

dr hab. inż. Paweł Łukowski, prof. PW\*

# Rola chemii budowlanej w kształtowaniu współczesnego betonu

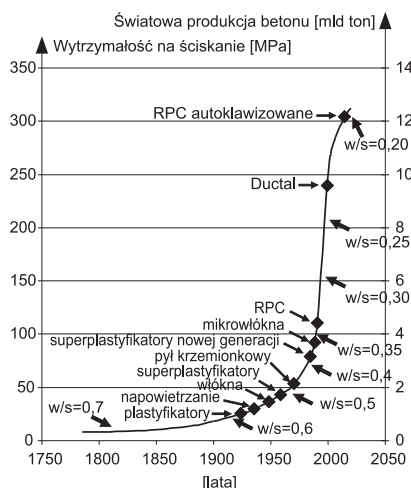
**C**hemia budowlana to stosowana nauka przyrodnicza, której przedmiotem jest natura chemiczna materiałów i procesów budowlanych [1]. Obejmuje chemiczne uwarunkowania właściwości technicznych materiałów oraz zjawisk zachodzących podczas każdego etapu ich cyklu życia – od wytwarzania, przez stosowanie i użytkowanie, aż po procesy niszczenia (korozji), również w sytuacjach nadzwyczajnych. **Chemia budowlana to także jedna z najbardziej dynamicznie rozwijających się gałęzi przemysłu materiałów budowlanych, obszar, który stanowi jeden z fundamentów współczesnej technologii betonu.** Wzajemna synergia jest tu oczywista. Sukcesy przemysłowej chemii budowlanej są efektem postępu nauki, która z kolei odpowiada na potrzeby rynku.

## Współczesny beton – złożony materiał kompozytowy

*Beton cementowy* to złożony kompozyt, który od czasu wynalezienia cementu portlandzkiego uległ wielu modyfikacjom. Obecnie to zupełnie inny materiał, o zasadniczo zmienionych – ulepszonych właściwościach. Najważniejszą przyczyną tej zmiany była, i pozostaje, konsekwentna modyfikacja materiałowa, pozwalająca dostosowywać beton do nowych potrzeb i wciąż trudniejszych wyzwań. Niepodważalnym dowodem na rolę modyfikacji w rozwoju betonu jest znana, opracowana przez L. Czarneckiego [2], krzywa rozwoju tego materiału (rysunek 1), z której jasno wynika, że w zasadzie wszystkie kamienie milowe na drodze postępu w technologii betonu związane są z wprowadzaniem modyfikatorów.

W artykule przedstawię szczególnie spektakularne przykłady kształtowania współczesnego betonu poprzez postępy w dziedzinie chemii budowlanej. W 1889 r. profesor **Alfredo Cavazzi** z Uniwersytetu Bolońskiego wydał pierwszy w Europie podręcznik chemii budowlanej („Lezione di Chimica Docimastica Fatte Nella R. Scuola

\* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej



Rys. 1. Krzywa rozwoju betonu wg L. Czarneckiego [2]

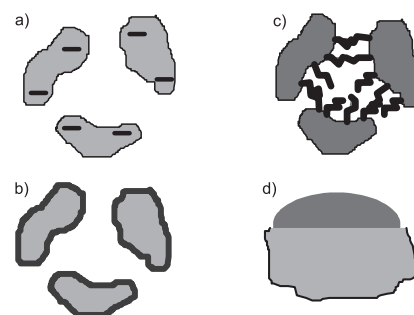
di Applicazione per Gl'ingegneri”). W Polsce natomiast pierwszy podręcznik z tej dziedziny *Chemia materiałów budowlanych* autorstwa profesora **Włodzimierza Skalmowskiego** został opublikowany siedemdziesiąt lat później. Obecnie, dobrze ugruntowana pozycja chemii budowlanej to w przeważającej mierze efekt działalności i osiągnięć profesora **Lecha Czarneckiego**, inspiratora powstania i głównego autora podręcznika *Chemia w budownictwie*.

## Domieszki upłynniające

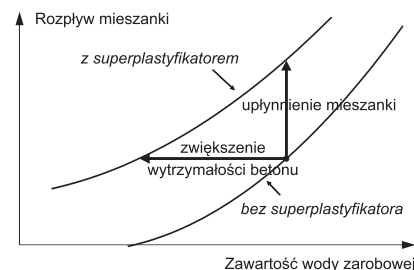
Spośród produktów chemii budowlanej, najbardziej spektakularny wpływ na rozwój technologii betonu wywarły niewątpliwie domieszki, bowiem ich niewielka ilość – często poniżej 1% masy cementu, może być przyczyną istotnej zmiany właściwości technicznych betonu. **Domieszki upłynniające mieszankę betonową (superplastyfikatory)** to obecnie najbardziej rozpoznane modyfikatory betonu; wg niektórych oszacowań stanowią 70 – 75% rynku domieszek [3, 4]. Wprowadzenie w latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych XX w. do szerokiego stosowania skutecznych superplastyfikatorów spowodowało przełom w technologii betonu, pozwalając na upowszechnienie betonu towarowego oraz rozwój prefabrykacji betonowej. Obecnie wykorzystanie domieszek upłynniających w budownictwie jest bardzo szerokie.

Wykorzystując jeden z podstawowych mechanizmów upłynniania (rysunek 2), tj. elektrostatyczny lub steryczny, wspomagane ewentualnym oddziaływaniem hydrofilowym lub smarnym, domieszki upłynniające pozwalają na znaczne zmniejszenie ilości wody zarobowej, a w efekcie współczynnika woda/cement, przy zachowaniu nie pogorszonej konsystencji mieszanki betonowej. Oznacza to zmniejszenie porowatości, poprawę wytrzymałości i innych ważnych cech betonu stwardniałego, w tym trwałości (rysunek 3).

Chemia budowlana umożliwiła też rozwiązanie problemu związanego z praktycznym stosowaniem domieszek upłynniających – nierzadko zbyt krótkiego czasu ich skutecznego działania. Stopniową utratę zdolności do upłynniania przez domieszki można przypisać w znacznym stopniu otaczaniu polimeru, zaadsorbowanego na po-

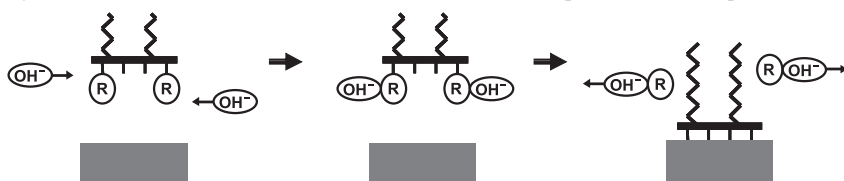


Rys. 2. Mechanizmy upłynniania mieszanki betonowej przez superplastyfikatory: a) elektrostatyczny – odpychanie jednorodnych ładunków elektrycznych; b) smarny – ziarna cementu pokryte warstewkami smarnymi; c) steryczny – łańcuchy polimeru na powierzchniach ziaren cementu uniemożliwiają aglomerację; d) hydrofilowy – zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody

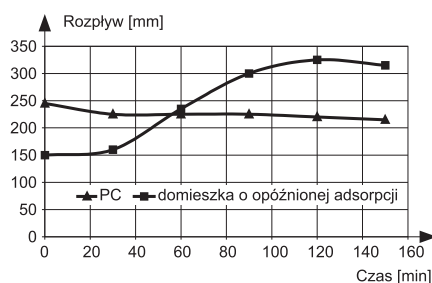


Rys. 3. Wpływ domieszki upłynniającej na właściwości mieszanki i betonu [5]

wierzchni ziarna cementu, przez produkty hydratacji. W przypadku, gdy adsorpcja następuje zbyt szybko, upłynnienie mieszanki betonowej jest duże, ale krótkotrwałe. Jedno z obiecujących rozwiązań tego problemu polega na takiej modyfikacji grup karboksylowych w głównym łańcuchu polimerowym, aby utrudnić adsorpcję polimeru na ziarnie cementu (rysunek 4). W zasadowym środowisku zaczynu cementowego następuje hydroliza, w wyniku której podstawniki blokujące adsorpcję są częściowo usuwane. W ten sposób część polimeru znajduje się zawsze w fazie ciekłej i stopniowo ulega adsorpcji, utrzymując ciekłość mieszanki przez długi okres (rysunek 5).



Rys. 4. Mechanizm spowolnienia adsorpcji domieszki polimerowej na powierzchni ziarna cementu – stopniowa hydroliza podstawników blokujących adsorpcję



Rys. 5. Zmiany w czasie konsystencji mieszanki betonowej z typową polikarboxylanową domieszką upłynniającą i z domieszką o opóźnionej adsorpcji [6]

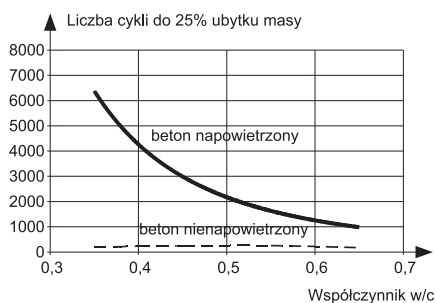
## Domieszki napowietrzające

Drugą grupą domieszek, których wprowadzenie wywarło szczególnie istotny wpływ na rozwój technologii betonu, stanowią środki napowietrzające (ang. air-entraining admixtures, AEA). Gdy w latach trzydziestych XX w. eksperymentowano z różnymi środkami, mającymi wspomagać proces mielenia cementu, stwierdzono, że użycie łożu wołowego przynosi nieoczekiwany efekt w postaci poprawy trwałości mrozowej betonu. Okazało się, że zawarte w łożu substancje organiczne ulegały w trakcie przerebu saponifikacji (zmydłaniu), przekształcając się w naturalne środki powierzchniowo czynne. Efektem było napowietrzenie betonu, poprawiające jego odporność na działanie niskiej temperatury. W odróżnieniu od porów powstających w mieszance betonowej w sposób niezamierzony, czy to pod-

czas mieszania, czy też w wyniku parowania wody zarobowej, pęcherzyki powstające z napowietrzenia mają niewielką średnicę (20 – 250  $\mu\text{m}$ ). Równomiernie rozłożone (150 – 200  $\mu\text{m}$  od siebie), oddzielone i zmineralizowane przez otoczenie cienką warstwą zaczynu cementowego, w stwardniałym tworzywie pełnią rolę komór kompensujących naprężenia powstające na skutek zamrażania wody w betonie. W wyniku napowietrzenia następuje zmiana struktury betonu, skutkująca przede wszystkim poprawą mrozoodporności i zmniejszeniem nasiąkliwości materiału [7].

Mimo trwających dyskusji dotyczących szczegółowego mechanizmu zabezpieczenia betonu przed niską temperaturą, nie

ulega wątpliwości, że właściwe napowietrzenie mieszanki betonowej pozwala na zdecydowaną poprawę mrozoodporności betonu (rysunek 6), co ma zasadnicze znaczenie dla jego trwałości. Wprowadzenie domieszek napowietrzających można uznać za przełom w technologii betonu, porównywalny z rozpowszechnieniem domieszek upłynniających.



Rys. 6. Wpływ napowietrzenia na mrozoodporność betonu, wyrażoną liczbą cykli zamrażania-rozmrażania powodującą utratę 25% masy próbki, przy różnych wartościach współczynnika woda-cement [8]

## Podsumowanie

W artykule zasygnalizowano niektóre z osiągnięć chemii budowlanej w kształtowaniu współczesnego betonu, związane ze stosowaniem domieszek do betonu. Efektywne superplastyfikatory nowej generacji zapoczątkowały rozwój betonów nowej generacji – samozagęszczalnych [9], pod-

wodnych [10], bardzo wysokowytrzymałych, np. na proszkach reaktywnych o wytrzymałości na ściskanie 200 – 300 MPa [11] i innych z tej grupy.

Współczesna chemia budowlana nie ogranicza się, oczywiście, do domieszek. Obejmuje również dodatki polimerowe, dzięki którym uzyskuje się betony polimerowo-cementowe [12] i żywiczne [13], a także innowacje w obszarze materiałów wykończeniowych, izolacyjnych (wodo-, paro-, dźwięko-, ciepło-... itp), naprawczych i do ochrony powierzchniowej. Rozwój tego rodzaju wyrobów, ogólnie określanych pojęciem chemii budowlanej, spowodował, iż jest to – wg L. Czarnieckiego [1] – chemia stosowana (applied chemistry), a zarazem chemia zaawansowana (advanced chemistry).

## Literatura

- [1] Czarniecki L.: Chemia budowlana w praktyce. Materiały Budowlane, 2, 2010, 22 – 24.
- [2] Czarniecki L., Kurdowski W., Mindess S.: Future developments in concrete. W „Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete”, Woodhead Publishing in Materials, 2008, 270 – 284.
- [3] Nocuń-Wczelik W.: Oddziaływanie wybranych domieszek do betonu na szybkość hydratacji cementu. XII Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w Technologii Betonu”, Gliwice, 2010, 79 – 91.
- [4] Pogan K.: Zastosowanie wybranych domieszek Addiment do produkcji betonów. Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w Technologii Betonu”, Gliwice, 1999, 35 – 51.
- [5] Neville A. M.: Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków, 2012.
- [6] Hamada D., Sato H., Yamamoto H., Izumi T., Mizunuma T.: Development of slump-controlling agent with minimal setting retardation. 7<sup>th</sup> CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete (red. V. M. Malhotra), ACI International, Berlin, Niemcy, 2003, 127 – 141.
- [7] Łukowski P., Wiliński D.: Współczesne domieszki napowietrzające. Materiały Budowlane, 10, 2013.
- [8] U. S. Bureau of Reclamation: Investigation into the effect of water/cement ratio on the freezing-thawing resistance of non-air and air-entrained concrete. Concrete Laboratory Report No. C-810, Denver, USA, 1955.
- [9] Szwabowski J., Gołaszewski J.: Technologia betonu samozagęszczalnego. Polski Cement, Kraków, 2010.
- [10] Horszczaruk E., Łukowski P.: Betony podwodne – badania i dobór składu. Inżynieria i Budownictwo, 5, 2009, 274 – 278.
- [11] Zdeb T.: Ultra-high performance concrete – properties and technology. Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences, Vol. 61, No. 1, 2013, 183 – 193.
- [12] Czarniecki L., Łukowski P.: Polymer-cement concretes. Cement Wapno Beton, 5, 2010, 243 – 258.
- [13] Czarniecki L.: Polymer concretes. Cement Wapno Beton, 2, 2010, 63 – 85.