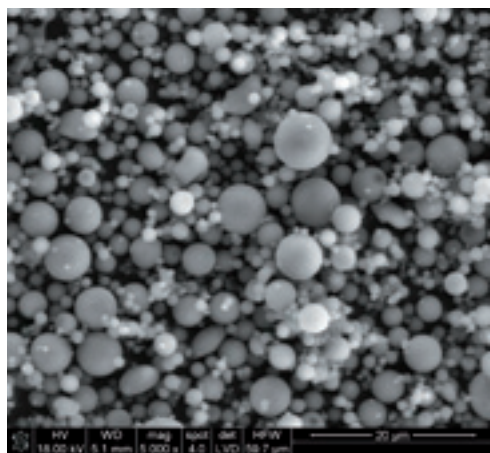


Popiół lotny do betonu – proponowane zmiany w nowelizowanej normie PN-EN 450-1

Grupa ekspertów Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego CEN/TC 104 w 2009 r. zakończyła pracę nad nową wersją normy EN 450-1. Zakres proponowanych zmian obejmuje: modyfikację definicji popiołu lotnego, ilość i rodzaj materiałów współspalanych z pyłem węglowym, skreślenie wymagań dotyczących dolnego limitu strat prażenia dla kategorii B i C popiołu lotnego, wymagania dotyczące zawartości wolnego CaO oraz wymagania dotyczące całkowitej zawartości rozpuszczalnych w wodzie związków fosforu.

Popiół lotny od dziesięcioleci z powodzeniem jest stosowany jako dodatek w składzie betonu. Mieszanka betonowa z dodatkiem popiołu lotnego charakteryzuje się bardzo dobrą urabialnością, jest spoiwa i wykazuje zmniejszoną tendencję do wydzielania mleczka wapiennego na powierzchnię zabudowanego betonu. Dobrej jakości popiół lotny (niska pozostałość na sicie 0,045 mm i wysoka zawartość szkła) zmniejsza także wodozjadność mieszanki betonowej. Beton z dodatkiem popiołu lotnego charakteryzuje się wolniejszym narastaniem wytrzymałości, osiągając bardzo dobre parametry wytrzymałościowe i trwałościowe w dłuższych terminach twardnienia (56 dni i dłużej). Podkreśleniem tych pozytywnych właściwości było ustanowienie w 1995 r. normy EN 450 „Popiół lotny do betonu”. Zapisy tej normy w ostatnich latach ulegały zmianom odpowiadającym aktualnemu stanowi wiedzy w zakresie stosowania popiołu lotnego w składzie betonu i zmian w technologii spalania pyłu węglowego. W 2005 r. norma uzyskiwała status normy zharmonizowanej (mandat Komisji Europejskiej M128) i składała się z dwóch norm EN 450-1:2005 *Popiół lotny do betonu* i EN 450-2:2005 *Ocena zgodności*. Zapisy tej edycji normy uwzględniały możliwość współspalania węgla z paliwami zastępczymi (alternatywnymi). Jednakże proces współspalania w ostatnich latach, w niektórych krajach, wyszedł poza ramy normy EN 450-1 z 2005 r. Niektórzy producenci popiołu lotnego uzyskali Europejskie Aprobaty Techniczne na popiół lotny otrzymany ze współspalania z udziałem paliw zastępczych poza zakresem normowym. Nie stwierdzono negatywnego wpływu takiego rodzaju popiołu lotnego na właściwości be-



tonu. Te pozytywne doświadczenia były podstawą do powołania ustanowienia przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN/TC 104 grupy ekspertów (WG4) do opracowania nowelizacji normy EN 450-1, biorąc za podstawę jej edycję z 2007 r. Grupa ekspertów zakończyła pracę w 2009 r., przedstawiając nową wersję do formalnego głosowania dla Komitetu Technicznego CEN/TC 104. Uzasadnienie podjętych zmian eksperci WG 4 podali w raporcie: *Backgrounds to the revision of EN 450-1:2005/A1:2007 and En 450-2:2005 „Fly ash for concrete” Arhem, May 2009, Editors: Angeli J.Saraber (KEMA), Hans-Joachim Feuerborn (ECOBA), Jan W. van der Berg (Vilegasunie)*. Raport ten stanowił podstawę do przygotowania treści niniejszego artykułu. Zakres proponowanych zmian w normie EN 450-1 obejmuje:

- modyfikację definicji popiołu lotnego
- ilość i rodzaj materiałów współspalanych z pyłem węglowym
- skreślenie wymagań dotyczących dolnego limitu strat prażenia dla kategorii B i C popiołu lotnego
- wymagania dotyczące zawartości wolnego CaO
- wymagania dotyczące całkowitej zawartości rozpuszczalnych w wodzie związków fosforu.

Definicja popiołu lotnego

Zdecydowano się na usunięcie z definicji popiołu lotnego wymagań dotyczących zawartości reaktywnego SiO_2 , jednakże pozostawiono to wymaganie w początkowym okresie produkcji nowego rodzaju popiołu lotnego. Definicja po zmianach będzie miała brzmienie: *Popiół lotny to drobno uziarniony pył, składający się głównie z kulistych, zeszkliwionych ziaren, otrzymywany przy spalaniu pyłu węglowego, przy udziale lub bez udziału materiałów współspalanych, wykazujący właściwości pucolanowe i zawierający przede wszystkim SiO_2 i Al_2O_3* . Definicja gwarantuje, że spalanie odbywa się w odpowiednio wysokiej temperaturze wystarczającej do powstania fazy szklistej (zeszkliwienia) w popiele Jest to możliwe tylko w kottach, gdzie odbywa się spalanie drobno zmielonego paliwa jako pyłu, z temperaturą spalania 1300-1500°C. Oznacza to, że popioły pochodzące ze spalania w kottach takich jak np. fluidalne nie spełniają wymogów definicji. Z zapisów definicji jasno wynika także, że nie dotyczy ona popiołów pochodzących ze spopielenia odpadów miejskich lub przemysłowych. Wynika to z faktu, że paliwo zawsze będzie zawierać węgiel. Decydując się na skreślenie z definicji wymagań dotyczących zawartości reaktywnego SiO_2 , eksperci byli zdania, że wymagania dotyczące aktywności po 28 i 90 dniach dają wystarczającą pewność zachowania przez popiół właściwości pucolanowych. Właściwy skład fazy szklistej jest także zapewniony przez minimalną zawartość sumy tlenków ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$) na poziomie 70%.

Ilości i rodzaje materiałów współspalanych

W tabeli 1 pokazano rodzaje dopuszczonych materiałów do współspalania z węglem według zapisów aktualnej normy EN 450-1+ A1:2007. Mini-

Tabela 1. Rodzaje materiałów współspalanych

1	Materiały roślinne, jak wióry drzewne, słoma, tупiny i inne włókna roślinne
2	Drewno i biomasa z upraw
3	Odpady zwierzęce
4	Odpady ze ścieków komunalnych
5	Odpady papiernicze i makulatura
6	Koks porafinacyjny
7	Bezpopiołowe paliwa płynne i gazowe

malna procentowa zawartość węgla, w odniesieniu do suchej masy paliwa, nie powinna być mniejsza niż 80%, a maksymalna zawartość popiołu lotnego pochodzącego z materiałów współspalanych nie powinna być większa niż 10%. W nowej wersji normy EN 450-1 popiół lotny ze współspalania jest otrzymywany z pyłu węglowego spalanego jednocześnie z materiałami współspalania wymienionymi w tabeli 2. Minimalna procentowa zawartość węgla, w odniesieniu do suchej masy paliwa, nie powinna być mniejsza niż 60% i 50%, jeśli materiałem współspalonym jest drewno (nie dotyczy drewna z recyklingu). Maksymalna zawartość popiołu lotnego pochodzącego z materiałów współspalanych nie powinna być większa niż 30% całkowitej masy. Materiały niewymienione na liście mogą być dopuszczone do współspalania po uzyskaniu europejskiej aprobaty technicznej (ETA). W raporcie wyszczególniono możliwy wpływ zwiększonej zawartości niektórych związków (Ca, K, P i Mg) w popiele ze współspalania na właściwości mieszanki i stwardniałego betonu. Jednakże przydatność popiołu lotnego, otrzymanego ze spalania węgla z materiałami współspalnymi wymienionymi w tabeli 2, powinna być każdorazowo ustalona i udokumentowana przez producenta (dystrybutora).

Straty prażenia (zawartość nieopalonego węgla w popiele)

Aktualna norma EN 450-1/A1:2007, w zależności od wielkości strat prażenia (zawartości niespalonego węgla), dzieli popioły na trzy kategorie:

- Kategoria A: nie więcej niż 5,0% ubytku masy
- Kategoria B: pomiędzy 2,0% a 7,0% ubytku masy
- Kategoria C: pomiędzy 4,0% a 9,0% ubytku masy.

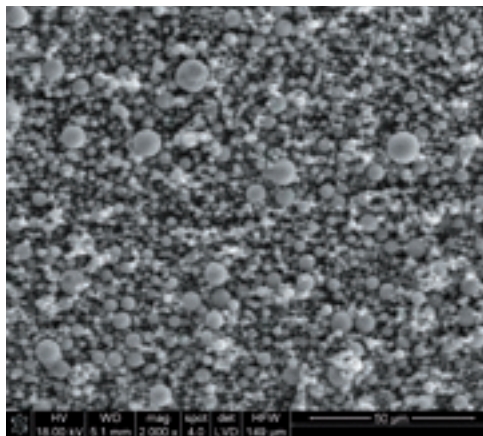
W zapisach znowelizowanej normy (EN 450-1 nowa) w poszczególnych kategoriach strata prażenia powinna zawierać się w granicach:

- Kategoria A: nie więcej niż 5,0% ubytku masy
- Kategoria B: nie więcej niż 7,0% ubytku masy
- Kategoria C: nie więcej niż 9,0% ubytku masy.

Strata prażenia jest bardzo ważnym parametrem jakościowym popiołów lotnych, mogącym wpływać na wiele właściwości betonu, takich jak: urabial-

Tabela 2. Rodzaje materiałów współspalanych (norma EN 450-1 po nowelizacji)

1	Biopaliwa stałe, spełniające wymagania CEN/TS 14588, włączając odpady pozwierzące (drzewo z recyklingu, pellety z biomasy, wszystkie rodzaje biomasy, drewno naturalne, odpady z produkcji żywności itp.)
2	Odpady zwierzęce (mączka mięso-kostna)
3	Odpady ze ścieków komunalnych
4	Odpady papiernicze i makulatura
5	Koks porafinacyjny
6	Bezpopiołowe paliwa płynne i gazowe

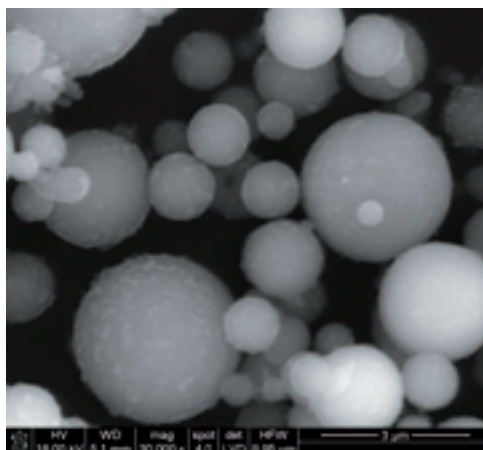


ność, współpraca z domieszkami chemicznymi, przyrost wytrzymałości, trwałość i aspekty wizualne (przebarwienia na powierzchni betonu).

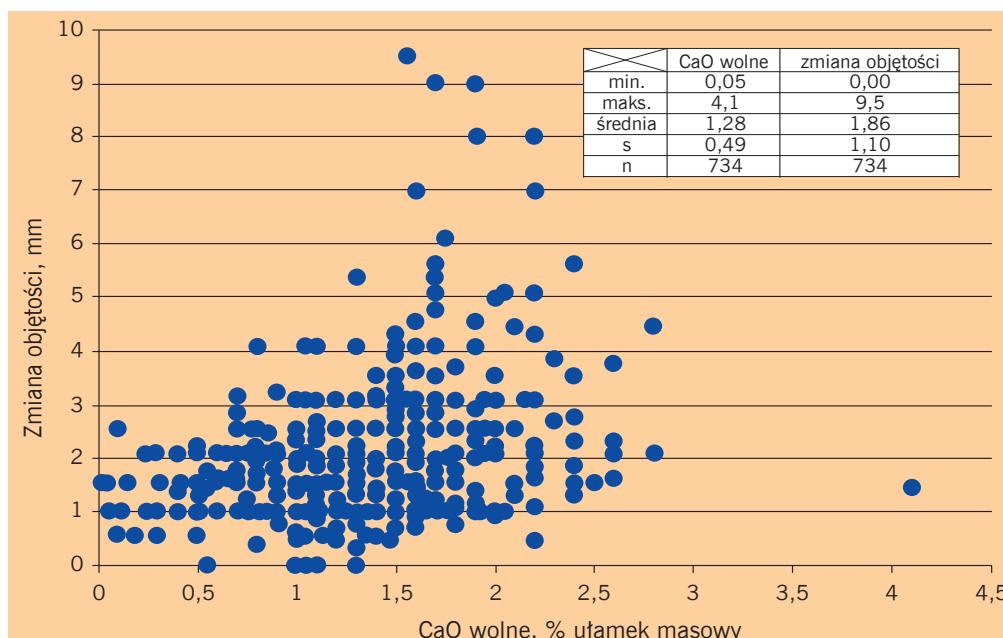
Wydaje się, że nowa kategoryzacja jest bardziej przejrzysta i zrozumiała dla użytkownika popiołu lotnego. O kwalifikowaniu popiołu lotnego do danej kategorii decyduje producent popiołu lotnego.

Wymagania dotyczące zawartości wolnego CaO

W normie EN 450-1+A1:2007 zawartość wolnego tlenku wapnia nie powinna być większa niż 2,5%. W przypadku kiedy zawartość wolnego tlenku wapnia jest większa niż 1,0%, należy zbadać zgodność popiołu lotnego z wymaganiami dotyczącymi stałości objętości zaczynu wykonanego z 30% masy popiołu lotnego i 70% masy cementu porównawczego (cement portlandzki CEM I o wymaganiach ściśle zdefiniowanych w normie), i nie powinna być większa niż 10 mm (metoda Le Chatelliera opisana w normie EN 196-3). Natomiast w zapisach znowelizowanej normy EN 450-1 badanie stałości objętości należy wykonać, jeżeli minimalna zawartość wolnego tlenku wapnia jest większa niż 1,5% masy popiołu. Norma nie ogranicza górnej zawartości wolnego CaO. Zapisy zostały zaproponowane po analizie wieloletnich danych statystycznych dotyczących korelacji pomiędzy zawartością wolnego CaO a zmianami objętości (rys.1). Analizując wyniki na rys. 1, widzimy, że praktycznie wszystkie popioły lotne o zawartości CaO wolnego do 1,5% spełniają wymagania stałości objętości. Powyżej tej zawartości wolnego CaO stałość objętości może się zwiększać, jednakże wciąż mało który popiół lotny przekracza poziom 10 mm. Biorąc powyższe pod uwagę, stwierdzono, że stałość objętości należy określać tylko dla popiołu lotnego zawierającego powyżej 1,5% wolnego tlenku wapnia.



Rys. 1. Zawartość wolnego CaO a zmiany objętości (test Le Chatelier'a)



Kryterium stałości objętości oraz kryterium zawartości reaktywnego CaO (maksymalnie 10% masy popiołu) dają wystarczający dowód na to, że dalsze ograniczanie zawartości wolnego CaO jest zbędne.

Wymagania dotyczące całkowitej zawartości związków fosforu

W dotychczasowej normie zawartość rozpuszczalnego w wodzie fosforanu (P_2O_5) nie powinna być większa niż 100 mg/kg popiołu. Oznaczenie to jest pracochłonne i nie zawsze daje powtarzalne wyniki. Natomiast popiół lotny otrzymywany przez spalanie wyłącznie pyłu węglowego należy uważać za spełniający to wymaganie. W proponowanych zmianach (EN 450-1 po zmianach) ogranicza się oznaczanie rozpuszczalnych fosforanów tylko do okresu początkowego dla popiołów lotnych ze współspalania otrzymywanych w nowych instalacjach. Natomiast w późniejszym okresie poddaje się ograniczeniu całkowitą zawartość fosforu (P_2O_5), która nie powinna być większa niż 5,0%. Rozwiązanie takie zaproponowano na podstawie liczy-

nych badań popiołu ze współspalania (rys. 2) oraz badań właściwości betonu z dodatkiem popiołu lotnego o podwyższonej zawartości P_2O_5 . Nie stwierdzono ich negatywnego wpływu na takie cechy betonu, jak urabialność, przyrost wytrzymałości, mrozoodporność i odporność na korozję chemiczną. Podwyższona zawartość związków fosforu może być stwierdzona przy współspalaniu z pyłem węglowym m.in. mączek młynskich i kostnych oraz osadów ściekowych. Popiół lotny otrzymany wyłącznie przez spalanie pyłu węglowego uważa się za spełniający to wymaganie. Pozostałe wymagania w nowelizowanej normie pozostają bez zmian w stosunku do zapisów normy EN 450:2005/A1:2007. Wyjątkiem jest zawartość MgO, oznaczenie którego ograniczono do okresu początkowego produkcji nowego rodzaju popiołu lotnego (dopuszczalna zawartość pozostała na niezmiennym poziomie i nie powinna być wyższa niż 4,0%).

prof. Zbigniew Giergiczyński
Politechnika Śląska
Górażdże Cement SA

Rys. 2. Zależność pomiędzy zawartością całkowitego i rozpuszczalnego fosforanu

