

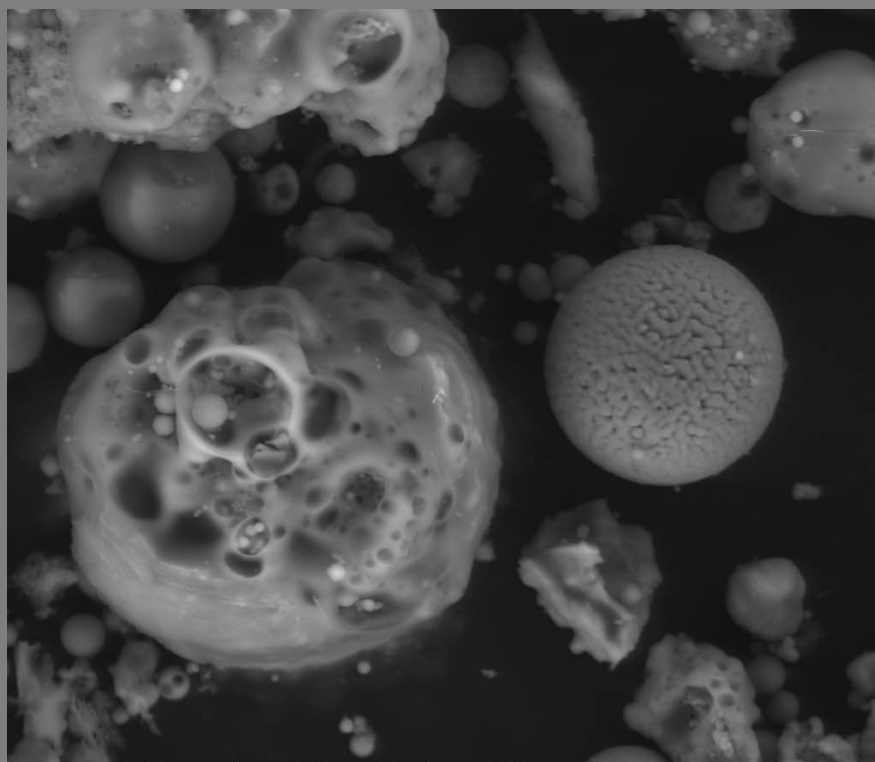
2013

INNOWACYJNE SPOIWA CEMENTOWE I BETONY Z WYKORZYSTANIEM POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO

Projekt Strukturalny POIG

Priorytet 1: Badania i rozwój nowoczesnych technologii.

Działanie 1.2: Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych.



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO





Politechnika Śląska
Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych



ul. Akademicka 5
44-100 Gliwice
tel.: 32-237-22-94
fax.: 32-237-27-37
e-mail: rb4@polsl.pl
<http://kaproc.rb.polsl.pl>

Statutowym celem Politechniki Śląskiej jest prowadzenie działalności badawczej służącej rozwiązywaniu problemów nauki i techniki. Wydział Budownictwa Politechniki Śląskiej ma pełne prawa akademickie do nadawania stopni naukowych doktora i doktora habilitowanego w zakresie budownictwa. Działalność naukowa Wydział obejmuje najnowsze zagadnienia inżynierii budowlanej m. in.: komputerowej symulacji zachowania konstrukcji pod obciążeniem za pomocą MES i MEB, modelowania procesów i materiałów konstrukcyjnych, reologii stosowanej ośrodków trójfazowych, fizyki budowli, systemów sztucznej inteligencji z zastosowaniem teorii zbiorów rozmytych, algorytmów genetycznych i sieci neuronowych. Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych realizuje innowacyjne prace w zakresie nowych technologii betonu, w tym betonów wysokowartościowych BWW i samozagęszczalnych SCC.



Instytut Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk

ul. Pawińskiego 5B
02-106 Warszawa
tel/fax.: 22-826-25-22
<http://www.pan.pl>

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN w Warszawie realizuje zaawansowane badania mikrostruktury materiałów kompozytowych z uwzględnieniem pomiarów właściwości mechanicznych w nanoskali oraz badania trwałości betonu w rozmaitych środowiskach agresywnych, wykorzystując szeroko techniki informatyczne, takie jak cyfrowa analiza obrazów, modelowanie komputerowe i uczenie maszyn.



Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych
Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych

ul. Cementowa 8
31-983 Kraków
tel.: 12-683-79-00
fax.: 12-683-79-01
<http://www.osimb.pl>

Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych specjalizuje się w prowadzeniu badań naukowych i prac rozwojowych, przystosowaniu wyników prowadzonych prac do zastosowania w praktyce oraz upowszechnieniu wyników tych prac w dziedzinie przetwórstwa przemysłowego surowców niemetalicznych, w szczególności związanych z produkcją wyrobów ceramicznych i ze szkła, materiałów ogniotrwałych oraz mineralnych materiałów budowlanych.

Spis treści

Dodatki mineralne w technologii cementu i betonu	4
Stan i możliwości stosowania popiołu lotnego wapiennego w produkcji betonu i cementu	5
Efekty ze stosowania popiołu lotnego wapiennego w produkcji cementu i betonu	6
Cel projektu	7
Prace badawcze realizowane w projekcie	8
Wybrane rezultaty projektu	12
Publikacje	18
Notatki	19

Dodatki mineralne w technologii cementu i betonu

Jednym z najważniejszych kierunków rozwoju technologii betonu jest stosowanie dodatków mineralnych, zarówno w składzie betonu, jak i jako składnik główny cementów powszechnego użytku. Dodatki mineralne, obok poprawy właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu (zwłaszcza odporności na agresywne oddziaływa-

nie środowiska), pozwalają na uzyskanie znaczących korzyści ekonomicznych i ekologicznych, doskonale tym samym wpisując się w strategię zrównoważonego rozwoju. Najczęściej stosowanymi dodatkami mineralnymi są popioły lotne krzemionkowe uzyskiwane ze spalania węgla kamiennego w paleniskach konwencjonalnych, zmielony granulowany żużel wielkopiecowych oraz pył krzemionkowy.



Fot. Popiół lotny wapienny

Stan i możliwości stosowania popiołu lotnego wapiennego w produkcji betonu i cementu

W Polsce ponad 30% energii elektrycznej uzyskiwane jest ze spalania węgla brunatnego w kotłach konwencjonalnych. W wyniku tego procesu powstaje rocznie około 4 mln Mg popiołów lotnych wapiennych. Ten rodzaj popiołu lotnego charakteryzuje się aktywnością pucolanowo-hydrauliczną i bogatszym niż popioły lotne krzemionkowe składem chemicznym i mineralnym. Analiza istniejących dokumentów odniesienia krajowych i zagranicznych (norm i aprobat technicznych) pokazała, że ten rodzaj popiołu lotnego może być składnikiem głównym cementu (popiół lotny wapienny W wg PN-EN 197-1:2012), dodatkiem typu II w składzie betonu (ASTM C618, CAN/CSA-A23.5-98) oraz stanowić podstawowy składnik spoiw stosowanych w stabilizacji gruntów, wzmocnienia podłoża i in-

nych pracach związanych z budownictwem drogowym.

Popiół lotny wapienny w kraju praktycznie nie jest stosowany w technologii produkcji cementu i betonu. Jako przyczyny takiego stanu można wskazać: wysoką i zmienną zawartość wolnego wapna i związków siarki w popiele, które mogą mieć negatywny wpływ na właściwości stwardniałego betonu, znaczną zmienność w czasie właściwości fizycznych, składu chemicznego i mineralnego oraz łatwą dostępność do popiołu lotnego krzemionkowego tradycyjnie stosowanego w produkcji cementu i betonu. Brakuje wyników badań kompleksowo ujmujących efekty stosowania popiołów lotnych wapiennych w składzie cementu (lub betonu), zwłaszcza badań aplikacyjnych, ukierunkowanych na trwałość (mrozoodporność, agresja chemiczna).



Fot. Elektrownia Bełchatów

Efekty ze stosowania popiołu lotnego wapiennego w produkcji cementu i betonu

Stosowanie popiołu lotnego wapiennego niesie za sobą korzyści ekologiczne, ekonomiczne i techniczne: poprawę stanu środowiska i ograniczenie kosztów wytwarzania cementu dzięki redukcji emisji CO₂ i zmniejszeniu zużycia energii w procesie produkcyjnym, możliwości użycia nowego dodatku mineralnego w miejsce coraz trudniej dostępnych granulowanego żużla wielkopieczowego i popiołu lotnego krzemionkowego, zaoszczędzeniu zasobów surowców naturalnych oraz efektywnego zagospodarowania odpadów skutkującego m. in.

zmniejszeniem powierzchni składowisk i kosztu składowania odpadów przemysłowych.

Jest to szansa na rozszerzenie bazy surowcowej dla krajowego przemysłu cementowego i betonowego, a poprzez wdrożenie do produkcji nowych rodzajów cementów na utrzymanie jego konkurencyjności. Potencjalne korzyści obejmują również firmy zajmujące się gospodarczym wykorzystaniem i przetwarzaniem ubocznych produktów spalania z energetyki.

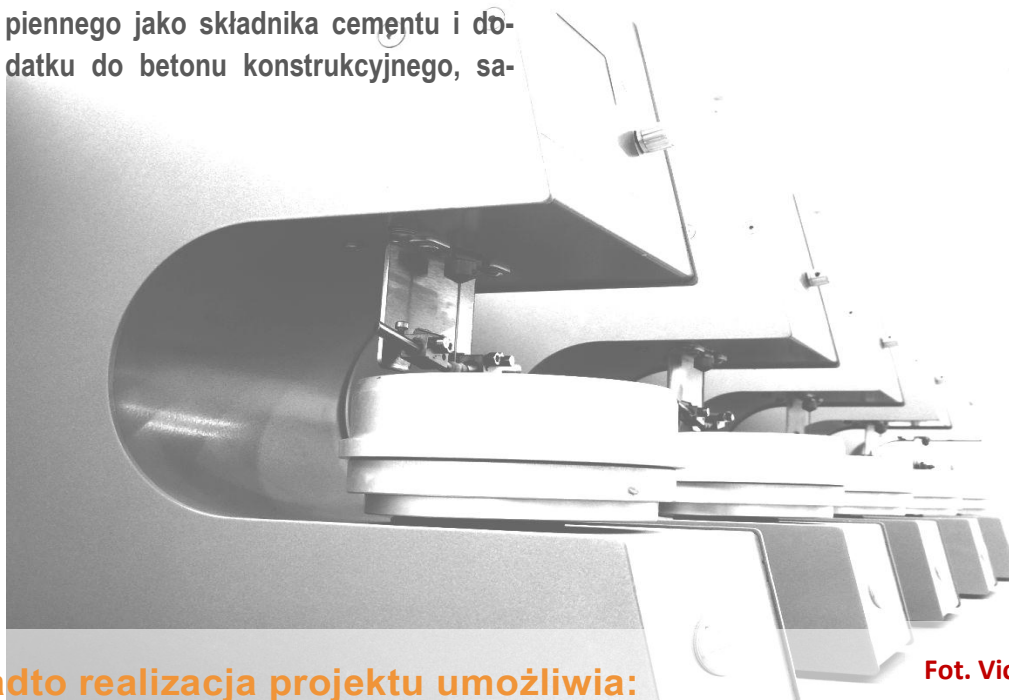


Fot. Archiwum prywatne

Cel projektu

Celem projektu jest opracowanie innowacyjnej i efektywnej kosztowo technologii produkcji nowych spoiw cementowych oraz betonów powstałych z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego będącego efektem spalania węgla brunatnego. Cel ten obejmuje:

- opracowanie technologii produkcji spoiw cementowych dla budownictwa zawierających w swoim składzie popiół lotny wapienny,
- opracowanie wytycznych technologicznych zastosowania popiołu lotnego wapiennego jako dodatku do betonu typu II,
- opracowanie wytycznych technologicznych zastosowania popiołu lotnego wapiennego jako składnika cementu i dodatku do betonu konstrukcyjnego, sa-
- mozagęszczalnego i wysokowartościowego,
- przeprowadzenie testów w skali laboratoryjnej, półtechnicznej oraz prób technologicznych w dużej skali wraz z monitorowaniem samonagrzewania betonu,
- opracowanie systemu numerycznego symulacji procesów twardnienia betonów.



Ponadto realizacja projektu umożliwi:

Fot. Vicatronic


- zapewnienie rozwoju młodej kadry naukowej,
- doposażenie laboratoriów naukowych w sprzęt badawczy i oprogramowanie,
- zapewnienie wdrożenia technologii poprzez szeroką akcję promocyjną.

Monitoring właściwości popiołów lotnych wapiennych

Po analizie właściwości fizykochemicznych popiołów lotnych wapiennych dostępnych w kraju pod kątem ich przydatności w technologii betonu i cementu wytypowano do dalszych badań popiół wapienny z Elektrowni Bełchatów.

Monitoring właściwości tego popiołu pokazał, że charakteryzuje się on dużą zmiennością właściwości fizycznych oraz składu chemicznego i fazowego, co utrudnia jego przemysłową aplikację.

Jednocześnie jednak stwierdzono, że popiół ten spełnia podstawowe wymagania stawiane przez normę cementową PN-EN 197-1:2012 dla popiołów lotnych wapiennych W. Stosunkowo grube uziarnienie popiołów należy uwzględniać przy rozwiązaniach technicznych produkcji cementów popiołowych (wspólny przemiał z klinkierem, miejsce dozowania w układzie technologicznym, separacja). Skład chemiczny popiołów wapiennych, z uwagi na proporcje podstawowych tlenków SiO_2 , CaO , Al_2O_3 i Fe_2O_3 , czyni je przydatnymi jako surowiec



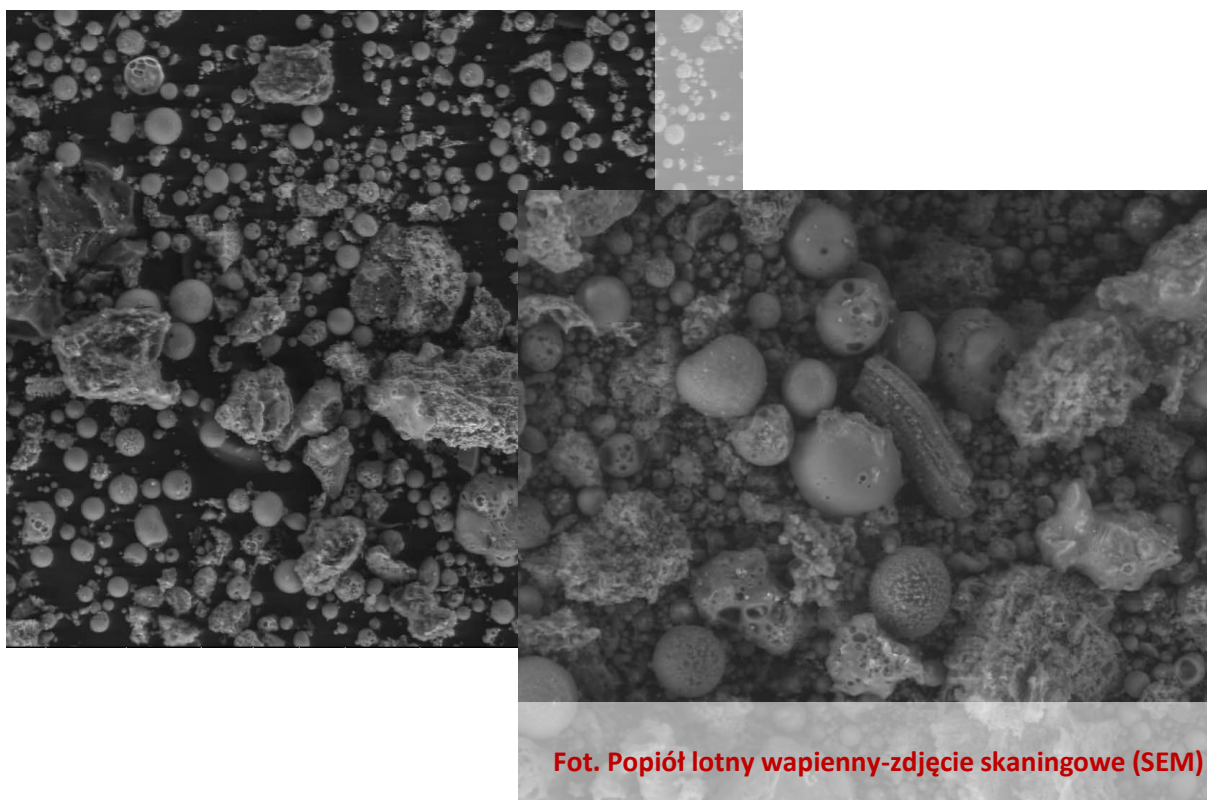
niski, glinokrzemianowy w przygotowaniu mieszaniny surowcowej do produkcji klinkieru portlandzkiego. Popiół lotny wapienny z Elektrowni Bełchatów z uwagi na grube uziarnienie i wysoką wodożądność nie spełnia wymagań stawianych przez normę ASTM C618 dla dodatku typu II w składzie betonu. Ten kierunek aplikacji należy rozpatrywać wyłącznie po waloryzacji (przeróbce) popiołu lotnego.

Fot. Elektrownia Bełchatów

Ocena aktywności pucolanowo - hydraulicznej

W ramach prowadzonych badań stwierdzono, że popiół lotny wapienny charakteryzuje się aktywnością pucolanowo-hydrauliczną, która w dużej mierze uzależniona jest od zawartości reaktywnej krzemionki i reaktywnego CaO. W składzie fazowym popiołu lotnego wapiennego obecne są związki charakterystyczne dla klinkieru portlandzkiego i granulowanego żużla wielkopiecowego, krzemiany i gliniany wapnia, reaktywna faza amorficzna, które w znaczą-

cym stopniu determinują aktywność hydrauliczną tego rodzaju popiołu. Obecność reaktywnej krzemionki i związków glinu decyduje o aktywności pucolanowej. Anhydryt i CaO wolne zawarte w składzie popiołu są aktywatorami aktywności hydrauliczno-pucolanowej popiołu. Przydatność technologiczna popiołu lotnego wapiennego ulega polepszeniu po zastosowanie aktywacji mechanicznej (przemiał), separację na frakcje ziarnowe lub selektywny odbiór z poszczególnych sekcji elektrofiltra.



Fot. Popiół lotny wapienny-zdjęcie skaningowe (SEM)

Cementy z dodatkiem popiołów lotnych wapiennych

Program badań obejmował szeroką grupę cementów z różnym udziałem popiołu lotnego wapiennego: cementy portlandzkie wapienne CEM II/A,B-W, cementy portlandzkie wieloskładnikowe CEM II/A,B-M i cementy pucolanowe CEM IV/A,B. Ogółem przebadano ponad 40 cementów wyprodukowanych w skali laboratoryjnej i półtechnicznej. Zakres badań cementów obejmował przede wszystkim właściwości objęte wymaganiami normy PN - EN 197 - 1:2012.

Określono także wpływ cementów na urabialność zapraw i mieszanek betonowych, kompatybilność cementów z domieszkami chemicznymi, skurcz, ciepło hydratacji, retencję wody. Dynamikę narastania wytrzymałości oznaczono w obniżonej temperaturze 8°C, podwyższonej temperaturze 38°C oraz w warunkach obróbki niskoprężnej (do 80°C). Stwierdzono pełną przydatność popiołu lotnego wapiennego do stosowania jako składnika głównego cementu, szczególnie jako składnika cementów portlandzkich wieloskładnikowych pucolanowych w kompozycji z innymi dodatkami, np.: CEM II/A,B-M (V-W); CEM II/A,B-M(S-W); CEM II/A,B-M (W-LL), CEM IV/A,B (V,W). Stwierdzono również możliwość produkcji nowej, nienormowanej aktualnie grupy cementów (cement CEM X) z zastosowaniem popiołu lotnego wapiennego.



Fot. Pomiar skurczu plastycznego



Badania betonów

Etap ten obejmował kompleksowe badania typowych betonów konstrukcyjnych (betonów zwykłych) oraz badania betonów nowej generacji z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego. Zakres badań obejmował ocenę popiołu lotnego wapiennego jako dodatku typu II w składzie betonu oraz badania stwardniałego betonu z cementów z popiołem lotnym wapiennym jako jeden ze składników głównych. Badane były, zarówno właściwości mieszanki betonowej (w tym szczególnie efektywność działania różnych domieszek w obecności dodatku popiołu lotnego wapiennego), jak i właściwości stwardniałego betonu, w tym m. in.: wytrzymałość na ściskanie ze szczególnym uwzględnieniem wytrzymałości krótko i długoterminowej, nasiąkliwości, wodoprze-

puszczalności, mrozoodporności oraz skurczu. Ponadto wykonywane były badania trwałościowe, uwzględniające szerokie spektrum środowisk agresywnych i rodzajów korozji betonu. Ważnym elementem programu badawczego było również monitorowanie zmian mikrostruktury betonu w różnych warunkach wilgotności i temperatury otoczenia. Prowadzone badania obejmowały także rozkłady temperatur w masywnych elementach betonowych i monitorowanie spękań wywołanych ciepłem hydratacji. Program badań betonów nowej generacji obejmował przede wszystkim betony wysokowartościowe i samoogęszczalne.

Uzyskane wyniki badań i ich analiza posłużą do oceny przydatności popiołu lotnego wapiennego jako dodatku do betonu oraz określenia zakresu stosowania betonu z cementów zawierających popiół lotny wapienny w budownictwie.



Fot. Vicatronic



Fot. Viskomat NT

Wybrane rezultaty projektu

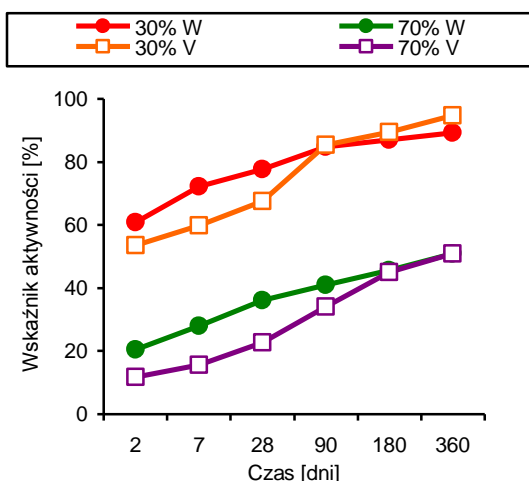
Aktywność popiołu lotnego wapiennego w porównaniu z innymi dodatkami mineralnymi stosowanymi w produkcji cementu

Aktywność popiołu lotnego wapiennego (W) porównano do powszechnie stosowanych nieklinkierowych składników głównych cementu (popiołu lotnego krzemionkowego V, granulowanego żużla wielkopieczowego S i wapienia LL). Badania prowadzono wg zmodyfikowanej metodyki podanej w normie PN-EN 450-1:2012 przy różnej zawartości tych składników w spoiwie.

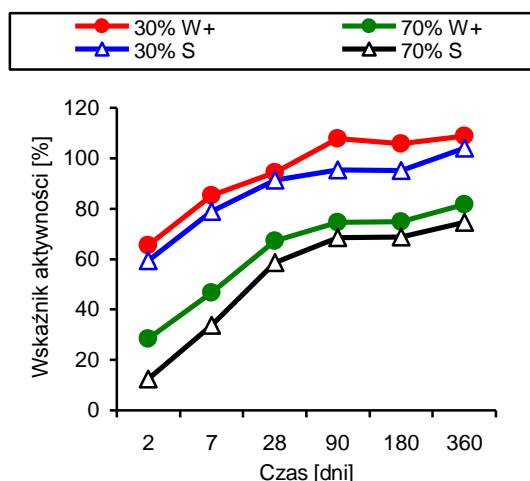
Stosowano składniki w postaci nieprzetworzonej (V, W, LL, S) i po dodatkowym zmieleniu (V+; W+; S+; LL+).

Badania wykazały, że popiół lotny wapienny (W) charakteryzuje się aktywnością pucolaniczną i hydrauliczną.

W początkowych okresach dojrzewania (do 28 dni) popiół lotny wapienny (W) wykazuje większą aktywność w porównaniu z popiołem lotnym krzemionkowym (V). Natomiast po dłuższym czasie twardnienia (90 dni lub więcej) aktywność obu popiołów jest zbliżona. Znaczne przyrosty wytrzymałości w długich okresach czasu są charakterystyczne dla materiałów o właściwościach pucolanowych. O pozytywnym wpływie procesu mielenia na aktywność popiołu lotnego wapiennego (W). Zmielony popiół lotny wapienny (W+) charakteryzuje się aktywnością zbliżoną lub wyższą niż granulowany żużel wielkopieczowy (S).



Porównanie wskaźnika aktywności popiołów lotnych: wapiennego (W) i krzemionkowego (V)



Porównanie wskaźnika aktywności popiołu lotnego wapiennego po zmieleniu (W+) i zmielonego granulowanego żużla wielkopieczowego (S)

Wybrane rezultaty projektu

Waloryzacja popiołów lotnych wapiennych

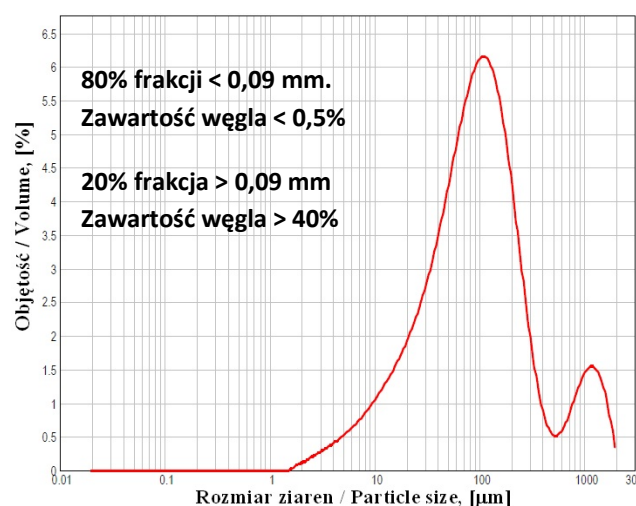
Metody waloryzacji popiołu lotnego wapiennego W, jako składnika pucolanowo-hydraulicznego cementów, uwzględniają domielanie, mieszanie oraz separację na frakcje ziarnowe. Sprawdzono również możliwość waloryzacji popiołów lotnych wapiennych W na drodze aktywacji chemicznej.

Domielanie popiołów poprawia aktywność i cechy reologiczne. Efekt ten wykorzystano w praktyce poprzez wspólny przemiał składników cementu (klinkieru, popiołu lotnego wapiennego) w młynie kulowym. Optymalny efekt uzyskuje się przy produkcji cementów wieloskładnikowych CEM II i CEM

IV zawierających mieszaninę tego popiołu z popiołem lotnym krzemionkowym V, granulowanym żużłem wielkopieczowym S lub kamieniem wapiennym LL.

Separacja popiołów wapiennych W pozwala na wydzielenie drobnych frakcji poniżej 0,09 mm o bardzo niskiej zawartości węgla i dużej aktywności. Rozwiązanie to pozwala na zdecydowaną poprawę właściwości reologicznych popiołów, w efekcie rozwiązując problemy związane z podwyższoną wodoodpornością i utratą plastyczności cementów. Aktywacja chemiczna popiołu wapiennego W pozwala na uzyskanie bezcementowych spoiw (rozwiązanie jest przedmiotem zgłoszenia patentowego).

Rozwiązanie waloryzacji popiołów metodą separacji frakcji



Rozkład wielkości ziaren popiołu wapiennego przed separacją

R_c^{28d} , [MPa]	
Popiół w stanie dostawy	Frakcja popiołu poniżej 0,09 mm
3,8	9,7
4,1	7,3

Aktywność hydrauliczna popiołu lotnego wapiennego

Wybrane rezultaty projektu

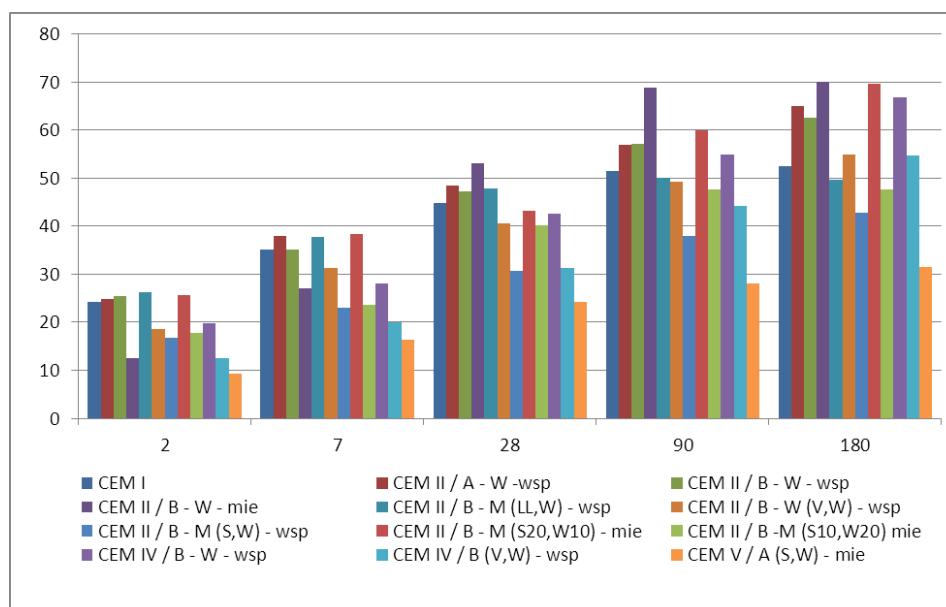
Właściwości betonów z cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego

Przedmiotem badań były betony na 11 różnych cementach innowacyjnych zawierających popiół lotny wapienny (W). Dla każdego z tych cementów wykonano trzy różniące się składem betony. Jako układ odniesienia w ocenie ich właściwości przyjęto właściwości betonów o tych samych składach wyjściowych, lecz wykonanych na cemencie CEM I 42,5R.

Zakres badań obejmował:

badanie konsystencji mieszanki betonowej, badanie zawartości powietrza w mieszance betonowej, badanie wytrzymałości betonu na ściskanie, badanie skurczu betonu, badanie penetracji wody pod ciśnieniem w betonie, badanie mrozodporności betonu.

Wytrzymałości betonów o $w/c = 0,45$
napowietrzonych



Wyniki badań wykazały, że w większości przypadków betony na innowacyjnych cementach zawierających popiół lotny wapienny mają właściwości co najmniej porównywalne z właściwościami betonu odniesienia na cemencie CEM I 42,5R. Spośród betonów na cementach zawierających doda-

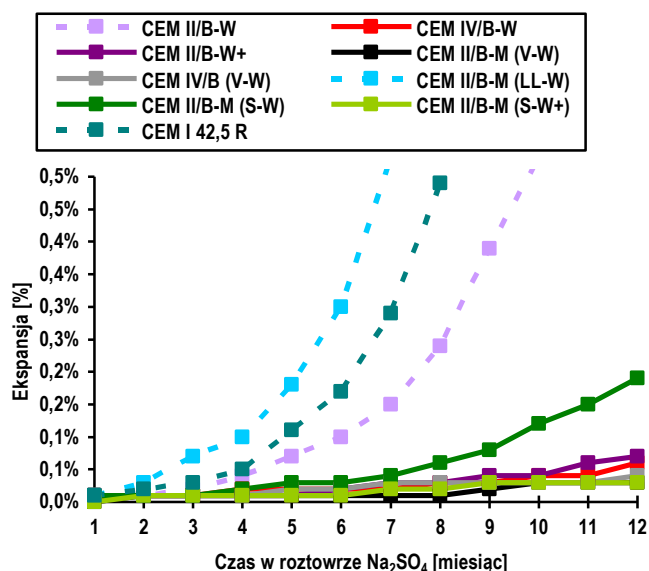
tek popiołu wapiennego najkorzystniejsze właściwości uzyskał beton na cemencie wieloskładnikowym CEM II/B-M (S-W). Użył on najwyższą klasę wytrzymałości C45/55, podczas gdy beton odniesienia miał klasę C35/45.

Wybrane rezultaty projektu

Odporność na agresję siarczanową cementów z udziałem popiołu lotnego wapienego

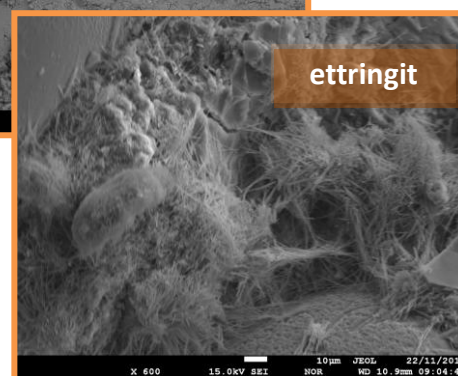
Badania odporności na korozję siarczanową prowadzono zgodnie z metodyką zawartą w polskiej normie PN-B 19707:2003, zał. C.

Ekspansja w roztworze Na_2SO_4
linia ciągła – cement odporny na siarczany
linia przerywana – cement nie odporny na siarczany



Wyniki wykazały, że popioły lotne wapienne (W) poprawiają odporność na korozję siarczanową w stosunku do cementu odniesienia CEM I 42,5 R. Domieszenie i/lub zwiększenie ilości tych popiołów w składzie cementów spowodowało ograniczenie ekspansji. Wpływ na wielkość ekspansji, ma również rodzaj kationu towarzyszącego jonom SO_4^{2-} . Największa ekspansja wystąpiła w roztworze siarczanu amonu, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ i malała wg szeregu $\text{NH}_4^+ > (\text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+) > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ >$ sztuczna woda morska. Szybkość korozji

w znacznym stopniu zależała także od dzaju drugiego składnika obecnego w mencie. Cementy CEM II/B-M (V-W), CEM IV/A (V-W) i CEM II/B-M (S-W) charakteryzowały się najmniejszą ekspansją w różnych roztworach siarczanowych.

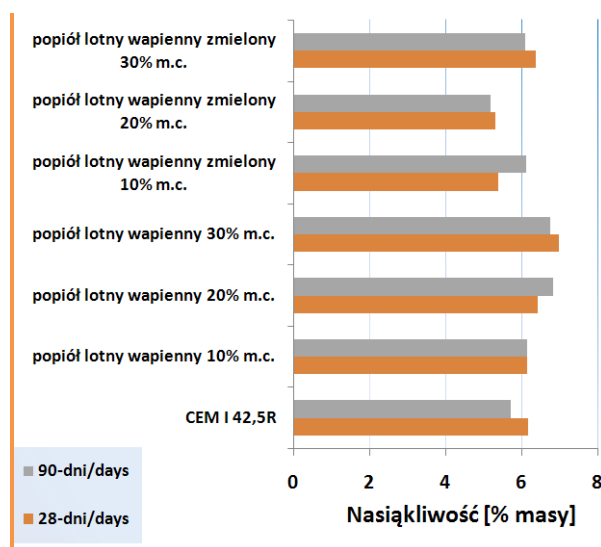


Głównymi produktami korozji siarczanowej są gips i ettringit oraz brucyt w przypadku cementów narażonych na oddziaływanie roztworu siarczanu magnezu, MgSO_4 . Gips występuje na powierzchni zewnętrznej, a ettringit w głębszych warstwach. W strefie przypowierzchniowej nie jest obecny portlandyt, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, gdyż najszybciej ulega korozji.

Wybrane rezultaty projektu

Popiół lotny wapienny w betonach nowej generacji

Badania dotyczyły analizy wpływu zawartości popiołu lotnego wapiennego na wybrane właściwości betonów samozagęszczalnych i wysokowartościowych betonów samozagęszczalnych. Przedstawiono wyniki badania klasy rozptyłu SF oraz klasy lepkości T_{500} mieszanek betonowych, badania wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałości na zginanie, badania nasiąkliwości oraz badania głębokości penetracji wody betonów. Mieszanka betonowa była modyfikowana ze względu na zmienny udział objętościowy popiołu lotnego wapiennego jako dodatku typu I oraz dodatku typu II (10-20-30%).



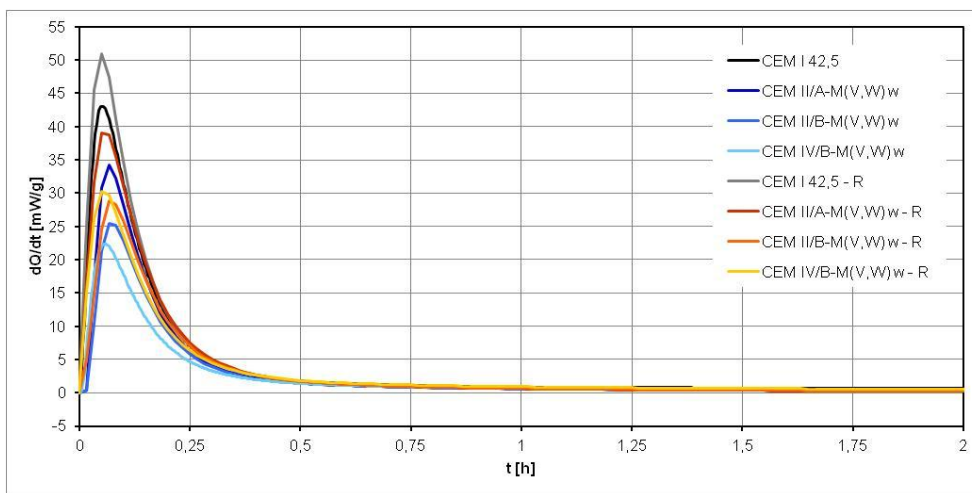
Badania potwierdziły możliwość stosowania popiołów lotnych wapiennych w betonach nowej generacji, przy zachowaniu zakładanych parametrów technologicznych mieszanek betonowych, a przede wszystkim ich urabialności. Badania nasiąkliwości i głębokości penetracji wody betonów modyfikowanych cementami z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego jako dodatku typu I wykazały zbliżone właściwości do betonu z cementu CEM I 42,5R. Przy dodatku popiołu do betonu większym niż 20% problemem może być zwiększona utrata urabialności mieszanki w czasie. Dzięki odpowiednio dobranej, dużej ilości superplastyfikatora uzyskano mieszanki z 30% dodatkiem popiołu spełniające warunki samozagęszczalności po 60 min. W przypadku stosowania cementów z popiołem lotnym wapiennym problemy z samozagęszczalnością są mniejsze i mogą wystąpić, gdy ilość popiołu w cemencie jest większa od 30%. Właściwości stwardniałych betonów z dodatkiem popiołów lotnych wapiennych nie odbiega istotnie od analogicznych betonów z cementu CEM I 42,5R, jeśli klasa tych cementów jest zbliżona. Badania potwierdziły również możliwość stosowania nienormowych wysokopopiołowych wieloskładnikowych cementów (CEM X) zawierających popiół lotny wapienny do betonów nowej generacji.

Wybrane rezultaty projektu

Cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-W) 32,5R

Celem podjętych badań było ustalenie wpływu cementów zawierających popiół lotny wapienny na właściwości reologiczne mieszanek na spoiwie cementowym i efektywność działania domieszek chemicznych

z uwzględnieniem wpływu temperatury i czasu. Badano właściwości reologiczne, napowietrzenie, ciepło hydratacji, czasy wiązania i skurcz mieszanek z cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego.



Ciepło hydratacji cementów z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego i krzemionkowego oraz z domieszką opóźniającą wiązanie w pierwszych 2 godzinach po połączeniu z wodą.

Popiół lotny wapienny i krzemionkowy zwiększa efektywność domieszek reologicznych jako składnik cementu CEM II/B-M (V-W) niezależnie od aktywacji popiołu lotnego wapiennego. Im więcej dodatku popiołu lotnego wapiennego i krzemionkowego tym mniejsza efektywność domieszek opóźniających wiązanie oraz mniejsze wydzielane ciepło hydratacji. Aktywacja popiołu przez przemiał redukuje ten negatywny wpływ.

Ten rodzaj cementu został wdrożony do produkcji w Górażdże Cement S.A. (cementownia Górażdże).



Fot. Mikrokalorymetr



Publikacje



**Publikacje i inne informacje
dostępne są na stronie internetowej
www.smconcrete.polsl.pl**

NOTATKI



A series of horizontal dotted lines for writing notes, consisting of 20 lines.



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



DOTACJE NA INNOWACJE

Projekt nr POIG 01.01.02.24-005/09 "Innowacyjne spoiwa cementowe i betony z wykorzystaniem popiołu lotnego wapiennego".



**Instytut Podstawowych
Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk**



LIDER PROJEKTU



**Instytut Ceramiki
i Materiałów
Budowlanych**

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka.

egzemplarz bezpłatny