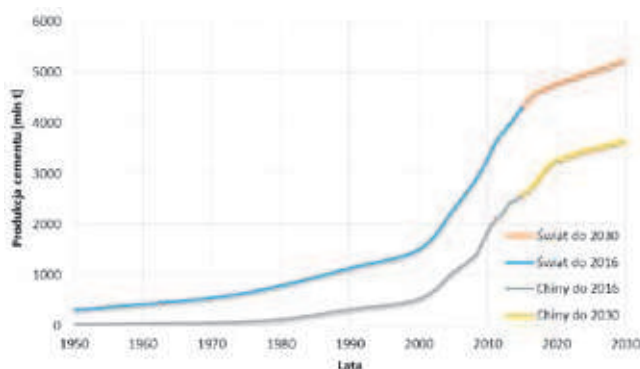


# Ekologiczne materiały cementowe o podwyższonej odporności na działanie środowisk korozyjnych

Prof. nadzw. dr hab. eur. inż. Tomasz Błaszczynski, Politechnika Poznańska,  
mgr inż. Maciej Król, Politechnika Koszalińska

## 1. Wprowadzenie

Zauważalny wzrost liczby oczyszczalni ścieków, wynoszący niemal 30% na przełomie lat 2002–2012 [1], w ciągu kolejnych lat zdecydowanie zmalał. Kolejne lata również nie przyniosą aż tak zdumiewającego wzrostu tej liczby. Stopień zapewnienia odbioru nieczystości ciekłych z wielu krajowych domostw oraz ośrodków przemysłowych obecnie jest na dość wysokim poziomie. Niemniej jednak w celu wypełnienia wymagań dyrektywy 91/271/EWG potrzebne są nadal ogromne nakłady czasowo-pieniężne. W związku z Krajowym Programem Oczyszczania Ścieków Komunalnych, a mianowicie jego 4 aktualizacją (AKPOŚK 2017), do 2023 r. szacowane są potrzeby budowy i modernizacji, a także inwestycje związane z oczyszczalniami ścieków i indywidualnymi systemami oczyszczania, na kwotę 27,85 mld zł [2]. Stanowi to aż 45% wszystkich nakładów inwestycyjnych poniesionych w latach 2003–2015. Potrzeba ta rodzi konieczność i przede wszystkim możliwość użycia materiałów, które zapewnią trwałość realizowanych przedsięwzięć a także będą przy tym rozwiązaniem ekologicznym.



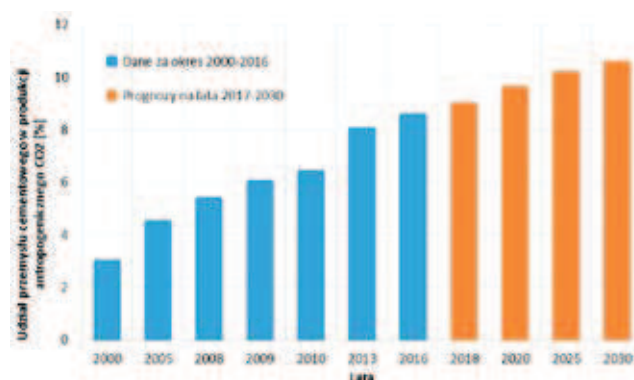
**Rys. 1.** Porównanie światowej produkcji cementu i produkcji państwa środka wraz z oczekiwaniami w tym zakresie [3–5]

## 2. Ekologiczność materiałów cementowych

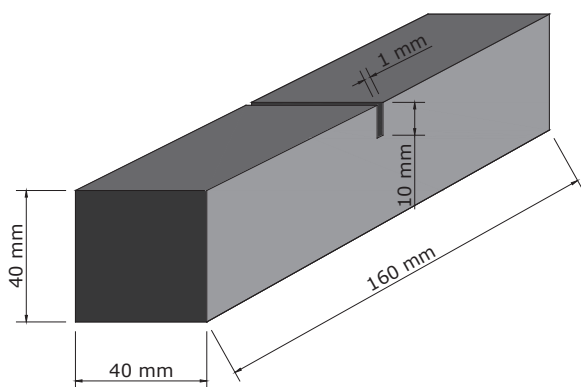
Ekologiczność materiałów cementowych polega na zminimalizowaniu wpływu, jaki podczas produkcji, użytkowania oraz po zakończeniu użytkowania wywrą na środowisko. Niemniej jednak kwestia ekologiczności cementu, która obecnie jest popularnym tematem branży budowlanej, jest bardzo złożona. Głównym aspektem stanowiącym o ekologiczności cementu jest ilość  $\text{CO}_2$  wprowadzona do atmosfery.

W ciągu ostatnich dziesięciu tysięcy lat poziom głównego gazu cieplarnianego w atmosferze, jakim jest właśnie dwutlenek węgla, był stały i wahał się pomiędzy 260 a 280 ppm. Obecnie w zależności od pory roku wynosi on około 400 ppm. Wzrost tego poziomu ma znaczący wpływ na temperaturę na naszym globie, kształtowanie klimatu, poziomu mórz i oceanów. Przekroczenie wartości 350 ppm spowodowało powolny proces ocieplenia, który przy obecnym trendzie uprzemysłowienia jest niemożliwy do zatrzymania. Obecnie, aby obniżyć zawartość  $\text{CO}_2$  do wyznaczonej granicy należałoby całkowicie przejść na ekologiczne źródła energii, co jest logistycznie niewykonalne.

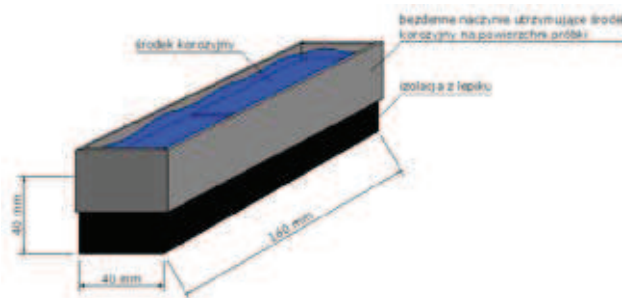
W budownictwie największym emitentem dwutlenku węgla jest przemysł cementowy. Obecnie produkcja



**Rys. 2.** Udział przemysłu cementowego w produkcji  $\text{CO}_2$  pochodzenia antropogenicznego [5–8]



**Rys. 3.** Udział przemysłu cementowego w produkcji CO<sub>2</sub> pochodzenia antropogenicznego [5–8]



**Rys. 4.** Schemat stanowiska badawczego

cementu przekracza 4 mld t (rys. 1) [3–5], biorąc pod uwagę, że przy wytworzeniu 1 t cementu klinkierowego uwalnia się ponad 1t dwutlenku węgla do atmosfery, szacuje się że obecnie cement jest odpowiedzialny za ponad 8% antropogenicznej emisji CO<sub>2</sub> (rys. 2) [5–8]. Prognozy związane z produkcją cementu, możliwą zmianą technologii oraz zużyciem energii w pozostałych sektorach przemysłu [7, 8] pozwalają na spekulacje odnośnie wpływu produkcji cementu na jej udział w antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych. Przewiduje się, że w roku 2030 produkcja cementu stanowić będzie niemal 11% światowej produkcji CO<sub>2</sub>. Drugim głównym parametrem kształtującym ekologiczność cementu jest ich trwałość. Dzieje się tak ze względu na czas życia materiału w konstrukcji czy elementach wykończeniowych. Czym dłużej dany element może przetrwać bez napraw, tym mniej energii oraz dodatkowych materiałów zostaje zużytych. Za takim stanem rzeczy idzie zmniejszenie tzw. śladu węglowego powiązanego z zastosowaniem do produkcji betonu oraz zapraw, cementem. W tej kwestii naprzeciw problemowi wychodzą normy techniczne, wiedza inżynierska z zakresu projektowania konstrukcji, a także technologia wykorzystania cementu w produkcji materiałów będących jego pochodną. Na trwałość konstrukcji przeważający wpływ ma miejsce i warunki, w jakich będzie ona pracowała. W zależności od ekspozycji trwałość takiej konstrukcji ulegnie zmianie. Dlatego też beton o podwyższonej odporności na korozyjne czynniki zewnętrzne będzie materiałem zdecydowanie bardziej ekologicznym.

## 2. Parametry odporności korozyjnej materiałów konstrukcyjnych

Zniszczenie betonu pod wpływem środowiska korozyjnego to istotny problem. Środowiskiem takim może być obszar oddziaływania podwyższonej lub obniżonej temperatury, a także wpływ czynników korozyjnych w postaci soli, kwasów czy zasad. Z problemem zapewnienia

**Tabela 1.** Zestawienie materiałów użytych do badań korozyjności materiałów cementowych

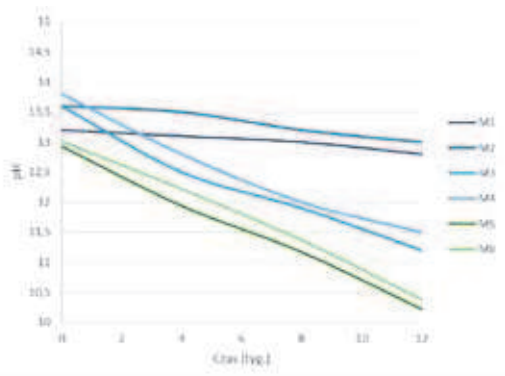
Symbol materiału	Rodzaj spoiwa	Stosunek W/M	Klasa zaprawy (zgodna z EN 1504)	Rozmiar kruszywa [mm]
M1	geopolimerowe	0,18	R4	0-0,5
M2	geopolimerowe	0,14	R4	0-2,5
M3	polimerowo-cementowe	0,16	R4	0-4
M4	polimerowo-cementowe	0,16	R4	0-2
M5	CEM I 42,5	0,43*	–	0-2
M6	CEM III 42,5-HSR/NA	0,43*	–	0-2

\* - stosunek W/C

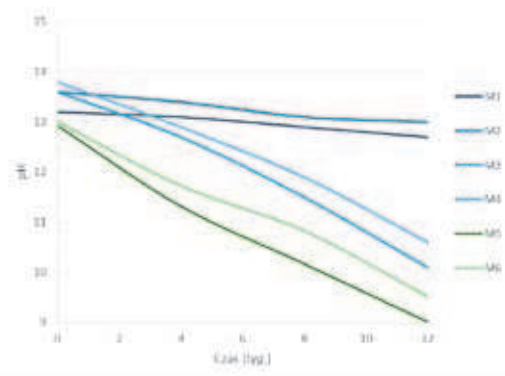
podwyższonej odporności korozyjnej zmagają się producenci betonu na całym świecie. W pracy skupiono się na badaniach próbek cementowych, na które działają chlorki o różnym stopniu agresywności. Aby uwiarygodnić efekt korozji chlorkowej, zostały przeprowadzone badania, których celem było określenie dwóch cech materiałów cementowych. Po pierwsze sprawdzono deformację materiału pod wpływem działania chlorków o różnym stopniu agresywności. Drugim badaniem był pomiar odczynnika pH próbki pod wpływem działania substancji korozyjnej. Do badania stworzono dwa rodzaje próbek, które zostały wykonane w kształcie beleczek o wymiarach w przekroju 40 × 40 × 160 mm (rys. 3). W tak wykonanej beleczce zostało wykonane nacięcie o szerokości 1 mm oraz głębokości 10 mm, które stanowiło bazę pomiarową. Na spreparowanej próbce umieszczono bezdenne naczynie utrzymujące środek korozyjny, które było uszczelnione na długości styku z próbką (rys. 4).

Rodzaje próbek zostały rozróżnione ze względu na rodzaj zastosowanego spoiwa cementowego. W badaniach zestawiono ze sobą dwa rodzaje cementów, które posłużyły do stworzenia zarobów normowych modyfikowanych superplastyfikatorami, a także mikrokrzemionką oraz czterech zapraw naprawczych opartych na modyfikowanych polimerami cementach oraz spoiwie geopolimerowego (tabela 1).

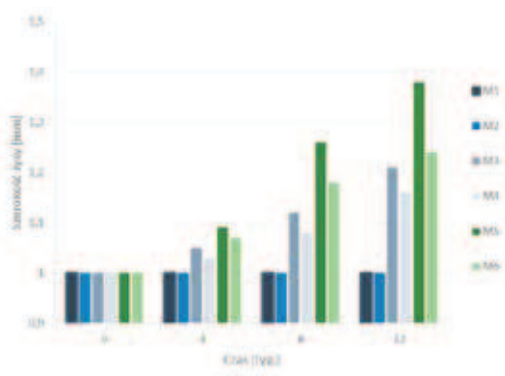
Jako substancje korozyjne w oznaczeniu trwałości zapraw i cementów na działanie substancji korozyjnych, zastosowano dwa wodne roztwory chlorków. Pierwszym był chlorek sodowy NaCl, drugim chlorek wapnia CaCl<sub>2</sub>. Substancje ze względu na swoją korozyjność zostały rozróżnione stężeniem molowym, które wyniosło 6M dla mieszanki pierwszej i 3M dla mieszanki drugiej. Badania przeprowadzono w temperaturze 20°C i okresie 1 roku.



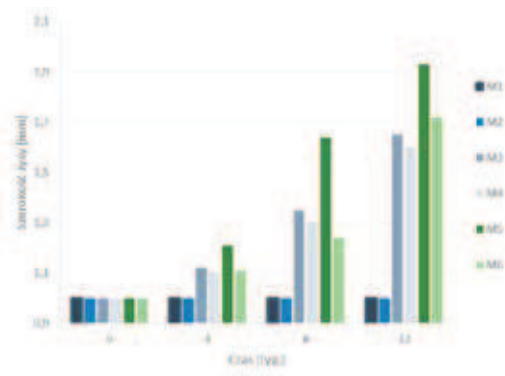
Rys. 5. Wykres wartości pH spodu badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli NaCl



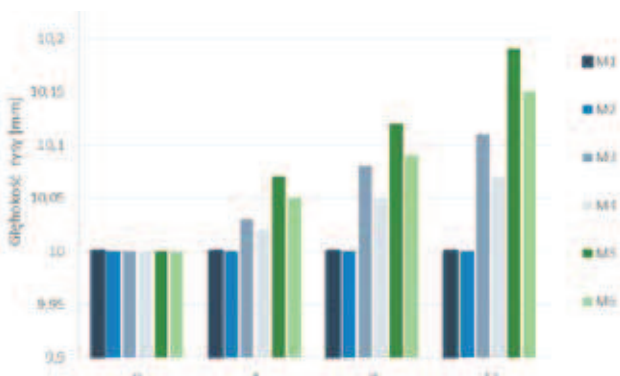
Rys. 6. Wykres wartości pH spodu badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli CaCl<sub>2</sub>



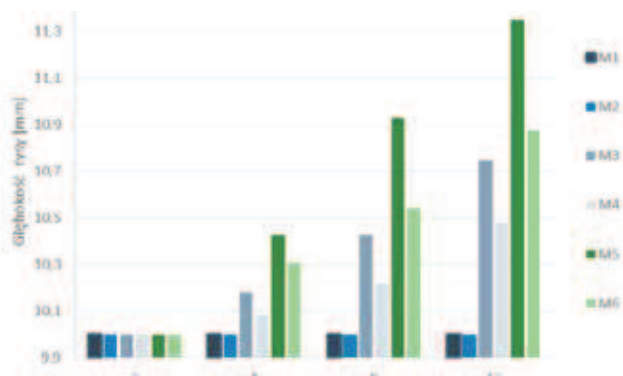
Rys. 7. Wykres szerokości spreparowanej rysy badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli NaCl



Rys. 8. Wykres szerokości spreparowanej rysy badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli CaCl<sub>2</sub>



Rys. 9. Wykres głębokości spreparowanej rysy badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli NaCl



Rys. 10. Wykres głębokości spreparowanej rysy badanych próbek dla roztworu korozyjnego soli NaCl

### 3. Wyniki badań

Próbki dojrzewały w warunkach temperaturowych wynoszących ok. 20°C oraz pełnego zanurzenia w wodzie. Czas dojrzewania wynosił 28 dni. Tak spreparowane próbki zostały poddane działaniu chlorków o różnym stopniu ekspansyjności. Czas ekspozycji zaprawy wyniósł 12 tygodni. Odczyty zostały pobierane odpowiednio po 4, 8, i 12 tygodniach. Belecзки badane były pod względem rozwarcia rysy i jej pogłębienia oraz pod względem zmiany współczynnika *pH* spodu próbki. Sole chlorkowe działały powierzchniowo na długości próbki, na której zostało wykonane nacięcie poprzeczne.

Pierwszym badaniem było określenie wskaźnika *pH* spodu próbki na wierzchu, której działały wodne roztwory korozyjne (rys. 5–6). Drugim badaniem był pomiar zmiany szerokości oraz głębokości sztucznie wytworzonej rysy na powierzchni belecзки betonowej. Rysa o szerokości 1 mm o głębokości 10 mm rozszerzała się i osiągała wartości zwiększone względem początkowej (rys. 7–10).

### 4. Podsumowanie

Wyniki badań obciążenia korozyjnego oraz wartości *pH* próbek pod obciążeniem korozyjnym pozwalają na sformułowanie następujących wniosków końcowych:

Cement portlandzki CEM I 42,5 okazał się najmniej odporny na działanie środków korozyjnych. Wyniki badań pokazują najmniejszą wartość *pH* oraz największe deformacje spreparowanej rysy.

Cement hutniczy CEM III/A 42,5 HSR/NA w zadanym składzie fazowym wykazał się właściwościami zdecydowanie lepszymi od cementu CEM I 42,5. Wszystkie badane właściwości odpowiadające trwałości materiału wytworzonego na jego bazie mają wartości lepsze, zapewniające wyższą trwałość czy to zaprawy, czy wytworzonego na jego bazie cementu.

Użyte w badaniach zaprawy naprawcze wykazują się zdecydowanie lepszymi właściwościami trwałościowymi od badanych zapraw na bazie cementów CEM I i CEM IV,

z czego zaprawy geopolimerowe zdeklasyfikowały układy cementowe pod każdym względem. Utrata *pH* materiału była znacząco niższa. Dodatkowo próbki z cementu geopolimerowego nie uległy deformacji pod wpływem działania roztworów korozyjnych.

Biorąc pod uwagę, że zaprawy i betony na bazie spoiw geopolimerowych emitują do atmosfery zdecydowanie mniej dwutlenku węgla niż zaprawy i betony wytworzone na bazie spoiw cementowych, stwierdzić należy, że rozwiązaniem najbardziej ekologicznym w aspekcie przemysłu cementowego jest poszukiwanie nowych, zastępczych dla cementu klinkierowego produktów [11].

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Główny Urząd Statystyczny Departament Badań Regionalnych i Środowiska, Ochrona Środowiska 2010, Warszawa, 2014
- [2] Aktualizacja Krajowego Programu Oczyszczania Ścieków Komunalnych – AKPOŚK 2017, źródło: <https://bip.mos.gov.pl/strategie-plany-programy/krajowy-program-oczyszczania-ściekow-komunalnych-kposk/piata-aktualizacja-krajowego-programu-oczyszczania-ściekow-komunalnych/> (dostęp sierpień 2017)
- [3] Cembureau, Activity Report, The Cement Sector a Strategic Contributor to Europe's Future Bruksela, 2016
- [4] Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce, Podsumowanie rynku betonowego w Polsce, Kraków, 2016
- [5] Vital Climate Graphics UNEP/GRID-Arendal – Publications – Vital Climate Graphics
- [6] Humphreys K., Mahasanen M., Toward a Sustainable Cement Industry: Climate Change, World Business Council for Sustainable Development, 2002
- [7] Denman K.L., Brasseur G., Couplings Between Changes in the Climate System and Biogeochemistry United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. ISBN 978-0-521-88009-1, 2007
- [8] Humphreys K., Mahasanen M., Toward a Sustainable Cement Industry: Climate Change, World Business Council for Sustainable Development, 2002
- [9] Błaszczczyński T., Januszewski M., Król M., Wpływ agresji chlorkowej na szczelność betonów stosowanych oczyszczalniach ścieków, Trwałe metody naprawcze w obiektach betonowych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2015, str. 73–83
- [10] Błaszczczyński T., Król M., Odporność korozyjna cementowych materiałów naprawczych, Trwałe metody naprawcze w obiektach betonowych, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2015, str. 145–154
- [11] Błaszczczyński T., Król M., Usage of green concrete technology in civil engineering, Pcedia Engineering, 122, 2015, str. 296–301

Za publikację w miesięczniku  
„Przegląd Budowlany”  
uzyskuje się 5 punktów  
zgodnie z komunikatem MNiSW  
z dnia 23.12.2015 roku,  
wykaz B, pozycja 1381.

Serdecznie zapraszamy autorów do publikowania w Przeglądzie Budowlanym.