. Wytwarzane jest w procesie wysokotemperaturowego spiekania ($1000\text{-}1200^\circ\text{C}$) odpowiednio przygotowanych surowców, następnie rozfrakcjonowania i ewentualnego przekruszenia. Głównym składnikiem wykorzystywanym do produkcji kruszywa lekkiego Certyd jest popiół lotny, powstały w wyniku spalania węgla kamiennego w kotłach miałowych Elektrociepłowni Białystok [5].

Zalecane zastosowania kruszywa Certyd [5]:

- lekkie betony konstrukcyjne;
- produkcja małogabarytowych prefabrykatów betonowych, takich jak: pustaki wentylacyjne, kominowe, ściennne, pustaki alfa, pustaki i stropy teriva, pustaki szalunkowe, gazony i palisady, bloczki fundamentowe, nadproża;
- ekrany i inne prefabrykowane osłony akustyczne;
- składnik zapraw ciepłochronnych;
- izolacje na gruncie i stropach;
- w posadzkach przemysłowych, w zamian za warstwy konstrukcyjne łączące z ociepleniem;
- w geotechnice (zmniejszenie osiadania budynków, zmniejszenie parcia poziomego i ociążenia konstrukcji, stabilizacja fundamentów, wymiana podłoża).

Gransil

Sztuczne kruszywa lekkie powstają w procesach termicznych surowców naturalnych i materiałów odpadowych. Takim przykładem jest produkcja Gransilu, kruszywa lekkiego wg koncepcji opracowanej w Instytucie Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego. Gransil wytwarzany jest w wyniku obróbki termicznej mieszaniny wykonanej z osadów ściekowych, pyłów krzemionkowych oraz topnika.

Rys. 4. Różne postaci Perlitu [7]
Fig. 4. *Different forms of Perlite [7]*



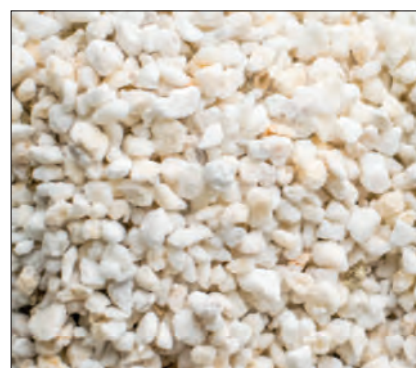
Zachodzące reakcje powodują stąpienie krzemionki i topnika oraz utworzenie struktury stabilnej w środowisku [6].

Perlit

Perlit jest minerałem, który stanowi przeobrażona skała magmowa, utworzona w dawnych epokach geologicznych. W momencie jego powstawania, podczas fizycznych procesów kształtowania, nastąpiło zamykanie wody wewnątrz wietrzącej skały. Jej zawartość wynosi 2-5% objętości i decyduje o specyficznych właściwościach tego minerału. W wyniku prażenia w temperaturze $850\text{--}1150^\circ\text{C}$ posiada zdolność do nawet piętnastokrotnego powiększania objętości [10].

Keramzyt

Kruszywo keramzytowe produkowane jest w miejscowości Gniewno, gdzie



Rys. 3. Kruszywo lekkie Perlit ekspandowany (opracowanie własne)
Fig. 3. *Light aggregate Expanded perlite (author's work)*

zlokalizowane są złoża specjalnych, pęczniających glin i itów. Po rozdrobnieniu wypieka się je w obrotowych piecach przy temperaturze około 1200°C. Pod wpływem znacznej temperatury glina pęcznieje. Tworzą się z niej owalne grudki o porowatej strukturze wewnętrznej, pokryte warstwą ceramiczną. Keramzyt nie traci swoich właściwości wraz z upływem czasu, dlatego można go stosować wielokrotnie. Lekkie kruszywo keramzytowe pozwala wybudować wnętrze suche, ciepłe i zdrowe, również dla alergików [8].



Rys. 5. Kruszywo lekkie Leca Keramzyt (opracowanie własne)
Fig. 5. Leca Keramzyt lightweight aggregate (author's work)

Penostek

Penostek jest lekkim materiałem nieorganicznym, o znacznej ilości zamkniętych porów (porowatość na poziomie 90%), dzięki temu charakteryzuje się stosunkowo niską nasiąkliwością, do 10%. Powstaje z szklanej słuczki wymieszanej ze środkiem spieniającym. W dalszej obróbce otrzymuje się szklane granulki, które poddaje się ogrzewaniu. Składa się z fazy stałej szklistej i gazowej [1].

Kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego

Do produkcji kruszywa z tworzyw sztucznych wykorzystano wyłaczarkę jednościłimkową o średnicy ślimaka wynoszą-



Rys. 6. Kruszywo lekkie z szkła piankowego Penostek (opracowanie własne)
Fig. 6. Light aggregate made of Penostek foam glass (author's work)

cej 25 mm, posiadającej cztery strefy grzejne i zasyp grawitacyjny. W pierwszym etapie produkcji paski folii poddano kurczeniu pod wpływem podwyższonej temperatury, aby uzyskać wstępnie zagęszczony surowiec. Następnie wykorzystano młyn do tworzywa sztucznego, co pozwoliło na otrzymanie drobnej frakcji około 5 mm. Suszenie tworzywa sztucznego odbywało się w temperaturze 120°C przez 4 godziny. Ostatnim etapem było przetopienie odpadów z tworzywa sztucznego do uzyskania kruszywa lekkiego o frakcji 16 mm [4].



Rys. 7. Kruszywo lekkie wyprodukowane z odpadów tworzywa sztucznego [4]
Fig. 7. Light aggregate produced from plastic waste [4]

Procedury badawcze

Badania gęstości nasypowej wykonano zgodnie z normą PN-EN 1097-3:2000. Nasiąkliwość oraz gęstość ziarn na podstawie normy PN-EN 1097-6:2013-11. Badania wytrzymałości na miążdżenie kruszywa z odpadów tworzyw sztucznych wykonano zgodnie z normą PN-EN 13055:2016-07.

Gęstość nasypowa

Aparatura wykorzystana do badań gęstości nasypowej kruszywa spełnia ogólne wymagania normy PN-EN 932-5:2012.

Przed przystąpieniem do badania, próbki kruszywa zostały wysuszone w temperaturze 110±5°C do stałej masy. Wazeni poddano pusty cylindryczny pojemnik, po czym napełniono kruszywem, aż do przesypania. Następnie usunięto nadmiar kruszywa z górnej powierzchni pojemnika. Ostatnim etapem było zważenie napełnionego pojemnika z dokładnością do 0.1%. Oznaczenie wykonano dla trzech próbek kruszywa (PN-EN 1097-3:2000, PN-EN 932-5:2012) [12,13].

Według PN-EN 1097-3:2000 gęstość nasypową kruszywa ρ_b w stanie luźnym oblicza się ze wzoru:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (1)$$

w którym:

- ρ_b – gęstość nasypowa w stanie luźnym, Mg/m³,
- m_2 – masa pojemnika i próbki do badania, kg,
- m_1 – masa pustego pojemnika, kg,
- V – pojemność pojemnika, l.

Gęstość ziarn i nasiąkliwość

Badania nasiąkliwości oraz gęstości ziarn przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 1097-6:2013-11.

Badania gęstości ziarn i nasiąkliwości przeprowadzono dla kruszywa o wielkości ziarn 16 mm. Przed przystąpieniem do badania próbka została wysuszona w suszarce laboratoryjnej w temperaturze 1105°C do stałej masy. Następnie piknometr wraz z lejkiem oraz pierwszą próbką poddano wazeniu. Kolejnym krokiem było napełnienie piknometrów razem z próbką wodą oraz zważenie całości po uprzednim usunięciu pęcherzyków powietrza oraz dolaniu wody do odpowiedniego poziomu. Czynność powtórzono po 24 h. Końcowym etapem było przeniesienie kruszywa na nasiąkliwą ściereczkę i usunięciu wody z powierzchni kruszywa, a następnie zważenie badanej próbki PN-EN 1097-6:2013-11 [14].

Według PN-EN 1097-6:2013-11 gęstość ziarn ρ_a i nasiąkliwość W_F oblicza się w następujący sposób:

$$\rho_{rd} = \rho_w \cdot \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (2)$$

gdzie:

- ρ_{rd} – gęstość właściwa kruszywa, Mg/m³,
- ρ_w – gęstość wody w temperaturze 22°C, Mg/m³,
- M_1 – masa nasyconego i powierzchniowo osuszonego w powietrzu kruszywa, g,
- M_2 – masa piknometrów z próbką nasyconego kruszywa,,
- M_3 – masa piknometrów wypełnionych tylko wodą, g,
- M_4 – masa wysuszonej w suszarce próbki analitycznej, g.

$$W_F = \frac{M_w - (m_2 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

- W_F – nasiąkliwość lekkiego kruszywa, %,
- m_1 – masa piknometrów, lejka i siatki, g,
- m_2 – masa piknometrów, lejka suchej próbki do badania oraz siatki,,
- M_w – masa powierzchniowo suchego kruszywa w końcowej fazie pomiaru, g.

Wytrzymałość na miążdżenie

Badania wytrzymałości na miążdżenie kruszywa z odpadów tworzyw sztucznych

wykonano zgodnie z normą PN-EN 13055:2016.

Przygotowaną próbkę kruszywa lekkiego umieszczono w stalowym cylindrze i zagęszczono wibracyjnie. Następnie na górnej powierzchni kruszywa ułożono tłok. Ustalono wysokość zagłębienia tłoka na 20 mm, po czym umieszczono zestaw badawczy w prasie hydraulicznej. Zwiększono siłę działającą na tłok tak, by zagłębienie się 20 mm w czasie około 100 s [16].

Odporność na miażdżenie obliczono ze wzoru [16]:

$$C_a = \frac{L+F}{A} \quad (4)$$

gdzie:

- C_a – odporność kruszywa na miażdżenie, oznaczona zgodnie z metodą I, N/mm²,
- L – siła wywierana przez tłok, N,
- F – siła potrzebna do zagłębienia tłoka, N,
- A – powierzchnia tłoka, mm².

Wytrzymałość betonu na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych wykonano na podstawie normy PN-EN 12390-3 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.

Badania wytrzymałości betonu na ściskanie przeprowadzono na próbkach sześciennych o boku 100 mm. Przed umiejscowieniem próbki w maszynie, próbka została oczyszczona i wytarta z nadmiaru wilgoci. Wyczyszczeniu została poddana również maszyna wytrzymałościowa, aby żadne zanieczyszczenia nie miały wpływu na działanie płyt dociskowych. Próbkę umieszczono centralnie w maszynie tak, aby obciążenie działało prostopadle do kierunku jej formowania [15].

Przed badaniem należy wyznaczyć stałą prędkość obciążania z zakresu 0,2-0,6 MPa/s. Początkowe obciążenie nie może przekraczać około 30% niszczonego obciążenia – po jego wybraniu należy obciążyć próbkę bez wstrząsów, a w kolejnych etapach w ciągły sposób zwiększać siłę z stałą prędkością ±10%, aż do czasu, w którym próbka nie będzie w stanie przetrzeć większego obciążenia [15].

Według PN-EN 12390-3 wytrzymałość próbek sześciennych na ściskanie f_c oblicza się ze wzoru (5):

$$f_c = \frac{F}{A_c} \cdot \eta \quad (5)$$

gdzie:

- f_c – wytrzymałość na ściskanie, w MPa (N/mm²),
- F – maksymalna siła przy zniszczeniu, w N,

- A_c – pole przekroju poprzecznego próbki, na które działa siła ściskająca, obliczone na podstawie deklarowanego wymiaru próbki lub na podstawie jej pomiarów, w mm²,
- η – współczynnik zależny od wymiarów użytych form; dla form sześciennych o boku 100 mm – $\eta = 0,9$.

Wyniki badań

Z obecnych na rynku kruszyw lekkich do porównania wykorzystano Certyd – kruszywo popiołoporytowe, Gransil – wykonane z odpadów komunalnych i przemysłowych, Perlit – sztuczne kruszywo lekkie z rudy perlitu, Keramzyt – wyprodukowane z gliny pęczniwej, Penostek – z odpadów szkła i kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego.

Porównując właściwości kruszyw lekkich należy zwrócić uwagę na gęstość

nasywową, która dla Perlitu i Penostek wynosi kolejno 100 i 150 kg/m³. W efekcie kruszywa te posiadają bardzo niski współczynnik przewodzenia ciepła. Ponadto godne zainteresowania jest kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego, które pomimo wyższej gęstości nasypowej na poziomie 650 kg/m³, posiada współczynnik przewodzenia ciepła na poziomie 0,073 W/mK. Podczas analizy wyników należy zwrócić uwagę również na Keramzyt i jego nasiąkliwość, którą producent deklaruje na poziomie poniżej 35%, jednak badania własne wykazały, że osiąga on wartość nawet 50%.

W tabeli 4 przedstawiono właściwości betonów wykonanych na kruszywach lekkich oraz zawartość cementu. Współczynnik W/C przedstawionych betonów lekkich mieści się w zakresie 0,45-0,60.

Analizując wyniki wytrzymałości na ściskanie betonów lekkich, bez wątplenia najwyższą wartość osiąga beton wykonany na

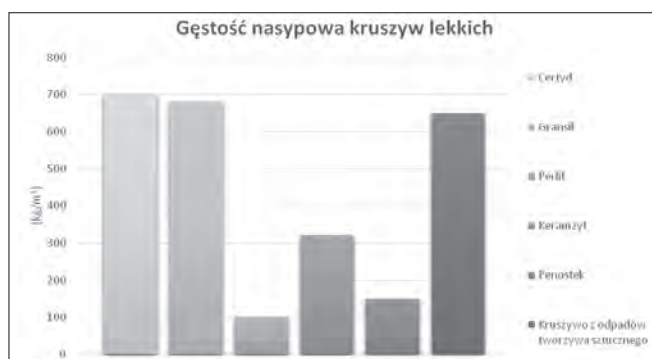
Tabela 3. Wyniki badań właściwości fizycznych kruszyw lekkich
Table 3. Test results for the physical properties of lightweight aggregates

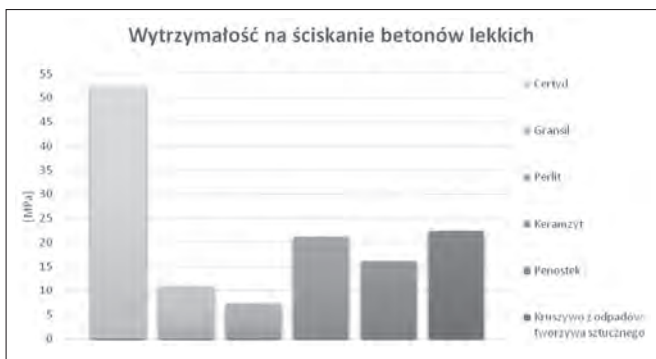
Nazwa badania	Jednostka	Certyd	Gransil	Perlit	Keramzyt	Penostek	Kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego
Gęstość nasykowa	[g/m ³]	700	680	100	320	150	650
Nasiąkliwość	[%]	16	22	3-80	< 35	< 10	< 6
Wytrzymałość na miażdżenie	[MPa]	8	6	0,3	0,75	1 – 2,5	> 4
Współczynnik przewodzenia ciepła	[W/mK]	0,16	0,18	0,05	0,13	0,063	0,073
Główne surowce do produkcji		popioły lotne	odpady komunalne i przemysłowe	ruda perlitu	gлина pęczniwej	szkło odpadowe	poprodukcyjne i odpadowe tworzywa sztuczne

Tabela 4. Właściwości betonów na kruszywach lekkich
Table 4. Properties of concrete on lightweight aggregates

Nazwa badania	Zawartość cementu	W/C	Gęstość	Wytrzymałość na ściskanie
Jednostka	[kg/m ³]		[kg/m ³]	[MPa]
Certyd	400	0,45	1636	52,3
Gransil	300	0,45	1400	10,9
Perlit	584	0,50	850	7,4
Keramzyt	557	0,50	1050	21,2
Penostek	506	0,50	880	16,1
Kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego	350	0,60	1630	22,3

Rys. 8. Porównanie gęstości nasypowej wybranych kruszyw lekkich
Fig. 8. Comparison of the bulk density of selected lightweight aggregates





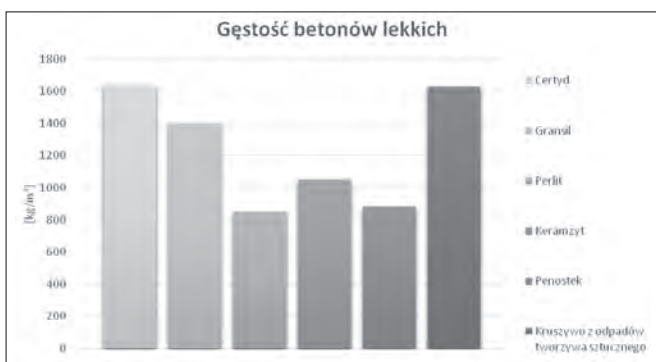
Rys. 9. Porównanie wytrzymałości na ściskanie betonów wykonanych na kruszywach lekkich
Fig. 9. Comparison of the compressive strength of concrete made on lightweight aggregates

kruszywie popiołoporytowym tj. Certyd. Natomiast najniższy wynik uzyskał beton na lekkim kruszywie z rudy perlitu. Kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego osiągnęło wynik 22,3 MPa, który jest wyższy od wytrzymałości na ściskanie betonu na kruszywie z gliny pęczniejącej, pomimo znacznie niższej zawartości cementu oraz wyższego współczynnika W/C.

Porównując gęstości betonów lekkich, bez wątplenia najniższą wartość uzyskały próbki bazujące na kruszywie Perlit i Penostek. Jednakże porównując z wytrzymałością na ściskanie należy zaznaczyć, że betony te mogą znaleźć zastosowanie tylko w warstwach izolacyjnych. Natomiast do zastosowań jako konstrukcje

Porównując właściwości kruszyw lekkich pod względem gęstości nasypowej i izolacyjności najlepsze wyniki wykazują kruszywo Perlit i Penostek. Gęstość nasypowa jest na poziomie 100 i 150 kg/m³, natomiast współczynnik przewodzenia ciepła to 0,05 i 0,063 W/mK. Jednakże beton wykonany na bazie tych kruszyw lekkich wykazuje niską wytrzymałość co sprawia, że wykorzystuje się je do warstw izolacyjnych.

Do zastosowań konstrukcyjnych możliwe jest wykorzystanie betonu lekkiego na bazie kruszywa popiołoporytowego. Kruszywo Certyd posiada niską gęstość nasypową w porównaniu do kruszyw naturalnych, a beton lekki, w składzie którego



Rys. 10. Porównanie gęstości betonów wykonanych na wybranych kruszywach lekkich
Fig. 10. Comparison of the density of concrete made on selected lightweight aggregates

nośne powinno się wykorzystywać beton na bazie kruszywa popiołoporytowego Certyd. Obiecujące wyniki wykazuje również kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego, które w dalszym ciągu poddawane jest badaniom i udoskonaleniom.

Podsumowanie

Lekkie kruszywa sztuczne bez wątplenia stanowią przyszłość dla konstrukcji budowlanych. Starzejące się budynki i coraz gęstsza zabudowa miast sprawiają, że modernizuje się istniejącą zabudowę. W momencie modernizacji, takich jak np. nadbudowa istniejących budynków, optymalnie zaprojektowana konstrukcja wymaga wzmocnień lub stosowania lekkich materiałów w celu obniżenia obciążeń.

znajduje się kruszywo popiołoporytowe posiada znacznie wyższą wytrzymałość na ściskanie w porównaniu do innych istniejących kruszyw lekkich, nawet o 600%.

Podczas analizy kruszyw lekkich należy zwrócić uwagę na kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego, które posiada gęstość nasypową porównywalną do Certydu, natomiast współczynnik przewodzenia ciepła ma znacznie niższy, wynoszący 0,073 W/mK. Beton wykonany z kruszywa z odpadów tworzywa sztucznego charakteryzuje się wyższą wytrzymałością od betonu na bazie Keramzytu, przy niższej zawartości cementu i wyższym współczynniku W/C. Prace nad kruszywem z materiałów poprodukcyjnych i odpadów tworzywa sztucznego są w dalszym ciągu prowadzone.

Pod względem środowiskowym najlepiej wypada kruszywo z odpadów tworzywa sztucznego. Znacznie niższa temperatura przetwarzania odpadów w kruszywo (wynosząca w granicy 270°C) w zestawieniu z innymi kruszywami, których temperatura przetwórcza wynosi powyżej 1000°C sprawia, że podczas produkcji wydziela się znacznie mniej CO₂. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na aspekty zagospodarowania odpadów z tworzywa sztucznego, które stanowią ogromny problem na całym świecie, ze względu na znaczną ilość tych odpadów, a także ich objętość na wysypiskach.

LITERATURA:

- [1] Ciak N, Ciak M. J. (2018). Odporność lekkiego betonu na bazie wermikulitu na działanie wysokich temperatur. Dni betonu, 559-569.
- [2] Domagała L. (2014). Konstrukcyjne lekkie betony kruszywowe. Politechnika Krakowska, 16-33.
- [3] Edited by Haimei Zhang. (2011). Building Materials in Civil Engineering, Woodhead Publishing 81-149.
- [4] Grygo Robert, Prusiel Jolanta Anna, Bujnowski Kevin. (2021). Use of ecological lightweight aggregates in reinforced concrete structures. Economics and Environment, 4, 112-132
- [5] Łuczaj K., Urbańska P. (2015). Certyd – nowe, lekkie, wysokowytrzymałe kruszywo spekane. Materiały budowlane, tom 12, 42 – 45.
- [6] Majewski L., Stankiewicz J., Cerba P. (2018). Kruszywa mineralne tom 2. Politechnika Wroclawska, Wrocław, 109-116.
- [7] <https://www.izolacje.com.pl/artukul/sciany-stropy/184233,wlasciwosci-i-zastosowanie-perlitu,14.04.2022>
- [8] <https://leca.pl/>, 14.04.2022
- [9] <http://nii.com.pl/gransil/>, 14.04.2022
- [10] <http://www.perlit-polska.pl/czym-jest-perlit/>, 14.04.2022
- [11] PN-B-23006 Kruszywa do betonu lekkiego.
- [12] PN-EN 932-5:2012 Badania podstawowych właściwości kruszyw. Część 5: Wyposażenie podstawowe i wzorcowanie
- [13] PN-EN 1097-3:2000 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczenie gęstości ziarn i nasiąkliwości
- [14] PN-EN 1097-6:2013-11 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczenie gęstości ziarn i nasiąkliwości
- [15] PN-EN 12390-3 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- [16] PN-EN 13055-1 Kruszywa lekkie. Część 1: Kruszywa lekkie do betonu, zaprawy i rzadkiej zaprawy