

dr inż. Genowefa Zapotoczna-Sytek, prof. ŁUKASIEWICZ – ICiMB<sup>1)</sup>

# Trwałość autoklawizowanego betonu komórkowego w świetle polskich doświadczeń

## *Durability of autoclaved aerated concrete based on polish experience*

DOI: 10.15199/33.2019.09.01

(Artykuł przeglądowy)

**Streszczenie.** W Polsce badania nad trwałością autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) rozpoczęto na początku lat sześćdziesiątych XX wieku. Przez okres 8 – 9 lat badaniami objęto ABK wyprodukowany w skali przemysłowej oraz przegrody wykonane z tego materiału. Szersze badania związane z trwałością wznowiono w 1999 r. Badaniami objęto beton komórkowy popiołowy i piaskowy pobrany (co 5 cm) z przegród obiektów eksploatowanych przez 20-35-40 lat oraz betonów składowanych w warunkach polowych przez 21 i 40 lat (przykrytych jedynie od góry papą). Analiza wyników badań wykazała, że ABK jest materiałem trwałym, co ma znaczenie dla formułowania wniosków dotyczących jego stosowania.

**Słowa kluczowe:** autoklawizowany beton komórkowy; trwałość; tobermoryt.

**Abstract.** In Poland, studies on the durability of AAC began in early 1960s. Over a period 8 – 9 years research focused on AAC materials in industrial production and partitions made of this material. Extensive studies of durability resumed in 1999. The studies examined AAC made with fly ash and sand sampled at 5 cm intervals from partitions of 20-35-40 y.o. buildings and AAC stored outdoors under extreme conditions for the period of 21 and 40 years (protected with a tarpaper top cover). An analysis of the results of studies confirms the durability profile of AAC, which should be considered in formulating conclusions about the possible uses of autoclaved aerated concrete.

**Keywords:** AAC; durability; tobermorite.

**T**rwałość obiektów budowlanych zależy od właściwości stosowanych materiałów, jakości wykonawstwa i projektu, utrzymania budowli oraz rodzaju oddziaływań środowiskowych i ich intensywności. Zwykle uważa się, że **trwałość to stabilność właściwości materiałów, wyrobów, obiektów.** Metoda jej określania, mimo wieloletnich badań, nie została dotychczas jednoznacznie uzgodniona. W literaturze mało jest badań charakteryzujących właściwości autoklawizowanego betonu komórkowego (ABK) w funkcji jego wieku.

W artykule zaprezentuję badania trwałości betonu komórkowego przeprowadzone w Polsce w następujących latach: 1961 – 1971; 1999 – 2002 i 2017 – 2018.

### Badania prowadzone w latach 1961 – 1971 [4, 13]

Badaniami objęto ABK wyprodukowany w skali przemysłowej oraz przegrody z niego wykonane głównie w bu-

dynku doświadczalnym oraz w kilku budynkach mieszkalnych. Badaniom poddano ABK typowy dla tego okresu, czyli odmiany 07 (700) i cięższy, wyprodukowany wg technologii z kruszywem piaskowym oraz popiołowym. ABK do badań pobierano z poszczególnych zakładów. Materiał ten, po zabezpieczeniu od góry przed opadami atmosferycznymi, składowano w warunkach polowych. W chwili pobierania do badań określano jego właściwości tzw. zerowe. W każdym następnym roku (w ciągu 8 – 9 lat starzenia), właściwości te były sprawdzane, a uzyskane wyniki porównywano z wynikami zerowymi.

Badania prowadzono wg obowiązujących wówczas norm. Sprawdzeniu podlegały: **gęstość; wytrzymałość na ściskanie; skurcz; mrozoodporność; współczynnik przewodzenia ciepła λ; sorpcja oraz podciąganie kapilarne.** W celu ustalenia przyczyn zachowania się betonu komórkowego w czasie starzenia przeprowadzono również badania **składu fazowego i struktury porowatości.** Była to pierwsza próba powiązania właściwości fizycznych ze składem

fazowym betonu komórkowego produkowanego na skalę przemysłową i podanego procesowi starzenia w warunkach polowych. Badania składu fazowego wykonano za pomocą klasycznych metod analizy mikroskopowej, metody rentgenowskiej, analizy termicznej i porozymetrii.

Autorzy badań zrealizowanych w latach 1961 – 1971 uzyskali wyniki świadczące o korzystnej charakterystyce ABK w czasie starzenia i zasadności jego stosowania w polskich warunkach klimatycznych. A oto ważniejsze z nich [13]:

- badania wytrzymałości na ściskanie betonu komórkowego w funkcji wieku wykazały nie tylko stabilność, ale również tendencje do jej polepszania nawet do 24%. Stwierdzono zwiększenie wytrzymałości betonu komórkowego, ale również zawartości kalcytu ( $\text{CaCO}_3$ ) w czasie jego starzenia. Nie zawsze jednak wzrosła zawartość kalcytu towarzyszył wyraźny wzrost wytrzymałości na ściskanie;

- beton komórkowy w czasie starzenia wykazuje polepszenie izolacyjności cieplnej, co jest wynikiem utraty wilgoci w czasie;

<sup>1)</sup> Stowarzyszenie Producentów Betonów; genowefa.sytek@gmail.com

- wielkość zmian liniowych betonu komórkowego zależy od technologii produkcji; najbardziej wrażliwy na zmianę temperatury i poziom wilgotności jest beton komórkowy z zastosowaniem kruszywa popiołowego;

- beton komórkowy o zawartości wilgoci mniejszej niż 30% masy, a więc w stanie zawilgocenia kapilarnego, jest materiałem odpornym na działanie mrozu (przy zawartości wilgoci powyżej 30% masy istnieje możliwość wystąpienia w ABK uszkodzeń spowodowanych mrozem). Większą odpornością mrozową charakteryzują się betony komórkowe o drobnej lub najwyższej średniej porowatości;

- betony komórkowe wykazują w czasie starzenia zwiększoną zdolność podciągania kapilarnego na skutek zmian w strukturze mikroporowatości, a tym samym zwiększoną zdolność do zwiększenia zawartości wilgoci wskutek opadów atmosferycznych.

W badaniu nad zawartością wilgoci w przegrodach rozrózniono dwa okresy:

- nieustabilizowany, w którym występuje utrata wilgoci przegród niezależnie od pory roku i warunków atmosferycznych;

- ustabilizowany, kiedy wilgotność przegród ulega jedynie niewielkim zmianom sezonowym (w czasie zimy wzrasta, latem maleje).

Okres nieustabilizowany trwał 2 – 3 lata, przy czym intensywna utrata wilgoci następowała głównie w okresie 8 – 12 miesięcy. Czas ustabilizowania się poziomu wilgotności w przegrodach z ABK jest tym dłuższy, im większa jest gęstość materiału oraz grubość przegrody.

**Wilgotność ustabilizowana w przegrodach z ABK** zależy w pewnym stopniu od technologii produkcji, a ściślej od rodzaju kruszywa. W przypadku piaskowego betonu komórkowego jest ona mniejsza niż zawierającego popioły lotne. Średnia wartość wilgoci ustabilizowanej w przegrodach z betonu komórkowego wynosiła 3 – 8% masy. Zwrócono uwagę, że proces utraty wilgoci z przegród z ABK pozbawionych tynków zewnętrznych następuje szybciej. W okresie ustabilizowanym przegrody te nie wykazują większej zawartości wilgoci w porównaniu z przegrodami z tynkami zewnętrznymi.

### Badania prowadzone w latach 1999 – 2002

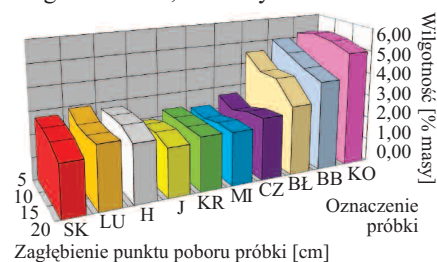
Badania prowadził COBRPB CEBET we współpracy z wytwórniami betonów komórkowych [1, 2, 6, 8]. W tym etapie badaniami objęto betony komórkowe piaskowe i popiołowe pobrane ze ścian zewnętrznych obiektów eksploatowanych przez 20 – 35 lat. Badano również elementy składowane przez 20 lat w warunkach polowych (przykryte jedynie od góry papą).

Przeprowadzono następujące badania: zawartości wilgoci i jej rozkładu w przekroju przegród zewnętrznych (pomiar co 5 cm); składu fazowego; struktury porowatości; mikrobiologiczne; właściwości użytkowych (gęstość, wytrzymałość na ściskanie i mrozoodporność ABK pobranego ze ścian obiektów eksploatowanych ponad 20 lat, a także elementów murowych pozostałych po budowie domu i składowanych w warunkach polowych przeszło 20 lat). Wyniki badań podano w tabeli 1.

**Zawartość wilgoci i jej rozkład w przekroju przegród.** Badaniami objęto 10 obiektów wybudowanych w różnych rejonach kraju i eksploatowanych przez 20 – 35 lat. Były to budynki mieszkalne, budynki biurowe i jeden obiekt przemysłowy. Próbkę ABK pobierano metodą odwiertów na całej grubości przegród. Pobór prób był trzykrotny; wczesną jesienią; późną jesienią i wiosną następnego roku.

Badania wykazały, że ściany zewnętrzne z ABK charakteryzują się

wyrównanym rozkładem wilgoci w poszczególnych przekrojach. Nie stwierdzono istotnej różnicy w zawartości wilgoci przegród w okresie jesiennym i wiosennym, natomiast nieznacznie większa wilgoć występowała w przekroju ściany od strony zewnętrznej (rysunek 1). Średnia zawartość wilgoci w ścianach z ABK piaskowego wynosiła 2,5% masy, a ścian z ABK popiołowego średnio 4,5% masy.



**Rys. 1. Zawartość wilgoci w ścianach zewnętrznych z ABK (wiosna 2001 r.)**  
 Fig. 1. Moisture content in outer AAC walls analyzed during the spring of 2001

**Badania składu fazowego** zrealizowano metodą rentgenowską, analizy termicznej oraz za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego. Badania składu fazowego potwierdziły zawartość tobermorytu zarówno w ABK piaskowym, jak i popiołowym, z wyjątkiem ABK piaskowego składowanego w warunkach polowych przez okres 21 lat, a pochodzącego z tej samej partii, z której wykonany był jeden z badanych obiektów eksploatowanych ponad 20 lat. Zawartość tobermorytu w badanych próbkach ABK wyprodukowanego wg technologii piaskowej wynosiła 2 – 7%

**Tabela 1. Wyniki badań właściwości użytkowych ABK**  
 Table 1. Results of studies on AAC performance

Symbol blocka i kostki		Stan suchy				Wiek obiektu [lata]
		kostki kontrolne		po 15 cyklach zamrażania		
		gęstość [kg/m <sup>3</sup> ]	wytrzymałość na ściskanie [MPa]	wytrzymałość na ściskanie [MPa]	spadek wytrzymałości na ściskanie [%]	ubytek masy [% masy]
R-1	A	910	4,6	4,9		0,0
	B	910	5,0	5,3		0,0
	C	895	5,5	5,6		0,0
	Średnia	905 ±30	5,0 ±0,2	5,3 ±0,2	+6	0,0
Pi2z	A	695	3,7	2,8		0,0
	B	725	3,9	4,1		0,0
	C	770	5,1	5,2		0,0
	Średnia	730 ±25	4,2 ±0,2	4,0 ±0,2	5	0,0
KR1	A	705	3,8	3,1		0,0
	B	728	4,2	3,5		0,0
	C	745	4,7	5,3		0,0
	Średnia	725	4,2 ±0,2	4,0 ±0,2	5	0,0

(przeważa wartość 6%), a w popiołowym betonie komórkowym 37 – 41%.

Stwierdzono wzrost zawartości kalcytu w badanych próbkach ABK, w przypadku piaskowego o 8 – 13,4%, a popiołowego o 5,2 – 10,2%. Zgodnie z [7] średnia zawartość kalcytu w ABK z bieżącej produkcji wynosiła ok. 2%. Największa zawartość kalcytu – 24,6% wystąpiła w próbce betonu komórkowego składowanego w warunkach polowych przez 21 lat (bardzo duży kontakt z powietrzem, a co za tym idzie dostęp CO<sub>2</sub>). Należy podkreślić, że badania mrozoodporności ABK z elementu murowego składowanego w warunkach polowych przez 21 lat wykazały jego pełną odporność na działanie mrozu (tabela 1, próbka KR1).

**Badania właściwości użytkowych**, tzn. gęstości; wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporności przeprowadzono wg PN-89/B-06258 i stwierdzono, że spełniały one obowiązujące wówczas wymagania.

**Badania mikrobiologiczne**, a więc na obecność bakterii i grzybów w próbkach ABK, pobranych metodą odwiertów (w postaci pyłu) z przegród eksploatowanych budynków, przeprowadzono w Zakładzie Mykologii Instytutu Gruźlicy i Chorób Płuc w Warszawie. Próbki ABK pochodziły z pierwszej zewnętrznej warstwy ścian [2; 6]. Na podstawie badań oceniono, że ABK nie jest dobrym podłożem do rozwoju bakterii, a szczególnie grzybów. Hamujący wpływ środowiska betonu komórkowego na rozwój mikroorganizmów (bakterii i grzybów) potwierdziły również wcześniejsze badania wykonane przy symulacji wilgotnego klimatu tropikalnego i badania materiału zalanego wodą przez kilka, a nawet kilkadziesiąt dni podczas powodzi w 1997 r. [12].

Z badań wykonanych w drugim etapie (lata 1999 – 2002) wynika, że ABK charakteryzuje się właściwościami umożliwiającymi realizację trwałych obiektów. Nie stwierdzono również występowania korozji biologicznej ABK.

### Badania prowadzone w latach 2017 – 2018

W tym etapie przeprowadzono badania betonu komórkowego z uprzednio badanego po 21 latach domu wolnosto-

jącego, parterowego z poddaszem użytkowym. Wiek obiektu znajdującego się w północno-wschodniej części Polski wynosił 40 lat. Zbadano również elementy z ABK pozostałe po jego budowie i składowane przez 40 lat w warunkach polowych (przykryte jedynie od góry papą), które nie wykazywały widocznych gołym okiem oznak starzenia (fotografia 1).



**Fot. 1. Element murowy z ABK po czterdziestu latach składowania w warunkach polowych w północno-wschodniej części Polski**

*Photo 1. A masonry unit made of AAC, after 40 years of storage in field conditions in the north-eastern part of Poland*

Zakres przeprowadzonych badań był następujący:

- zawartość wilgoci i jej rozkład w przekroju przegrody (pomiar co 5 cm);
- badania wg PN-EN tworzywa elementów murowych (technologia Unipol piaskowy) oznaczonych GS1 i GS2 pozostałych po budowie domu;
- skład fazowy i mikrostruktura elementów murowych (GS1 i GS2) pozostałych po budowie [7; 9]. Dodatkowo w celu porównania określono skład fazowy i mikrostrukturę „świeżego” betonu komórkowego (GS3), zbadanego po zakończeniu procesu autoklawizacji [10], wykonanego wg tej samej technologii (Unipol piaskowy). Analizę składu fazowego próbek GS1, GS2, GS3 (frakcja poniżej 0,063 mm) wykonano metodą rentgenowską, a analizę ilościową metodą Rietvelde przy użyciu programu TOPAS. Ponadto wykonano badanie z zastosowaniem analizy termicznej [7] oraz

**Tabela 2. Wyniki badań elementów murowych z ABK (wartości średnie z badań dwóch elementów murowych – GS1 i GS2) [9]**

*Table 2. Results of studies of AAC masonry elements (average values of tests of two masonry elements – GS1 and GS2) [9]*

Właściwość	Wynika badania	Normy
Gęstość w stanie suchym [kg/m <sup>3</sup> ]	750	PN-EN 772-13:2001
Wytrzymałość na ściskanie [N/mm <sup>2</sup> ]	3,4 (wilgotność 6%) 4,1 (stan suchy)	PN-EN 772-1:2011
Skurcz przy wysychaniu E <sub>cs,ref.</sub> [mm/m]	0,14	PN-EN 680:2008
Współczynnik przewodzenia ciepła λ [W/(m·K)]	0,1928 ± 0,0035	PN-ISO 8301:1998
Stężenie naturalnych pierwiastków promieniotwórczych. Współczynniki aktywności: f1 f2	0,18 ± 0,03 12,32 ± 5,35 [Bq/kg]	wg Poradnika ITB nr 455/2010

skaningowym mikroskopem elektronowym i analizę EDS [9].

**Badania zawartości wilgoci ABK w przekroju przegrody** zrealizowane jesienią w 2017 r. oraz wiosną 2018 r. potwierdziły ustabilizowaną zawartość eksploatacyjną wilgoci w przegrodzie (średnio 2,28% i 2,33%), bardzo zbliżoną do poziomu wilgotności w tej samej przegrodzie badanej po 21 latach (2,32%).

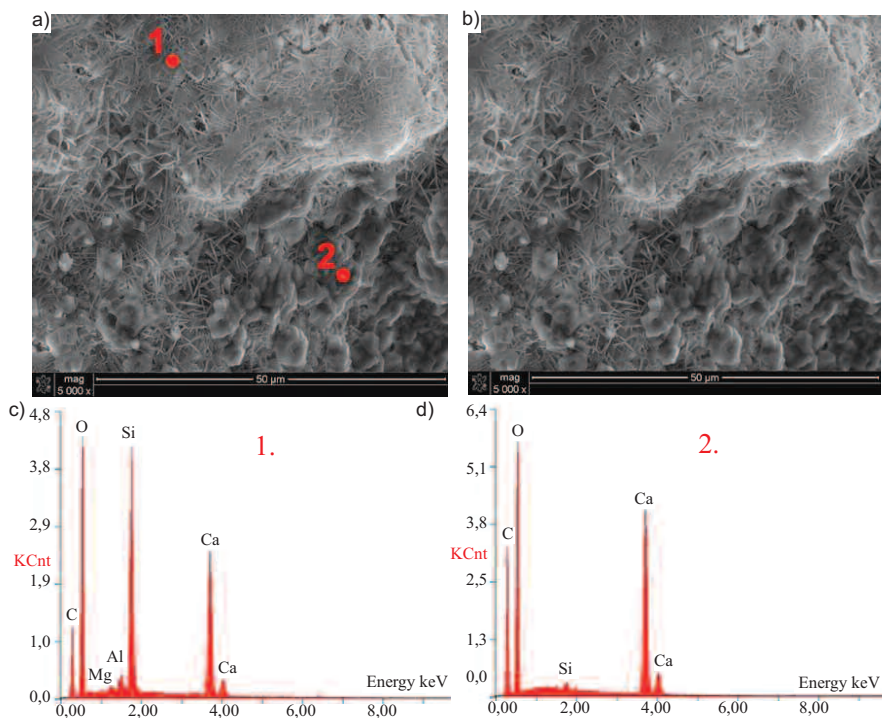
**Wyniki badań właściwości użytkowych** elementów murowych z ABK składowanych przez 40 lat w warunkach polowych oraz norm, wg których przeprowadzono badania, podano w tabeli 2.

**Badania składu fazowego i mikrostruktury** wykazały brak tobermorytu w próbkach czterdziestoletnich (GS1 i GS2) składowanych w warunkach polowych, natomiast dużą zawartość kalcytu (ok. 41%). W „świeższej” próbce ABK (GS3) zawartość tobermorytu wynosiła ok. 37% (poziom przeciętny dla świeżych betonów), a kalcytu 10% (poziom trochę wyższy niż przeciętny) [7]. Wyniki te wykazały, że składowanie ABK w warunkach polowych sprzyjało przebiegowi procesu karbonatyzacji. **Badania mikroskopowe próbki ABK GS1 (fotografia 2) wskazują jednak wyraźnie, że tobermoryt w próbkach składowanych w warunkach polowych istnieje. Często jednak jest on przysłonięty skupiskami kalcytu.** Dla porównania na fotografii 3 przedstawiono obraz mikroskopowy „świeżej” próbki ABK.

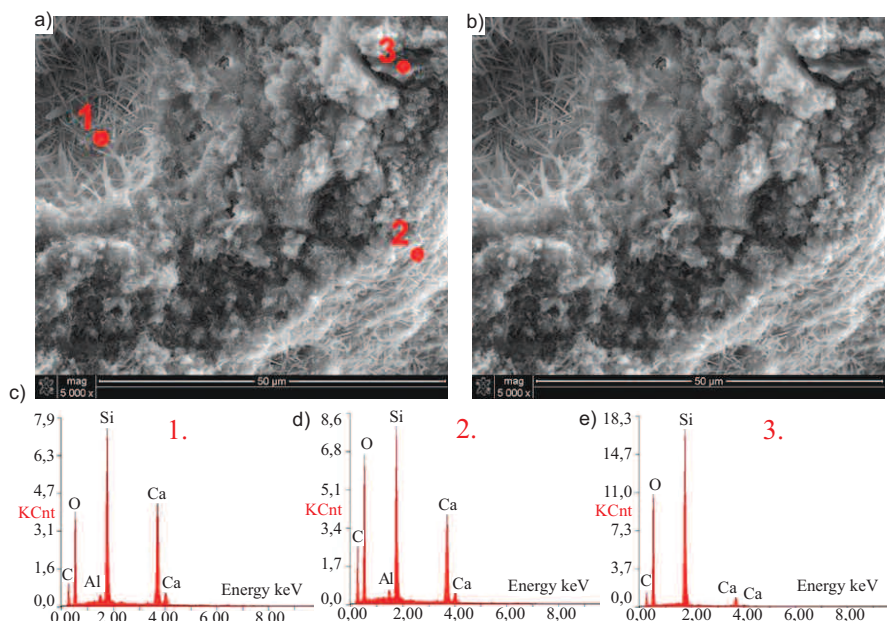
### Podsumowanie

Badania przeprowadzone w Polsce dotyczące trwałości obiektów i elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego po 10; 20 i 40 latach ich użytkowania pozwalają na sformu-





**Fot. 2. Zdjęcie SEM próbki GS1 ABK i analiza EDS [9]**  
 Photo 2. SEM photos of AAC GS1 sample including EDS analysis [9]



**Fot. 3. Zdjęcie SEM próbki GS3 ABK i analiza EDS [9]**  
 Photo 3. SEM photos of AAC GS3 sample including EDS analysis [9]

mułowanie wników, mających duże znaczenie w praktyce. Stwierdzono, że zawartość wilgoci jest ustabilizowana i w betonach piaskowych nie przekracza 3% masy, a w popiołowych wynosi średnio ok. 4,5% masy. Przy tak małej zawartości wilgoci, przegrody charakteryzują się dobrymi właściwościami termoizolacyjnymi. Wyniki badań przegród przeczą niekiedy głośno-

nym opiniom o bardzo dużej zawartości wilgoci w ścianach z betonu komórkowego. Oględziny budynków, z których pobierano próbki do badań zawartości wilgoci, wykazały, że nie podlegały one procesom starzenia widocznych gołym okiem.

Po latach badania składu fazowego próbek ABK (GS1 i GS2) wykazały, że różni się on w sposób zasadniczy od

betonu komórkowego wytwarzanego obecnie (GS3). Różnice te dotyczą przede wszystkim ilości kalcytu ( $\text{CaCO}_3$ ) oraz C-S-H i tobermorytu. „Stary” beton zawiera więcej kalcytu, a mniej tobermorytu i C-S-H. Może to wynikać z tego, że w latach siedemdziesiątych XX wieku produkowano przede wszystkim odmianę 700 ABK i starano się uzyskać dobre właściwości użytkowe przez zwiększenie zawartości cementu i wapna. W tym czasie stosowane materiały wiążące, szczególnie cement, miały mniejszą powierzchnię właściwą pomimo wspólnego przemiału z częścią kruszywa. Nie ma jednak badań składu stosowanych mieszanek. Badania rentgenograficzne nie wykazały wprawdzie tobermorytu w „starych” próbkach ABK. Zasadniczą fazę stanowi kwarc i kalcyt, który przykrywa uwodnione krzemiany wapniowe. Badaniom rentgenograficznym przeczą badania przeprowadzone skaningowym mikroskopem elektronowym z przystawką EDS, z których wynika, że w starym ABK tobermoryt występuje, a także zwiększona ilość mikrokryształicznego krzemianu wapniowego, który podlega znacznej krystalizacji w początkowej morfologicznej formie C-S-H.

Z obliczeń termodynamicznych prof. Petrosjana [5] oraz prof. Starka [11] wynika jednoznacznie, że najbardziej trwałą odmianą termodynamiczną produktów wchodzących w skład ABK jest tobermoryt. Można zatem przypuszczać, że faza C-S-H wskutek rekrytalizacji uwalnia część wodorotlenku wapnia, który ulega karbonatacji (rysunki 2 i 3). O tym, że próbki starego ABK zawierają tobermoryt, świadczą również badania DTA.

Niektórzy badacze twierdzą, że w ABK w eksploatowanych budynkach tobermoryt ulega rozkładowi na żel krzemionkowy C-S-H i kalcyt  $\text{CaCO}_3$ . Gdyby tak było, to czterdziestoletnie elementy murowe z ABK, które były przedmiotem moich badań, powinny ulec spękaniu i rozpadowi. Wykazałam Państwu, że takie zjawisko nie wystąpiło. Analizę przebiegu procesów karbonatacji w opinii różnych autorów przedstawił prof. W. Kurdowski [3]. Oględziny zbadanych elementów murowych, składowanych przez 40 lat w wa-

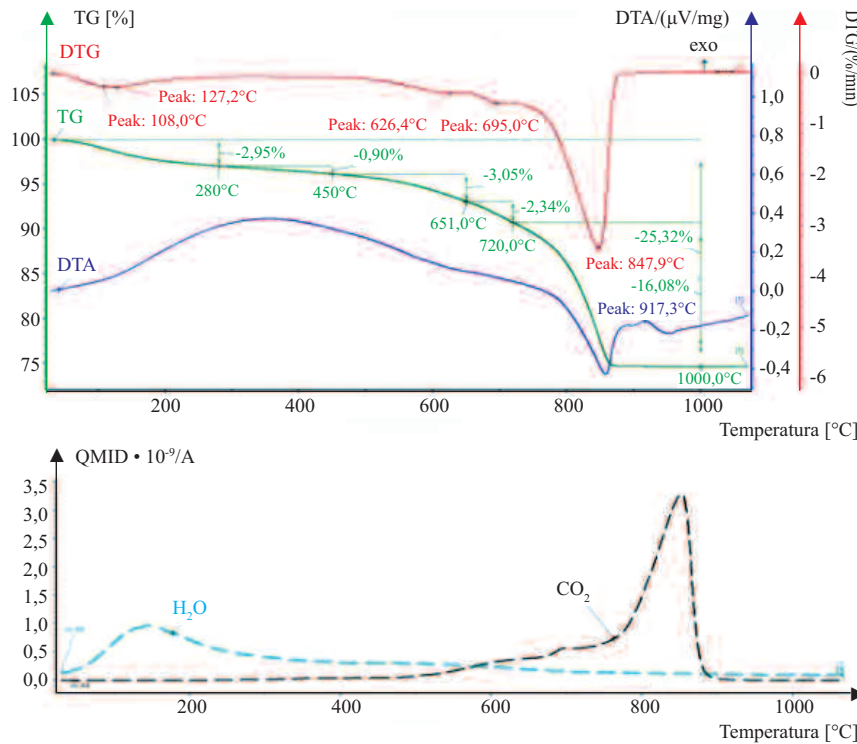
runkach połowych, nie wykazały nieprawidłowości w wyglądzie zewnętrznym (fotografia 1). Badania wykazały ich pełną mrozoodporność, wytrzyma-

łość na ściskanie po 21 latach wynosiła 4,2 MPa ( $C_o = 725 \text{ kg/m}^3$ ), a po czterdziestu latach 4,1 MPa ( $C_o = 750 \text{ kg/m}^3$ ). Proces naturalnej karbonatacji ABK

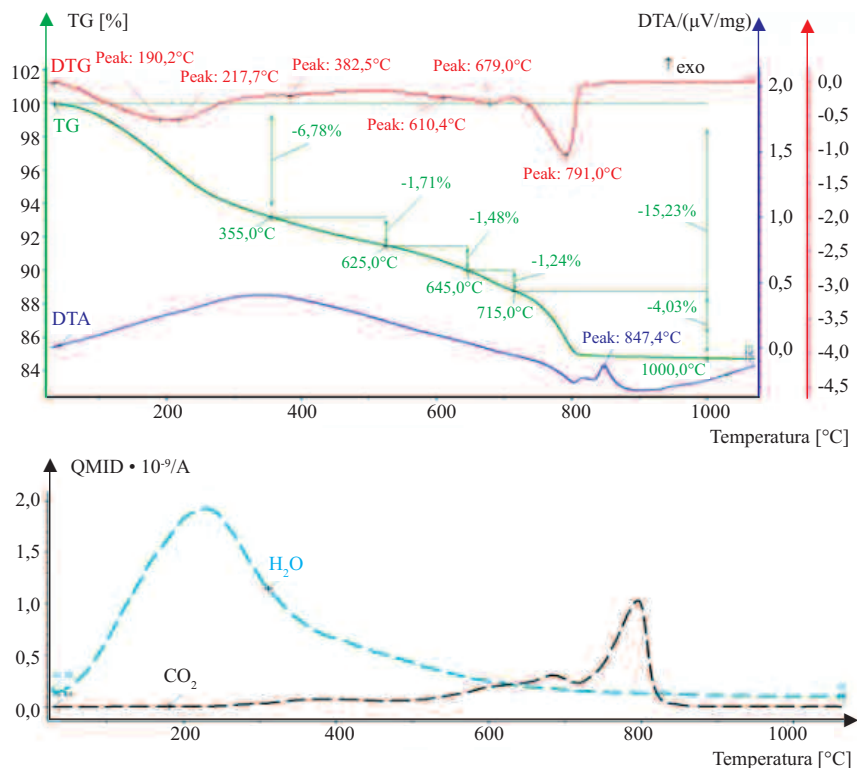
o dobrej wyjściowej jakości nie prowadzi do pogorszenia mrozoodporności i wytrzymałości. Badania mikrobiologiczne wykazały, że ABK nie jest dobrym podłożem do rozwoju bakterii i grzybów. Mimo wyników dotychczasowych badań, potwierdzających trwałość elementów z betonu komórkowego i obiektów z nich wybudowanych, wskazane jest ich kontynuowanie w kontekście rzeczywistego zastosowania ABK.

**Literatura**

[1] Górka B. Rentgenowska analiza ilościowa podstawowych składników w betonie komórkowym i surowcach użytych do jego produkcji. COBRPB CEBET, Warszawa 1999, maszynopis.  
 [2] Górka B., M. Łaś, J. Romanowski, Genowefa Zapotoczna-Sytek. 2002. *Trwałość betonu komórkowego w świetle najnowszych badań*. XLVI Konferencja KILiW PAN i KN PZITB „Krynica 2000” oraz Wydawnictwo Prace COBRPB CEBET, Zeszyt 30 s. 37-47, Warszawa.  
 [3] Kurdowski Wiesław. 2010. *Chemia cementu i betonu*. Stowarzyszenie Producentów Cementu. PWN Kraków – Warszawa.  
 [4] Pełne i uzupełniające badania fizykotechniczne w zakresie autoklawizowanego betonu komórkowego – termowilgotność. 1969 i 1971. Opracowanie ZBiDPB, Warszawa, maszynopis.  
 [5] Petrosjan Mtschedlow. 1966. *Termodynamik der Silikate*. Berlin.  
 [6] Praca zespołowa: Badania ciepno-wilgotnościowe i trwałościowe murów z elementów z betonu komórkowego. Opracowanie COBRPB CEBET. Warszawa 1999 i 2001, maszynopis.  
 [7] Raport z badań metodą rentgenowską i analizy termicznej próbek ABK. 2018. AGH Kraków. Maszynopis.  
 [8] Romanowski J., M. Kruk. Genowefa Zapotoczna-Sytek. 2013. „Możliwość nadbudowy budynków z betonu komórkowego po wieloletniej eksploatacji”. *Materiały Budowlane* 375 (11): 35 – 37.  
 [9] Sprawozdania i raporty ICIMB: – Sprawozdanie nr GS/TL/17 z badań elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego Warszawa 2017. Raport z badań ABK – 04.09.17-1 Warszawa 2017/18. Raport z badań składu fazowego i mikrostruktury ABK, Warszawa 2018  
 [10] Sprawozdanie nr 66/17/1/35 z badań ABK PPB Prefbet Śniadowo Sp. z o.o. 2017.  
 [11] Stark J., B. Wicht. 1995. *Daurhaftigkeit von Beton*. Weimar.  
 [12] Zapotoczna-Sytek Genowefa, S. Balkovic. 2013. *Autoklawizowany beton komórkowy. Technologia. Właściwości. Zastosowanie*. Warszawa. Wydawnictwo Naukowe PWN, Stowarzyszenie Producentów Betonów.  
 [13] Ziembicka H., A. Morawska. 1974. *Trwałość betonu komórkowego w polskich warunkach klimatycznych*. Wydawnictwo: z serii L-Betony komórkowe, Centralnego Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Przemysłu Betonów „CEBET” Warszawa. Przyjęto do druku: 14.08.2019 r.



**Rys. 2. Wyniki badań analizy termicznej próbki GS1 ABK (czterdziestoletniej) [7]**  
 Fig. 2. Results of thermal analysis DTA/DTG/TG/EGA of AAC GS1 sample (40 years) [7]



**Rys. 3. Wyniki badań analizy termicznej próbki GS3 ABK („świeży”) [7]**  
 Fig. 3. Results of thermal analysis DTA/DTG/TG/EGA of AAC GS3 sample („fresh”) [7]