

TECHNOLOGICAL ASPECT OF BRICK PRODUCTION USING THE METHOD OF AUTOCLAVING

TECHNOLOGICZNE ASPEKTY PRODUKCJI CEGIEŁ METODĄ AUTOKLAWIZACJI

DOI: 10.30540/sae-2018-024

Abstract

Production of sand-lime bricks using the autoclaving method is a well-known process, especially in Europe. During the autoclaving process, also called the hydrothermal treatment or hardening the materials with lime and/or cement binder, a series of microstructural changes occur. Primarily, hydrated silicates of lime are created, which are responsible for physical-mechanical features of aerated materials. The article aims at characterizing the process of brick production using the method of autoclaving and estimation of their microstructural properties.

Keywords: autoclave, sand-lime products, microstructure

Streszczenie

Produkcja cegieł wapienno-piaskowych metodą autoklawizacji jest procesem znanym szczególnie w Europie. Podczas autoklawizacji, nazywanej również obróbką hydrotermalną bądź utwardzaniem materiałów o spoiwie wapiennym i/lub cementowym, zachodzi szereg zmian mikrostrukturalnych. Powstają przede wszystkim uwodnione krzemiany wapnia, które są odpowiedzialne za właściwości fizykomechaniczne materiałów autoklawizowanych. Artykuł ma na celu charakterystykę procesu produkcji cegieł metodą autoklawizowanych oraz ocenę charakterystyk mikrostrukturalnych materiałów autoklawizowanych.

Słowa kluczowe: autoklaw, wyroby wapienno-piaskowe, mikrostruktura

1. INTRODUCTION

In 21st century, the building materials industry is developing dynamically, especially in highly developed countries. In Poland and Slovakia, where for a long time the fire resistance tests of aerated bricks were performed, aerated materials, such as autoclaved aerated concrete blocks and sand-lime bricks are popular among investors and contractors. The materials gained their popularity because of their excellent physical-mechanical properties, low radiant factor and competitive price. Very good qualities of autoclaved aerated concrete and sand-lime products result from chemical changes during hardening in autoclaves [1, 2].

1. WPROWADZENIE

Przemysł materiałów budowlanych w XXI wieku rozwija się niezwykle dynamicznie, szczególnie w krajach wysoko rozwiniętych. W Polsce czy Słowacji (gdzie przez długi czas wykonywano badania ognioodporności cegieł autoklawizowanych) inwestorzy i wykonawcy chętnie sięgają po materiały autoklawizowane, tj. bloczki z betonu komórkowego oraz cegły wapienno-piaskowe. Przedmiotowe materiały zyskały popularność z uwagi na bardzo dobre parametry fizykomechaniczne, niski współczynnik promieniowania oraz konkurencyjną cenę. Bardzo dobre właściwości betonu komórkowego oraz wyrobów wapienno-piaskowych są wynikiem przemian chemicznych zachodzących podczas hartowania w autoklawach [1, 2].

The aim of the article is to characterize the process of brick production using the autoclaving method regarding their microstructure.

2. AUTOCLAVES – THEIR BUILT AND DIVISION

An autoclave is a hermetically sealed container, in which during the heating process the pressure rises, enabling to reach the temperature higher than 100°C.



Reaching the higher temperature fosters occurrence of various chemical processes. In the case of sand-lime brick, commonly known as silicate brick, calcium (CaO) stimulates silicate ingredients of quartz sand (SiO_2), creating solid compounds, the so-called hydrated calcium silicate. This reaction gives high durability and resistance to external factors to the products. The additional advantages of this process are a slight deformation of the final product and limitation of its shrinking (high accuracy is preserved during the process) [3].

The process of brick production using the autoclaving method may be shortly summarized by numbers 1+6+1, each of which represents a particular stage of brick hardening (in hours): heating of an autoclave, proper autoclaving in the temperature of 200°C and cooling. Depending on its capabilities and designation of the final product (including the resistance class), it is advisable to leave the bricks in an autoclave for more than 1 hour during the cooling process of the machine (which additionally minimizes the shrinking processes and prolongs the durability of the product) [3].

The class of the final product depends not only on the quality of the substrates used (CaO, H_2O , SiO_2), or diligence during particular stages of production, but also on the time of the proper autoclaving stage. In justified cases, the time of autoclaving may be prolonged to for example 8-9 hours, which is connected with additional costs of production and may have an impact on the environment (heating of the autoclave with resources such as coal).

Celem artykułu jest charakterystyka procesu produkcji cegieł metodą autoklawizacji w odniesieniu do ich mikrostruktury.

2. AUTOKLAWY – BUDOWA I PODZIAŁ

Autoklaw to hermeticznie zamknięty zbiornik, w którym podczas podgrzewania następuje wzrost ciśnienia, dzięki czemu możliwe jest osiągnięcie temperatury wyższej niż 100°C.

Fig. 1. Industrial autoclaves

Rys. 1. Autoklawy przemysłowe

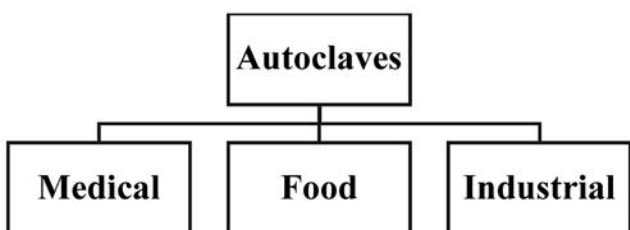
Uzyskanie wyższej temperatury sprzyja przebiegowi różnorodnych procesów chemicznych. W przypadku cegły wapienno-piaskowej, zwanej potocznie cegłą silikatową, wapno (CaO) aktywizuje krzemianowe składniki piasku kwarcowego (SiO_2), tworząc związki stałe, tzw. uwodnione krzemiany wapnia. Reakcja ta nadaje wyrobom wysoką wytrzymałość i odporność na działanie czynników zewnętrznych. Dodatkową zaletą tego procesu są niewielkie odkształcenia produktu końcowego i ograniczenie skurczu elementu (zachowana jest wysoka dokładność podczas produkcji) [3].

Proces produkcji cegieł metodą autoklawizacji można krótko zawrzeć w cyfrach 1+6+1, co oznacza etapy postępu hartowania cegieł (wyrażone w godzinach): ogrzewanie autoklawu, autoklawizację właściwą w temperaturze ok. 200°C i chłodzenie. W zależności od możliwości i przeznaczenia produktu końcowego (w tym od klasy wytrzymałości) korzystnym jest pozostawienie cegieł w autoklawie dłużej niż 1 godzinę w trakcie chłodzenia urządzenia (co dodatkowo minimalizuje procesy skurczowe i wydłuża trwałość wyrobu) [3].

Klasa produktu końcowego zależy nie tylko od jakości zastosowanych substratów (CaO, H_2O , SiO_2) czy staranności podczas wykonywania poszczególnych etapów produkcji, ale również od długości autoklawizacji właściwej. W uzasadnionych przypadkach czas autoklawizacji może zostać wydłużony, np. do 8-9 h, co jednak wiąże się z kosztami produkcji i możliwością oddziaływania na środowisko (ogrzewanie autoklawów materiałem surowcowym, np. węglem).

To minimize the energy loss, costs and negative impact on the environment, the quality of the components used in production should be thoroughly controlled. Laboratory simulations have been performed, proving that lime and highly reactive sand of suitable class, may shorten the time of autoclaving to 5-5.5 hours [4].

There are many types of autoclaves, which differ in size, shape and parameters. Small containers, which are commonly used in medicine in the process of sterilization, occur in several classes, varying for example in the type of input. Bigger autoclaves are used in the food industry and in factories producing sand-lime bricks and autoclaved aerated concrete blocks. The machines which are used for production of the materials, less commonly for wood drying, are called industrial autoclaves [5, 6].



An autoclave, regardless of its designation, consists of the main container and its cover made of thick walls (with high pressure resistance), manometer, thermometer, and overpressure relief valve. The valve functions as a protection in case too high pressure appears in an autoclave.

Characteristic features of an autoclave are:

- usable capacity – factual capacity of the compartment that may be used. In many cases, it is much smaller than the nominal capacity (it is advised to take using small forms into consideration, even those of several centimeters);
- usable length – similarly to usable capacity, usable length of the compartment is usually smaller than the nominal one. This is the key parameter when it comes to sterilizing long tools or forms;
- sterilization cycles – approximate time of input sterilization of the two most commonly used cycles (134°C normal cycle for packed utensils, 134°C fast cycle for unpacked utensils) is presented in two columns;
- energy consumption – in the last column, approximate value of electric energy needed for a specific autoclave is presented. This is a crucial economic element of an autoclave exploitation, which is usually checked when the machine is

W celu minimalizacji strat energii, kosztów oraz negatywnego wpływu na środowisko, należy w sposób szczególny kontrolować jakość stosowanych do produkcji komponentów. Przeprowadzone zostały symulacje laboratoryjne, które dowiodły, że odpowiedniej klasy wapno i piasek wysoko reaktywny może skrócić czas autoklawizacji do 5-5,5 h [4].

Istnieje wiele rodzajów autoklawów, które różnią się między sobą gabarytami, kształtem oraz osiąganymi parametrami. Małe zbiorniki są powszechnie używane w medycynie w procesie sterylizacji, można wyróżnić w nich kilka klas różniących się między innymi typem wsadu. Większe autoklawy są stosowane w przemyśle spożywczym oraz w zakładach produkcji cegieł silikatowych czy bloczków betonu komórkowego. Duże autoklawy wykorzystywane do produkcji wspomnianych materiałów budowlanych, a rzadziej do suszenia drewna, nazywane są autoklawami przemysłowymi [5, 6].

Fig. 2. Division of autoclaves depending on their designation
Rys. 2. Podział autoklawów ze względu na przeznaczenie

Autoklaw bez względu na przeznaczenie składa się zwyczajowo z naczynia głównego i pokrywy, wykonanych z grubych ścian (zdolnych wytrzymać wysokie ciśnienie), manometru, termometru oraz zaworu ciśnieniowego, który pełni rolę zabezpieczenia na wypadek powstania zbyt dużego ciśnienia.

Cechami określającymi urządzenia typu autoklaw są:

- pojemność użyteczna – faktyczna pojemność komory do wykorzystania przez użytkownika. W wielu wypadkach jest ona znacznie mniejsza od pojemności nominalnej (należy liczyć się ze stosowaniem form mniejszych nawet do kilku centymetrów);
- długość użyteczna komory – podobnie jak w przypadku pojemności jest najczęściej mniejsza od nominalnej. Parametr ten jest ważny w przypadku oceny przydatności danego autoklawu do sterylizacji długich narzędzi lub form;
- cykle sterylizacyjne – w dwóch kolumnach podajemy przybliżone czasy sterylizacji wsadów w dwóch najczęściej wykorzystywanych cyklach (134°C normalny dla narzędzi opakowanych oraz 134°C w szybkim cyklu dla narzędzi nieopakowanych);
- zużycie energii – w ostatniej kolumnie podajemy przybliżone wartości zapotrzebowania autoklawu na energię elektryczną. Jest to istotny element ekonomiczny, na który zwraca się uwagę dopiero w trakcie

already in use, but may have a detrimental effect on old electric installations.

3. BOILERS IN AUTOCLAVES

An integral element of an industrial autoclave used in hardening process of building materials is a boiler. Autoclaves are connected with the boiler by a number of pipes. A sterilizing agent is overheated saturated water vapor under higher pressure, which enables reaching the temperature over 100°C. Boiling water brings the water vapor to overpressure, which becomes saturated after total air suppression. Every vapor boiler, which has an individual power supply or fixed tank (if it has an external power supply), is a subject to Technical Inspection. It must regularly undergo a technical review, and must have its service book (Dz.U. 2012, poz. 1468).

The Office of Technical Inspection performs leak tests, internal and external inspection of autoclaves with varied frequency. The frequency of inspection depends on the pressure in the pressure tanks, time of exploitation of the autoclave and its technical condition. Another key document that every autoclave needs to have is a certification for the overpressure relief valve [6]. Autoclaves which are used in production of sand-lime bricks, because of the use of high pressure, undergo the technical inspection more often and with greater attention.

Autoclaves (vapor boilers) may be powered by various fuels. Finding the suitable fuel is crucial on economic and ecologic grounds. In the case of autoclaves used in sand-lime brick hardening, the boilers are usually powered by bituminous coal, culm, or gas. The choice of fuel is usually based on economy and local conditions, which does not mean other fuels may not be used. The boilers may be powered by wood, pellet, biofuels, sawdust or even straw. However, every available source of energy has a lot of advantages and disadvantages [7].

4. THE COURSE OF AUTOCLAVING PROCESS

Autoclaving means hardening products with lime and/or cement binder using vapor. The typical technological process of receiving aerated products, consists of several phases: stock of raw materials, mass preparation, forming of semi-finished products, hardening, cooling, quality control and stock of finished products [8].

Resources used in production of autoclaved materials are lime and/or cement as binders, quartz sand (in justified cases quartz powder as an aggregate containing silica). Hardening is performed

użytkowania urządzenia, a który może mieć również wpływ na trwałość starych instalacji elektrycznych.

3. KOTŁY W AUTOKLAWACH

Nieodłącznym elementem autoklawów przemysłowych wykorzystywanych do hartowania wyrobów budowlanych jest kocioł. Autoklawy są połączone z kotłem szeregiem rur. Czynnikiem wyjąłającym jest przegrzana nasycona para wodna pod zwiększonym ciśnieniem, która umożliwia osiągnięcie temperatury powyżej 100°C. Gotująca woda doprowadza do nadciśnienia parę wodną, która ulega nasyceniu po pełnym wyparciu powietrza. Każdy kocioł parowy, który posiada własne zasilanie lub zbiornik stały (jeśli posiada zasilanie zewnętrzne), podlega dozorowi technicznemu. Musi być poddawany regularnym przeglądom technicznym oraz posiadać książkę (Dz.U. 2012, poz. 1468).

Urząd Dozoru Technicznego przeprowadza próby szczelności, przeglądy wewnętrzne oraz zewnętrzne autoklawów z różną częstotliwością. Częstotliwość przeglądów zależy od wysokości ciśnienia zbiorników ciśnieniowych, czasu eksploatacji autoklawu oraz jego stanu technicznego. Kolejnym istotnym dokumentem, który każdy autoklaw powinien posiadać jest certyfikat na zawór bezpieczeństwa [6]. Autoklawy do produkcji cegły silikatowej, w związku z wykorzystywaniem wysokiego ciśnienia, są poddawane dokładnym oraz częstym rewizjom.

Autoklawy (kotły parowe) mogą być zasilane różnymi paliwami. Dobór paliwa jest niezwykle istotny ze względów ekonomicznych, jak również ekologicznych. W przypadku autoklawów przeznaczonych do hartowania cegieł wapienno-piaskowych, kotły są zazwyczaj zasilane węglem kamiennym, miałem energetycznym bądź gazem. Wybór paliwa podyktowany jest ekonomią i warunkami lokalnymi, nie oznacza to jednak, że nie można stosować innych źródeł energii. Kotły mogą być opalane drewnem, peletem, biopaliwami, trocinami czy nawet słomą. Wszystkie dostępne surowce posiadają zarówno wiele zalet, jak i wad [7].

4. PRZEBIEG PROCESU AUTOKLAWIZACJI

Przez autoklawizację rozumie się parowe utwardzanie wyrobów o spoiwie wapiennym i/lub cementowym. Typowy proces technologiczny otrzymywania autoklawizowanych produktów składa się z kilku faz: magazynowanie surowców, przygotowanie masy, formowanie półfabrykatów, hartowanie, chłodzenie, kontrola jakości i składowanie gotowych wyrobów [8].

Surowcami wejściowymi do produkcji wyrobów autoklawizowanych są wapno i/lub cement jako spoiwa, piasek kwarcowy (w uzasadnionych przypad-

in autoclaving boiler, under pressure of saturated vapor at a level of 1.2 MPa to 1.6 MPa and in the temperature of 200°C for 6 to 8 hours. It is a time consuming process and it involves the most energy compared to the rest of stages.

kach mączka kwarcowa jako kruszywo zawierające krzemionkę). Utwardzanie następuje w kotle autoklawizacyjnym pod ciśnieniem pary nasyconej około 1,2 MPa do 1,6 MPa i przy temperaturze około 200°C przez 6 do 8 godzin. Proces ten jest czasochłonny i wymaga dostarczenia największej ilości energii w porównaniu do pozostałych etapów.



Fig. 3. Particular phases of sand-lime production process [9]
Rys. 3. Etapy produkcji wyrobów wapienno-piaskowych

Silica ingredients of quartz sand (or powder), under the high temperature and pressure, become partly digested and activated by lime in binder. At the same time, they create solid compounds, usually in the form of hydrated silicates of lime, for instance the C-S-H phase or tobermorite [10, 11].

In the reaction of lime-silica, hydrated silicates of lime show high durability and resistance – they become similar to the products of cement hydration. This is why the mixtures, in which a meaningful part was replaced by quartz powder, prove high resistance in few hours. Autoclaving of mixtures without proper silica ingredients in aggregate leads to lower resistance than with traditional hardening.

Krzemianowe składniki piasku kwarcowego (lub mączki) pod działaniem wysokiej temperatury i ciśnienia zostają przez wapno spoiwa nadtrawione i zaktywizowane; wchodzi one przy tym w trwałe związki, zwykle w postaci uwodnionych krzemianów wapnia, np. faza C-S-H oraz tobermoryt [10, 11].

Przy reakcji „wapno-krzemionka” powstające uwodnione krzemiany wapnia wykazują wysoką wytrzymałość i odporność, stają się podobne do produktów hydratacji cementu. Dlatego nawet mieszaniny, w których duża część cementu została zastąpiona przez mączkę kwarcową, w ciągu kilku godzin osiągną wysokie wytrzymałości. Autoklawizacja mieszanin bez odpowiednich składników krzemionkowych w kruszywie prowadzi do niższych wytrzymałości niż przy normalnym twardnieniu.



Fig. 4a. Production of silicates on industrial scale today
 Rys. 4a. Produkcja silikatów na skalę przemysłową



Fig. 4b. Laboratory autoclave
 Rys. 4b. Autoklaw laboratoryjny



Fig. 4c. Laboratory autoclave
 Rys. 4c. Autoklaw laboratoryjny

Autoclaving influences also the phenomenon of deformation during drying (shrinking). Aerated products with lime or cement binding slightly deform with the change of humidity, from 3% to 8% volume. Cement stone, hardening in a traditional way, already during drying in higher humidity, shows much bigger shrinking.

Because of hydrated lime silica, which is difficult to dissolve, and other chemical compounds, aerated

Przez autoklawizację wpływa się także na zjawisko deformacji przy wysychaniu (skurcz). Autoklawizowane wyroby o spoiwie wapiennym i/lub cementowym odkształcają się nieznacznie przy zmianie wilgotności, od 3% do 8% objętości. Normalnie twardniejący kamień cementowy, już przy wysychaniu w zakresie wyższych wilgotności, wykazuje znacznie większy skurcz.

Przez tworzenie się trudno rozpuszczalnych uwodnionych krzemianów wapnia i innych związków che-

products are resistant to aggression from chemical substances (sulfate solution). Autoclaving has a detrimental effect on tightness, therefore on frost resistance and protection from corrosion. The reason for lower protection from corrosion is, apart from lower tightness of concrete layer covering steel – wear of strongly alkaline calcium hydroxide $\text{Ca}(\text{OH})_2$ by the reaction of ‘lime-silica’. This is why the pH indicator drops lower than the range of 9-13 which is essential for steel surface passivation, which leads to the fact that steel rusts.

4.1. Working of laboratory autoclave

Standard laboratory autoclave, designated for production of building materials should be filled with water in the amount suitable for the capacity of the autoclave.

micznych, wyroby autoklawizowane są odporne na agresję ze strony substancji chemicznych (np. roztworów siarczanów). Autoklawizacja ujemnie oddziałuje na szczelność i tym samym na mrozoodporność i ochronę zbrojenia przed korozją. Przyczyną zmniejszonej ochrony przed korozją jest oprócz zmniejszonej szczelności warstwy betonowej przykrywającej stal – zużycie silnie alkalicznego wodorotlenku wapniowego $\text{Ca}(\text{OH})_2$ przez reakcję “wapno-krzemionka”. Przez to odczyn pH spada poniżej zakresu 9-13 niezbędnego dla pasywacji powierzchni stali. Skutek – stal rdzewieje.

4.1. Działanie autoklawu laboratoryjnego

Standardowe autoklawy laboratoryjne przeznaczone do produkcji materiałów budowlanych należy uzupełniać wodą w ilości uzależnionej od pojemności autoklawu w celu wytworzenia pary wodnej i ciśnienia.

Table 1. Sample distribution of pressure and temperature in a laboratory autoclave

Tabela 1. Próbkę rozkładu ciśnienia i temperatury w autoklawie laboratoryjnym

Lp.	Time [h]	Temperature [°C]	Pressure [MPa]
1	14.30	22	0
2	15.00	109	0.03
3	15.10	124	0.2
4	15.15	137	0.3
5	15.25	162	0.8
6	15.30	176	1.2
7	15.40	192	1.9
8	15.45	198	2.0
9	15.55	197	2.0
10	16.00	196	1.9
12	16.15	194	1.9
13	16.25	194	1.8
14	16.30	196	1.9
15	16.50	194	1.9
16	17.05	192	1.9
17	17.15	195	1.8
18	17.45	200	2.1
19	19.00	166	0.86
20	7.00 (next day)	30	0

One should remember that performance of the laboratory autoclave is not fully automated and relation of pressure and temperature is connected with the amount of water in the autoclave (saturation of water vapor). Performance of the autoclave depends also on the quality of the mixture undergoing the hydrothermal treatment, which already has a particular level of hydration. In some cases (especially in the case

Należy pamiętać, że działanie autoklawów laboratoryjnych nie jest w pełni zautomatyzowane i zależność ciśnienia i temperatury ma związek z ilością wody w autoklawie (a tym samym nasycenie pary wodnej) oraz od właściwości masy poddanej obróbce hydrotermalnej (która posiada pewien stopień nawodnienia) i jakości zastosowanych komponentów. W niektórych przypadkach (szczególnie przy kom-

of amorphous components), the so-called 'swelling of materials' may occur. However, this is usually the effect of a questionable quality of components, mistakes made during the production process, too low temperature and/or pressure during autoclaving.

5. THE USE OF INDUSTRIAL AUTOCLAVES

Industrial autoclaves are used especially for production of sand-lime bricks. However, it is advisable to use them in the production of autoclaved aerated concrete, silicate concrete, and typical one, as well (especially for boosting operating characteristics and concrete durability/resistance) [12, 13].

- a. Autoclaved aerated concrete (AAC) – this is the process of production of the material with vapor hardening along with the occurrence of air pores. The pores guarantee beneficiary thermal qualities. AAC is produced from cement and lime (as binders), finely ground aggregate, rich in silicates (for example quartz powder) and a blowing agent. Autoclaving of AAC products lasts for 6-12 hours in the atmosphere of saturated vapor in 190°C and 1.2 MPa. With volume density of between 0.30 and 1.00 kg/dm³, compressive strength of 2.5 to 10.0 N/mm² is gained. The shrinking parameter is lower than 0.2 mm/m.
- b. Sand-lime bricks – sand-lime bricks (for example full sand-lime bricks) are presented in the state of humid soil from lime hardening on air and quartz sand, which are immediately hardened in an autoclave in 200°C and 1.6 MPa for about 4 to 6 hours. High resistance is based on the 'lime-silica' reaction; carbonization does not occur during the production. Cement is totally omitted as a binder.
- c. Silicate concrete – starting materials are usually lime and finely ground natural sand. Because of autoclaving, concrete for precast with compressive strength up to 100 N/mm² may be produced. However, the reinforcement must be protected from corrosion.
- d. Plain corrosion – because of the fact that the investment and exploiting costs of autoclaving are relatively high, in Germany, precast form plain concrete is not used for autoclaving.

6. MICROSTRUCTURE OF AERATED PRODUCTS

During the hydrothermal treatment of sand-lime materials (so-called silicate bricks), aqueous lime silicates, such as C-S-H phase (C-S-H gel occurs in concrete in the temperature of 20°C), the tobermorite phase of various stages of hydration, and in particular

ponentach amorficznych) może dochodzić do tzw. „puchnięcia materiałów”. Jest to jednak często efekt wątpliwej jakości komponentów, błędów podczas produkcji wyrobów, zbyt niskiej temperatury i/lub ciśnienia podczas autoklawizacji.

5. ZASTOSOWANIE AUTOKLAWÓW PRZEMYSŁOWYCH

Autoklawy przemysłowe stosuje się szczególnie w produkcji cegieł wapienno-piaskowych, jednak ich użyteczność wskazana jest również przy produkcji betonu komórkowego, silikatowego i zwykłego (szczególnie do wzmacniania charakterystyk użytkowych i trwałości materiału) [12, 13].

- a. Beton komórkowy – w tym przypadku to proces produkcji wyrobu z utwardzaniem parowym i powstawaniem porów powietrznych, które gwarantują korzystne właściwości termiczne materiału. Beton komórkowy wytwarza się z cementu i wapna (jako spoiw), drobno zmielonego kruszywa, bogatego w krzemiany (np. mączki kwarcowej), oraz środka porotwórczego. Autoklawizacja wyrobów z betonu komórkowego odbywa się przez 6 do 12 godzin w atmosferze pary nasyconej w 190°C i 1,2 MPa. Przy gęstości objętościowej między 0,30 a 1,00 kg/dm³ osiąga się wytrzymałości na ściskanie od 2,5 do 10,0 N/mm². Wartość skurczu leży poniżej 0,2 mm/m.
- b. Cegły wapienno-piaskowe – prasuje się je np. cegły pełne w stanie wilgotnej ziemi z wapna twardniejącego na powietrzu i piasku kwarcowego, zaraz potem utwardza w autoklawie w 200°C i przy 1,6 MPa około 4 do 6 godzin. Wysokie wytrzymałości opierają się na reakcji „wapno-krzemionka”; przy produkcji nie występuje karbonatyzacja. Całkowicie rezygnuje się z cementu jako spoiwa.
- c. Beton silikatowy – materiałami wyjściowymi są przeważnie wapno i drobno zmielony piasek naturalny. Przez autoklawizację można produkować beton do prefabrykatów o wytrzymałości na ściskanie do 100 N/mm². Zbrojenie musi być jednak chronione przed korozją.
- d. Beton zwykły – ponieważ koszty inwestycyjne i eksploatacyjne przy autoklawizacji są stosunkowo wysokie, w Niemczech nie stosuje się autoklawizacji prefabrykatów z betonu zwykłego.

6. MIKROSTRUKTURA PRODUKTÓW AUTOKLAWIZACJI

Podczas obróbki hydrotermalnej w materiale wapienno-piaskowym (tj. cegle silikatowej) powstają tzw. uwodnione krzemiany wapna, jak na przykład faza C-S-H (żel C-S-H powstaje w betonach w temperaturze zaledwie 20°C), faza tobermorytowa o róż-

cases also xonolite (the temperature of autoclaving of more than 170°C). Surface area of subject phases changes along with the change of temperature and pressure (as a result of water loss).

7. SUMMARY

Research on the autoclaves and means of brick production have lasted for almost 200 years. These are the so-called mechanical means of finding artificial stone. Depending on the market needs and demands for material of specified parameters, not only the mixture from which an artificial stone – a brick is created undergoes alteration, but also its process of production. What is altered is, among others, pressure in press that operates on the mixture, method of dosing the ingredients, the temperature of autoclaving etc.

nym stopniu uwodnienia, a w określonych przypadkach xonolit (temperatura autoklawizacji powyżej 170°C). Powierzchnia właściwa przedmiotowych faz zmienia się wraz ze zmianą temperatury i ciśnienia (na skutek m.in. utraty wody).

7. PODSUMOWANIE

Prace nad autoklawami i sposobem produkcji cegieł trwają od prawie 200 lat. Są to tak zwane mechaniczne sposoby pozyskiwania sztucznego kamienia. W zależności od potrzeb rynku i zapotrzebowania na materiał o określonych parametrach, modyfikacjom poddawana jest nie tylko sama mieszanka, z której powstaje cegła, czyli sztuczny kamień, ale również proces produkcji. Zmianom poddaje się m.in.: ciśnienie w prasie, jakim działa się na formowaną mieszankę, sposób dozowania składników, temperaturę autoklawizacji itp.

References

- [1] Major M., Major I., *Complex structures in sustainable construction*, Construction with an optimized energy potential, 2 (16) 2015, pp. 51-56.
- [2] Sawicki J., *Silicates in construction*, IZOLACJE, 2009.
- [3] Dachowski R., Kostrzewa P., *The effect of modification of lime-sand products on their compressive strength and absorbability*, monography Innovations in Polish Science - an overview of the current research topics of the chemical industry, 2016, pp. 87-95.
- [4] Stępień A., *The influence of modifications of the composition of silicate products on their microstructure and useful properties*, PhD dissertation, Kielce University of Technology, WBiA, Kielce 2013.
- [5] <http://www.autoklawy.com.pl>, access on July 5, 2017.
- [6] <http://autoklaw-sterylizator.com>, access on July 5, 2017.
- [7] Dziadek K., Szmidt A., *The project of the technological process of brick production by autoclaving*. Engineering work, Politechnika Świętokrzyska, Faculty of Management and Computer Modeling (Production Engineering), Kielce 2015.
- [8] Dachowski R., Kostrzewa P., *Silicates in the light of ecology and economics*, Construction with an Optimized Energy Potential no 1(19) 2017.
- [9] <http://www.sil-pro.pl/proces-produkcji>, access on July 5, 2017.
- [10] Gębarowski P., Łaskawiec K., Skorniewska M., *The influence of autoclaving conditions on the properties of silicate materials*. ICiMB's work 2015 no 20: 23-33, ISSN 1899-3230, Warsaw-Opole 2015.
- [11] Stępień A., *The modification of the sand-lime products*, Building Materials, vol. 12, pp. 29-31, 2015.
- [12] <http://solidnydom.pl/autoklawizacja.html>, access on July 5, 2017.
- [13] Zapotoczna-Sytek G., Balkovic S., *Autoclaved cellular concrete*. Technology, properties, application, PWN Scientific Publisher, Warsaw 2013.

Acknowledgments:

The work was financed by Kielce University of Technology, part of the statutory work No. 02.0.05.00/2.01.01.02.0057 MNSC.BKTO.16.005

Podziękowania:

Praca była finansowana przez Politechnikę Świętokrzyską, w ramach pracy statutowej nr: 02.0.05.00/2.01.01.02.0057 MNSC.BKTO.16.005