



Earth Friendly Concrete

– rozwiązanie zmniejszające zawartość CO₂ w mieszankach betonowych

1. Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój oraz ochrona środowiska poprzez redukcję CO₂ to najbardziej aktualny temat rozmów i debat na całym świecie. Dotyczy on również branży budowlanej, zarówno w obszarze produkcyjnym, jak i wykonawczym. Coraz większa świadomość tematu wymusza na producentach materiałów budowlanych aktualizację swojego portfolio o materiały przyjazne środowisku – co możemy zaobserwować w ostatnich kilku miesiącach również na rynku polskim.

MC-Bauchemie, jako firma produkcyjna i oferująca swoje produkty w zakresie domieszek do betonu, czuje się współodpowiedzialna w tworzeniu polityki klimatycznej pozwalającej na redukcję emisji CO₂ do atmosfery. Dlatego w swoich laboratoriach R&D jakiś czas temu rozpoczęła pracę nad rozwiązaniami, które pozwoliłyby na ograniczenie śladu

węglowego w mieszankach betonowych. Efektem przeprowadzonych badań jest EARTH FRIENDLY CONCRETE (EFC).

2. Czym jest rozwiązanie EFC?

Earth Friendly Concrete zaproponowany przez MC-Bauchemie to beton geopolimerowy, którego istotą jest zastosowanie syntetycznych polimerów glinokrzemianowych o specyficznym składzie i właściwościach, tworzących długie łańcuchy kopolimerowe aktywowane alkaliem. Tego typu rozwiązania znane są już od lat 70. XX wieku i opisywane w wielu publikacjach i referatach na całym świecie. Za prekursora w dziedzinie badań i rozwoju geopolimerów na świecie uważany jest Joseph Davidovits. Jego badania wspierane przez ośrodki naukowe i badawcze na całym świecie w ostatnich dwudziestu latach pozwoliły na założenie Instytutu Geopolimerów w Saint-Quentin we Francji, gdzie trwają prace nad technologiami i gałęziami przemysłu, w których można zastosować geopolimery, a za największy obszar zastosowań uważa się budownictwo.

3. Badania

Plan prowadzonych badań betonu geopolimerowego zakładał zastąpienie w standardowej mieszance betonowej spoiwa cementowego odpowiednimi ilościami żużla wielkopieczowego i lotnego popiołu krzemionkowego dostępnego na polskim rynku. Tabela nr 1 zawiera skład chemiczny [% masowy] spoiw użytych do badań. W projektowanej mieszance założono użycie lokalnego piasku frakcji 0-2 mm oraz kruszyw granitowych frakcji 2-8 mm i 8-16 mm. Uzupełnieniem mieszanki był superplastyfikator oraz trzy aktywatory. Zaprojektowany skład mieszanki betonu geopolimerowego przedstawiono w tabeli nr 2.

Tabela 1. Skład chemiczny popiołu lotnego i żużla

Material	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O
Popiół lotny	51,2	27,6	6,32	3,56	2,77	1,06
Żużel wielkopieczowy	38,0	7,08	0,73	43,3	7,40	0,38

Tabela 2. Skład badanego betonu geopolimerowego

Składnik	Ilość [kg/m ³]
Żużel wielkopieczowy	300
Popiół lotny	100
Kruszywo 0-2 mm	560
Kruszywo 2-8 mm	670
Kruszywo 8-16 mm	555
MC Aktywator „A”	20
MC Aktywator „B”	20
MC Aktywator „C”	5
MC PowerFlow 4105	4 (1,0%)
Woda	195 l

3.1. Wykonanie mieszanki betonu geopolimerowego

Mieszanki według zaprojektowanej receptury wykonywane były w mieszalniku laboratoryjnym według następującego schematu. W pierwszej kolejności do mieszalnika wsypywano suche kruszywa wszystkich frakcji. Następnie do kruszywa dodawano 2/3 wody zarobowej i pozostawiano na 10 minut do nasączenia. Kolejny krok to dodanie żuźla wielkopiecowego i lotnego popiołu krzemionkowego i wstępne przemieszanie składników. Po wstępnym wymieszaniu składników dodano Aktywatory „A”, „B” i „C” rozpoczynając cykl mieszania. W trakcie dolano pozostałą część wody zarobowej i superplastyfikator. Objętość zarobu wynosiła 40 litrów, a czas mieszania od dodania ostatniego składnika wynosił 4 min.

Kolejnym etapem było wykonanie badania konsystencji metodą stożka po czasie 10, 60, 90 i 120 minut oraz zawartości powietrza metodą ciśnieniową po 10, 60, 90 i 120 minutach. Po wykonaniu badań świeżej mieszanki zaformowano próbki 150x150x150 mm w celu wykonania badania wytrzymałości.

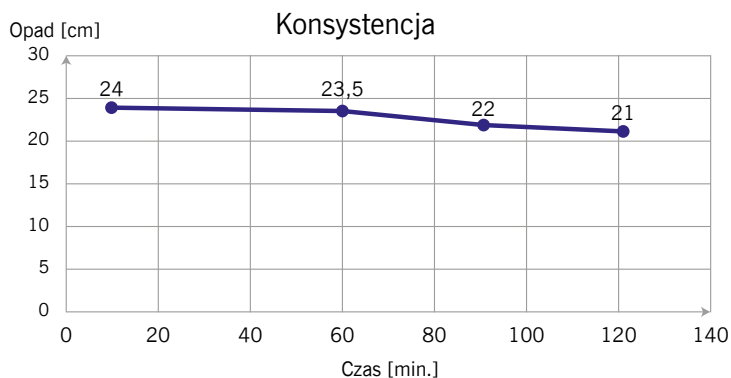
4. Wyniki badań

Wyniki badania konsystencji metodą stożka Abramsa w czasie 10, 60, 90, 120 przedstawia wykres nr 1.

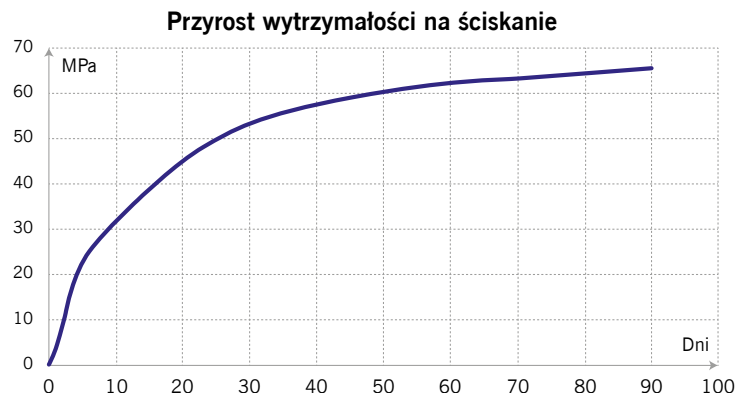
W takim samym czasie, jak konsystencję, badano zawartość powietrza w mieszance metodą ciśnieniową według normy PN-EN 12350-7. Otrzymane wyniki zestawiono w tabeli nr 3.

Wyniki badania wytrzymałości betonu geopolimerowego zgodnie z PN-EN 12390-3 przedstawia tabela nr 4.

Zaprojektowany i wykonany beton geopolimerowy charakteryzuje się stabilnym utrzymaniem konsystencji w czasie oraz równie stabilną zawartością powietrza. Próbki do badania wytrzymałości po rozformowaniu przechowywane były w warunkach



Wykres 1. Badanie konsystencji w czasie



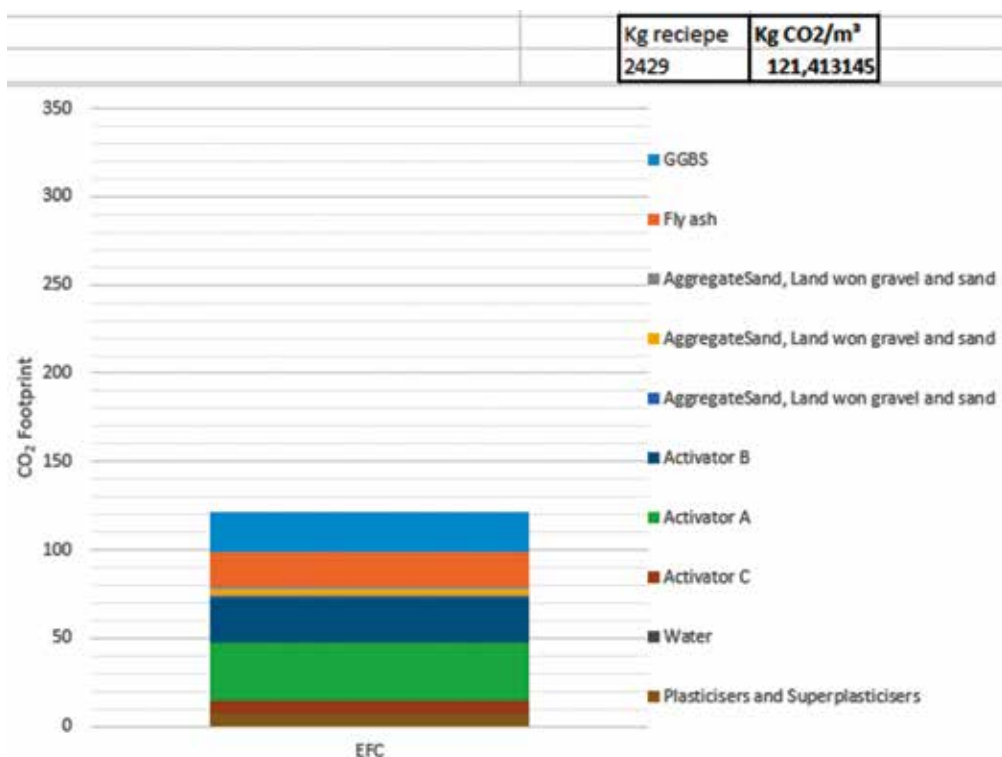
Wykres 2. Przyrost wytrzymałości na ściskanie

Czas [min.]	10	60	90	120
Zawartość powietrza [%]	2,2	2,0	2,0	1,8

Tabela 3. Zawartość powietrza

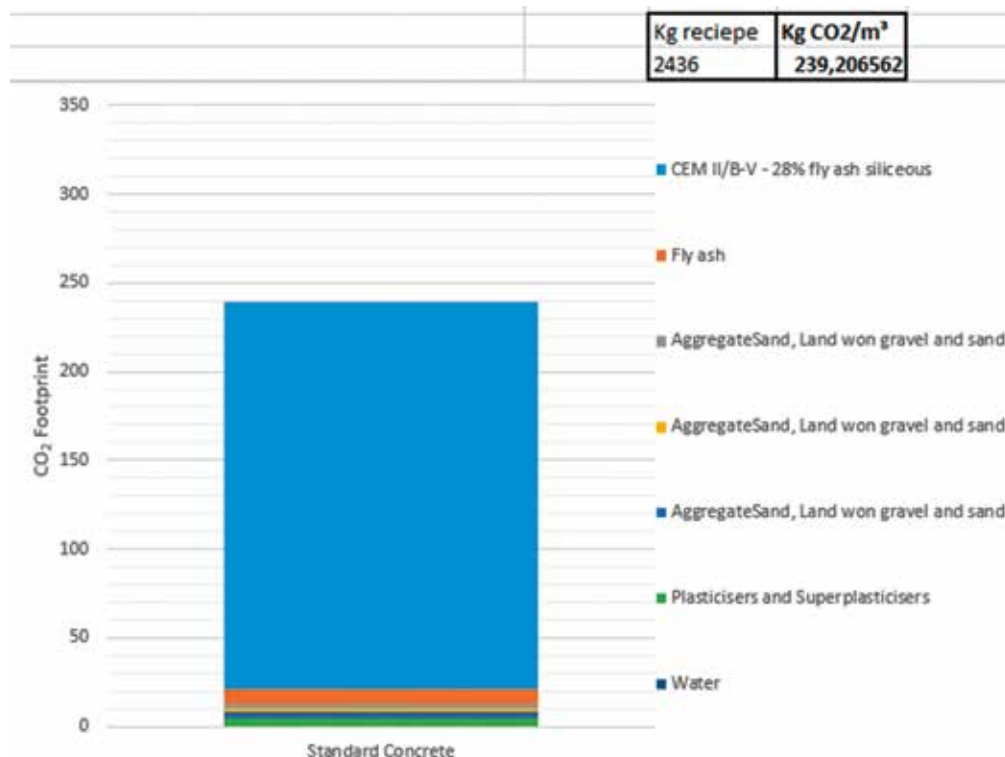
Czas [dni]	2	7	28	56	90
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	7,8	26,7	52,4	61,3	65,3

Tabela 4. Wyniki wytrzymałości na ściskanie



Wykres 3. Obliczenie kg CO₂/m³ w betonie geopolimerowym

Wykres 4. Obliczenie $\text{kg CO}_2/\text{m}^3$ w standardowym betonie towarowym



normowych, a otrzymane wyniki wytrzymałości po 48 h są niższe od wytrzymałości typowych cementów wieloskładnikowych używanych do produkcji betonu towarowego. Wykonany beton charakteryzuje się znacznym przyrostem wytrzymałości po okresie 7 i 28 dni. W dłuższym czasie (56 i 90 dni) w dalszym ciągu obserwowany jest przyrost wytrzymałości na ściskanie, natomiast jest on znacznie mniej dynamiczny niż we wcześniejszym okresie. Niemniej otrzymane wyniki jasno pokazują, że zaprojektowany skład pod względem badanych parametrów jest pełnowartościowym betonem towarowym.

5. Aspekt ekologiczny

Produkcja cementu portlandzkiego jest związana z dużym zużyciem energii, a jednocześnie przyczynia się do znacznej emisji CO₂ do atmosfery. Synteza geopolimerów pochłania, według różnych obliczeń, 2-3 razy mniej energii niż produkcja cementu oraz powoduje wydzielanie 4-8 razy mniejszej ilości dwutlenku węgla.

Proponowane przez MC-Bauchemie rozwiązanie Earth Friendly Concrete w znacznym stopniu redukuje ilość CO₂ w przeliczeniu na m³ betonu. Na wykresie nr 3 i 4 przedstawiono porównanie badanej mieszanki betonu geopolimerowego ze standardowym betonem towarowym na cementie portlandzkim z dodatkiem popiołu lotnego. Przedstawione obliczenia w sposób wyraźny pokazują, że stosując rozwiązanie geopolimerowe jesteśmy w stanie zredukować ilość CO₂ w 1 m³ betonu o prawie 50%.

6. Wnioski

Na podstawie zaprezentowanych badań oraz badań przeprowadzonych w laboratorium R&D MC-Bauchemie w Niemczech możemy stwierdzić, że mieszanina żużla i popiołu przy zastosowaniu odpowiednich aktywatorów daje możliwość produkowania betonów geopolimerowych o parametrach ta-

kich samych, jak betony na cementie portlandzkim. Betony geopolimerowe charakteryzują się większą odpornością na korozję chemiczną jak również zdecydowanie większą ognioodpornością w porównaniu do typowych betonów towarowych. Znacznie mniejsze zużycie energii w produkcji geopolimerów, a co za tym idzie mniejsza emisja CO₂, powoduje, że tego typu rozwiązanie ma znacznie mniejszy wpływ na środowisko i może być rozpatrywane jako „zielona alternatywa” dla typowych mieszanek betonowych. Niektóre dostępne wyliczenia sugerują, że odnosząc się do betonów na cementach CEM I jesteśmy w stanie ograniczyć emisję CO₂ w mieszankach geopolimerowych nawet o 80-90% na m³. W ostatnim czasie pojawiły się również informacje na temat wykonanych nawierzchni, obiektów inżynierskich, elementów prefabrykacyjnych przy użyciu betonów geopolimerowych, co może świadczyć, że w niedalekiej przyszłości takie rozwiązanie stanie się bardziej powszechne.

mgr inż. Daniel Owsiak
MC-Bauchemie Sp. z o.o.
dr inż. Kai Markiefka
MC-Bauchemie GmbH

Literatura:

1. G. Mallikarjuna Rao, T. D. Gunneswara Rao, Rama Seshu D., A. Venkatesh „Składy mieszanek z betonu geopolimerowego” *Cement, Wapno, Beton* 2016.
2. G. Hathi Ram, Prof. B. Sessa Sreenivas, Prof. D. Rama Seshu „Wytrzymałość betonu geopolimerowego opartego na żużlu i popiole lotnym” *Cement, Wapno, Beton* 2019.
3. mgr inż. Maciej Król, dr hab. Eur. Ing. Tomasz Z. Błaszczczyński „Ekobetony geopolimerowe”, *Materiały Budowlane* 2013.
4. J. Davidovits, „The state of the Geopolimer R&D”, *The GeopolymerCamp 2011 Conferences, Université de Picardie, Saint-Quentin, France* 2011.
5. J. Davidovits, „Geopolymer Chemistry and Applications”, *Éditions Jean-Cyrille Godefroy, France* 2008.