

mgr inż. Karolina Knapik*

dr hab. inż. Joanna Bzówka, prof. Pol. Śl.*

Badanie wytrzymałości mieszanek gruntowo-spoiwowych zawierających popioły lotne

Compression strength tests results of soil – binder specimens made with addition of fly ash

Obecnie w Polsce ok. 90% energii elektrycznej pochodzi ze spalania węgla kamiennego i brunatnego w elektrowniach i elektrociepłowniach. Z uwagi na konieczność ograniczenia emisji szkodliwych substancji do atmosfery powszechnie stosowane kotły pyłowe coraz częściej zastępowane są kotłami fluidalnymi. Skład chemiczny fluidalnych popiołów lotnych i ich mikrostruktura zasadniczo różni się od popiołów lotnych otrzymywanych ze spalania węgla w kotłach pyłowych. W porównaniu z popiołami lotnymi z palenisk konwencjonalnych popioły fluidalne nie zawierają szkła i mullitu. Wykazują jednak aktywność pucolanowo-hydrauliczną [1]. Mogą więc być przydatne do wzmocnienia gruntów.

W artykule przedstawimy wyniki wstępnych badań prowadzonych na potrzeby wykorzystania popiołów lotnych z fluidalnego spalania węgla do celów wzmocnienia podłoża gruntowego.

Zastosowane materiały i przygotowanie próbek

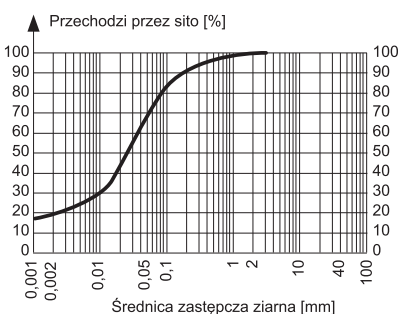
Do wykonania mieszanek gruntowo-spoiwowych zastosowano: spoiwo – popiół lotny z fluidalnego spalania węgla, cement CEM I 42,5R i cement CEM III 42,5N, grunt – niespoisty (piasek) oraz spoisty (pył). Krzywą uziarnienia gruntu niespoistego, otrzymaną na podstawie analizy sitowej, przedstawiono na rysunku 1. Stwierdzono, że badany grunt to piasek drobny z pyłem siF₅a, równomiernie uziarniony. Zawartość części organicznych, oznaczona metodą prażenia w temperaturze 700 °C, wynosiła $I_{om} = 0,5\%$.

Krzywą uziarnienia gruntu spoistego, otrzymaną na podstawie analizy areometrycznej, przedstawiono na rysunku 2. Stwierdzono, że badany grunt to pył z iłem cISi. Zawartość części organicznych, oznaczona metodą prażenia w tempera-

* Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa



Rys. 1. Krzywa uziarnienia gruntu niespoistego



Rys. 2. Krzywa uziarnienia gruntu spoistego

turze 700 °C, wynosiła $I_{om} = 3,56\%$ (grunt niskoorganiczny zgodnie z EN ISO 14688-2:2004 *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie*). Stwierdzono zawartość węgla wapnia w reakcji z roztworem kwasu solnego.

Przy sporządzaniu mieszanek przyjęto:

- stały stosunek wodno-spoiwowy równy 1;
- stały stosunek masy spoiwa do masy gruntu wynoszący 0,25.

W celu określenia wpływu rodzaju spoiwa na wytrzymałość na ściskanie mieszaniny gruntowo-spoiwowej zaprojektowano 10 różnych składów mieszanek. W mieszankach, w których spoiwo stanowił cement i popiół lotny, przyjęto stosunek wagowy tych materiałów 1 : 1. Dla wszystkich mieszanek wykonano po 3 próbki w formach walcowych, których średnica wewnętrzna i wysokość wynosiła 8 cm. Wytrzymałość na ściskanie określono po 3 i 28 dniach od wykonania próbek.

Przygotowanie próbek gruntowo-spoiwowych obejmowało: wysuszenie gruntu do stałej masy; roztarcie wysuszonego gruntu spoistego cISi w młynie kulowym, w celu umożliwienia właściwego wymieszania gruntu ze spoiwem; odważenie potrzebnej masy gruntu, spoiwa i wody; wstępne wymieszanie suchych składników (gruntu i spoiwa); dozowanie wody do suchych składników mieszanki z jednoczesnym mieszanym z zastosowaniem ręcznej wiertarki wyposażonej w końcówkę mieszającą; mieszanie składników do momentu uzyskania jednorodnej mieszanki; pokrycie wnętrza formy cienką warstwą oleju, w celu ułatwienia późniejszego rozformowania; umieszczenie mieszanki w formach bez jej zagęszczenia – przyjęta metodyka miała na celu oszacowanie przydatności zastosowanego popiołu do metod wzmocnienia podłoża gruntowego, w których sposób zagęszczenia nie jest kontrolowany. Zauważono, że na konsystencję otrzymanej mieszanki ma wpływ rodzaj i ilość użytego spoiwa. W przypadku zastosowania piasku i cementu, konsystencja mieszanki pozwalała na umieszczenie jej w formach przez wlanie bezpośrednio z pojemnika, w którym odbywało się mieszanie składników. Dodatek popiołu lotnego spowodował, że umieszczenie materiału w formach możliwe było jedynie z zastosowaniem szpachli. W przypadku, gdy do sporządzenia mieszanek zastosowano grunt spoisty cISi, konsystencja mieszanki, niezależnie od rodzaju użytego spoiwa, przybierała formę plastycznego gruntu spoistego.

Z uwagi na przyjęty w metodyce badań brak zagęszczenia materiału w formach, zawartość pustych przestrzeni w próbkach wykonanych z wykorzystaniem gruntu spoistego była zauważalnie większa niż w przypadku próbek, do wykonania których zastosowano grunt niespoisty. Rozformowanie następowało w momencie, gdy mieszanka gruntowo-spoiwowa uży-

skiwała wytrzymałość, która pozwalała na wyciągnięcie próby bez ryzyka jej uszkodzenia, tzn. po ok. 2 dniach. Z uwagi na małą wytrzymałość twardniejących mieszanek w początkowym okresie wiązania i twardnienia, umieszczenie próbek w pojemnikach z wodą następowało po upływie 4 dni (wcześniejszy termin skutkowało rozmakaniem materiału).

Wyniki badań

Badania wytrzymałości przeprowadzono z wykorzystaniem prasy FORM + TEST PRÜFSYSTEME Mega 3-3000-100 S. Z uwagi na fakt, że próbki były umieszczane w wodzie po czterech dniach od spreparowania, wytrzymałość na ściskanie po 3 dniach była badana na suchych próbkach. Analiza wyników pozwala stwierdzić, że:

- wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie uzyskano w gruntach niespoistych, w porównaniu z wynikami otrzymanymi dla gruntów spoistych;

- najwyższe wartości wytrzymałości otrzymano dla mieszanek, w których spoiwem był wyłącznie cement CEM I – średnia wartość dla piasków to 2,04 MPa, natomiast średnia wartość dla pyłów to 1,53 MPa;

- zastąpienie 50% cementu CEM I popiołem lotnym nie wpływa znacząco na zmianę wytrzymałości na ściskanie mieszanki wykonanej z wykorzystaniem piasku;

- zastąpienie 50% cementu CEM I popiołem lotnym powoduje obniżenie wytrzymałości na ściskanie mieszanki wykonanej z wykorzystaniem pyłu o ok. 88%;

- najniższe wartości wytrzymałości uzyskano dla mieszanek, w których jako spoiwo zastosowano wyłącznie popiół lotny – średnia wartość dla piasków to 0,10 MPa, natomiast średnia wartość dla pyłów to 0,04 MPa;

- zastąpienie cementu CEM III popiołem lotnym w ilości 50% spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie – o 58% w przypadku mieszanek wykonanych z wykorzystaniem piasków oraz o 13% w przypadku mieszanek wykonanych z wykorzystaniem pyłów.

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach pozwalają stwierdzić, że:

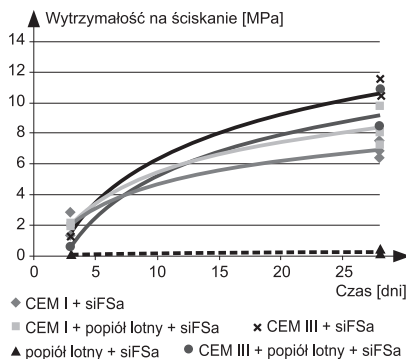
- najwyższe wartości otrzymano dla mieszanek, w których jako spoiwo zastosowano wyłącznie cement CEM III – średnia wartość dla piasków to 10,56 MPa, natomiast średnia wartość dla pyłów to 2,11 MPa;

- zastąpienie 50% cementu popiołem lotnym pozwoliło na uzyskanie zbliżonych

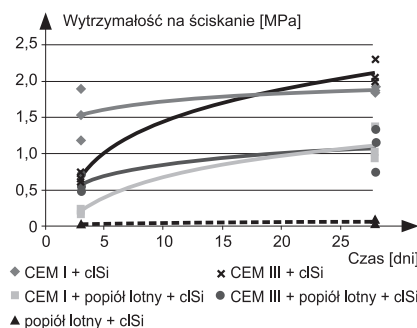
lub wyższych wartości wytrzymałości na ściskanie w porównaniu z mieszankami, w których jako spoiwo zastosowano wyłącznie cement CEM I (średnia wartość: 8,9 MPa dla mieszanki CEM I + siFSA, 8,4 MPa dla mieszanki CEM I + popiół lotny + siFSA, 9,2 MPa dla mieszanki CEM III + popiół lotny + siFSA);

- we wszystkich przypadkach zastąpienie cementu popiołem lotnym w ilości 50% spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie – o 5% dla mieszanki CEM I + siFSA, o 13% dla mieszanki CEM III + siFSA, o 41% dla mieszanki CEM I + cISi oraz o 49% dla mieszanki CEM III + cISi.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono zmianę wytrzymałości na ściskanie w funkcji czasu, opisaną liniami trendu.



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek wykonanych z wykorzystaniem piasku siFSA, badana po 3 i 28 dniach



Rys. 4. Wytrzymałość na ściskanie próbek wykonanych z wykorzystaniem pyłu cISi, badana po 3 i 28 dniach

Wnioski

Z przeprowadzonych badań wstępnych wynika, że popiół lotny z fluidalnego spalania węgla może być potencjalnie wykorzystany do wzmacniania podłoża gruntowego. Powinien być jednak stosowany wraz z innym spoiwem, np. cementem (z uwagi na brak satysfakcjonujących rezultatów w przypadku zastosowania popiołu lotnego jako jedynego spoiwa w mieszance).

Wytrzymałość na ściskanie próbek jest związana zarówno z rodzajem gruntu, jak i rodzajem zastosowanego spoiwa. Najwyższe wytrzymałości uzyskano w przypadku piasków z zastosowaniem cementu CEM III. Zastąpienie 50% cementu popiołem lotnym, powstałym z fluidalnego spalania węgla, spowodowało obniżenie wytrzymałości na ściskanie, przy czym w gruncie spoistym po 28 dniach pielęgnacji próbek efekt ten był zauważalnie większy. W przypadku badanego gruntu spoistego na uzyskane rezultaty mogła wpłynąć zawartość części organicznych wynosząca 3,56%. Należy również zaznaczyć, że mieszanki były układane w formach bez zagęszczenia. W przypadku próbek odpowiednio zagęszczonych w aparacie Proctora można się spodziewać wyższych wartości wytrzymałości na ściskanie.

Streszczenie

Wykorzystanie materiałów powstałych jako uboczny produkt spalania węgla w elektrowniach i elektrociepłowniach do celów wzmacniania podłoża gruntowego może stanowić korzystną ekonomicznie alternatywę dla powszechnie stosowanego cementu. Właściwości fizyczne i chemiczne popiołów lotnych są związane ze składem chemicznym spalanych surowców, miejscem wydobycia węgla oraz technologią spalania. Stąd też wynika fakt, że popioły lotne pochodzące z różnych elektrowni mogą się znacząco różnić pod względem przydatności do wykorzystania w dziedzinie geotechniki. W artykule przedstawiono wyniki wstępnych badań prowadzonych na potrzeby wykorzystania popiołów lotnych z wybranej elektrowni stosującej fluidalne spalanie węgla.

Słowa kluczowe: popiół lotny, fluidalne spalanie węgla, grunt spoisty, grunt niespoisty, wytrzymałość na ściskanie.

Abstract

Using waste materials from coal combustion in power plants and thermal power stations for ground improvement can provide beneficial alternative for commonly used cement. Physical and chemical composition of fly ash are connected with the chemical composition of combusted raw materials, their origin place and technology of combustion. Hence the fact, that fly ash from different power plants can vary significantly in terms of application for use in the field of geotechnical engineering. Paper presents initial test results made for the use of fly ash from power plant, in which fluidized combustion is used.

Literatura

[1] Giergiczny Z. (2006): Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków.