

Wojciech DROŻDŹ

Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie

Streszczenie rozprawy doktorskiej pt.:

**„WPŁYW POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO W
NA PRZEBIEG KOROZJI ALKALICZNEJ W BETONIE”**

Promotor:

dr hab. inż. Zbigniew Giergiczny, prof. nzw. w Pol. Śl.

Istnieje szereg czynników wpływających na obniżenie trwałości konstrukcji wykonanych z betonu. Jednym z nich są reakcje zachodzące pomiędzy zaczynem cementowym a kruszywem w betonie. Jest to tzw. korozja alkaliczna, często nazywana „rakiem” betonu, której skutki uwidaczniają się zazwyczaj po kilkunastu latach od zabudowy betonu. Najczęściej identyfikowanym rodzajem korozji alkalicznej w betonie jest reakcja alkalia-krzemionka (ASR: ang. alkali-silica reaction). Zachodzi ona pomiędzy alkaliami, a kruszywem zawierającym reaktywne formy krzemionki. Objawem tej reakcji są charakterystyczne spękania na powierzchni konstrukcji betonowej. Powstające spękania mogą prowadzić do „otwarcia” struktury betonu, tym samym zainicjowania kolejnych destrukcyjnych procesów w betonie (korozja siarczanowa, chlorkowa), znacząco obniżających jego właściwości mechaniczne. W przypadku mostów, tam czy nawierzchni drogowych zapewnienie ochrony przed korozją alkaliczną ma zatem fundamentalne znaczenie.

Stosowanie dodatków mineralnych w składzie cementu i/lub betonu jest jednym ze sposobów zapobiegania negatywnym skutkom reakcji alkalia-krzemionka. W krajach takich jak: USA, Kanada, Niemcy, Wielka Brytania czy Norwegia, wykazano w tym zakresie przydatność granulowanych żużli wielkopieczowych, pyłu krzemionkowego, naturalnych i sztucznych pucolan oraz popiołów lotnych krzemionkowych. W Polsce z powodu niejednoznacznych i nieaktualizowanych przez wiele lat metod badawczych ocena potencjalnej reaktywności alkalicznej kruszyw stosowanych do produkcji betonu stoi w większości przypadków pod znakiem zapytania. Jednoznaczne wyeliminowanie korozji

alkalicznej w betonie poprzez dobór niereaktywnego kruszywa jest zatem co najmniej wątpliwe. Środkiem zapobiegawczym natomiast są tzw. cementy specjalne NA o niskiej zawartości efektywnych alkaliów. Zgodnie z aktualną normą PN-B-19707, jako dodatek w składzie tych cementów uwzględnia się głównie granulowany żużel wielkopiecowy oraz popiół lotny krzemionkowy.

Aktualna norma na cementy powszechnego użytku PN-EN 197-1 wyróżnia dwa rodzaje popiołów lotnych: krzemionkowy (V) i wapienny (W), ubocznych produktów spalania węgla w kotłach pyłowych. Popiół lotny krzemionkowy (V) znajduje bardzo szerokie zastosowanie w technologii cementu i betonu. Cementy popiołowe stanowią największą grupę asortymentową cementów produkowanych w Polsce. Z kolei popiół lotny wapienny (W) pomimo swoich potencjalnych właściwości pucolanowych i hydraulicznych aktualnie nie jest stosowany w przemyśle cementowym i do produkcji betonu. Warto jednak podkreślić, że w Polsce rocznie, jako ubocznych produktów spalania węgla brunatnego w Elektrowni Bełchatów oraz Zespole Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin (PAK), powstaje około 5 mln ton tych popiołów lotnych. Z tej ilości tylko niewielka część jest zagospodarowywana, głównie w budownictwie komunikacyjnym do stabilizacji i wzmocnienia gruntu, a pozostała ilość składowana jest na hałdach.

Celem niniejszej rozprawy było określenie wpływu popiołu lotnego wapiennego (W), zastosowanego w składzie cementu, na przebieg reakcji alkalia-krzemionka w zaprawie/betonie. Teza pracy zakładała przydatność popiołu lotnego wapiennego w zapobieganiu reakcji alkalia-krzemionka w betonie.

Zakres rozprawy obejmował studium literaturowe oraz badania doświadczalne. W studium literaturowym przeanalizowano problematykę reakcji zachodzących pomiędzy alkaliami, a reaktywnym kruszywem w betonie oraz omówiono wpływ dodatków do cementu i betonu, w tym popiołu lotnego wapiennego, na przebieg procesu korozyjnego. Przedstawiono także metody oceny reaktywności kruszywa.

Przeprowadzona analiza literatury wykazała brak jednoznacznej opinii autorów na temat przydatności popiołów lotnych wapiennych w ograniczaniu korozji alkalicznej. Z jednej strony dane literaturowe określają minimalne ilości tego rodzaju popiołu, jako środka zapobiegawczego korozji alkalicznej, z drugiej, popiół ten zazwyczaj nie jest zalecany w praktycznych rekomendacjach. Z kolei w kraju w ogóle nie prowadzono badań określających wpływ popiołu lotnego wapiennego na przebieg korozji alkalicznej.

Część doświadczalna rozprawy obejmowała swoim zakresem charakterystykę popiołu lotnego wapiennego oraz cementów z jego udziałem, z podkreśleniem tych właściwości, które

mają wpływ na przebieg korozji alkalicznej w betonie. Program badań uwzględniał określenie wymywalności składników z popiołu lotnego wapiennego oraz ze stwardniałych zaczynów cementowych. Bezpośrednią ocenę przydatności tego popiołu w ograniczaniu negatywnych skutków reakcji alkalia-krzemionka przeprowadzono na podstawie krótko- i długoterminowych pomiarów ekspansji zapraw i betonów. Przedmiotem badań objęto cementy ze stałym dodatkiem popiołów lotnych wapiennych o zmiennym składzie chemicznym i fazowym oraz cementy z różną zawartością popiołu W. Program uwzględniał ponadto badania reakcji alkalia-krzemionka dla cementów wieloskładnikowych, zawierających, oprócz popiołu lotnego wapiennego, granulowany żużel wielkopiecowy, popiół lotny krzemionkowy lub wapień. Prowadzone obserwacje mikroskopowe z wykorzystaniem mikroskopu elektronowego SEM dostarczyły informacji na temat mikrostruktury zapraw i betonów, głównie pod kątem identyfikacji produktów reakcji alkalia-krzemionka w obecności popiołu lotnego wapiennego.

Badania laboratoryjne określające przebieg reakcji alkalia-krzemionka w obecności popiołu lotnego wapiennego prowadzono z uwzględnieniem wpływu: właściwości popiołów lotnych wapiennych, zawartości alkaliów w zastosowanych cementach portlandzkich CEM I (klinkierach portlandzkich) oraz zawartości popiołu lotnego wapiennego w cemencie.

Wpływ popiołu lotnego wapiennego, ze składu cementu, na przebieg reakcji alkalia-krzemionka oceniano stosując kruszywa o potwierdzonej reaktywności: naturalne kruszywo krzemionkowo-węglanowe oraz sztuczne kruszywo krzemionkowe.

Popiół lotny wapienny, będący ubocznym produktem spalania węgla brunatnego ze złóż okręgu bełchatowskiego, wykazuje właściwości hydrauliczne i pucolanowe. Aktywność hydrauliczną popiołu lotnego wapiennego należy wiązać z obecnością w jego składzie fazowym reaktywnych związków wapnia: anhydrytu, niezwiązanego tlenku wapnia (CaO wolny), belitu, glinianu trójwapniowego i ye'elimitu. Z kolei aktywność pucolanową popiołu lotnego wapiennego należy wiązać z obecnością reaktywnej krzemionki pochodzącej głównie ze szkliwa glino-krzemianowo-wapniowego.

Przeprowadzone badania własne wykazały przydatność cementów zawierających popiół lotny wapienny w zapobieganiu korozji alkalicznej betonu. Związane jest to z:

- bardzo niską zawartością alkaliów efektywnych wprowadzanych przez popiół lotny wapienny do cieczy porowej, co skutkuje obniżeniem stężenia jonów OH^- w fazie ciekłej zaczynu cementowego/betonu,
- obecnością w popiele lotnym wapiennym fazy szklistej glino-krzemianowo-wapniowej (źródło reaktywnej krzemionki), która reagując z wodorotlenkiem wapnia

w zaczynie cementowym tworzy fazę C-S-H o obniżonym stosunku Ca/Si, co zwiększa jej zdolność do adsorpcji jonów sodu i potasu,

- podwyższonym stężeniem glinu w fazie ciekłej zaczynu cementowego/betonu, który może ograniczać rozpuszczanie reaktywnej krzemionki pochodzącej ze składu kruszywa,
- mikrostrukturą matrycy cementowej. Ziarna popiołu lotnego wapiennego oraz powstające w porach produkty jego hydratacji zwiększają szczelność mikrostruktury stwardniałego zaczynu, co utrudnia dyfuzję jonów sodu i potasu.

Stwierdzono również, że popiół lotny wapienny poddany aktywacji mechanicznej (zmieleniu) zwiększa efektywność ograniczenia ekspansji spowodowanej reakcją alkalia-krzemionka.

Oceniając efektywność popiołu lotnego wapiennego w zapobieganiu negatywnym skutkom przebiegu reakcji alkalia-reaktywna krzemionka ze składu kruszywa stwierdzono, że wprowadzenie popiołu lotnego wapiennego do składu cementu w ilości do 30% (cement portlandzki popiołowy CEM II/A,B-W) ogranicza ekspansję. Z kolei cement pucolanowy CEM IV/B (W) zawierający 50% popiołu lotnego wapiennego całkowicie niweluje negatywne skutki korozji alkalicznej betonu (brak ekspansji).

Zastosowanie popiołu lotnego wapiennego w składzie cementu w kompozycji z popiołem lotnym krzemionkowym [cement portlandzki wieloskładnikowy CEM II/B-M (V-W)] lub granulowanym żużlem wielkopiecowym [cement CEM X o nienormowej zawartości mieszanego dodatku (S-W) powyżej 50%] wskazuje na występowanie efektu synergii (wyższa skuteczność) w eliminowaniu negatywnych skutków korozji alkalicznej betonu.

Wojciech Dusiński