

AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETE AS AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CONSTRUCTION MATERIAL

Abstract

The paper presents the influence of mineral additives on the autoclaved aerated concrete (AAC) properties. The technology of production AAC in Poland and in the world were shown. Mineral supplements which were widely discussed include: microspheres, fly ashes, fluid ashes, cellulose fibers. Each of these additives affect the properties of autoclaved aerated concrete.

Keywords: autoclaved aerated concrete (AAC).

1. Introduction

Cellular or aerated concrete, being one of the most widely used construction materials, has a relatively short history. Autoclaved cellular concrete (ACC) has been known worldwide for more than 80 years, while in Poland it has been produced since the 1950s. It became especially popular, however, in the years 1960-1976, when the acute shortage of building materials, resulting from the war devastation, contributed to its development. In those times the beneficial insulation and construction properties of ACC were also highly valued [1, 2, 3].

It should be noted that the ACC is environmentally friendly because it does not contain toxic materials. The autoclaved cellular concrete is a material which fulfills the requirement of the efficient energy use to a larger extent than other manufactured building materials. The values in use, the high efficiency of the production process and the extensive application of ACC – all contribute to the steady growth in its production [3].

The technology of manufacturing autoclaved construction composites permits the silica sand to be replaced with fly ash or blast furnace slag, while at the same time eliminating industrial waste from the environment. The formation of hydrated calcium silicate phases also facilitates the incorporation of heavy metals into their structure [1, 3]. It is known that heavy metals (Cu, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, Hg) have been regarded as stimulators or inhibitors of life processes. Depending

on the concentration, the degree of oxidation and the ease of forming complexes, metals may become a toxic factor for all living organisms [4, 5].

An important role in the binding of heavy metals is attributed to the C-S-H phase.

The factors that mostly determine the immobilization of heavy metals in the C-S-H are: a low permeability of the gel, which makes the migration of adsorbed substances a difficult process, high ion adsorption capacity and the presence of gel pores [4, 5].

This study, mainly based on literature sources, focuses on determining the impact of mineral additives on the formation of the phase composition and properties of autoclaved aerated concrete. The technologies of ACC manufacturing are also presented.

2. The assessment of cellular concrete's impact on the environment

The environmental concern should be taken into account while taking a decision about introducing new methods and raw materials in the manufacturing technology of autoclaved cellular concrete. The potential threat that they may pose to the ecosystem should be analysed [4].

In light of the requirements of sustainable development it has been proved that the production of cellular concrete is environmentally friendly. Raw materials used for ACC production are commonly available. Using fly ash in the ACC production means that its accumulation in heaps is avoided. In the autoclaving

process in the ash technology the waste steam from power plants is utilized. Poland is the second (after Great Britain) leading manufacturer of cellular concrete produced with the application of fly ashes. In the course of ACC production process, no substances are released or no materials are formed, that could be harmful for human organisms or environment [1, 4, 5].

Autoclaved concrete products are characterized by favourable strength and high thermal insulation, which results in saving energy required for heating objects [1].

The ACC manufacturing technologies contribute to limited emission of CO₂ i NO_x [1].

3. Modern technologies in autoclaved cellular concrete production

Poland is the largest producer of autoclaved cellular concrete in Europe. In 2009 ACC production in Poland amounted to 16.3 mln m³, which corresponds to 27.1% of autoclaved aerated concrete manufactured in Europe. Thanks to the conducted research many Polish technologies of ACC manufacturing have been developed and implemented [6].

The manufacturing technology of autoclaved aerated concrete is characterized by a reduced consumption of energy and raw materials. This is due to the low density of concrete and to the fact that it is a waste-free process. The surplus mass is transferred in the form of slurry to be utilized in the production process. It is worth noting that there are several technologies

of autoclaved aerated concrete manufacturing, which are presented in Table 1 [6].

4. Mineral additives to cellular concrete

The use of mineral additives affects the amount and type of phases formed in the autoclaving process [7].

One method to reduce the volume density is to use very light mineral fillers. Aluminosilicate microspheres are a light fraction of fly ashes formed during the combustion of coal. They are spherical particles filled with combustion gases. This additive does not have a negative effect on the process of mass growth (low bulk density in the order of 50 kg/m³) and neither does it reduce the strength of autoclaved aerated concrete [7, 8] thanks to a possible reaction with the binder in the autoclaving process.

Table 2. Exemplary chemical composition of microspheres [8]

Chemical composition of microspheres	Percentage [%]
SiO ₂	58±5
Al ₂ O ₃	26±5
Fe ₂ O ₃	5.0±0.6
CaO	2±0.5

The investigation results show that the aluminosilicate microspheres cause the reduction in the bulk density by over 20%, with similar proportions of dry ingredients of the mixture. Thermal conductivity coefficient is reduced in the order of 7%.

Table 1. Exemplary technologies of AAC manufacturing [6].

N°	Manufacturing technology	Basic raw materials	
		Binder	Aggregate
FOREIGN TECHNOLOGIES			
1	SIPOREX	Cement	quartz sand or quartz sand + blast furnace slag wet-milled together
2	YTONG	quicklime + cement	quartz sand wet-milled
3	HEBEL	quicklime + cement	quartz sand wet-milled
4	CALSILOX	quicklime + cement	quartz sand
		dry-milling together	
POLISH TECHNOLOGIES			
1	UNIPOL (universal Polish technology)	quicklime + cement + a portion of aggregate dry-milled together	quartz sand wet-milled, or fly ashes, or a mixture of sand and ashes
2	FGS (foam-gas-silicate)	quicklime milled together with a portion of aggregate	fly ashes
3	BLB (Light Belite Concrete)	Belite concrete	Sand slurry
4	SSS (slowly solidifying silicate)	quicklime + cement	quartz sand wet-milled, or fly ashes, or a mixture of sand and ashes
Ingredients always added to ACC: <ul style="list-style-type: none"> - powder or paste aluminium for forming the cell structure - a detergent decreasing the water surface tension and enhancing its ability to moist the ingredients of the paste - water In certain conditions other additives are also used (e.g. dihydrated gypsum)			

Compressive strength remains essentially unchanged and amounts to about 2.0 MPa [8, 9].

The ACC strength depends on:

- Autoclaving conditions
- Configuration of differently sized and shaped pores
- Composition, quality and quantity of alluminium powder [8]

The addition of microspheres has a beneficial effect on the properties of autoclaved aerated concrete. There was no segregation in mass, no impact on the surface, or increased content in the upper surface of the samples, despite a low bulk density [8].

Fly ashes are an attractive addition modifying the hydration products in concrete matrix, due to a high level of their fragmentation and the phase composition. With the content of acidic oxides of above 80%, an increased compressive strength is achieved.

One may also expect the emergence of specific phases, so called hydrogarnets [9, 10].

Fly ashes from coal combustion in fluidized bed boilers are characterized by the presence of highly chemically active ingredients in their phase composition. They are amorphous remnants formed as a result of the dehydroxylation of clay minerals, anhydrite and free lime as well as the unreacted sorbent CaCO_3 . The investigation revealed the decomposed clay mineral to be metakaolinite. It also revealed the absence of aluminosilicate glass. A higher activity of metaklonite in comparison with aluminosilicate glass and a different phase composition of fluidized ashes should lead to a higher content of C-S-H, tobermorite ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$), and hydrogarnets ($\text{C}_x\text{A}_y\text{S}_m\text{H}_n$).

The presence of hydrogarnets has a beneficial effect on contraction and, to a lesser extent, on strength. Other phases have a positive effect on strength, frost resistance and contraction [10].

Replacing siliceous ashes by fluidized fly ashes in the amount of 80%, 60%, 40% and 20% did not have a detrimental effect on the technological process. Nevertheless, when the content of fluidized ashes applied in the autoclaved cellular concrete manufacturing exceeds 40% of the total amount of ashes in concrete, the thermal conductivity coefficient and the strength of ACC are decreased. It is probably connected with the increased content of crystalline hydrogarnets. The application of fluidized ashes permits the decrease of calcium content by 10-20%, and the reduction of gypsum content by from 60% to even 100%. The degree of the ingredients reduction depends on the chemical composition of fluidized ashes [10].

During autoclaving many physicochemical processes determining the phase composition and microstructure are changed by mineral additives. The appropriate amount of the additives will allow the modification of the C-S-H phase, and thus will enable high strengths to be achieved for light types of ACC.

In hydrothermal conditions many hydrated forms of calcium silicates are formed. Figure 1 presents the conditions in which particular minerals are formed according to Taylor [11].

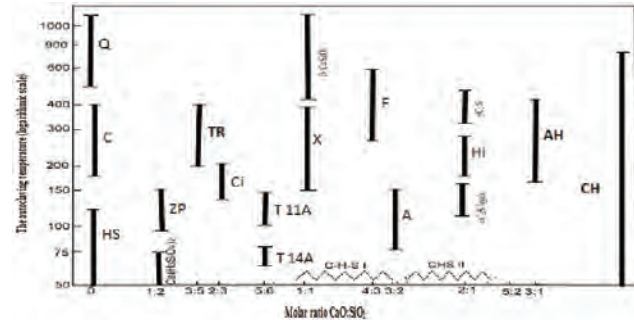


Fig. 1. Formation of minerals according to Taylor [11].

The autoclaving temperature (logarithmic scale):

- HS – hydrosilicate, C – cristobalite, Q – quartz,
- ZP – Z-phase, TR – truscovite, T – tobermorite,
- Ci – circolit, X – xonotlite, A – afwillite, F – foshagit,
- Hi – hillebrandite, AH – allite hydroxide, CH – calcium hydroxide

During the formation of crystalline phases the C/S ratio and temperature are very important. 1.1 nm tobermorite with the C/S ratio of 0.83 is the most easily formed phase in the temperature above 120°C. With the C/S = 1 and the temperature above 150°C the formation of xonotlite may take place, which is an undesirable phenomenon.

During the autoclaving the temperature is 180-200°C, so the formation of xonotlite is possible. However, it depends to a large extent on the content of sulphate ions. In the process of autoclaving it is gypsum that is responsible for the stabilization of the tobermorite phase, which prevents the transition into xonotlite [11].

The C-S-H phase and tobermorite in correct quantitative proportions are responsible for the cellular concrete strength [12].

5. Summary

Modern technologies of ACC manufacturing are waste-free processes, they do not release substances harmful for living organisms and environment, and they are characterized by low power and raw materials consumption in comparison with the technologies of manufacturing other construction materials.

The purpose of the conducted research on the use of mineral additives is to improve certain properties of autoclaved aerated concretes or to achieve special qualities of those concretes. By modifying the microstructure and phase composition of finished products one can improve the physical properties, such as compressive strength and contraction.

The analysis based on the data from the literature sources focused on the effect of the microspheres' type and number as well as the influence of fluidized fly ashes and siliceous ashes on the selected properties of ACC. The results of the physical properties investigation showed that the aluminosilicate microspheres cause the decrease of the bulk density by 24% and of the thermal conductivity by about 7%.

The compressive strength, with the application of 24 weight per cent microspheres, remained unchanged.

Fluidized fly ashes have an effect on the change of the ACC phase composition by the increase of: the C-S-H phase content, tobermorite and hydrogarnets. Depending on the chemical composition of the fluidized ashes it is possible to reduce the lime content by between 10 to 20% and the gypsum content by from 60 to 100%.

Further development of autoclaved aerated concrete is extremely important, because of its unquestionable engineering and environmental advantages. The objective of the conducted research on the application of new mineral additives is to improve certain qualities of autoclaved cellular concretes or to achieve special properties of the concretes.

References

- [1] Zapotoczna-Sytek G., Małolepszy J.: *Zrównoważony rozwój, a proces wytwarzania i stosowania elementów z betonu komórkowego*, Materiały konferencji Dni betonu, Wisła 2008, s. 867-878.
- [2] Osiecka E.: *Wybrane zagadnienia z technologii mineralnych kompozytów budowlanych*, Oficyna wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.
- [3] Materiały informacyjne Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA), z lat 2004-2006.
- [4] Kuterasińska J.: *Ocena oddziaływania autoklawizowanego betonu komórkowego na środowisko naturalne uwalnianie substancji szkodliwych*, Cement Wapno Beton 4 (2012), s. 250-257
- [5] Król M., Mozgawa W., Pichór W.: *Immobilizacja kationów metali ciężkich w materiałach wypalanych na bazie smektytu i zeolitu naturalnego*, Materiały Ceramiczne (2010), s. 218-223
- [6] Zapotoczna-Sytek G., Soboń M.: – *60 Lat betonu komórkowego w Polsce. Historia i przyszłość*, 5. Międzynarodowa Konferencja dotycząca Autoklawizowanego Betonu Komórkowego Bydgoszcz, Polska 14-17 września 2011, s. 27-42
- [7] Małolepszy J., Pichór W.: *Możliwości wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego odmiany 300*, Konferencja Naukowo-Techniczna, Olsztyn-Łańsk 2002, s. 297-305.
- [8] Pichór W.: *Właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego z dodatkiem mikrosfer glinokrzemianowych*, Cement Wapno Beton 1 (2012), s. 32-37.
- [9] Zapotoczna-Sytek, Zmywawczyk J., Koniorczyk P., Lubińska K., Górka B.: *Badania eksperymentalne efektu redukcji przewodności cieplnej w autoklawizowanym piaskowym betonie komórkowym (ABK 500)*, Cement Wapno Beton 6 (2009), s. 301-307.
- [10] Łaskawiec K., Gębarowski P., Zapotoczna-Sytek G., Małolepszy J.: *Zastosowanie popiołów ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych do produkcji betonu komórkowego*. Cement Wapno Beton 1 (2012), s. 14-22.
- [11] Paprocki A. : *Beton komórkowy*. Arkady, Warszawa 1966.
- [12] Jatymowicz H., Siejko J., Zapotoczna-Sytek G.: *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego*. Arkady, Warszawa 1980.

Zdzisława Owsiak
Anna Sołtys

Autoklawizowany beton komórkowy jako materiał budowlany przyjazny środowisku

1. Wprowadzenie

Beton komórkowy choć jest jednym z najpowszechniej stosowanych materiałów budowlanych, ma stosunkowo krótką historię. Na świecie autoklawizowany beton komórkowy (ABK) znany jest od ponad 80 lat, natomiast w Polsce wytwarzany jest od połowy ubiegłego wieku. Jednak szczególny renesans przypada na lata 1960-1976, kiedy ogromny deficyt materiałów budowlanych, spowodowany spustoszeniem wojennym, przyczynił się do jego rozwoju. W tym okresie doceniono również korzystne właściwości izolacyjno-konstrukcyjne ABK [1, 2, 3].

Należy wspomnieć o tym, że ABK jest materiałem przyjaznym dla środowiska, ponieważ nie zawiera materiałów toksycznych. Jest materiałem, który spełnia w najszerszym zakresie wymagania efektywności energetycznej spośród wszystkich produkowanych materiałów budowlanych. Wartości użytkowe, wysoka efektywność procesu produkcyjnego oraz szerokie zastosowanie ABK powodują stale rosnącą jego produkcję [3].

Technologia wytwarzania autoklawizowanych kompozytów budowlanych pozwala na zastąpienie piasku kwarcowego popiołem lotnym lub żużlem wielkopieczowym, jednocześnie eliminując ze środowiska odpady przemysłowe. Także tworzenie uwodnionych faz krzemianów wapniowych sprzyja wbudowaniu w ich strukturę metali ciężkich [1, 3]. Jak wiadomo metalom ciężkim (Cu, Ni, Pb, Zn, Cu, Cr, As [półmetal], Hg) przypisuje się rolę stymulatorów lub czynników hamujących procesy życiowe. W zależności od stężenia, stopnia utlenienia i łatwości tworzenia kompleksów, metale mogą stać się czynnikami toksycznymi dla wszystkich organizmów żywych [4, 5].

Ważną rolę w procesie wiązania metali ciężkich przypisuje się fazie C-S-H. Czynnikiem, które decydują o immobilizacji metali ciężkich w C-S-H są przede wszystkim: mała przepuszczalność tego żelu utrudniająca migrację zaadsorbowanych substancji, duża zdolność adsorpcji jonów oraz obecność porów żelowych [4, 5].

Przedmiotem realizowanej rozprawy doktorskiej jest ocena wpływu kompozycji dodatków mineralnych na

mikrostrukturę autoklawizowanych kompozytów budowlanych oraz właściwości fizyczne, takie jak wytrzymałość na ściskanie i gęstość objętościową.

W niniejszym referacie skoncentrowano się na określeniu wpływu dodatków mineralnych, głównie w oparciu o źródła literaturowe, na kształtowanie składu fazowego i właściwości autoklawizowanych betonów komórkowych. Opisane zostały również technologie wytwarzania ABK.

2. Ocena oddziaływania betonu komórkowego na środowisko naturalne

Troska o środowisko naturalne powoduje, że przy podejmowaniu decyzji o zmianie metod oraz surowców stosowanych w technologii produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego należy przeanalizować ich potencjalny wpływ na zagrożenie ekosystemu [4].

W świetle wymagań zrównoważonego rozwoju wykazano, że wytwarzanie betonu komórkowego jest przyjazne dla środowiska. Surowce, które używane są do produkcji ABK są powszechnie dostępne. W przypadku stosowania popiołów eliminuje się hałdy na które trafiłyby popioły. W procesie autoklawizacji w technologii popiołowej, w wykorzystuje się odpadową parę z elektrowni. Po Wielkiej Brytanii Polska jest wiodącym producentem betonu komórkowego z zastosowaniem popiołów lotnych. W trakcie produkcji ABK nie uwalniają się żadne substancje, ani nie powstają żadne materiały, które mogłyby być szkodliwe dla organizmu ludzkiego czy też środowiska [1, 4, 5].

Wyroby z ABK cechują się korzystną wytrzymałością, wysoką izolacyjnością cieplną przez co wpływają na oszczędność energii potrzebnej na ogrzewanie obiektów [1].

Technologie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego przyczyniają się do ograniczenia emisji CO₂ i NO_x [1].

3. Współczesne technologie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego

Polska jest największym producentem autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie (rys. 1). W 2009 produkcja ABK wyniosła 16,3 mln m³, co sta-

nowi 27,1% udziału Polski w produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie. Dzięki prowadzonym pracą badawczym opracowano i wdrożono wiele polskich technologii wytwarzania ABK [6].

Technologia wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego wyróżnia się niewielkim zużyciem energii oraz surowców. Jest to spowodowane małą gęstością betonu oraz tym, że jest to proces bezodpadowy. Naddatki masy kierowane są do produkcji w postaci szlamu. Warto zaznaczyć, iż istnieje kilka technologii wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego, które zostały przedstawione w tabeli 1 [6].

4. Dodatki mineralne do betonu komórkowego

Zastosowanie dodatków mineralnych wpływa na ilość i rodzaj faz powstających w procesie autoklawizacji [7].

Jedną z metod obniżenia gęstości objętościowej jest wykorzystanie bardzo lekkich wypełniaczy mineralnych. Mikrosfery glinokrzemianowe to lekka frakcja popiołów lotnych, utworzonych podczas spalania węgla kamiennego. Są to cząstki o kulistym kształcie, wypełnione gazami spalinowymi. Dodatek ten nie wpływa negatywnie na proces wyrastania masy (niska gęstość objętościowa rzędu 50 kg/m^3), a dzięki możliwej reakcji ze spoiwem w procesie autoklawizacji nie obniża wytrzymałości betonu komórkowego [7, 8].

Wyniki badań wykazały, że mikrosfery glinokrzemianowe powodują zmniejszenie gęstości objętościowej o ponad 20%, przy podobnych proporcjach suchych składników mieszanki. Obniżeniu ulega współczynnik przewodzenia ciepła, są to wielkości rzędu 7%. Wytrzymałość na ściskanie nie ulega zasadniczo zmianie i wynosi ok. 2,0 MPa [8, 9].

Wytrzymałość ABK zależy od:

- warunków autoklawizacji,
- rozkładu wielkości porów i kształtu porów,
- składu, jakości i ilości proszku glinowego [8].

Dodatek mikrosfer wpływa korzystnie na właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego. Nie stwierdzono segregacji w masie, wpływu na powierzchnię, czy podwyższonej zawartości w obszarach górnej powierzchni próbek, mimo niskiej gęstości objętościowej [8].

Popioły lotne ze względu na duże rozdrobnienie i skład fazowy są atrakcyjnym dodatkiem modyfikującym produkty hydratacji w matrycy betonowej. Przy udziale tlenków kwaśnych powyżej 80%, uzyskuje się zwiększoną wytrzymałość na ściskanie.

Można spodziewać się także powstania specyficznych faz tzw. hydrogranatów [9, 10].

Popioły lotne ze spalania węgla w kotłach fluidalnych charakteryzują się istnieniem w swoim składzie fazowym bardzo aktywnych chemicznie składników, którymi są bezpostaciowe pozostałości po dehydroksylacji minerałów ilastych, anhydryt oraz wolne wapno, a także nieprzereagowany sorbent CaCO_3 . Badania wykazały, że rozłożone minerały ilaste to metakaolinit. Nie stwierdzono występowania szkła glinowo-krzemianowego. Większa aktywność metakaolinitu od szkła glinowo-krzemianowego oraz inny skład fazowy popiołów fluidalnych powodują, że należy spodziewać się podwyższonej zawartości C-S-H, toberomorytu ($\text{C}_5\text{S}_6\text{H}_5$), oraz hydrogranatów ($\text{C}_x\text{A}_y\text{S}_m\text{H}_n$). Obecność hydrogranatów korzystnie wpływa na skurcz, w mniejszym stopniu na wytrzymałość. Pozostałe fazy mają pozytywny wpływ na wytrzymałość, mrozoodporność oraz skurcz [10].

Do badań użyto popioły lotne fluidalne, które zastąpiły popioły krzemionkowe w ilości 80%, 60%, 40% oraz 20%. Proces technologiczny przebiegał prawidłowo niezależnie od udziałów procentowych popiołów fluidalnych i krzemionkowych. Popioły fluidalne mogą być zastosowane w produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w ilości nie większej niż 40% do ogólnej zawartości popiołów w betonie. Większa ich ilość powoduje obniżenie współczynnika przewodzenia ciepła oraz spadek wytrzymałości ABK. W zależności od składu popiołów fluidalnych można zmniejszyć ilość wapna o 10-20%, oraz gipsu od 60% do nawet 100% [10].

Dodatki mineralne przyczyniają się do wielu procesów fizykochemicznych w czasie autoklawizacji, które determinują skład fazowy oraz mikrostrukturę. Odpowiednie ich ilości umożliwiają modyfikację fazy C-S-H, a przez to otrzymanie wysokich wytrzymałości dla lekkich odmian ABK.

W warunkach hydrotermalnych powstaje wiele uwodnionych form krzemianów wapnia. Na rysunku 1 zostały przedstawione warunki powstawania poszczególnych minerałów według Taylora [11].

Przy tworzeniu się krystalicznych faz bardzo ważny jest stosunek C/S oraz temperatura. W temperaturze powyżej 120°C najłatwiej powstającą fazą jest 1,1 nm tobermoryt o stosunku C/S = 0,83. Przy stosunku C/S = 1 i temperaturze powyżej 150°C możliwe jest powstanie ksonotlitu, co jest niepożądanym zjawiskiem. Podczas autoklawizacji temperatura wynosi $180\text{-}200^\circ\text{C}$, a zatem możliwe jest powstanie ksonotlitu. Jednak jest to w dużej mierze zależne od zawar-

tości jonów siarczanowych. Gips odpowiedzialny jest w procesie autoklawizacji za stabilizację fazy tobermorytowej uniemożliwiając przejście w ksonotlit [11].

Za wytrzymałość betonu komórkowego odpowiedzialna jest faza C-S-H oraz tobermoryt w odpowiedniej proporcji ilościowej [12].

5. Podsumowanie

Współczesne technologie wytwarzania ABK to procesy bezodpadowe, nieuwalniające substancji szkodliwych dla organizmów żywych i środowiska, charakteryzujące się niskim zużyciem energii oraz surowców w stosunku do technologii wytwarzania innych materiałów budowlanych.

Prowadzenie prac badawczych nad zastosowaniem dodatków mineralnych ma na celu poprawę pewnych właściwości lub uzyskanie specjalnych właściwości autoklawizowanych betonów komórkowych. Modyfikując mikrostrukturę i skład fazowy gotowych wyrobów można wpłynąć na poprawę właściwości fizycznych, takich jak wytrzymałość na ściskanie, czy skurcz.

W praktyce zostanie wytworzony materiał charakteryzujący się niskim współczynnikiem przewodzenia ciepła przy możliwie jak najwyższej wytrzymałości.

Założono, że do badań składu fazowego i mikrostruktury ABK zostaną zastosowane metody: dyfrakcja rentgenowska, termiczna analiza różnicowa, mikroskopia skaningowa, absorpcyjna spektrometria atomowa oraz porozymetria rtęciowa.