

Odpadowa masa formierska jako substytut kruszywa w procesie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego

Waste moulding sand as a substitute aggregate in the manufacture of autoclaved cellular concrete

Michał Angrecki¹, Irena Izdebska-Szanda¹, Aleksander Palma¹

¹ Instytut Odlewnictwa, Zakład Technologii, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Kraków

¹ Foundry Research Institute, Department of Technology, ul. Zakopiańska 73, 30-418 Krakow, Poland

E-mail: michal.angrecki@iod.krakow.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących możliwości wykorzystania odpadowych mas formierskich ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi do wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego. Duża zawartość krzemionki w zużytych masach formierskich i rdzeniowych jest czynnikiem przemawiającym za przyjęciem takiego rozwiązania technologicznego. Koncepcja pracy obejmowała wykonanie serii mieszanek betonowych, zawierających w swoim składzie odpadową masę formierską, która była wprowadzana do podstawowej mieszaniny surowcowej na zasadzie stopniowej substytucji piasku kwarcowego. Ocenę możliwości utylizacji odpadowych mas odlewniczych przeprowadzono na podstawie analizy porównawczej, obejmującej podstawowe właściwości technologiczne dwóch rodzajów materiałów, betonu komórkowego podstawowego, który zawierał w składzie tylko piasek kwarcowy „świeży” oraz betonu komórkowego eksperymentalnego, w którym piasek kwarcowy świeży zastępowano użytą masą formierską.

Słowa kluczowe: zużyte masy odlewnicze, utylizacja mas formierskich, beton komórkowy, spoiwa krzemianowe i geopolimerowe

Abstract

The article presents the results of research on the possibilities of utilizing waste moulding sands with silicate and geopolymer binders in the production of autoclaved cellular concrete. The high content of silica in the waste moulding and core sands is a factor in favour of this technological solution. The general idea of the study was to make a series of concrete mixes, which would contain in their composition waste moulding sands, which was then introduced to the basic raw material mixture on the principle of gradually increasing the substitute of fresh silica sand. The possibility of utilization of the waste moulding sand was evaluated based on the results of comparative analysis, covering the main technological properties of the two types of materials, i.e. the base cellular concrete composed of “fresh” silica sand only, and experimental cellular concrete, where fresh silica sand was replaced in different proportions with waste moulding sand.

Keywords: waste moulding sands, utilization of moulding sands, cellular concrete, silicate and geopolymer binders

1. Wstęp

Masa formierska wiązana chemicznie po zastosowaniu w procesie technologicznym ulega zużyciu i w większości przypadków przeznaczona jest do wywozu na składowisko. Jednak taki sposób gospodarowania użytymi masami formierskimi stanowi poważny problem ekologiczny. Masy te stanowią bowiem zagrożenie dla wód gruntowych (zanieczyszczenie substancjami

1. Introduction

Once used in the technological process of making castings, chemically bonded moulding sands become waste material and in most cases are disposed to the landfill. However, this method of waste moulding sand management is a great environmental problem. Waste moulding sands constitute a serious threat to groundwater, which becomes contaminated with substances

wymytymi z masy przez opady atmosferyczne), jak i dla atmosfery (możliwość roznoszenia pyłów przez wiatr). Masy odlewnicze nie są wykorzystywane jako surowce wtórne, ponieważ z założenia traktowane są jako materiał odpadowy. Powodem takiej sytuacji jest niechęć producentów z innych gałęzi przemysłu do stosowania tego typu materiałów odpadowych, ponieważ słowo odpad jest kojarzone z materiałem szkodliwym dla ludzi i środowiska. Korzystnym rozwiązaniem byłaby zmiana statusu zużytych mas formierskich, zakwalifikowanych do odpadów, na kategorię alternatywnych surowców wtórnych, które mogą być substytutem surowców krzemionkowych pochodzenia naturalnego.

Duża zawartość krzemionki w zużytych masach formierskich i rdzeniowych daje podstawy do wtórnego ich wykorzystania w obszarach poza odlewniczych, np. w przemyśle budowlanym, szczególnie w tych technologiach, w których stosuje się duże ilości piasku kwarcowego. Masa formierska i rdzeniowa, aby mogła stanowić alternatywny materiał dla piasku kwarcowego pochodzenia naturalnego musi zostać wcześniej odpowiednio przetworzona (regeneracja masy) [1].

W odlewniach, piasek kwarcowy odzyskuje się z masy formierskiej poprzez procesy regeneracji, co pozwala na odzyskanie osnowy piaskowej, której zawartość w masie wynosi powyżej 90% wag. Dla zużytych mas odlewniczych ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi stosuje się regenerację mechaniczną. W metodzie tej za pomocą odpowiednich urządzeń zachodzi kruszenie, mielenie, ścieranie lub uderzenie ziaren masy [2]. Metoda regeneracji mechanicznej jest zabiegiem przypominającym proces przygotowania składników do produkcji betonu komórkowego. Przygotowanie kruszywa do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego polega na całkowitym przemiale piasku, ponieważ każdy przemiał uaktywnia składniki betonu, dzięki czemu skuteczniejszy staje się przebieg reakcji chemicznej pomiędzy spoiwem i kruszywem, a co za tym idzie uzyskanie betonu wysokiej jakości. Różnice między tymi procesami są takie, iż regeneracja ma na celu tylko usunięcie z powierzchni ziaren osnowy piaskowej warstewki materiału wiążącego, natomiast głównym celem procesu mielenia kruszywa jest jego rozdrobnienie, aby posiadał o wiele mniejszą średnią wielkość ziarna [3, 4, 5].

Beton komórkowy zaliczany jest do grupy betonów lekkich. Charakteryzuje się niską przewodnością cieplną oraz dobrą ognioodpornością. Gęstość pozorną betonów komórkowych mieści się w przedziale 350–700 kg/m³, ich wytrzymałość na ściskanie nie przekracza 7 MPa. Beton komórkowy produkuje się z łatwo dostępnych i obficie występujących w naturze surowców (są relatywnie tanie), które jednak muszą zostać odpowiednio przygotowane. W zależności od zespołu warunków surowcowo-lokalizacyjnych, w Polsce stosowane są wariantowe technologie produkcji betonu komórkowego, oparte na następującym zestawie składników [6, 7, 8]:

eluted from the sand by atmospheric precipitation, and to the atmosphere (the dust spread by the wind). Moulding sands are not used as a secondary raw material, being in advance treated as a waste. This situation is mainly due to the total unwillingness of manufacturers from other industries to use this type of waste material, as even the mere word "waste" is associated with materials harmful to both people and the environment. The preferred solution would be to change the status of used foundry sands and qualify them not as a waste but as an alternative secondary raw material that can substitute silica materials of natural origin.

High silica content in waste moulding and core sands is a strong argument in favour of the re-use of waste foundry sands in areas outside the foundry industry, to mention as an example the construction industry, especially the technologies which are based on large amounts of silica sand. Yet, to make an alternative material for the silica sand of natural origin, both moulding and core sands must undergo proper treatment, called moulding sand reclamation [1].

In foundries, silica sand is recovered from the moulding mixture by the process of reclamation, which allows the recovery of base sand grains, whose content in the mixture exceeds 90 wt.%. The waste foundry sands with silicate and geopolymer binders are reclaimed by the mechanical process. In this method, by means of suitable devices, the sand mixture grains are subjected to crushing, grinding, and abrasion or attrition, when they strike against each other [2]. The method of mechanical reclamation resembles the process by which the components of cellular concrete are prepared. The aggregate used for the production of ACC is prepared by repeated grinding of the sand, since each grinding operation activates the constituents of the concrete, making chemical reaction between the binder and the aggregate more effective and thus resulting in the manufacture of high-quality concrete. The differences between these processes are such that reclamation aims only at the removal of a thin film of binder from the surface of sand grains, whereas the main objective of grinding the aggregate is its fragmentation to obtain grains of small average size [3, 4, 5].

Cellular concrete is among the group of lightweight concrete materials. It is characterized by low thermal conductivity and good resistance to fire. The apparent density of cellular concrete is in the range of 350–700 kg/m³, but its compressive strength does not exceed 7 MPa. Cellular concrete is made from the readily available and abundant in nature raw materials which, though relatively cheap, must be properly prepared. Depending on the complex conditions regarding both the resources available and their location, in Poland, several technologies are used in the production of cellular concrete, basing on the following set of components [6, 7, 8]:

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) spoiwo (cement + wapno lub samo wapno), | a) binder (cement + lime or lime alone), |
| b) kruszywo (piasek kwarcowy lub popiół lotny powstający ze spalania węgla w elektrowniach albo piasek kwarcowy + popiół), | b) aggregate (silica sand or fly ash produced as a by-product in coal fired power stations, or silica sand + ash), |
| c) środek porotwórczy (proszek aluminium albo pasta aluminium), | c) blowing agent (aluminium powder or aluminium paste), |
| d) detergent (środki powierzchniowo czynne do usuwania warstwy ochronnej z proszku aluminium oraz zmniejszenia napięcia powierzchniowego wody i uzyskania szybszego zwilżenia stałych składników masy zarobkowej podczas mieszania), | d) detergent (surfactants to remove the protective layer of aluminium powder and reduce the surface tension of water to speed up wetting of the solid components of mortar during mixing), |
| e) woda. | e) water. |

2. Badania własne

Przeprowadzone badania miały na celu określenie możliwości wykorzystania odpadowych mas formierskich ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi w procesie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego.

Możliwości takiej formy utylizacji zużytych mas formierskich zostały określone w oparciu o analizę porównawczą właściwości użytkowych autoklawizowanego betonu komórkowego z ich udziałem, w stosunku do właściwości analogicznych betonów niezawierających tego typu materiałów odpadowych.

W procesie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego wykorzystano zarówno surowce naturalne, jak i alternatywne.

Jako surowce podstawowe stosowano:

- a) piasek kwarcowy pochodzenia naturalnego (piasek świeży) – Szczakowa,
- b) wapno palone,
- c) cement CEM II/B-V 32,5R,
- d) woda destylowana.

Grupę alternatywnych surowców krzemionkowych stanowiły natomiast zużyte masy odlewnicze, które po zmieleniu były wykorzystywane jako substytut naturalnego piasku kwarcowego. Odpadowe masy formierskie otrzymano w wyniku wielokrotnego użycia wyjściowej masy formierskiej. Czynnikiem wiążącym składniki masy formierskiej były spoiwa krzemianowe i geopolimerowe. Masy formierskie wykonywano w mieszarce wstęgowej typu LMR-2e. Z tak sporządzonych mas wykonano formy odlewnicze, które zalewano stopem aluminium AK9 (AlSi9Mg). Temperatura zalewania wynosiła 720°C. Następnie odlewy wybijano z form, a uzyskaną w ten

2. Own research

The aim of the study was to determine the possibility of utilization of the waste moulding sands with silicate and geopolymer binders in the production of autoclaved cellular concrete.

The feasibility of the use of waste moulding sands in this particular application was determined by a comparative analysis of the performance properties of ACC containing the addition of waste moulding sand with the corresponding properties of concrete which does not contain a waste material of this type.

In the production of autoclaved cellular concrete, both natural "fresh" raw materials as well as alternative substitute materials were used.

The "fresh" raw materials included:

- a) natural silica sand (fresh sand) from Szczakowa,
- b) lime,
- c) CEM II / B-V 32,5R cement,
- d) distilled water.

The group of alternative silica materials consisted of waste moulding sands, which after grinding served as a substitute for natural silica sand. Waste moulding sands were obtained by repeated use of the initial moulding sand mixture. The binding agents for the moulding sand mixture components were silicate and geopolymer binders. Moulding sands were prepared in a ribbon LMR-2e type mixer. From thus prepared sand mixtures, foundry moulds were made and poured next with AK9 (AlSi9Mg) aluminium alloy. The temperature of pouring was 720°C. Then castings were knocked out from moulds and thus the obtained waste moulding sand

sposób masę formierską regenerowano i wykonywano z niej kolejne formy odlewnicze. Taki cykl postępowania począwszy od zalania, przez wybicie masy z form, jej regenerację i wykonanie kolejnych form z tej samej masy powtórzone 10-krotnie i tak uzyskaną masę formierską traktowano jako zużytą masę odlewniczą.

Masy wyjściowe sporządzono z wykorzystaniem następujących spoiw i utwardzaczy:

1. Szkło wodne 150 modyfikowane (A) w ilości 2,5 cz. wag., utwardzacz Flodur 1 w ilości 0,25 cz. wag.
2. Spoiwo Geopol 618 – 1,8 cz.wag., utwardzacz SA75 – 0,11 cz. wag.
3. Odpadowa masa formierska pochodząca z odlewni krajowej – spoiwo Geopol oraz piasek Grudzeń Las – symbol PK-GL.

Mieszanki poszczególnych serii betonów komórkowych wykonywane były za każdym razem według jednolitej metodyki, stosując w każdej serii tą samą ilość spoiwa (wapno + cement). Parametrem, który był zmienny dla poszczególnym partii betonów był skład jakościowy kruszywa, spowodowany wykorzystaniem kruszywa pochodzącego ze zużytych mas odlewniczych. Odpadowe masy formierskie po odpowiednim przygotowaniu (mieleniu), były dodawane kosztem świeżego piasku kwarcowego w następujących proporcjach:

- a) woda, spoiwo (cement, wapno), piasek świeży 100% wag.,
- b) woda, spoiwo (cement, wapno), piasek świeży 75% wag., kruszywo pochodzące z masy odpadowej 25% wag.,
- c) woda, spoiwo (cement, wapno), piasek świeży 50% wag., kruszywo pochodzące z masy odpadowej 50% wag.

Dla każdej z trzech zużytych mas formierskich, jakie zostały wytypowane do badań, wykonano serię betonów komórkowych o składzie mieszanek zamieszczonym powyżej. Na początku odważono poszczególne ilości składników zgodnie z założonym składem surowcowym. Następnie stałe składniki były homogenizowane w mieszarce laboratoryjnej typu RN20/VL2. Po uzyskaniu jednorodnej mieszaniny składników suchych, dodawano założoną wcześniej ilość wody destylowanej, jednakową dla wszystkich wykonywanych serii betonów i mieszano przez okres 10 minut. Tak przygotowaną masę o konsystencji szlamu wlewano do form dzielonych i w ten sposób wykonano próbki sześciennie o wymiarach 150 mm × 150 mm × 150 mm oraz kształtki walcowe ϕ 50 mm × 50 mm (rys. 1). Próbki sześciennie po-

was reclaimed and used in the manufacture of the next series of foundry moulds. The operating cycle including mould pouring, knocking out of sand, its reclamation and making moulds from the same waste sand was repeated 10 times and the resulting moulding sand was considered to be the waste moulding sand.

Three variants of the base moulding sand mixtures were prepared using the following binders and hardeners:

1. Modified water glass 150 (A) in an amount of 2.5 parts by weight, Flodur 1 hardener in an amount of 0.25 part by weight.
2. Geopol 618 binder – 1.8 parts by weight, SA75 hardener in an amount of 0.11 part by weight.
3. Waste moulding sand from a domestic foundry plant – Geopol binder and Grudzeń Las sand of PK-GL symbol.

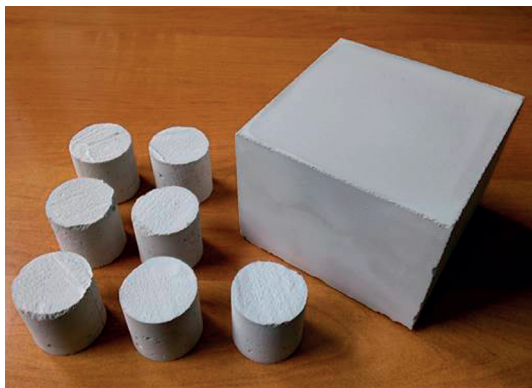
Each time, different mixes of the cellular concrete were prepared following a consistent methodology and were applied in each series the same amount of binder (lime + cement). The parameter which varied in each batch of concrete was the qualitative composition of the aggregate, this mainly referring to the aggregates containing waste moulding sands. The properly processed waste moulding sands were added after grinding to replace in different proportions the fresh silica sand:

- a) water, binder (cement, lime), fresh sand 100 wt.%,
- b) water, binder (cement, lime), fresh sand 75 wt.%, waste sand aggregate 25 wt.%,
- c) water, binder (cement, lime), fresh sand 50 wt.%, waste sand aggregate 50 wt.%.

Each of the three waste foundry sands selected for studies was used to make a series of cellular concrete mixes with compositions as mentioned above. At the beginning, different components were weighed in accordance with the previously established composition of raw materials. Then the solid components were homogenized in an RN20/VL2 laboratory mixer. When the dry components were thoroughly mixed to obtain a homogeneous composition, the previously established quantity of distilled water, the same for all the prepared concrete mixes, was added, and the whole was stirred for 10 minutes. Thus, the prepared mix with a slurry consistency was poured into split moulds to make cubic 150 mm × 150 mm × 150 mm samples and ϕ 50 mm × 50 mm cylindrical samples (Fig. 1). Cubic samples were

służyły do określenia wytrzymałości na ściskanie (R_c), natomiast kształtki walcowe wykorzystano w dalszym etapie badań do określenia nasiąkliwości betonu komórkowego, mrozoodporności metodą kolejnych cykli zamrażania i odmrażania oraz gęstości objętościowej w stanie suchym.

used in testing of the compressive strength (R_c), while cylindrically shaped samples were used in the next stage of research to determine the water absorption power of the examined cellular concrete, its frost resistance in successive cycles of freezing and defreezing, and bulk density in the dry state.



Rys. 1. Kształtki $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ oraz próbka sześcienna $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ wykonane z betonu komórkowego

Fig. 1. Samples of cellular concrete: cylindrical of $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ and cubic of $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$

Próbki po uzyskaniu wytrzymałości pozwalającej na autoklawizację, wstępnie podgrzewano do temperatury 60°C , a następnie umieszczano w autoklawie. Zastosowane warunki obróbki cieplnej próbek były następujące:

- ciśnienie pary wodnej – $0,6 \text{ MPa}$,
- temperatura pary wodnej – 160°C ,
- łączny czas autoklawizacji – 6 h .

Po zakończeniu obróbki hydrotermalnej, otrzymane próbki poddano badaniom, mającym określić ich podstawowe właściwości użytkowe. Oznaczanie cech fizycznych badanych tworzyw przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN 771-4:2004/A1:2006.

Zakres badań cech użytkowych omawianych tworzyw obejmował następujące parametry:

- wytrzymałość na ściskanie (R_c), MPa
- nasiąkliwość wodna masowa, % wag.
- gęstość objętościowa w stanie suchym, g/cm^3
- mrozoodporność – maksymalny procentowy ubytek masy, % wag.

Uzyskane wyniki badań wymienionych cech użytkowych próbek autoklawizowanego betonu komórkowego, otrzymanych z udziałem zużytych mas formierskich i rdzeniowych, zamieszczono w tabeli 1 i 2.

The samples after acquiring the proper strength for autoclaving were pre-heated to 60°C and then placed in an autoclave. The applied heat treatment conditions were as follows:

- steam pressure – 0.6 MPa ,
- steam temperature – 160°C ,
- total time of autoclaving – 6 h .

After completing the hydrothermal treatment, the obtained samples were tested to determine their basic functional properties. Physical characteristics of the examined materials were determined in accordance with PN-EN 771-4:2004/A1:2006.

Testing the functional properties of the examined materials included the following parameters:

- compressive strength (R_c), MPa ,
- water absorption, wt.%,
- bulk density in the dry state, g/cm^3 ,
- frost resistance – the maximum percent loss of weight, wt. %.

The results of testing the functional properties of autoclaved cellular concrete samples prepared with the addition of waste moulding and core sands are given in Tables 1 and 2.

Tabela 1. Wytrzymałość na ściskanie i nasiąkliwość wodna masowa próbek betonu autoklawizowanego
 Table 1. The compressive strength and water absorption power of autoclaved concrete samples

Lp./ No.	Skład betonu / Composition of concrete	Wytrzymałość na ściskanie (Rc), MPa / Compressive strength (Rc), MPa	Nasiąkliwość wodna masowa, % wag. / Water absorption, wt. %
		po autoklawizacji / after autoclaving	po autoklawizacji / after autoclaving
1.	Piasek świeży 100% wag. / Fresh sand 100 wt. %	3,67	22,4
2.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta „W” 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste sand „W” 25 wt. %	2,95	23,0
3.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta „W” 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste sand „W” 50 wt. %	2,77	23,1
4.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta „G” 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste sand „G” 25 wt. %	3,28	22,9
5.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta „G” 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste sand „G” 50 wt. %	3,52	23,0
6.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta z odlewni 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste foundry sand 25 wt. %	3,34	22,1
7.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta z odlewni 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste foundry sand 50 wt. %	3,61	22,3

Tabela 2. Gęstość objętościowa i mrozoodporność próbek betonu autoklawizowanego
 Table 2. The bulk density and frost resistance of autoclaved concrete samples

Lp./ No.	Skład betonu / Composition of concrete	Gęstość objętościowa, g/cm ³ / Bulk density, g/cm ³	Mrozoodporność – maksymalny procentowy ubytek masy, % wag. / Frost resistance – maximum percent loss of weight, wt. %
		po autoklawizacji / after autoclaving	po autoklawizacji / after autoclaving
1.	Piasek świeży 100% wag. / Fresh sand 100 wt. %	1,52	5,0
2.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta „W” 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste sand „W” 25 wt. %	1,54	6,1
3.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta „W” 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste sand „W” 50 wt. %	1,50	7,0

Lp./ No.	Skład betonu / Composition of concrete	Gęstość objętościowa, g/cm ³ / Bulk density, g/cm ³	Mrozoodporność – maksymalny procentowy ubytek masy, % wag. / Frost resistance – maximum percent loss of weight, wt. %
		po autoklawizacji / after autoclaving	po autoklawizacji / after autoclaving
4.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta „G” 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste sand „G” 25 wt. %	1,51	6,2
5.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta „G” 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste sand „G” 50 wt. %	1,53	6,9
6.	Piasek świeży 75% wag., masa zużyta z odlewni 25% wag. / Fresh sand 75 wt. %, waste foundry sand 25 wt. %	1,52	6,1
7.	Piasek świeży 50% wag., masa zużyta z odlewni 50% wag. / Fresh sand 50 wt. %, waste foundry sand 50 wt. %	1,49	6,2

3. Dyskusja wyników

W oparciu o uzyskane wyniki badań stwierdzono, że zużyte masy odlewnicze ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi mogą być utylizowane w produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego. Ze względu na dużą zawartość krzemionki w tych masach, mogą one spełniać rolę substytutu piasku kwarcowego pochodzenia naturalnego (świeżego).

Przeprowadzona analiza porównawcza właściwości technologicznych betonu komórkowego podstawowego (otrzymanego z udziałem piasku kwarcowego pochodzenia naturalnego) oraz betonów komórkowych eksperymentalnych (uzyskanych poprzez zastąpienie piasku kwarcowego zużytą masą formierską) pozwoliła stwierdzić, że właściwości technologiczne tych tworzyw są zbliżone.

Dodatek zużytej masy formierskiej nie wpłynął negatywnie na właściwości mechaniczne betonów komórkowych. Próbkę z betonu komórkowego podstawowego oraz betonu komórkowego eksperymentalnego posiadały największą wytrzymałość na ściskanie. Pozostałe próbki betonu charakteryzowały się mniejszą wytrzymałością. Wszystkie wykonane betony komórkowe posiadały porównywalną gęstość objętościową oscylującą wokół wartości 1,5 g/cm³. Maksymalny procentowy ubytek masy betonów komórkowych mieścił się w granicach 5–7% wag. Zgodnie z normą PN-EN 771-4:2004/A1:2006 maksymalny ubytek masy nie może przekraczać 15% wag., dlatego też wykonane betony komórkowe są odporne na działanie niskich temperatur (mrozoodporne). Nasiąkliwość wodna dla wykonanych mieszanek betonowych mieściła się w przedziale 22–23% wag. Maksy-

3. Discussion of results

Based on the obtained results it was found that waste moulding sands with silicate and geopolymer binders can be utilized in the production of autoclaved cellular concrete. Due to the large content of silica in these mixtures, they may serve as a substitute for natural fresh silica sand.

The comparative analysis of the technological properties of base cellular concrete (prepared with the fresh silica sand of natural origin) and experimental cellular concrete (obtained by replacing the fresh silica sand with waste moulding sand) has revealed similar technological properties of both materials.

The addition of waste moulding sand had no adverse effect on the mechanical properties of cellular concrete. Samples of base cellular concrete and experimental cellular concrete had the highest compressive strength. Other samples of concrete were characterized by lower strength. All manufactured types of cellular concrete had a comparable bulk density of approximately 1.5 g/cm³. The maximum percent loss of cellular concrete weight ranged between 5–7 wt. %. According to PN-EN 771-4:2004/A1:2006, the maximum loss of weight should not exceed 15 wt. %, making cellular concrete resistant to low temperatures (frost resistance). Water absorption of the prepared concrete mixes was in the range of 22–23 wt. %. The maximum water absorption of cellular concrete must not exceed 40%, and therefore the addition of waste moulding sand to the concrete mix had no adverse effect on its absorption power.

malna nasiąkliwość wodna dla betonów komórkowych nie może przekraczać wartości 40%, tak więc dodatek odpadowej masy formierskiej do mieszanki betonowej nie wpłynął negatywnie na jej nasiąkliwość.

4. Wnioski

Uzyskane wyniki badań świadczą o tym, iż można zagospodarować zużyte masy odlewnicze ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi w technologii wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego. Zużyte masy formierskie po przeprowadzeniu zabiegu regeneracji mogą pełnić rolę substytutu piasku kwarcowego pochodzenia naturalnego. Wykonane autoklawizowane betony komórkowe eksperymentalne charakteryzowały się dobrymi właściwościami technologicznymi, a dodatek odpadowej masy formierskiej nie pogorszył tych właściwości. Zagospodarowanie wspomnianych powyżej odpadowych mas formierskich można prowadzić w warunkach przemysłowych do produkcji elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Podziękowania

Prace badawcze przedstawione w artykule wykonane zostały w ramach projektu statutowego pt. „Utylizacja odpadowych mas formierskich ze spoiwami krzemianowymi i geopolimerowymi celem wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego” (zlec. 3012/00).

4. Conclusions

The obtained results have proved the possibility to utilize waste moulding sands with silicate and geopolymer binders in the manufacture of autoclaved cellular concrete. The waste moulding sands after reclamation treatment can serve as a substitute for fresh silica sand. The experimental autoclaved cellular concrete was characterized by good technological properties, and the addition of waste moulding sand did not impair these properties. The utilization of waste moulding sands can be carried out under industrial conditions and can serve the production of masonry from autoclaved cellular concrete.

Acknowledgements

Studies described in this paper were carried out within the framework of the statutory project “Utilization of waste moulding sands with silicate and geopolymer binders to manufacture autoclaved cellular concrete” (No. 3012/00).

Literatura/References

1. Pytel, Z. (2010). Właściwości autoklawizowanych materiałów wapienno-piaskowych otrzymanych z udziałem zużytych mas odlewniczych. *Arch. Foundry Eng.*, 10(2), 127–134.
2. Lewandowski, J.L. (1997). *Tworzywa na formy odlewnicze*. Kraków: Wydawnictwo Akapit.
3. Małolepszy, J., Deja, J., Brylicki, W., Gawlicki, M. (2000). *Technologia betonu. Metody badań*. Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
4. Gawlicki, M., Pichór, W., Brylska, E., Brylicki, W., Łagosz, A., Nocuń-Wczelik, W., Petri, M., Pytel, Z., Roszczynialski, W., Stolecki, J., Małolepszy J. (red.). (2004). *Materiały budowlane. Podstawy technologii i metody badań*. Kraków: AGH Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne.
5. Jatymowicz, H., Siejko, J., Zapotoczna-Sytek, G. (1980). *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego*. Warszawa: Arkady.
6. PN-B-06258:1989 Autoklawizowany beton komórkowy – metody badań.
7. PN-EN 771-4:2004/A1:2006 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część 4: Elementy murowe z autoklawizowanego betonu komórkowego.
8. PN-EN 772-1:2001 Metody badań elementów murowych – Część 1: Określenie wytrzymałości na ściskanie.