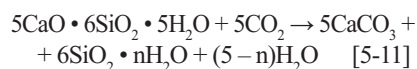


*dr inż. Paweł Walczak<sup>1)</sup>*

# Jak długo można użytkować obiekty budowlane wykonane z autoklawizowanego betonu komórkowego?

**A**utoklawizowany Beton Komórkowy (ABK) od początku swojego istnienia jest postrzegany jako materiał ekologiczny i uniwersalny. Można go produkować z wykorzystaniem surowców wtórnych, jak np. technologie popiołowe [1], a także w tzw. cyklu zamkniętym, natomiast materiał pochodzący z rozbiórki domów w technologii ABK może być z powodzeniem ponownie wykorzystany w produkcji. Obecnie wielu producentów decyduje się na opracowanie deklaracji środowiskowych (EPD) swoich produktów.

ABK, podobnie jak inne materiały budowlane na bazie na cementu i/lub wapna, ulega karbonatyzacji w czasie cyklu życia, co jest zjawiskiem naturalnym, które nie pogarsza jego właściwości użytkowych [2 ÷ 4]. W skrócie można powiedzieć, że proces karbonatyzacji w czasie cyklu użytkowania wyrobu budowlanego, czyli w etapie B1 deklaracji środowiskowej produktu (EPD), jest procesem odwrotnym do procesu powstawania spoiw hydraulicznych. Do utwardzania betonu komórkowego wykorzystuje się autoklawy parowe, w których głównym produktem hydratacji jest tobermoryt. Uproszczony przebieg procesu karbonatyzacji tego uwodnionego krzemianu wapniowego przedstawia wzór:



Produktem procesu karbonatyzacji jest węglan wapnia, którego powstawaniu towarzyszy przyrost objętości i masy, co w przypadku ABK nie jest zjawiskiem niebezpiecznym ze względu na jego porowatą strukturę.

Zgodnie z Mapą Drogową autoklawizowanego betonu komórkowego opracowaną przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Autoklawizowanego Betonu Komórkowego EAACA oraz Deklaracją Środowiskową British Precast Concrete Federation, cykl życia ABK powinien wynosić 150 lat. Pojawiają się jednak badania sugerujące, że beton komórkowy praktycznie w całości ulega karbonatyzacji po upływie 60 lat, a okres użyteczności powinien być przyjęty na poziomie 95%.

## Historia ABK w Polsce

Historia ta sięga 1951 r., kiedy zostały uruchomione pierwsze zakłady na licencjach zagranicznych. W bardzo krótkim czasie opracowano jednak w Polsce wiele autorskich technologii wykorzystujących w pełni dostępne w kraju surowce. W 1962 r. wydajność polskich zakładów wynosiła 1,2 mln m<sup>3</sup>/r. Był to drugi wynik w Europie, zaraz po Szwecji, która wtedy produkowała ok. 2 mln m<sup>3</sup>/r. W tym samym roku w Niemczech produkowano zaledwie 460 tys. m<sup>3</sup>/r. W styczniu 1966 r. w Polsce funkcjonowało 11 fabryk autoklawizowanego betonu komórkowego, które produkowały 1,8 mln m<sup>3</sup>/r elementów murowych. Biorąc pod uwagę założenie użyteczności elementów murowych z ABK na poziomie 60 lat, i jego produkcję w Polsce na poziomie od 1,2 mln m<sup>3</sup>/r w 1962 r. do 1,8 mln m<sup>3</sup>/r w 1966 r., to powinno wystąpić wiele katastrof budowlanych wynikających z zakończenia cyklu życia betonu komórkowego. Zakładając, że na jeden dom potrzeba ok. 50 m<sup>3</sup> betonu komórkowego, to w 1962 r. w Polsce powstało ok. 24 tys. domów, a w 1965 r. – 36 tys. domów. W związku z tym, że produkcja autoklawizowanego betonu komórkowego w Polsce sięga 1951 r., to do 1965 r. po-

wstały setki tysięcy domów. Założenie więc okresu użyteczności 60 lat wydaje się błędne, ponieważ nie ma sygnałów o konieczności rozbiórki domów z lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego wieku z powodu problemów dotyczących ścian wykonanych z betonu komórkowego.

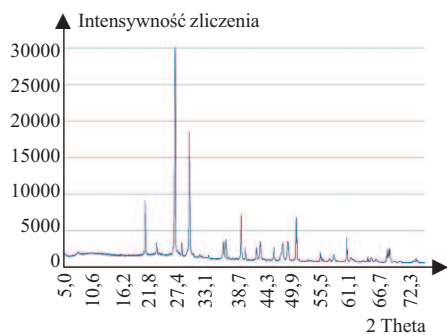
Program badawczy prowadzony przez Solbet Sp. z o.o. ma na celu pokazać wiarygodne badania, które określą, jak przebiega proces karbonatyzacji w autoklawizowanym betonie komórkowym i który scenariusz długości życia wyrobu: 60, czy 150 lat jest adekwatny do stanu faktycznego.

## Badania betonu komórkowego

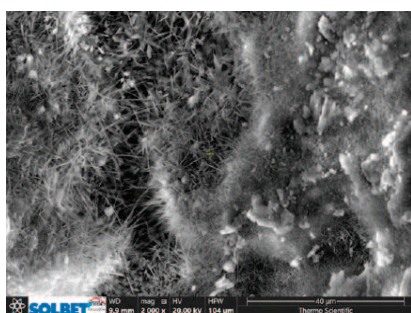
Jak już wspomniałem, głównym produktem hydratacji spoiw w procesie produkcji autoklawizowanego betonu komórkowego jest tobermoryt. Jego zawartość została poddana ocenie przy obliczaniu stopnia karbonatyzacji ABK pochodzącego z rozbiórki budynków eksploatowanych przez ok. 25, 50 i 60 lat. Dodatkowo analizie poddano bloczki ABK dostępne na rynku materiałów ściennych kondycjonowane w warunkach atmosferycznych od roku do pięciu lat. Badania przeprowadzono z użyciem ilościowej i jakościowej analizy rentgenowskiej XRD składu fazowego. Dodatkowo elementy murowe z ABK poddano obserwacjom pod elektronowym mikroskopem skaningowym SEM w celu identyfikacji powstałych faz oraz zmian w mikrostrukturze betonu komórkowego.

Analiza składu fazowego 60-letniego ABK metodą XRD (rysunek 1) i obserwacje pod mikroskopem skaningowym SEM (fotografia) wykazały, że w jego strukturze nadal jest obecny dobrze wykrystalizowany tobermoryt w dużej ilości.

<sup>1)</sup> SOLBET Sp. z o.o. pawel.walczak@solbet.pl



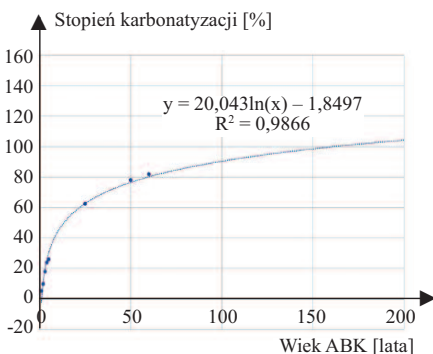
Rys. 1. Analiza składu fazowego (XRD) 60-letniego ABK



Zdjęcie SEM mikrostruktury 60-letniego ABK z widoczną dużą ilością dobrze wykrystalizowanego tobermorytu

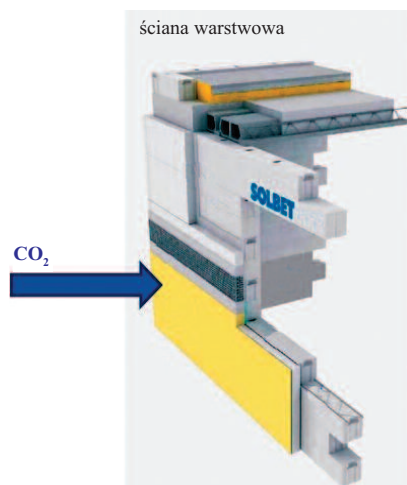
## Analiza wyników badań

Przeprowadzone badania wykazały, że proces karbonatyzacji przebiega szybciej w początkowych fazach życia produktu, a z czasem zaczyna spowalniać. Na rysunku 2 przedstawiono symulację krzywej karbonatyzacji ABK uwzględniającą proces karbonatyzacji sezonowanych bloczków oraz elementów murowych pochodzących z rozbranych budynków.



Rys. 2. Symulacja krzywej karbonatyzacji elementów murowych z ABK

Należy pamiętać, że początkowa karbonatyzacja (w etapie 1) może być większa niż faktyczna, ponieważ na bloczkach nie było warstwy tynku, czy też izolacji cieplnej, które utrudniałyby wnikanie dwutlenku węgla ( $\text{CO}_2$ ) do wnętrza materiału. W większości przypadków beton komórkowy jest osłonięty (rysunek 3), co utrudnia wnikanie  $\text{CO}_2$ . Wilgotność autoklawizowanego betonu komórkowego maleje z upływem lat i kształtuje się na bardzo niskim poziomie. Niewielka zawartość wody porowej spowalnia reakcję karbonatyzacji. Zagęszczanie struktury betonu komórkowego przez powstający węglan wapnia i żel krzemionkowy utrudnia coraz głębsze wnikanie dwutlenku węgla do jego wnętrza.



Rys. 3. Utrudnione wnikanie  $\text{CO}_2$  w mur z ABK

## Wnioski

Przeprowadzone badania i analiza pokazują, że założenie o pełnej karbonatyzacji autoklawizowanego betonu komórkowego po sześćdziesięciu latach eksploatacji jest błędne, gdyż nadal obecny jest tobermoryt w składzie betonu komórkowego. Analiza przebiegu procesu karbonatyzacji potwierdza, że założenie zawarte w Mapie Drogowej dotyczącej długości cyklu życia elementów murowych z autoklawizowanego betonu komórkowego na poziomie 150 lat jest prawdziwe i real-

ne. W analizie cyklu życia betonu komórkowego należy być ostrożnym, ponieważ cząstkowe wyniki badań mogą sugerować, że przebieg karbonatyzacji jest niemalże liniowy, co jest błędem.

Należy pamiętać, że koniec karbonatyzacji nie oznacza końca życia wyrobu, który może nadal być użytkowany w sposób bezpieczny.

## Literatura

- [1] A. Paprocki. *Betony komórkowe*. 1966. Wydawnictwo Arkady, Warszawa.
- [2] Walczak P. Influence of carbonation on Autoclaved Aerated Concrete (AAC) properties. *ce papers*. 2023; <https://doi.org/10.1002/cepa.2154>.
- [3] Walczak P, Małolepszy J. Durability of autoclaved aerated concrete – if carbonation is really dangerous? *Facts and myths*. *ce/papers*. 2018; 2: 43–45. <https://doi.org/10.1002/cepa.852>.
- [4] Straube B, Walczak P, Sargeant G, Menzel Y, Laskawiec K. Short-term test method for durability of AAC. *ce papers*. 2023; 6: 272–277. <https://doi.org/10.1002/cepa.2216>.
- [5] Alonso C, Andrade JA, Gonzales. Relation between resistivity and corrosion rate of reinforcements in carbonated mortar made with several different cement types. *Cement and Concrete Research*. 1988; [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(88\)90091-9.2](https://doi.org/10.1016/0008-8846(88)90091-9.2).
- [6] Parrott LJ. Carbonation, moisture and empty pores, *Advances in Cement Research*. 1992; <https://doi.org/10.1680/adcr.1992.4.15.111>.
- [7] Kobayashi K, Suzuki K, Uno Y. Carbonation of concrete structures and decomposition of C-S-H. *Cement and Concrete Research*. 1994; [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90082-5](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90082-5).
- [8] Houst YF, Wittmann FG. Influence of porosity and water content on the diffusivity of  $\text{CO}_2$  and  $\text{O}_2$  through hydrated cement paste. *Cement and Concrete Research*. 1994; [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(94\)90040-X](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)90040-X).
- [9] Anstice DJ, Page CL, Page MM. The pore solution phase of carbonated cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2005; <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.041>.
- [10] Hyvert N, Sellier A, Duprat F, Rougeau P, Francisco P. Dependency of C-S-H carbonation rate on  $\text{CO}_2$  pressure to explain transition from accelerated tests to natural carbonation. *Cement and Concrete Research*. 2010; <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.06.010>.
- [11] Morandau A, Thiéry M, Dangla P. Investigation of the carbonation mechanism of CH and C-S-H in terms of kinetics, microstructure changes, and moisture properties. *Cement and Concrete Research*. 2014; <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2013.11.015>.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

[www.s-p-b.pl](http://www.s-p-b.pl)

