

W 2023 r. przypada stulecie wynalezienia autoklawizowanego betonu komórkowego. Tej tematyce m.in. poświęcona została 7. Międzynarodowa Konferencja Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (ICAAC 2023), która odbyła się 6 – 8 września br. w Pradze (relacja w miesięczniku „Materiały Budowlane” nr 10/2023). Polska odegrała ogromną rolę w rozwoju betonu komórkowego w Europie i na świecie.

dr inż. Genowefa Zapotoczna-Sytek, emerytowany prof. ICiMB^{1*)}
 prof. dr hab. inż. Jan Małolepszy²⁾
 inż. Mieczysław Soboń³⁾

Historia autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce

W setną rocznicę wynalezienia autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) przedstawimy drogę, jaką przeszliśmy w Polsce od początku rozpoczęcia produkcji tego materiału do obecnego jego wysokiego poziomu. Pokażemy postęp techniczny w procesach produkcyjnych ABK, rozwój asortymentu, kierunki realizowanych prac badawczych m.in. w poszukiwaniu optymalnych rozwiązań surowcowych, uwzględniając polskie warunki, w tym rozwiązań modyfikujących skład fazowy ABK, zmieniających jego mikrostrukturę. Powstała polska szkoła betonu komórkowego, wg której rozwijana była produkcja ABK w Polsce i w innych krajach świata. Zasygnalizujemy też kierunki dalszego rozwoju betonu komórkowego w Polsce.

Pierwsze wytwórnie ABK w Polsce

Produkcję autoklawizowanego betonu komórkowego rozpoczęto w Polsce w 1951 r. Decyzje o jej uruchomieniu należały do ówczesnego Ministerstwa Miast i Osiedli, które podjęło negocjacje ze szwedzkimi firmami Siporex i Ytong w sprawie zakupu licencji na produkcję w kraju elementów z ABK. W Warszawie powołano Komisję Organizacyjną Dyrekcji Budowy Wytwórni

Betonów Lekkich. Powojenne zniszczenia wymagały szybkiego zwiększenia potencjału produkcyjnego materiałów ściennych, czemu nie mogły poddać liczne, lecz małe i technicznie zużyte cegielnie. Niezmiernie ważne było więc podjęcie masowej produkcji materiałów ściennych na bazie dostępnych i masowo występujących surowców. W tej sytuacji uruchomienie w Polsce produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego było decyzją optymalną i przyczyniło się w znaczny sposób do intensywnej odbudowy i rozbudowy kraju po wojnie [3, 4]. Zalety ABK sprawiły, że stał się on jednym z najbardziej popularnych wyrobów ściennych łączących cechy materiału konstrukcyjnego i izolacyjnego. Beton komórkowy wpłynął na rozwój budownictwa jednorodzinnego i wielorodzinnego, w którym odmiana 500 była stosowana jako ocieplenie prefabrykatów z betonu zwykłego (kruszywowego), m.in. tzw. wielkiego bloku. Niewielkie zużycie surowców i energii przy wytwarzaniu ABK, w porównaniu z innymi materiałami ściennymi, stało się dodatkowym uzasadnieniem celowości rozwijania jego produkcji w kraju.

Negocjacje ze szwedzkimi firmami zaowocowały zakupem licencji i częściowego wyposażenia (nie zawsze nowego) dwóch małych zakładów doświadczalnych. Część wyposażenia wykonały polskie firmy. W latach 1951 – 1952 zostały uruchomione dwie pilotażowe wytwórnie: jedna w Redzie na licencji firmy Ytong (fotografia 1), natomiast druga w Aleksandrowie Kujaw-



Fot. 1. Widok pierwszej małej wytwórni ABK w Redzie (1951 r.)

Fot. archiwum autorów

skim (Siporex). Obecnie wytwórnia ta należy do Grupy Kapitałowej SOLBET i produkuje chemię budowlaną. Oba zakłady były bazą doświadczalną dla polskich technologii wytwarzania betonu komórkowego. Pełniły też funkcję szkoleniową dla pracowników powstających później nowych wytwórni.

Początki produkcji ABK, zarówno w zakładzie w Redzie, jak i w Aleksandrowie Kujawskim, nie były łatwe, ponieważ krajowa baza surowcowa nie w pełni odpowiadała wymaganiom technologii wg zakupionych licencji. Rozpoczęto więc prace nad dostosowaniem technologii produkcji do krajowych możliwości surowcowych.

Rola zaplecza badawczego i technologicznego

Prace technologiczne realizowane były przez pierwszą utworzoną po wojnie jednostkę badawczą działającą na rzecz branży betonów. Było to powołane w 1954 r. w Warszawie **Centralne Laboratorium Lekkich Tworzyw (CLLT)**, kierowane do 1963 r. przez **prof. Anto-**

¹⁾ Stowarzyszenie Producentów Betonów

²⁾ Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

³⁾ Solbet Kolbuszowa

^{*} Adres do korespondencji:
genowefa.sytek@gmail.com

niego Paprockiego i przekształcone w Centralny Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Przemysłu Betonów CEBET (COBR PB CEBET). W latach 1966 – 1981 r. dyrektorem tej jednostki badawczej był **doc. dr inż. Jerzy Wiedera**, a w latach 1981 – 1990 **dr Hanna Jatyłowicz**, która w latach 1961 – 1980 pełniła funkcję zastępcy dyrektora ds. betonów komórkowych. W kolejnych latach (1990 – 2000) dyrektorem CEBET-u był **doc. mgr inż. Ryszard Kowalski**, a jego zastępcą **doc. dr inż. Genowefa Zapotoczna-Sytek** pilotująca prace związane z betonem komórkowym. W 1969 r. minister budownictwa i przemysłu materiałów budowlanych powierzył COBR PB CEBET pełnienie funkcji głównej jednostki prowadzącej prace naukowo-badawcze w dziedzinie przemysłowego wytwarzania elementów z betonu komórkowego i kruszywowego.

W wyniku przeprowadzonych badań i doświadczeń opracowano polskie oryginalne technologie wytwarzania betonu komórkowego (tabela 1), dostosowane do różnych surowców, dostępnych w naszym kraju [1, 2, 5]. Podkreślić należy, że polska technologia Unipol opatentowana w 1961 r. (patent nr 45079), dzięki zastosowaniu spoiwa mieszanego (wapna i cementu) oraz różnych kruszyw, przede wszystkim piasku kwarcowego i popiołów lotnych, zapewniała możliwość elastycznego prowadzenia procesu produkcyjnego.

Przy opracowaniu polskich technologii współpracowali specjaliści z Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie: **prof. dr inż. Jerzy Grzymek**, **prof. dr hab. inż. Wiesław Kurdowski**, **mgr inż.**

Stefan Pieczara oraz **prof. dr inż. Włodzimierz Skalmowski** z PW, a w następnych latach **prof. dr hab. inż. Jan Małolepszy** z AGH.

Po rozwiązaniu umów licencyjnych w 1956 r., za obopólną zgodą władz polskich oraz firm Siporex i Ytong, produkcja betonu komórkowego rozwijana była wg polskich technologii i systemów zamaszynowania w powstających sukcesywnie w trzech generacjach wytwórni w kraju i eksportowanych przez Polskę zagranicę [3, 4, 6].

Dynamiczny rozwój ABK wg polskich technologii i rozwiązań

Zadania badawcze i doświadczeniowe związane z rozwojem i podnoszeniem poziomu technicznego uruchamianych wytwórni betonu komórkowego powierzono COBR PB CEBET (fotografia 2). Trzeba podkreślić, że w jego wyposażeniu już na przełomie lat 50. (fotografia 3) i 60. XX wieku (fo-



Fot. 2. Widok wejścia do COBR PB CEBET, wykończonego bloczkami z ABK, po 62 latach od momentu wybudowania

Fot. archiwum autorów

Tabela 1. Technologie wytwarzania autoklawizowanego betonu komórkowego opracowane w Polsce

Nazwa technologii produkcji	Podstawowe surowce	
	spoiwa (lub mieszanka spoiwowa)	kruszywo
BLB*	cement portlandzki belitowy	piasek kwarcowy mielony na mokro
Unipol	wapno palone + cement + część kruszywa wspólnie mielone	piasek kwarcowy mielony na mokro lub popioły lotne niemielone, lub mieszanina piasku mielonego na mokro oraz popioły lotne niemielone
PGS	wapno palone + gips wspólnie mielone z częścią popiołów lotnych lub piasek kwarcowy mielony na sucho wspólnie z wapnem i gipsem	popioły lotne niemielone lub piasek kwarcowy mielony na sucho z wapnem i gipsem
SW	wapno palone + cement (bez dodatkowego przemiału w wytwórni)	piasek kwarcowy mielony na mokro lub popioły lotne niemielone, lub mieszanina piasku mielonego na mokro oraz popioły lotne niemielone

* BLB – beton lekki belitowy (obecnie nie stosuje się tej technologii, w jej miejsce wprowadzono technologie SW), Unipol – uniwersalna technologia, PGS – pianogazosilikat, SW – silikat wolnotęcejący



Fot. 3. Dozownia i mieszarka w hali półtechniki CEBET

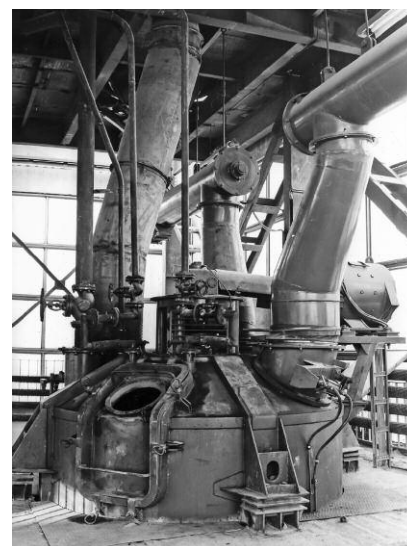
Fot. archiwum CEBET

tografia 4) były nie tylko laboratoria, ale także hale techniczne (fotografia 5), co umożliwiło kompleksowe prowadzenie prac badawczych i uniezależnienie od planów produkcyjnych zakładów. Tu m.in. przeprowadzono badania surowców krajowych i zagranicznych, opracowywano technologie i receptury dla projektowanych zakładów, a także badano wybrane nowe maszyny i urządzenia, np.



Fot. 4. Widok ogólny hali techniki CEBET (1965 r.)

Fot. archiwum CEBET



Fot. 5. Hala techniki CEBET – mieszarka do wykonywania odlewów o objętości do 6 m³ (1965 r.)

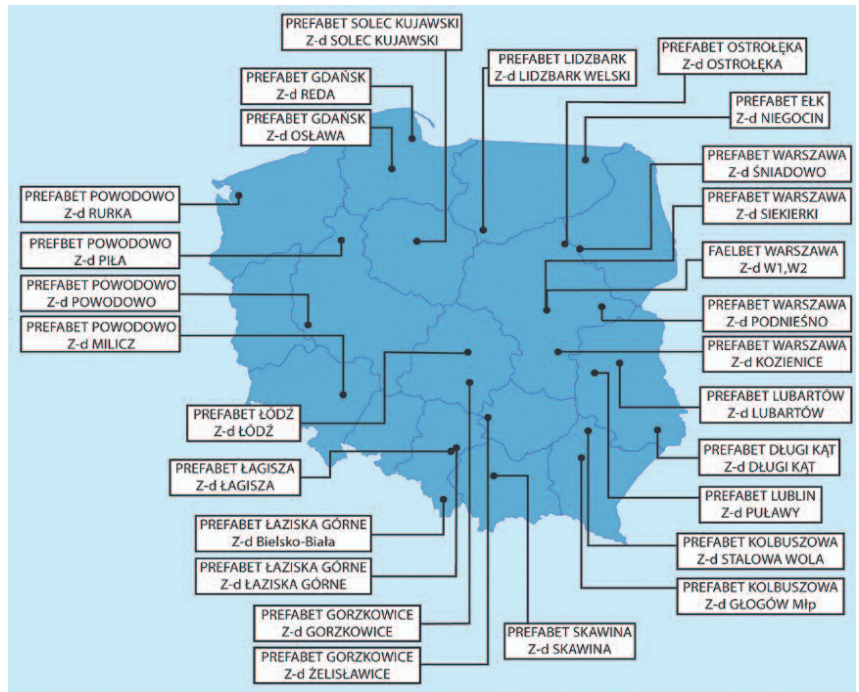
Fot. archiwum CEBET

krajalnice i nowe rozwiązania autoklawów do wytwórni kolejnych generacji.

COBR PB CEBET ściśle współpracował ze specjalistyczną jednostką projektującą zakłady betonów komórkowych, przemianowaną w 1964 r. na **Biuro Projektów Przemysłu Betonów BIPRODEX, oraz z jednostkami Zjednoczenia ZREMB** jako podstawowego producenta i głównej organizacji w dziedzinie konstruowania maszyn i urządzeń technologicznych do wytwórni betonu komórkowego.

Badania i prace związane z projektowaniem i stosowaniem wyrobów z ABK w budownictwie były przede wszystkim realizowane przez **Instytut Techniki Budowlanej oraz Biuro Studiów i Projektów Typowych Budownictwa Mieszkaniowego (przemianowane na Centralny Ośrodek Badawczo-Projektowy Budownictwa Ogólnego)** przy ścisłej współpracy z COBR PB CEBET. Taka organizacja prac stworzyła dogodne warunki do rozwoju w kraju zarówno technologii wytwarzania, jak i stosowania betonu komórkowego. Wybudowano trzydzieści wytwórni betonu komórkowego w Polsce, rozmieszczonych na całym obszarze kraju (fotografia 6). Kolejne uruchamianie zakładów były coraz nowocześniejsze, a ich poziom należy ocenić jako zbliżony lub odpowiadający poziomowi światowemu w okresie ich budowania. Od tego czasu datowana jest **polska szkoła betonu komórkowego**. Dzięki jej osiągnięciom była rozwijana produkcja ABK w Polsce, a także w różnych regionach świata. Twórcami polskiej szkoły betonu komórkowego był **prof. dr hab. Antoni Paprocki** (w 2023 r. mija 30 lat od jego śmierci), autor pierwszej w Polsce książki o betonie komórkowym [1] oraz **dr Hanna Jatyłowicz** (współautorka kolejnej w Polsce książki o betonie komórkowym [2]). Najbliższymi Jej współpracownikami w rozwoju polskiej szkoły betonu komórkowego były **doc. dr inż. Janina Siejko i doc. dr inż. Genowefa Zapotoczna-Sytek**. Zasługi w rozwoju ABK miał również **doc. dr inż. Jerzy Widera**.

W latach 1960 – 1985 Polska wyeksportowała przez Centralę Handlu Zagranicznego **POLIMEX-CEKOP** oraz Przedsiębiorstwo Dostaw Eksportowych Wytwórni Materiałów Budowlanych **FABEX-**

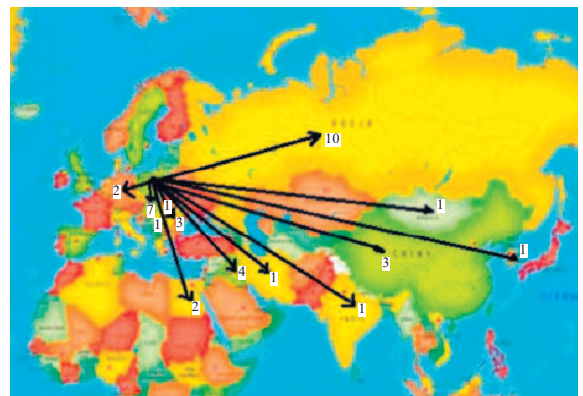


Fot. 6. Zakłady produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce w 1985 r., w tym 10 wytwórni wytwarzających ABK wg technologii popiołowych (zlokalizowanych obok elektrowni)

Fot. archiwum autorów

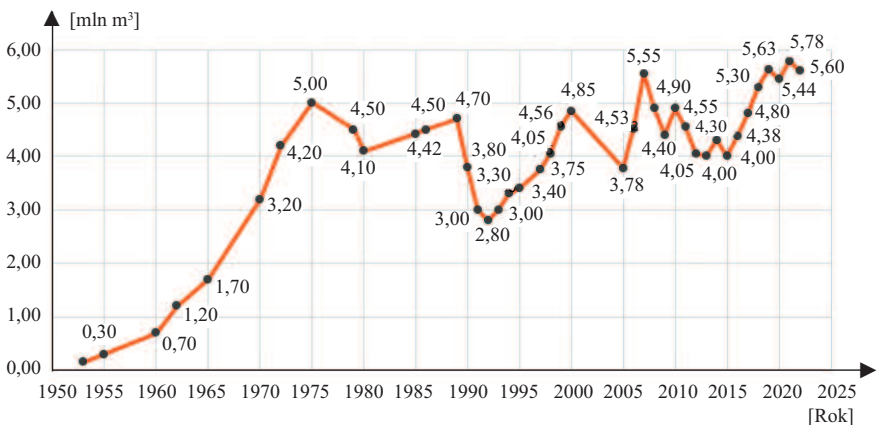
-ZREMB 37 wytwórni ABK (fotografia 7) o łącznej zdolności produkcyjnej ponad 4 mln m³. O dynamice realizacji wytwórni i rozwoju produkcji ABK w Polsce świadczą dane z rysunku 1 oraz tabeli 2 prezentujące trzy generacje zakładów.

Należy podkreślić, że zakłady zarówno I, jak II generacji były sukcesywnie poddawane kompleksowej modernizacji. Usprawniano pracę ma-



Fot. 7. Eksport wytwórni ABK z Polski (1960 – 1985): Rosja (10); Czechosłowacja (7); Węgry (1); Rumunia (3); Niemcy (2); Jugosławia (1); Egipt (2); Chiny (3); Indie (1); Irak (4); Iran (1); Mongolia (1); Korea (1)

Fot. archiwum autorów



Rys. 1. Produkcja autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce w latach 1953 – 2022

Rys. SPB, GUS [12]

Tabela 2. Dynamika uruchamiania wytwórni autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce

Wyszczególnienie	Rodzaj (typ) zakładu			
	zakłady licencyjne (doświadczalne)	zakłady I generacji	zakłady II generacji (redopodobne)	zakłady III generacji (puławopodobne)
Lata uruchomienia	1951 – 1952	1953 – 1962	1964 – 1971	1971 – 1976
Liczba wybudowanych zakładów	2	9	13	4 oraz 1 zakład, w którym część urządzeń była na licencji Calsilox (1976 r.)
Rodzaj technologii	na licencji szwedzkiej	BLB, PGS, SW	Unipol piaskowy	Unipol piaskowy, Unipol popiołowy lub mieszany
Wymiary form – wysokość x długość [cm]	49 x 150	2 zakłady: 49 x 210-300, w pozostałych 24 x 600, podczas modernizacji wymiana form na 60 x 600	60 x 300	60 x 600
Krajalnice	szwedzkie	szpilkowe lub ze struną obiegową lub posuwisto-zwrotne	posuwisto-zwrotne (udoskonalone)	KRG lub klawiszowe lub system Calsilox (z przenoszeniem bloku masy)
Odmiany ABK	od 0,9 do 0,7	0,9 0,7 0,6	700, 600, 500	700, 600, 500
Asortyment	elementy drobnowymiarowe	elementy: - drobnowymiarowe - zbrojone pasmowe część poddawana obróbce poautoklawizacyjnej i fakturowaniu oraz - pierwsze płyty scalone (1968 r. w zakładzie w Solcu Kujawskim)	elementy: - drobnowymiarowe - zbrojone: dyle, płyty dachowe	elementy: - drobnowymiarowe - zbrojone średnio- i wielkowymiarowe: dyle ścienne, płyty dachowe i stropodachowe oraz scalone płyty ścienne zew. z pełnym fabrycznym wykończeniem (o wysokości kondygnacji 280 lub 270 cm, dł. 240-600 cm, grubość 24 cm) - w zakładzie Calsilox elementy drobnowymiarowe i dyle zbrojone

szyn i urządzeń, a szczególnie system krojenia, oraz zwiększano stopień automatyzacji produkcji. III generacja to tzw. zakłady puławopodobne. Nazwa pochodzi od pierwszej wytwórni tej generacji zlokalizowanej w Puławach (fotografia 8). Zastosowano w nich nowe rozwiązania maszyn i urządzeń oraz metody produkcyjne, m.in. krajalnicę (fotografia 9), zautomatyzowaną linię zabezpieczania siatek zbrojeniowych powłoką antykorozyjną (foto-

grafia 10), system obróbki elementów zbrojonych, zmechanizowaną linię scalania i fakturowania (fotografia 11). Pozwoliło to na poprawę jakości produ-

kowanych wyrobów i znaczne rozszerzenie asortymentu (fotografie 12, 13, 14 oraz tabela 2). Jedyнным zakładem uruchomionym w kraju w latach siedemdziesiątych XX w. (1976 r.), w którym nie w pełni zastosowano polskie rozwiązania, była wytwórnia w Ostrołęce (tabela 2).

Uruchomienie zakładów puławopodobnych stworzyło w Polsce pełne możliwości techniczne produkcji dużej gamy elementów zbrojonych z betonu komórkowego na potrzeby uprzemysłowionego budownictwa mieszkaniowego jed-



Fot. 8. Widok zakładu betonu komórkowego III generacji w Puławach (1971 r.)

Fot. archiwum CEBET



Fot. 9. Krojenie bloku masy (krajalnicą klawiszową) w ZBK w Kozienicach (1976 r.)

Fot. archiwum CEBET



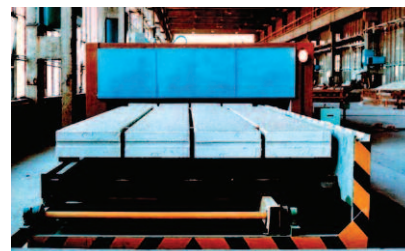
Fot. 10. Zautomatyzowana linia powlekania siatek zbrojeniowych powłoką antykorozyjną w zakładzie betonu komórkowego w Puławach

Fot. archiwum CEBET



Fot. 11. Widok ogólny linii technologicznej scalania i fakturowania w ZBK w Puławach (1973 r.)

Fot. archiwum CEBET



Fot. 12. Elementy pasmowe na linii fakturowania – zakład w Puławach (1973 r.)

Fot. archiwum CEBET



Fot. 13. Dyle zbrojone (6 m) dla budownictwa przemysłowego (stosowane od 1973 r.)

Fot. archiwum CEBET

no- i wielorodzinnego, przemysłowego oraz użyteczności publicznej (przykłady realizacji fotografie 15, 16, 17, 18).

W okresie dynamicznego rozwoju produkcji ABK zaplecze badawcze realizowało prace nad unowocześnieniem technologii wytwarzania, m.in. w celu zmniejszenia materiało- i energochłonności, ograniczenia pracy ludzkiej oraz stosowania nowych surowców [1-3, 5, 6, 11].



Fot. 14. Płyta scalona z pełnym fabrycznym wykończeniem z zakładu w Puławach (1973 r.)
Fot. archiwum CEBET



Fot. 15. Montaż budynku z dyli z ABK
Fot. archiwum CEBET



Fot. 16. Hala przemysłowa z dyli zbrojonych długości 6 m z betonu komórkowego
Fot. archiwum CEBET



Fot. 17. Przedszkole – budynek z elementów pasmowych z betonu komórkowego
Fot. archiwum CEBET



Fot. 18. Osiedle mieszkaniowe w Lublinie – budynki wielokondygnacyjne z zastosowaniem płyt scalonych z ABK
Fot. archiwum CEBET

Rozwój ABK po transformacji ustrojowej i wprowadzeniu gospodarki wolnorynkowej

Wprowadzenie w 1989 r. w Polsce reform gospodarczych spowodowało istotne zmiany w zarządzaniu przedsiębiorstwami przez nadanie im dużej samodzielności. Niektóre z przedsiębiorstw uległy podziałowi, likwidacji lub zmieniły swój status prawny. Zlikwidowano również zrzeszenia branżowe, w tym Zrzeszenie Producentów Betonów (1989 r.).

Po okresie pewnej stagnacji, dzięki inicjatywie polskich producentów, podjęto modernizację i unowocześnienie technologii produkcji ABK przede wszystkim z wykorzystaniem polskich maszyn i urządzeń wytwarzanych we własnym zapleczu mechanicznym i na podstawie polskich rozwiązań. Niektóre z nich, np. nowe rozwiązanie węzła krojenia z obrotem bloku masy długości 3 m było przedsięwzięciem badawczym i technicznym wspólnie sfinansowanym przez producentów betonu ko-

mórkowego zrzeszonych w utworzonym w 1994 r. Stowarzyszeniu Producentów Betonów (SPB) z Sekcją Betonu Komórkowego. Węzły krojenia bloku masy o długości 3 m (fotografia 19) stały się specjalnością firmy PREFABET Kolbuszowa (obecnie SOLBET Kolbuszowa). Natomiast węzły krojenia bloku masy o długości 6 m (fotografia 20), opracowane przez Marka Małeckiego i Mirosława Protasewicza, produkował SOLBET-ZREMB, który sprzedał również 11 linii krojenia do odbiorców zagranicznych: w Słowacji; Czechach; Rumunii i Rosji. Ponadto, w wyniku prac badawczych zrealizowanych przez CEBET i austriacką firmę Benda-Lutz-Werke (obecnie w organizacji Sun-Chemical), uruchomiono

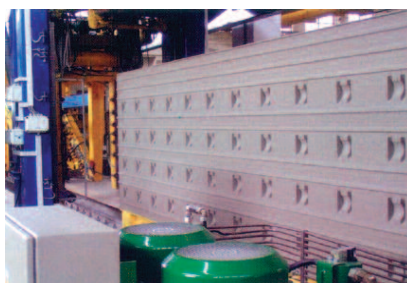
w Polsce nowoczesny zakład produkcji środków porotwórczych (wg projektu Benda-Lutz) na potrzeby produkcji betonu komórkowego [3, 5].

Dzięki przedstawionym działaniom w połowie lat dziewięćdziesiątych XX w. wytwórnie rozpoczęły produkcję nowej generacji wyrobów, zarówno pod względem tolerancji wymiarowych, wyglądu zewnętrznego, jak i cech użytkowych. Badania wykazały, że krajowe wyroby nie ustępują produktom firm zachodnioeuropejskich. Wykorzystując wyniki uzyskanych badań, we współpracy z prof. Bohdanem Lewickim z Instytutu Techniki Budowlanej, wprowadzono zmiany do polskich norm na projektowanie konstrukcji murowych, m.in. do PN-B-03002, co rozszerzyło zakres stosowania ABK. Należy podkreślić, że norma ta w znacznej części uwzględniała już wymagania Eurokodu EN 1996-1-1.

Budowane przez wiele lat zaplecze badawcze betonu komórkowego w Polsce, rozwój bazy producentów, coraz większy udział ABK w polskim rynku mate-



Fot. 19. Węzeł krojenia bloku masy ABK o długości 3 m – z obrotem (Śniadowo 1998 r.)
Fot. archiwum autorów



Fot. 20. Węzeł krojenia bloku masy ABK o długości 6 m – z obrotem (SOLBET 2000 r.)
Fot. SPB [12]

riałów ściennych (nawet do ponad 40%) i rozwój gospodarki wolnorynkowej przyczyniły się do zainteresowania tym segmentem gospodarki przez firmy zagraniczne: Ytong (obecnie Xella), Hebel oraz H+H. Firmy te zakupiły niektóre z polskich zakładów. W wyniku zmian restrukturyzacyjnych i fuzji w firmach zachodnich część zakupionych zakładów poddano modernizacji, niektóre zamknięto, a także wybudowano dwa nowe zakłady w Sieradzu (Xella) i Redzie (H+H). Należy podkreślić, że mimo tego rynek ABK zdominował kapitał pol-

ski. W 2009 r. sieć zakładów krajowych rozszerzyła się o nowoczesną wytwórnię w przedsiębiorstwie BRUK-BET Sp. z o.o. z wyposażeniem w formy długości 6 m i linią krojenia bloku masy z obrotem. W 2014 r. BRUK-BET powiększył swój potencjał produkcyjny o jeden z polskich zakładów ABK w Łągiszy [3, 12]. Ponadto w ostatnich latach Grupa Kapitałowa SOLBET powiększyła się o dwie wytwórnie ABK, a mianowicie w Rurce i Lipiu.

Stan obecny

Na polskim rynku materiałów budowlanych funkcjonuje obecnie (rysunek 2):

- 12 wytwórni ABK z kapitałem polskim, z tego 7 wchodzi w skład utworzonej w 1990 r. Grupy Kapitałowej SOLBET, a pozostałe to samodzielne krajowe podmioty gospodarcze: BRUK-BET Sp. z o.o. (2 wytwórnie); PREFABET Śniadowo Sp. z o.o.; PREFABET Ośława Dąbrowa Sp. z o.o.; PREFABED Bielsko-Biała Sp. z o.o., Sp.k.;

- 10 wytwórni ABK należących do kapitału zagranicznego, z czego Xella Polska Sp. z o.o. ma 5 wytwórni oraz H+H Polska Sp. z o.o. – 5 wytwórni.

Największym producentem ABK (ok. 30% udziału w rynku) jest Grupa Kapitałowa SOLBET powstała na bazie zakładów betonu komórkowego SOLBET i zakładu produkcji maszyn budowlanych SOLBET-ZREMB (obecnie SOLBET-MASZ) w Solcu Kujawskim.

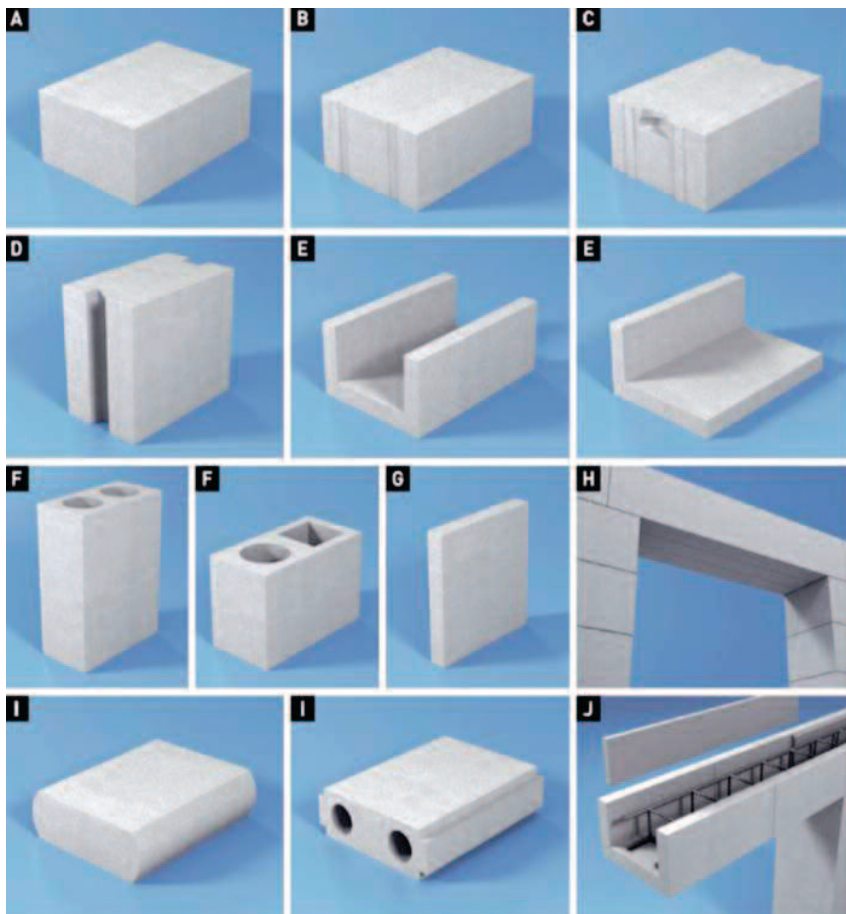
Obecne na polskim rynku wytwórnie ABK, zarówno z kapitałem polskim, jak i zagranicznym, stosują najnowsze systemy krojenia, wytwarzają beton komórkowy o deklarowanych właściwościach użytkowych, zgodnych z wymaganiami norm europejskich, w tym elementy murowe z PN-EN 771-4 i zbrojone z PN-EN 12602. Na fotografii 21 pokazano przykładowy asortyment elementów drobnowymiarowych z ABK wytwarzanych w Polsce oraz nadproże ze zbrojonego betonu komórkowego. Nadal jednak na polskim rynku bardzo mała jest produkcja elementów zbrojonych z ABK i zasadne jest jej zwiększenie, co niektórzy producenci już realizują. Oprócz nadproży zbrojonych produkowane są płyty dachowe i stropowe oraz płyty ścienne (fotografia 22).

Korzystnie zmniejszyła się gęstość produkowanych obecnie wyrobów. ABK wytwarzany jest głównie w kla-



Rys. 2. Wytwórnie ABK w Polsce

Źródło: SPB [12]



Fot. 21. Przykładowy asortyment elementów drobnowymiarowych z ABK: A – element o gładkich powierzchniach, B – element z wyprofilowanymi powierzchniami czołowymi do łączenia na pióro i wpust, C – element z wyprofilowanymi powierzchniami czołowymi dodatkowo z uchwytem montażowym, D – blok modułowy, E – elementy uzupełniające z betonu komórkowego – kształtki „U” oraz „L”, F – elementy uzupełniające z betonu komórkowego – kształtki osłonowe instalacji wentylacyjnych lub spalinowych, G – elementy z wkładką termoizolacyjną, H – nadproża prefabrykowane, I – elementy stropowe (pełne i z otworami) do wypełniania stropów gęstożebrowych, J – wykonanie nadproża

Fot. SPB [12]



Fot. 22. Elementy zbrojone ścienne i stropowe z ABK w Polsce (2023 r.) Fot. Termalica [12]

sach gęstości 600, 500, 400. Czołowi producenci wytwarzają także ABK o klasach gęstości 350 i 300, których współczynnik przewodzenia ciepła jest $< 0,01 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$. Na zamówienie produkowany jest również ABK klasy gęstości 200 w wytwórni Osława Dąbrowa.

Przejście na produkcję lżejszego betonu komórkowego było niezbędne ze względu na zaostrożenie wymagań dotyczących ochrony cieplnej budynków.

Badania wykazały, że beton komórkowy należy do nielicznych materiałów budowlanych, z których można wyko-

nywać konstrukcyjne jednowarstwowe ściany zewnętrzne, spełniające zaostrożone wymagania cieplne [$U \leq 0,2 \text{ W/(m}^2\text{K)}$], bez potrzeby dodatkowego ocieplania, a jednocześnie spełniających warunki bezpieczeństwa pożarowego i ochrony przed hałasem [5, 10, 13]. Jest to możliwe, ponieważ czołowi producenci ABK zapewniają swoim klientom nie tylko elementy murowe, ale cały system budowlany. Wyroby z ABK mogą być z powodzeniem stosowane do budowy domów energooszczędnych i pasywnych. Stosowanie elementów wielkowymiarowych, zarówno modułowych bloczków, jak i elementów zbrojonych, prowadzi do usprawnienia procesu budowy (skrócenie czasu budowy, mniejsza liczba pracowników), co zwiększa konkurencyjność rozwiązań z ABK na rynku.

W projektowaniu obiektów pomocne jest stosowanie technologii BIM (*Building Information Modeling*), czyli modelowanie informacji o budynku. Należy odnotować fakt, że branża ABK jest pionierem we wdrażaniu rozwiązań ściennych z wykorzystaniem BIM. Można zauważyć również trend integracji BIM z systemem AR (*Augmented Reality*), w których użytkownicy mogą oglądać świat wirtualny i wchodzić z nim w interakcje [24]. Przykłady zastosowania różnych wyrobów z ABK w Polsce przedstawiono na fotografiach 23 – 26).



Fot. 23. Montaż ściany zewnętrznej z elementów z ABK o zwiększonej objętości (Śniadowo) Fot. archiwum autorów



Fot. 24. Budynek mieszkalny ze ścianami wypełnionymi z betonu komórkowego
Fot. archiwum autorów



Fot. 25. Obiekt sportowy. Konstrukcja żelbetowa wypełniona m.in. elementami murowymi z ABK. Stadion Narodowy w Warszawie (2010 r.)
Fot. H+H [12]



Fot. 26. Strop z elementów zbrojonych z ABK (2022 r.)
Fot. Termalica [12]

Z nielicznymi wyjątkami producenci ABK należą do Stowarzyszenia Producentów Betonów i wspólnie działają na rzecz upowszechniania wiedzy o betonie komórkowym, m.in. przez [3, 12]:

- wydawanie specjalistycznych materiałów technicznych i publikacji książkowych [3, 5, 12];

- organizowanie konferencji naukowo-technicznych międzynarodowych i krajowych, m.in. cyklicznie organizowanej od 1999 r. konferencji w Serocku (w 2022 r. odbyła się VII Konferencja);

- organizowanie seminariów na wyższych uczelniach;

- działalność w Polskich Komitetach Normalizacyjnych PKN oraz europejskich TC/CEN, a także w organizacjach międzynarodowych tematycznie związanych z ABK.

Od momentu wstąpienia do EAACA (1996 r.), Polska jest liczącym się członkiem tej organizacji, co wynika zarówno z aktywności naszych przedstawicieli, jak i potencjału produkcyjnego. Członkiem Komitetu Strategicznego EAACA jest od wielu lat inż. **Józef Kostrzewski**, a Komitetu Wykonawczego **mgr Łukasz Małecki**. Ponadto w lipcu 2020 r. na Prezesa EAACA został wybrany **mgr inż. Robert Turcki**. Polska jest od wielu lat największym

producentem betonu komórkowego w Europie z ponad 35% udziałem [12]. Należy podkreślić, że przemysł betonów komórkowych, od początku powstania, współpracuje z ośrodkami badawczymi i uczelniami wyższymi: Instytutem Techniki Budowlanej, AGH w Krakowie, Politechniką Warszawską, Instytutem Ceramiki i Materiałów Budowlanych (obecnie Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych), a w ostatnich latach również z Politechniką Śląską.

Polskie badania i doświadczenia prowadzone wspólnie przez specjalistów z ośrodków badawczych i przemysłu wykazały, że do wytwarzania ABK mogą być stosowane zamiast surowców naturalnych (pierwotnych), surowce wtórne w postaci ubocznych produktów powstających w energetyce (popioły lotne różnego typu, mikrosfery, surowce siarczanowe) oraz w przemyśle chemicznym (fosfogipsy) [8, 15].

Należy podkreślić, że w ostatnich latach opracowano technologię wytwarza-

nia ABK z zastosowaniem popiołów lotnych tzw. nowej generacji powstających ze spalania węgla w kotłach fluidalnych w temperaturze ok. 850°C, co skutkuje inną ich charakterystyką [13, 21]. Technologię opatentowano (patent nr 207649) i wdrożono do przemysłu. Badania wykazały, że w recepturach ABK z wykorzystaniem popiołów fluidalnych istnieje możliwość zmniejszenia ilości wapna w mieszance o ok. 20% oraz gipsu, o więcej niż 70%, a nawet jego eliminacji w zależności od składu popiołów fluidalnych [5, 11, 8]. Opracowana i opatentowana technologia uzyskała wiele medali na targach międzynarodowych, w tym srebrny medal na 59. Międzynarodowych Targach Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Techniki w Brukseli w 2010 r.

Na potrzeby stosowania ABK realizowane były w szerokim zakresie badania jego trwałości w polskich warunkach klimatycznych. Wykazały one, że jest to materiał trwały, gdyż upływ czasu i proces naturalnej karbonatyzacji nie powodują w wyrobach z ABK zmian prowadzących do pogorszenia ich właściwości użytkowych [19].

Jesteśmy przekonani, że ABK ma do odegrania ważną rolę jako zrównoważony materiał budowlany, tym bardziej że producenci starają się również wykorzystywać odnawialne źródła energii (OZE), takie jak energia wiatrowa, fotowoltaika. Przykładem tego w Polsce są **SOLBET** i **BRUK-BET**. Prace kierowane są również na zastosowanie zielonego wodoru – **SOLBET**.

Kierunki dalszego rozwoju ABK

Uważamy, że technologia betonu komórkowego o stuletniej tradycji umożliwia zwiększenie parametrów oferowanych wyrobów, a **rozwoj może dotyczyć przede wszystkim modyfikacji składu fazowego oraz struktury i mikrostruktury, przez dobór surowców podstawowych, ale również stosowanie domieszek chemicznych i dodatków mineralnych**. Taki kierunek badań rozpoczęły niektóre ośrodki badawcze, w tym polskie [8]. Dotychczas uważa się, że podstawowymi składnikami, które mają wpływ na właściwości ABK,

są C-S-H oraz tobermoryt i ich stosunek ilościowy [5, 7, 22].

Większość badań nad modyfikacją składu fazowego betonu komórkowego prowadzi do układu $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. Analiza układu $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ pokazuje, że alternatywą dla 1,1 nm tobermorytu może być inny uwodniony krzemian – girolit $\text{Ca}_8(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, który podobnie jak 1,1 nm tobermoryt krystalizuje w postaci płytek. Girolit jest uwodnionym krzemianem wapnia o mniejszym stosunku molowym CaO/SiO_2 niż tobermoryt, w związku z tym do syntezy potrzeba mniej CaO . Może się zatem okazać, że w końcowym składzie mieszanki betonu komórkowego będzie mniej tego surowca. Tobermoryt występuje w ABK w postaci krystalicznej. Na te formy morfologiczne wpływa ilość jonu glinu w jego strukturze. Natomiast na formy C-S-H wpływają jony sodu i potasu. C-S-H może być w formie submikrokryształicznej i żelowej [5, 20, 28].

Coraz więcej pojawia się badań dotyczących zmniejszenia ilości energochłonnych składników ABK, jakimi są cement i wapno. Do tego mogą być wykorzystywane dodatki mineralne o charakterze pucolanowym i hydraulicznym, takie jak zeolity, geza, piasek chalcedonitowy, odpady z perlitu ekspandowanego i popiół fluidalny [18, 21, 25, 26]. Powstawać wówczas może więcej C-S-H o stosunku $C/S \sim 1,0$ oraz nowe fazy, jak scawtyt, ksonotlit, girolit i hydrogranyty [29]. W efekcie w składzie mieszanki ABK można zmniejszyć ilość cementu na 1 m^3 betonu o 10 – 15%, nie zmieniając jakości wyrobu.

W ostatnim okresie opracowano w Polsce również nowe technologie produkcji ABK z popiołów fluidalnych i wapiennych [5, 8, 11]. Wyniki badań wyrobów z ABK z tymi popiołami wykazały, że ich właściwości spełniają standardy europejskie. Zastosowanie popiołów fluidalnych powoduje jednocześnie zmniejszenie ilości wapna i gipsu w technologiach z popiołów krzemionkowych. Dotychczasowe wyniki badań wykazują, że popiół fluidalny jako dodatek mineralny można zastosować również w technologii piaskowej, co umożliwi zmniejszenie ilości cementu, wapna i gipsu w składzie

mieszanki betonowej. Innym przykładem są mikrosfery, które były przedmiotem badań i pozytywnych prób wdrożeniowych [21]. Dodatek mikrosfer zmniejsza nasiąkliwość ABK o ok. 20% i zwiększa jego wytrzymałość na ściskanie o ok. 10% oraz zmniejsza zużycie cementu i wapna [21]. Wiadomo, że głównym składnikiem fazowym betonu komórkowego jest faza C-S-H oraz 1,1 tobermoryt [5]. W trakcie autoklawizacji może powstać również katoit – $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{13x}(\text{OH})_{4x}$ ($x = 1,5-3$) [5]. Uważa się, że katoit może stanowić fazę przejściową przechodzącą następnie w 1,1 tobermoryt.

Modyfikacja mikrostruktury betonu komórkowego będzie polegać na zmianach struktury porów. Ma na to wpływ m.in. skład ziarnowy proszku Al, a także piasku w technologiach piaskowych. Zmiany uziarnienia proszku Al leżą w zakresie możliwości wytwórni środków porotwórczych Benda-Lutz w Skawinie. Dobór tego uziarnienia będzie w znacznym stopniu zależał od rodzaju cementu i dodatków mineralnych stosowanych w mieszance betonowej. W przypadku składu ziarnowego piasku duże znaczenie ma również frakcja mniejsza od $100 \mu\text{m}$ [7].

Zagadnieniami porowatości, a ściślej mikro- i makroporowatości ABK zajmuje się od lat wiele ośrodków badawczych. Przyjmowany jest różny podział składników porowatości w zależności od ich wielkości. Próbuje się wyprowadzić zależności pomiędzy strukturą porowatości a właściwościami fizykochemicznymi ABK. Zdaniem wielu badających właściwości te są tym korzystniejsze, im mniejsze jest zróżnicowanie wielkości porów i pory są kuliste. Podkreśla się, że równie ważny jest: rodzaj spoiwa, wartość współczynnika w/s oraz jakość mikro- i makrostruktury [5, 27].

Technologia produkcji ABK wciąż jest i ma potencjał, żeby również w przyszłości być jedną z najbardziej przyjaznych środowisku technologii wytwarzania materiałów budowlanych, a wyroby z ABK odgrywać będą ważną rolę jako elementy zrównoważonego budownictwa w Polsce, ale również w innych krajach.

Nowe proponowane rozwiązania technologiczne produkcji ABK dobrze wpisują się w zmniejszenie śladu węglowego w tych wyrobach.

Kierunki dalszego rozwoju ABK powinny dotyczyć również:

- **struktury asortymentowej wyrobów.** Zasadne jest zwiększenie produkcji bloczków modułowych o większych formatach i elementów wielkomodułowych (zbrojonych). Produkcja tego asortymentu korzystnie wpłynie na zapewnienie właściwości cieplnych ścian, ograniczenie robót fizycznych na budowie i umożliwienie mechanizacji i automatyzacji prac, co nie jest bez znaczenia ze względu na powiększającą się niedobór wykwalifikowanej siły roboczej. Wiąże się to z potrzebą szkolenia pracowników i podnoszenia ich kwalifikacji zarówno w wytwórniach ABK, ale przede wszystkim na budowach. Wskazane jest prowadzenie badań nad wykorzystaniem włókien syntetycznych. Zmiana struktury asortymentowej i wynikające z niej korzyści powinny wpłynąć na zwiększenie konkurencyjności ABK;

- **procesu produkcji ABK.** Jakkolwiek charakteryzuje się on wysokim stopniem zmechanizowania i zautomatyzowania, potrzebne jest dalsze prowadzenie prac nad zmniejszeniem energochłonności procesów, takich jak mielenie składników i autoklawizacja. Duże znaczenie dla producentów mają zawsze koszty wytwarzania, na które w przypadku ABK istotny wpływ ma ilość stosowanego spoiwa, jakim jest wapno i cement. Z tego powodu należy kontynuować prowadzone badania częściowego zastąpienia tych spoiw dodatkami mineralnymi o właściwościach pucolanowych [21, 25, 26]. Zasadne jest kontynuowanie w wytwórniach ABK procesu zastępowania energii pochodzącej z paliw kopalnianych paliwami bardziej przyjaznymi dla środowiska naturalnego. Proces ten został już rozpoczęty przez niektórych producentów ABK, m.in. SOLBET i BRUK-BET, wprowadzaniem odnawialnych źródeł energii, w tym fotowoltaiki, energii wiatrowej i tzw. zielonego wodoru. W realizacji inwestycji wodorowych i prowadzeniu prac badawczo-rozwojowych w tym za-

kresie pomocny powinien być Europejski Bank Wodorowy (European Hydrogen Bank), powołany przez Komisję Europejską;

- **digitalizacji.** Należy kontynuować stosowanie technologii BIM na potrzeby projektowania obiektów z betonu komórkowego oraz integracji BIM z systemem AR (*Augmented Reality*).

Podsumowanie

1923 r., czyli rok wynalezienia autoklawizowanego betonu komórkowego, stanowi istotną datę w historii przemysłu materiałów budowlanych na świecie. Najbardziej ceniono w tym materiale korzystną izolację cieplną przy relatywnie dobrej wytrzymałości i wysoką odporność ogniową, a w zrealizowanych obiektach przyjazny mikroklimat. Małe zużycie surowców i energii przy wytwarzaniu ABK w porównaniu z innymi materiałami ściennymi było dodatkowym atutem w rozwoju jego produkcji w wielu krajach świata, w tym i w Polsce, gdzie ma już ponad siedemdziesięcioletnią tradycję.

Technologia produkcji ABK była w sposób ciągły udoskonalana, a najbardziej istotne rozwiązania to: wprowadzenie bloczków precyzyjnych, które zrewolucjonizowały techniki murarskie i realizację obiektów z ABK; połączenia elementów na pióro i wpust, co umożliwia ułożenie bloczków bez spoiny czołowej; uchwyty ręczne, które w połączeniu ze złączami pióro-wpust znacznie przyspieszają proces budowy. Do procesu budowlanego przemysł ABK wprowadził zróżnicowany asortyment wyrobów, w tym: elementy drobnowymiarowe oraz średnio- i wielkowymiarowe zbrojone. Dzięki tym działaniom wyroby z ABK reprezentują obecnie wysoki poziom techniczny.

Jesteśmy przekonani, że **polska szkoła betonu komórkowego** wniosła istotny wkład w osiągnięcie dotychczasowego poziomu i wielkości produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego na świecie. Podkreślić należy, że uruchomienie i rozwijanie produkcji ABK w Polsce przyczyniło się do intensywnej odbudowy i rozbudowy kraju po drugiej wojnie światowej. Praktycz-

nie rzecz biorąc, realizacja budownictwa mieszkaniowego nie jest możliwa bez wyrobów ABK.

Wierzimy w dalszy rozwój betonu komórkowego i utrzymanie jego pozycji jako materiału spełniającego wymagania zrównoważonego budownictwa z uwzględnieniem zasady: „Szczupimy przeszłość – wyobraźmy sobie i realizujemy przyszłość”.

Literatura

- [1] Paprocki A. *Betony komórkowe*. Warszawa: Arkady. 1966.
- [2] Jatymowicz H, Siejko J, Zapotoczna-Sytek G. (1975) (wyd. 1); (1980) (wyd. 2) *Technologia autoklawizowanego betonu komórkowego*. Warszawa: Arkady.
- [3] Zapotoczna-Sytek G. *Historia autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce*. Warszawa: Wydawnictwo PWN. 2019.
- [4] Zapotoczna-Sytek G, Soboń M. 60 lat betonu komórkowego w Polsce. *Historia i przyszłość*. 5. Międzynarodowa Konferencja dotycząca Autoklawizowanego Betonu Komórkowego. Zapewnienie zrównoważonego rozwoju. Bydgoszcz, 14 – 17 września 2011, s. 27 – 42.
- [5] Zapotoczna-Sytek G, Balkovic S. *Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia, Właściwości, Zastosowanie*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, Stowarzyszenie Producentów Betonów. 2013.
- [6] Soboń M. Należy przypomnieć osiągnięcia polskiej branży betonu komórkowego. *Materiały Budowlane*. 2010; 11 (459): 44 – 46.
- [7] Małolepszy J, Pichór W. *Beton komórkowy XXI wieku*. *Materiały Budowlane*. 2011; 4 (344): 8 – 10.
- [8] 5. Międzynarodowa Konferencja dotycząca Autoklawizowanego Betonu Komórkowego. Zapewnienie zrównoważonego rozwoju. Bydgoszcz, 14 – 17 września 2011. Centrum Promocji i Reklamy REMEDIA. Bydgoszcz.
- [9] ICAAC 6th International Conference on Autoclaved Aerated Concrete. September 4 – 6, 2018. University Potsdam. European Autoclaved Aerated Concrete Association (EAACA).
- [10] Małecki M, Małolepszy J, Misiewicz L. *Beton komórkowy – materiał budowlany z przeszłością*. 2014; Wisła 13-15 października, Konferencja „Dni Betonu”, s. 691-701.
- [11] Zapotoczna-Sytek G, Łaskawiec K, Gębarowski P, Małolepszy J, Szymczak J. *Popioły nowej generacji do produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego*. 2013. Opole Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Wydawnictwo Instytut Śląski.
- [12] *Materiały techniczne i informacyjne Europejskiego Stowarzyszenia Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego (EAACA), Stowarzyszenia Producentów Betonów w Polsce (SPB), firm produkcyjnych ABK w Polsce*.

[13] Małolepszy J, Łaskawiec K. *Autoklawizowany beton komórkowy – dzisiaj i jutro*. *Cement, Wapno, Beton*. 2017; 5: 358 – 370.

[14] Skorniewska M, Abramowicz M, Zapotoczna-Sytek G. *Domieszki chemiczne a procesy fizykochemiczne zachodzące przy wytwarzaniu autoklawizowanego betonu komórkowego*. Warszawa-Opole: Prace Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych. 2013; 12: 88 – 106.

[15] Zapotoczna-Sytek G. *Autoklawizowany beton komórkowy na popiołach lotnych* *Materiały Budowlane*. 2015; 2 (510): 53 – 56.

[16] Hums D. *Ecological aspect for the production and use of autoclaved aerated concrete*. 1992. Zurich: Proceeding of the 3rd Rilem International Symposium on Autoclaved Aerated Concrete, 14-16 October, pp. 271 – 275.

[17] Zapotoczna-Sytek G, Małolepszy J. *Zrównoważony rozwój a proces wytwarzania i stosowania elementów z betonu komórkowego*. *Wiśła*: 2008; 13-15 października, Konferencja Dni Betonu: 867 – 878.

[18] Łaskawiec K, Gębarowski P, Małolepszy J. (2016) *Influence of Fluidized Ashes on Properties of Autoclaved Aerated Concrete*. *ACI Materials Journal*, vol 113, issue 04, pp. 409-417.

[19] Zapotoczna-Sytek G. *Trwałość autoklawizowanego betonu komórkowego w świetle polskich doświadczeń*. *Materiały Budowlane*. 2019; 9 (565): 6 – 10.

[20] Różycka A, Kotwica Ł, Małolepszy J. *Synthesis of single phase gyrolite in the CaO-quartz-Na₂O-H₂O system*. *Materials Letters*. 2014; vol. 120, pp. 166 – 169.

[21] Pichór W. *Przyjazne środowisku rozwiązania materiałowe w technologii autoklawizowanego betonu komórkowego*. *Cement-Wapno-Beton*. 2022; 27 (3): 167 – 177.

[22] Kurdowski W. *Chemia cementu i betonu*. SPC. Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków – Warszawa. 2013.

[23] Dauksza P. *Autoklawizowany beton komórkowy (ABK) w zrównoważonym budownictwie*. *Cement-Wapno-Beton*. 2022; 27 (3): 224-240.

[24] Turski R, Rogala W. *Sytuacja i kierunki rozwoju autoklawizowanego betonu komórkowego w Europie*. *Cement, Wapno, Beton*. 2022; 27 (3): 154 – 165.

[25] Skawińska M. *Wpływ dodatków mineralnych na właściwości autoklawizowanych kompozytów betonowych*. *Praca doktorska, Politechnika Świętokrzyska Kielce*. 2016.

[26] Stępień P. *Wpływ gezy na skład fazowy betonu komórkowego*. *Praca nieopublikowana*.

[27] Walczak P. *Możliwości poprawy parametrów użytkowych ABK na przykładzie współczynnika przewodzenia ciepła*. *Materiały Budowlane*. 2023; 1 (605): 65 – 66.

[28] *Sprawozdanie ICiMB Centrum Badań Betonów CEBET i AGH. Rola xonolit i girolitu w kształtowaniu struktury i mikrostruktury betonu komórkowego*. Warszawa. 2012.

[29] Pytel Z. *Synteza scawtytu C₇S₆CO₂H₂*. *Cement-Wapno-Beton*. 2008; 5: 166 – 169.