



Cegły wapienno-piaskowe z dodatkiem pyłu bazaltowego

PAULINA KOSTRZEWA

Politechnika Świętokrzyska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Technologii
i Organizacji Budownictwa, Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce,
pkostrzewa@tu.kielce.pl

Streszczenie. Celem pracy jest modyfikacja tradycyjnych wyrobów wapienno-piaskowych dodatkiem pyłu bazaltowego. Do silikatowej masy surowcowej, po procesie gaszenia wapna w masie, wprowadzano modyfikator w postaci pyłu bazaltowego, a następnie uformowano cegły i poddano autoklawizacji. Wpływ zastosowanego dodatku na jakość wyrobów wykonanych z przygotowanej masy oceniano na podstawie analizy porównawczej tradycyjnych wyrobów wapienno-piaskowych i wyrobów modyfikowanych dodatkiem pyłu bazaltowego, przeprowadzonej zgodnie z metodyką zawartą w normach. Zastąpienie na etapie produkcji części tradycyjnej masy silikatowej pyłem bazaltowym wpłynęło korzystnie na przebieg procesów zachodzących w czasie autoklawizacji omawianych wyrobów. Dodatek w warunkach hydrotermalnych reagował z wapnem i krzemionką, tworząc dodatkowe ilości fazy C-S-H oraz tobermorytu. Zastosowanie pyłu bazaltowego w ilości 5-20% w stosunku do masy surowcowej dało poprawę wytrzymałości na ściskanie nawet o 100% w porównaniu z próbkami bez modyfikatora.

Słowa kluczowe: silikaty, ekologia, pył bazaltowy, środowisko, wyroby wapienno-piaskowe, mikrostruktura

DOI: 10.5604/01.3001.0013.5562

1. Wstęp

Dzisiejsza konsumpcja i ekonomia oparte są na wzorcu gospodarki linearnej. Coraz więcej uwagi kieruje się w budownictwie na ochronę środowiska, ekologię, rozwój zrównoważony oraz recykling. Rozwiązaniem jest stosowanie zasad gospodarki opartej na obiegu zamkniętym. Silikaty, czyli autoklawizowane cegły wapienno-piaskowe, wpisują się idealnie w powyższe idee. Są one materiałem budowlanym

przeznaczonym do wykonywania różnego typu ścian. Cechuje je dobra wytrzymałość na ściskanie, znaczna ognioodporność (klasa A – najlepsza klasa pod względem ognioodporności) oraz przede wszystkim ekologia, począwszy od etapu produkcji, przez konsumpcję, kończąc na ponownym wykorzystaniu ich odpadów [1-2].

Silikaty tradycyjnie produkuje się wyłącznie z naturalnych składników (piasku 90%, wapna 7% i wody 3%). Występują w szerokiej ofercie, zróżnicowanej pod względem kształtu, wypełnienia oraz koloru (choć tradycyjne i najpopularniejsze są białe cegły) [3-4]. W związku z licznymi zaletami cegieł silikatowych prowadzone są nad nimi badania mające na celu upowszechnienie tego budulca [5-7]. Na rynku ciągle dąży się w pracach do ich udoskonalenia, obniżenia ceny bądź kosztów produkcji. Patent pt. *Masa surowcowa do wytwarzania autoklawizowanych wyrobów silikatowych, zwłaszcza cegieł* jest efektem badań nad udoskonaleniem tradycyjnych wyrobów wapienno-piaskowych (silikatów).

Artykuł prezentuje wpływ modyfikacji autoklawizowanych materiałów wapienno-piaskowych pyłem bazaltowym na ich parametry użytkowe.

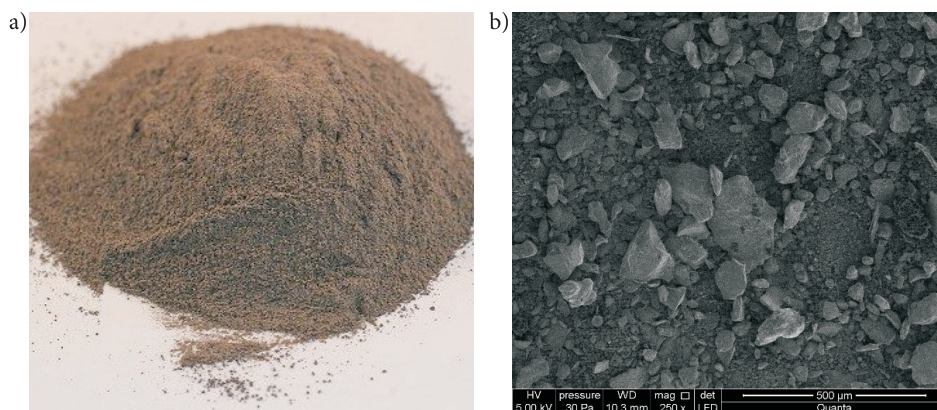
2. Materiały

Bazalt jest skałą wulkaniczną występującą naturalnie. Oferuje szczególnie korzystne właściwości fizyczne, wysoką odporność na warunki chemiczne i mechaniczne oraz odporność na ściskanie. Minerale, które stanowią podstawę budowy bazaltu, to głównie: plagioklasy i pirokseny, a następnie amfibole, melilit, biotyt, kwarc, tridymit lub krystobalit. W zależności od źródła oraz obszaru ich pochodzenia i wydobycia istnieje inny skład i obecność innych minerałów [8], takich jak szkliwo, magnetyt, grafit, a nawet apatyt, które w ciągu ostatnich pięciu lat są coraz częściej stosowane w budownictwie.

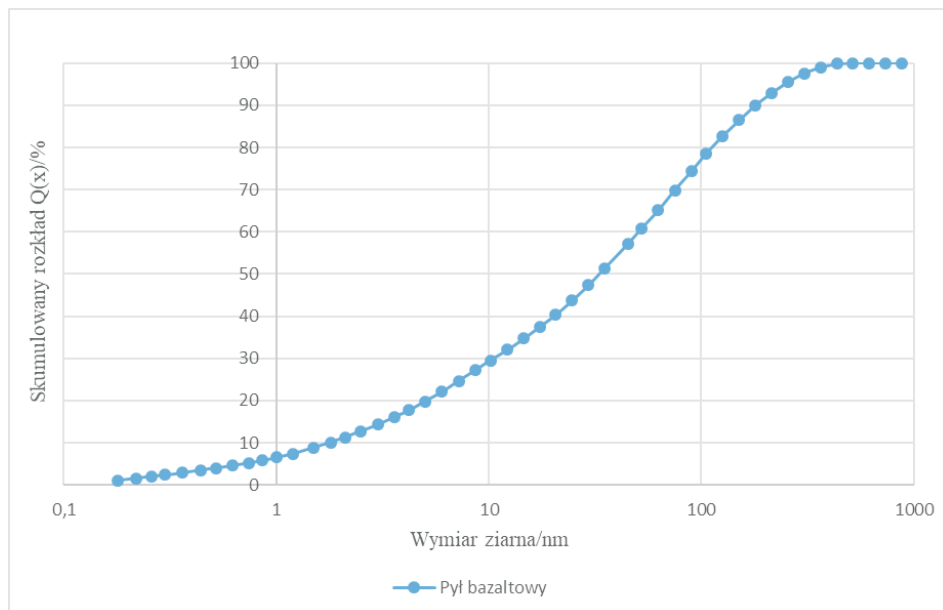
Bazalty są wyjątkowo bogate w związki MgO i CaO, a jednocześnie ubogie w związki takie jak: SiO₂, Na₂O i K₂O w porównaniu z innymi kamieniami wulkanicznymi. Empiryczna formuła bazaltu zależy od jego lokalizacji geograficznej i w rozpatrywanym przypadku składa się z [9-10]: SiO₂ – 52,8%, Al₂O₃ – 17,5%, Fe₂O₃ – 10,3%, MgO – 4,63%, CaO – 8,59%, Na₂O – 3,34%, K₂O – 1,46%, TiO₂ – 1,38%, P₂O₅ – 0,28%, MnO – 0,16%, Cr₂O₃ – 0,06%. W dużych ilościach bazalty występują w [11]: Indiach, Rosji, Mongolii, Etiopii, Brazylii, Urugwaju i Paragwaju, Argentynie (Patagonia), w Ameryce (Waszyngton i Oregon), a także we Włoszech, na Hawajach i Islandii. W Polsce bazalty występują głównie na Śląsku.

Pył bazaltowy (rys. 1a, b) powstaje w procesie produkcji łamanych kruszyw bazaltowych i stanowi odpad produkcyjny. Znaczne ilości frakcji drobnoziarnistych są nieprzydatne dla najważniejszych odbiorców (budownictwo drogowe i kolejowe,

produkcja betonu), a dla kopalni stanowią problem ze względu na trudności w transporcie i składowaniu. W związku z tym cena mączki bazaltowej jest bardzo niska. Poszukuje się zastosowania dla najdrobniejszych frakcji bazaltowych [12], aby rozwiązać problem zalegających w kopalniach hałd tego materiału.



Rys. 1. a — pył bazaltowy, b — powiększenie 250-krotne mączki bazaltowej w mikroskopie skaningowym



Rys. 2. Krzywa uziarnienia pyłu bazaltowego

Masa wapienno-piaskowa zawiera około 5% frakcji pylastych. W jej składzie przeważają ziarna o średnicach między 100 a 900 μm . W przeciwieństwie do masy wapienno-piaskowej, która składa się głównie z frakcji piaskowej, pył bazaltowy (rys. 2) składa się z ziaren o mniejszych wymiarach: od 1 do 400 μm . Wyniki badań składu granulometrycznego pozwalają ocenić stopień upakowania materiału w próbkach z dodatkiem pyłu bazaltowego i bez dodatku. Próbka z dodatkiem osiągnie szczelniejszą strukturę w związku z dodatkiem drobnowymiarowych ziaren.

3. Metody badań

Produkcja wyrobów wapienno-piaskowych składa się z pięciu faz. Początkowo w mieszalnikach miksuje się wapno i piasek (w zależności od oczekiwanych parametrów materiału można dobierać różne proporcje składników). Hydratacja mieszaniny piasku i wapna trwa od dwóch do czterech godzin w stalowych silosach. Podczas tego procesu temperatura mieszanki wzrasta do około 60°C — krzemionka traci strukturę krystaliczną, co ułatwia formowanie wyrobu w dalszym etapie [13]. Gotową masę wapienno-piaskową poddaje się prasowaniu, a następnie umieszcza w autoklawach na 6 do 12 godzin, gdzie jest poddawana hartowaniu w temperaturze około 200°C w warunkach hydrotermalnych (ciśnienie pary nasyconej wynosi od 1,2 do 1,6 MPa).

W celu przeprowadzenia badań laboratoryjnych modyfikowanych wyrobów wapienno-piaskowych przygotowane zostały próbki prostopadłościennych o wymiarach 40 × 40 × 160 mm. Próbki wykonywane były w przemysłowym zakładzie produkcji silikatów.

TABELA 1

Skład poszczególnych serii próbek

Nazwa	Pył bazaltowy	Woda	Masa wapienno-piaskowa
N	—	10% = 180 g	90% = 1800 g
PB10	10% = 180 g	10% = 180 g	80% = 1620 g
PB20	20% = 360 g	10% = 180 g	70% = 1440 g
PB30	30% = 540 g	10% = 180 g	60% = 1260 g

Na mieszanekę surowcową składa się wapno gaszone wymieszane z piaskiem kwarcowym w stosunku 1:10. Poprzez N oznaczono próbkę tradycyjną/normową, natomiast serie PB10 — PB30 odnoszą się do próbek modyfikowanych oraz ilości użytego dodatku. Na przykład PB10 oznacza zastąpienie części mieszanki wapienno-piaskowej pyłem bazaltowym w ilości 10%.

W pierwszej kolejności przygotowywana była masa surowcowa (masa wapienno-piaskowa), na którą składało się: wapno, piasek i woda. Po ich wymieszaniu masa trafiała do reaktorów, gdzie pod wpływem zachodzących reakcji piasek tracił strukturę krystaliczną. Kolejno dodawany był odpowiednio odmierzony pył bazaltowy. Po ponownym wymieszaniu wszystkich składników powstałą masę umieszczano w formach trójdzielnych i prasowano pod ciśnieniem 20 MPa. Przygotowane formy następnie dojrzewały w autoklawach przez 8 godzin w temperaturze 203°C i pod ciśnieniem 1,6 MPa. Po rozformowaniu próbki składowano 21 dni w warunkach powietrzno-suchych i w temperaturze pokojowej.

Badania cech fizycznych otrzymanych tworzyw przeprowadzono zgodnie z zakresem i metodami podanymi w normach odnoszących się do wybranych cech: wytrzymałości na ściskanie [14], gęstości objętościowej w stanie suchym [15]. Wytrzymałość na ściskanie została określona przy użyciu prasy Tecnotest KC 300. Mikrostrukturę tworzyw uzyskanych w warunkach hydrotermalnych badano metodą mikroskopii skaningowej. W przeprowadzonych badaniach wykorzystano mikroskop skaningowy SEM-type Quanta 250 FEG z analizatorem EDS.

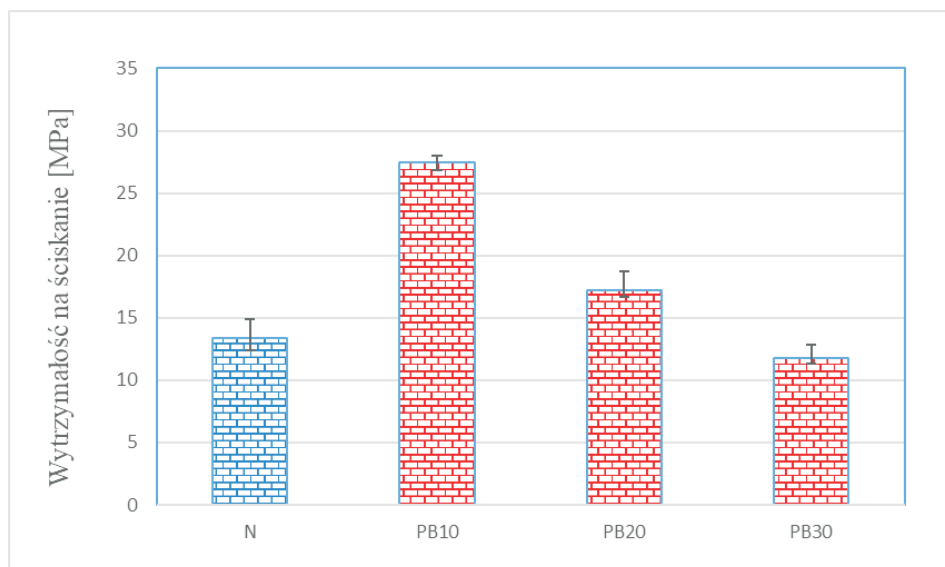
Porowatość materiału to właściwość ciał stałych określająca wielkość i ilość pustych przestrzeni wewnątrz materiału. Porowatość została określona na podstawie stosunku sumarycznej objętości pustych przestrzeni (porów) do objętości całego ciała (sprasowanej cegły).

4. Przeprowadzone badania i ich wyniki

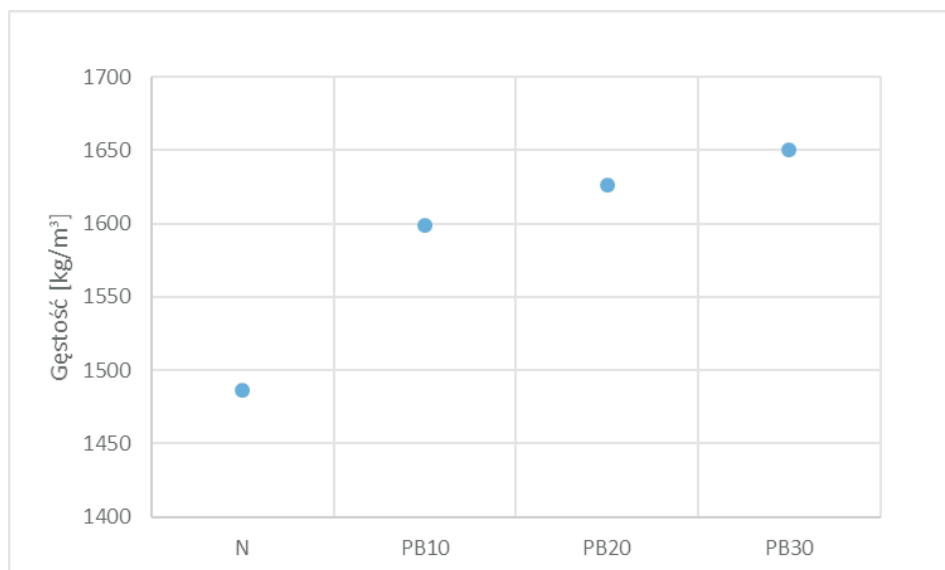
Wyniki badań wstępnych przedstawione poniżej (rys. 3 i 4) są wartościami uśrednionymi kolejnych serii różniących się pod względem zastosowanego wypełniacza. Na każdą serię składało się sześć próbek.

Rysunek 3 przedstawia rezultaty badań wytrzymałości na ściskanie, a rysunek 4 badań gęstości. Oba parametry zależne są od ilości i struktury porów (kształtu, rozmieszczenia i ich wielkości). Obserwuje się dwukrotny wzrost wytrzymałości na ściskanie już przy dodatku 10% pyłu bazaltowego. Spadek wytrzymałości próbek z bazaltem towarzyszący wzrostowi ilości zastosowanego modyfikatora może być spowodowany coraz mniejszą ilością wapna w mieszance, przez co reakcja pomiędzy składnikami była zahamowana. Należałoby w kolejnych badaniach dozować wapno wraz z pyłem bazaltowym wprost proporcjonalnie.

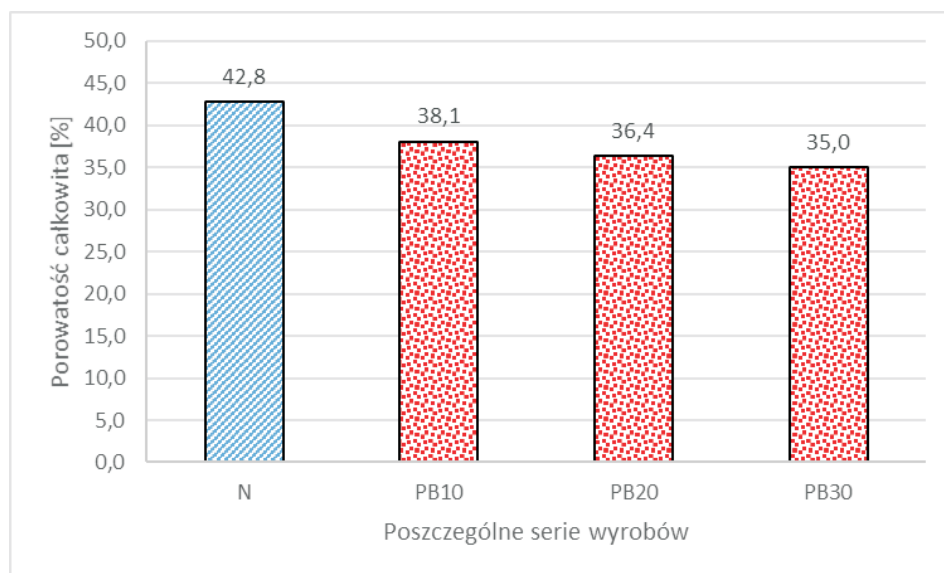
Gęstość wyrobów wzrasta wraz ze wzrostem ilości pyłu bazaltowego, co jest związane z większym ciężarem objętościowym bazaltu niż piasku oraz z lepszym upakowaniem cząstek w próbce (drobne cząstki pyłu bazaltowego wypełniają przestrzenie międzyziarnowe piasku). To przekłada się na porowatość widoczną na rysunku 5.



Rys. 3. Zestawienie wytrzymałości na ściskanie tradycyjnych oraz modyfikowanych wyrobów



Rys. 4. Zestawienie gęstości tradycyjnych oraz modyfikowanych wyrobów



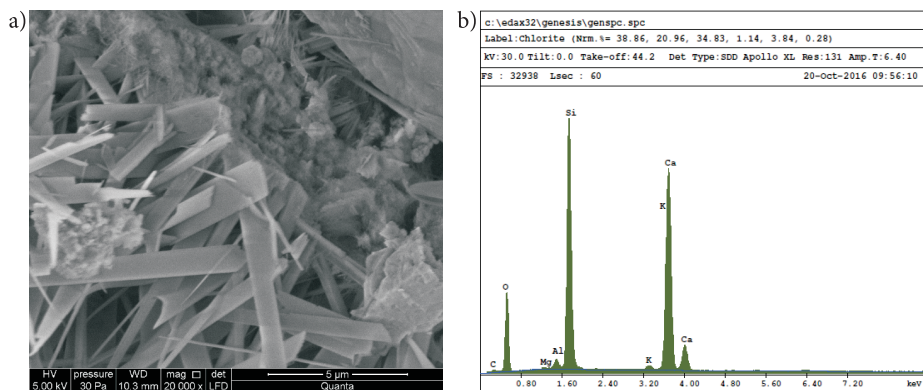
Rys. 5. Porowatość całkowita wyrobów tradycyjnych oraz modyfikowanych

W zależności od ilości zastosowanej mączki bazaltowej zmianie ulega barwa silikatu. Rysunek 6 pokazuje gamę kolorów otrzymanych w wyniku różnych proporcji ilościowych mączki bazaltowej. Bez dodatkowych kosztów związanych z dozowaniem pigmentu możliwe jest otrzymanie atrakcyjnych odcieni szarości cegły.



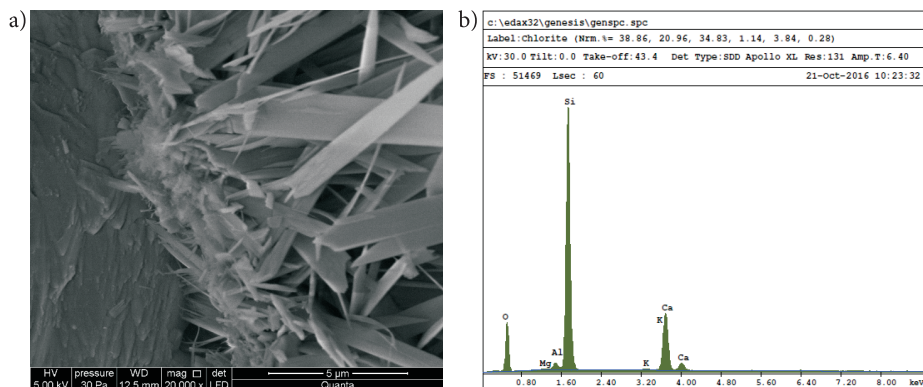
Rys. 6. Różnorodność barw wyrobów z dodatkiem mączki bazaltowej

W tradycyjnym sposobie produkcji wyrobów silikatowych produktami syntezy są zazwyczaj amorficzna faza C-S-H i krystaliczny tobermoryt ($C_5S_6H_5$) [13]. Tobermoryt jest fazą wiążącą, stabilną w stosunku Ca/Si od 0,8 do 1. Powyżej 200°C tworzy się xonotlit, faza podobna do tobermorytu, ale zawierająca mniej wody [16-17]. Uzyskane zdjęcia pozwoliły określić wiele reakcji i zmian, które nastąpiły po poddaniu próbki obróbce hydrotermalnej w autoklawie.



Rys. 7. a) Zdjęcia mikrostruktury próbki tradycyjnej: a) zdjęcie SEM, b) diagram EDS

W próbce tradycyjnego wyrobu (rys. 7a, b) widoczny jest fragment kruszywa, na którym wytworzyła się gąbczasta faza C-S-H oraz płytki tobermorytu [18-19]. Budowa mikrostrukturalna próbki modyfikowanej pyłem bazaltowym wizualnie jest bardzo podobna do próbki tradycyjnej (rys. 8a, b). Analiza EDS wykazała mniejszą zawartość wapna w próbkach z dużym udziałem dodatku, co potwierdza przypuszczenia, że spadek wytrzymałości na ściskanie był spowodowany odwrotnie proporcjonalnym stosunkiem pyłu bazaltowego oraz wapna w próbkach.



Rys. 8. Zdjęcia mikrostruktury próbki z zawartością pyłu bazaltowego 10%: a) zdjęcie SEM, b) diagram EDS

5. Wnioski

Zastąpienie części masy silikatowej mączką bazaltową jest nie tylko korzystne ze względu na ochronę środowiska i zagospodarowanie zalegających w kopalniach hałd najdrobniejszych frakcji bazaltowych, lecz także poprawia właściwości wytrzymałościowe końcowych wyrobów, obniżając jednocześnie ich cenę. Najdroższym składnikiem masy surowcowej jest wapno. Próby obniżenia ceny wyrobu skupiają się przede wszystkim na redukcji w produkcji ilości wapna. Zastąpienie części tradycyjnej masy silikatowej poprzez pył bazaltowy jest równoważne z ograniczeniem ilości stosowanego wapna. Przewiduje się, że to ulepszenie, przekładające się na lepszy stosunek ceny do jakości wyrobu silikatowego w porównaniu z innymi dostępnymi na rynku materiałami ściennymi, będzie bardziej interesującym rozwiązaniem dla potencjalnych klientów.

Zakłady produkcji silikatów poszukują nowych, konkurencyjnych rozwiązań, a to z pewnością do takich należy. Nowy produkt ma duży potencjał wdrożeniowy. Świadczy o tym chociażby zainteresowanie zakładów produkcyjnych. Ponadto, wdrożenie przedstawionego rozwiązania do produkcji masowej nie jest związane z dodatkowymi kosztami i będzie przebiegało bez potrzeby zmiany tradycyjnie stosowanej technologii. Mączkę można dozować razem z piaskiem, już na samym początku procesu wytwarzania.

Źródło finansowania pracy — badania współfinansowane grantem w ramach Programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Inkubator Innowacyjności 2.0”.

Artykuł wpłynął do redakcji 21.05.2019 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 7.08.2019 r.

Paulina Kostrzewa <https://orcid.org/0000-0002-8052-1214>

LITERATURA

- [1] PARKER P., LILLY E., *World Outlook for All Silica. Brick and Shapes Excluding Semi-Silica*, The 2006-2011, INSEAD (Singapore and Fontainebleau, France) ICON Group International, Inc. 2005.
- [2] DACHOWSKI R., KOSTRZEWA P., *Sand-lime products in the light of ecology and economics*, Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, vol. 1, 19, 2017.
- [3] PYTEL Z., *Modification of the phase composition and microstructure of autoclaved sand-lime bricks*, Ceramics, vol. 116, Polish Ceramic Society, Cracow – Gliwice, 2014.
- [4] ZAPOTOCZNA-SYTEK G., BALKOVIC S., *Autoclaved Aerated Concrete*, PWN, Warsaw, 2013.
- [5] OWSIAK Z., KOSTRZEWA P., *Effects of bentonite additives on autoclaved sand-lime product properties*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 251, 2017, pp. 1-7.
- [6] STEPIEN A., *The impact of glass additives on the functional and microstructural properties of sand-lime bricks*, ICCEACEP 2017: 19th International Conference on Civil Engineering and Adapting Civil Engineering Practice, March, 5-6, 2017 at Rome, Italy.

- [7] DACHOWSKI R., STĘPIEŃ A., *Impact of modification of sand-lime mass with organic compounds on the microstructure and mechanical features of silicate bricks*, Lithuania, Vilnius, 9th International Conference „Environmental Engineering”, 22-23 May 2014.
- [8] BALTUSNIKAS A., SIAUCIUNAS R., LUKOSIUTE I., BALTAKYS K., EISINAS A., KRIUKIENE R., *Crystal Structure Refinement of Synthetic Pure Gyrolite*, Materials Science – Medziagotyra, 21, 1, 2015, pp. 111-116.
- [9] RYKA W., MALISZEWSKA A., *Petrographic dictionary*, Geological Publishers: Warsaw, 1982.
- [10] BIRKENMJER K., *Lower Silesian basalt as monuments of inanimate nature*, Nature Protection, 32, 1967, 225-276.
- [11] KUBISZEWSKI T., *Similarities and differences in properties of gabbro and basalt aggregates*, Studies and Materials, 41, 2012, 153-162.
- [12] GACKI F., FELIKS J., WYSZOMIRSKI P., *Badania możliwości wykorzystania odpadowego pyłu bazaltowego*, Inż. Ap. Chem., 52, 3, 2013, 174-175.
- [13] DACHOWSKI R., STĘPIEŃ A., *The Impact of Barium Aggregate on the Microstructure of Sand-Lime Products*, 1st Int. Conf. on Civil Engineering, Architecture and Building Materials (CEABM 2011), 18-20 Jun 2011, Haikou vols. 250-253, ed. G Li et al, Trans Tech Publications LTD, Zurich, 2011, pp. 618-21.
- [14] PN-EN 772-1+A1:2015-10E *Methods of test for masonry units – Part 1: Determination of compressive strength*.
- [15] PN-EN 772-13:2001P *Methods of masonry units – Part 13: Determination of net and gross dry density of masonry units (except for natural stone)*.
- [16] SHAW S., CLARK S.M., HENDERSON C.M.B., *Hydrothermal Formation of the Calcium Silicate Hydrates, Tobermorite ($\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) and Xonotlite ($\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$): an in Situ Synchrotron*, Study Symp. on Direct Observation and Measurement of Hydrothermal Reactions held at the 8th VM Goldschmidt Conf. 30 Aug-3 Sep 1998 Toulouse, France, vol. 167, Elsevier, Amsterdam, 2000, pp. 129-40.
- [17] HARTMANN A., BUHL J.C., BREUGEL K., *Structure and phase investigations on crystallization of 11 Å tobermorite in lime sand pellets*, Cement Concrete Res. 37, 2007.
- [18] STĘPIEŃ A., POTRZESZCZ-SUT B., KOSTRZEWA P., *Influence and Application of Glass Cullet in Autoclaved Materials*, 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (Wmcaus 2018), 471, 2019.
- [19] DACHOWSKI R., KOMISARCZYK K., *Determination of Microstructure and Phase Composition of Sand-Lime Brick after Autoclaving Process*, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium (WMCAUS) 13-17 Jun. 2016 Prague, Czech Republic, vol. 161, ed. M. Drusa et al., Elsevier, Amsterdam, 2016, pp. 747-53.

P. KOSTRZEWA

Sand-lime bricks with addition of basalt powder

Abstract. The purpose of the work is to modify traditional lime-sand products with the addition of basalt dust. It is to improve the physical and mechanical parameters of the material. Thanks to this, bricks will have a better price / quality ratio and will be a more interesting solution for potential customers. To the silicate mass of raw material, after the process of extinguishing the lime in the mass, a modifier in the form of basalt dust was added, and then bricks were formed and autoclaved. The effect of the applied additive on the quality of products, made of the prepared mass, was evaluated on the basis of a comparative analysis of traditional lime-sand products and products modified with the addition of basalt dust. The tests were carried out in accordance with the methodology included in the standards. Replacing the part of traditional silicate mass with basalt dust at the production stage had a positive effect on the processes occurring during the autoclaving of the discussed products. The additive under hydrothermal conditions reacted with lime and silica to form additional amounts of the C-S-H phase. The use of basalt dust, in the amount of 5-20% in relation to the mass of raw materials, gave an improvement in compressive strength by up to 100% compared to samples without a modifier.

Keywords: silicates, ecology, basalt powder, environment, sand-lime products, microstructure

DOI: 10.5604/01.3001.0013.5562

