

dr inż. Katarzyna Łaskawiec^{1*)}
 dr inż. Piotr Gębarowski¹⁾
 mgr inż. Jarosław Stankiewicz²⁾

Wykorzystanie surowców wtórnych w modułowych elementach z ABK

Budownictwo modułowe umożliwia ograniczenie czasu prac na budowie, ponieważ z reguły ponad 80% robót budowlanych odbywa się w zakładzie produkcyjnym. Tam montowane są okna i drzwi, podłogi, ściany działowe, dach z pokryciem, a także instalacje (elektryczne, wodno-kanalizacyjne, grzewcze, w tym np. instalacje ogrzewania podłogowego). Wykończenie i wyposażenie modułów zależy od zamawianego standardu.

Autoklawizowany beton komórkowy (ABK) ze względu na małą gęstość jest preferowany do prefabrykacji modułowej. Ma jednak istotne ograniczenia wynikające z niewielkiej wytrzymałości oraz technologii wytwarzania przez wyrastanie w formach. Beton komórkowy w zastosowaniu do budowy domów jednorodzinnych i budynków niskich ma wystarczającą wytrzymałość i charakteryzuje się dobrą izolacyjnością cieplną ograniczającą powstawanie mostków termicznych. Prefabrykacja wielkogabarytowa z betonu komórkowego powinna wykorzystywać bloki o wymiarach i masie umożliwiającej transport ciężarówkami oraz montaż z wykorzystaniem dźwigów o małym wysięgu i nośności. Obecnie podobne środki wykorzystywane są do transportu palet z bloczkami ABK. Nieuzasadnione jest projektowanie modułów przestrzennych czy wielkogabarytowych prefabrykatów, ponieważ zarówno produkcja, jak i transport byłyby niezgodne z ekonomicznie uzasadnionym procesem produkcji i właściwościami materiału. Moduły przestrzenne, ze względu na duże gabaryty i masę, wymagałyby specjalistycznych dźwigów, których dostępność jest ograniczona.

Rozwiązaniem docelowym powinna być modułowość elementów i geometrii budynków umożliwiająca powtarzalną realizację z możliwością rozbudowy. Bardzo dobrym rozwiązaniem są elementy, które można domontować z wykorzystaniem popularnych w transporcie budowlanym samochodów z HDS. Małe obiekty, ze względu na swoją geometrię, umożliwiają montaż na małych wysięgach i ustawianie pojazdów transportowych tuż przy wznoszonym budynku.

Lekkie kruszywa sztuczne do wyrobów z ABK

W technologii produkcji betonu komórkowego stosowane są kruszywa o dużej zawartości krzemionki, stanowiącej główny materiał tworzący strukturę wyrobu. Ze względu na zbieżność struktury kruszywa stosowanego do produkcji wyrobów z ABK oraz sztucznych kruszyw lekkich podjęto działania w celu zastosowania tych kruszyw do elementów modułowych z ABK.

¹⁾ Sieć Badawcza Łukasiewicz Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

²⁾ Sieć Badawcza Łukasiewicz Warszawski Instytut Technologiczny

^{*)} Adres do korespondencji: katarzyna.laskawiec@icimb.lukasiewicz.gov.pl

Określenie składu mieszanek mączki mineralnej z osadem ściekowym jako materiału do otrzymywania kruszyw sztucznych. Receptura bazowa stanowiąca podstawę do modyfikacji zawierała 50% uwodnionych osadów ściekowych, 40% surowca mineralnego zawierającego powyżej 95% krzemionki i 10% topnika, którym był odpad szklany przede wszystkim z recyklingu opakowań. Kruszywo sztuczne charakteryzowało się jednorodną strukturą o wytrzymałości 2 razy większej niż keramzyt oraz neutralnością dla środowiska, pomimo iż osady ściekowe stanowią największy masowo składnik kruszywa zawierającego substancje niebezpieczne. Topnik (szkło) stanowił dodatek pozwalający na utworzenie struktury kruszywa w temperaturze niższej niż temperatura topnienia jego głównego budulca, czyli krzemionki.

Koncepcja projektowania składu zmodyfikowanego kruszywa zakładała wykorzystanie tradycyjnych składników mineralnych w takiej ilości, aby skład chemiczny nowej mieszaniny odpowiadał składowi chemicznemu kruszyw bazowych. W związku z tym przeprowadzono analizę składu chemicznego alternatywnych surowców naturalnych w celu opracowania receptur kruszyw zawierających inne składniki niż kruszywo bazowe, ale z podobnym procentowym udziałem krzemionki i składników pełniących funkcje topnika.

Kierując się przesłanką maksymalnego zagospodarowania surowców odpadowych, zaproponowano receptury z różną procentową ich zawartością. Bazą do wytworzenia kruszyw sztucznych były: osad ściekowy; szkło z odpadów komunalnych; krzemionka Osiecznica; odpad granitowy; popiół z energetyki węgla kamiennego.

W przypadku każdego zaprojektowanego składu próbek (tabela 1), w celu zapewnienia wiarygodności wyników i wyeliminowania błędów przypadkowych, wynikających z rozrzu tu właściwości surowców, skuteczności metod mieszania i procesu termicznego, przygotowano po 3 próbki, co jest szczególnie istotne przy wykorzystaniu materiałów odpadowych.

Tabela 1. Skład mieszaniny do produkcji kruszyw lekkich z zastosowaniem surowców odpadowych

Próbka	Składniki				
	osad ściekowy	krzemionka	szkło	popiół	odpad granitowy
1	50	40	10	–	–
2	50	20	–	–	30
3	50	10	–	10	30
4	50	–	–	–	30

Badania właściwości otrzymanych kruszyw lekkich. Obiektywnym wskaźnikiem oceny procesu projektowania i produkcji kruszyw lekkich są badania właściwości wykonywane wg odpowiednich norm. Główne badania kruszyw lekkich dotyczą gęstości, nasiąkliwości i wytrzymałości na miażdżenie (tabela 2).

Tabela 2. Wyniki badania podstawowych właściwości kruszyw lekkich

Próbka	Gęstość nasypowa [kg/m ³]	Nasiąkliwość [%]	Gęstość [kg/m ³]	Wytrzymałość na miażdżenie [MPa]
1	717	30,4	1270	2,26
2	781	17,2	1360	3,89
3	752	18,8	1300	3,25
4	809	12,7	1480	4,61

Na etapie przygotowania granul przeprowadzono cykl dostosowania parametrów procesu w celu uzyskania maksymalnej frakcji 0 – 2 mm, co jest szczególnie przydatne w technologii kruszyw przeznaczonych do ABK. Próbką z popiołem lotnym poszerza możliwości stosowania różnych materiałów, w tym UPS, do zastosowania jako zamiennika w produkcji kruszyw wg proponowanej technologii. Zastosowanie innych odpadów, np. mączki granitowej w mieszance, zwiększa gęstość i wytrzymałość mechaniczną otrzymanego z niej kruszywa oraz zmniejsza jego nasiąkliwość w porównaniu z kruszywem otrzymanym bez jej wykorzystania. Badania wykazały możliwość całkowitego zastąpienia topnika szklanego oraz mączki krzemionkowej innymi odpadami.

Próby technologiczne

W próbach technologicznych wytwarzania ABK założono, że część pierwotnego kruszywa (szlamu) będzie sukcesywnie zastępowana kruszywem Gransil w ilości wagowej: 10, 20, 25, 30 do nawet 50%. Ponadto założono, że: temperatura początkowa mieszanki betonowej po wylaniu będzie wynosiła 35 – 40°C; rozlewność mieszanki betonowej 120 – 135 mm; temperatura wstępnego dojrzewania i wiązania 50 – 60°C, a podczas jej wyrastania nie powinny występować rysy i spękania w wierzchniej warstwie. Mieszanka po wyrośnięciu nie może osiadać. Istotnym czynnikiem w momencie wyrastania jest kompatybilność i szybkość wydzielania wodoru z początkowym wyrastaniem mieszanki oraz odpowiedni bilans ciepły i odpowiednio dobrane surowce.

Dojrzewanie mieszanki betonowej następuje etapowo. W pierwszym okresie (do ok. 30 min) uzyskuje się je dzięki krystalizacji portlandytu oraz ettringitu. Powstające produkty krystaliczne kończą proces wiązania i nadają początkową, niewielką wytrzymałość betonu komórkowego. Następnym etapem technologicznym jest proces autoklawizacji, na który składają się cztery fazy. Ustalono czas pierwszej fazy – przedmucha autoklawy na 5 – 7 min. Okres podwyższania ciśnienia

do ciśnienia maksymalnego (faza II) i zmniejszania ciśnienia do atmosferycznego (faza IV) zależy od ciśnienia maksymalnego w danym cyklu i będzie wynosił 120 – 180 min. Natomiast czas trzeciej fazy – utrzymania stałego ciśnienia 1,1 MPa nasyconej pary wodnej ustalono na ok. 480 min.

Na podstawie analizy wyników właściwości użytkowych uzyskanych elementów z betonu komórkowego w skali półtechnicznej wytypowano dwie receptury wg założeń:

- kruszywo – zmielony piasek na szlam w młynie kulowym w środowisku wodnym 60% wraz z kruszywem Gransil (frakcja o uziarnieniu: 0 – 0,1 lub 0,1 – 2) stanowi ok. 10%. Pozostałe 30% to spoiwo – zmieszane cement i wapno (równowaga);

- kruszywo – zmielony piasek na szlam w młynie kulowym w środowisku wodnym 50% z kruszywem Gransil (frakcja o uziarnieniu: 0 – 0,1 lub 0 – 2) stanowi ok. 20%. Pozostałe 30% to spoiwo – zmieszany cement i wapno (równowaga).

Po procesie autoklawizacji przeprowadzono badania właściwości ABK (tabela 3) wg następujących norm: gęstość – PN-EN 772-131; wytrzymałość na ściskanie – PN-EN 771-1; skurcz – PN-EN 680; przewodnictwo cieplne – PN ISO 8301.

Tabela 3. Właściwości betonu komórkowego

Właściwość	Receptura ABK zawierająca		ABK kontrolne
	10% kruszywa Gransil	20% kruszywa Gransil	
Gęstość [kg/m ³]	490±10	470±10	480±10
Wytrzymałość na ściskanie w stanie suchym [MPa]	3,80±0,1	3,30±0,1	3,70±0,1
Skurcz [mm/m]	0,25±0,1	0,26±0,1	0,28±0,01
Mrozoodporność			
– zmiana masy [%]	0	0	0
– zmiana wytrzymałości [%]	6±1	5±1	6±1
Współczynnik przewodzenia ciepła [W/mK]	0,125±0,01	0,124±0,01	0,128±0,01

Wyniki badań autoklawizowanego betonu komórkowego, produkowanego wg opracowanej technologii wykazały, że w przypadku zastosowania kruszywa Gransil uzyskuje się wytrzymałość ABK, jak przy stosowaniu wyłącznie piasku. Skurcz ABK z zastosowaniem kruszywa Gransil oraz współczynnik przewodzenia ciepła λ są mniejsze niż betonu wzorcowego.

Literatura

- [1] fib Bulletin 60. Prefabrication for affordable housing.
- [2] Zapotoczna-Sytek G, Balkovic S. Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia. Właściwości. Zastosowanie. PWN, Warszawa, 2013.
- [3] Kotynia R. Wymiarowanie i kształtowanie wybranych konstrukcji betonowych ze zbrojeniem niemetalicznym. XXXIII Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk, 6-9.03.2018 r.
- [4] PN-EN 12602:2016-11 Prefabrykowane elementy zbrojone z autoklawizowanego betonu komórkowego.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

