

Wpływ temperatury na ścisłość mieszaniny gruntu drobnoziarnistego i popiołu lotnego

Dr inż. Karolina Knapik-Jajkiewicz – Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Mgr inż. Justyna Kocon

Popiół lotny z kotłów fluidalnych jest tanim materiałem, mogącym wykazywać cenne właściwości wiążące. Do chwili obecnej polska energetyka w przeważającej części jest oparta na spalaniu węgla, a działania mające na celu ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery przy jednoczesnym zapewnieniu efektywnego spalania paliw przyczyniły się do powstania nowych kotłów fluidalnych na terenie Polski. Wynikająca z eksplo-

atacji kotłów fluidalnych większa ilość produktów ubocznych spalania sprawiła, że rozpoczęto badania nad ich wykorzystaniem w różnych gałęziach budownictwa, w tym w geoinżynierii.

Analizy przedstawione w niniejszym artykule stanowią kontynuację programu eksperymentalnego przedstawionego w pracy [4], mającego na celu określenie przydatności popiołu lotnego z kotłów fluidalnych na potrzeby wzmocnienia podłoża grunto-

wego. Wahań temperatury powietrza na terenie Polski wynoszą od minusowych w miesiącach zimowych do ponad 30°C w miesiącach letnich, co sprawia, że na przestrzeni roku zmienia się temperatura przypowierzchniowych warstw podłoża gruntowego. Powyższa obserwacja stanowi przesłankę do przeprowadzenia badań określających wpływ temperatury przechowywania próbek na zmiany ścisłości mieszaniny gruntu drobnoziarnistego i popiołu lotnego z procesu fluidalnego spalania węgla.

MATERIAŁY WYKORZYSTANE W BADANIACH

Grunt drobnoziarnisty wykorzystany w badaniach uzyskano w wyniku wyflukania drobnych frakcji z naturalnego gruntu gruboziarnistego. Krzywa uziarnienia gruntu otrzymana na podstawie przeprowadzonej analizy sitowej i areometrycznej (rys. 1) wskazuje na zawartość frakcji piaszczystej (7,3%), pylastej (60,7%) i ilastej (32,0%). Zgodnie z [3] badany grunt sklasyfikowano jako siCl (ił z pyłem). Granica plastyczności gruntu wynosi 19%, a granica płynności 28%, co pozwoliło zakwalifikować badaną próbkę jako grunt o niskiej plastyczności, zgodnie z [3]. Gęstość właściwa szkieletu gruntowego wynosi 2,6 g/cm³, a odczyn pH zbadany zgodnie z [2] wynosi 6,2.

Popiół lotny wykorzystany w badaniach pochodził ze spalania węgla kamiennego i mułów węglowych w kotle elektrowni wykorzystującym technologię spalania fluidalnego. Odczyn pH tego materiału zbadany zgodnie z [2] wynosi 12,6. Badanie uziarnienia wykazało, że próbka składała się z frakcji piaszczystej (46,0%), pylastej (42%) i ilastej (12,0%) [4]. Zgodnie z [3] badaną próbkę sklasyfikowano jako ciSi/siCl (pył z iłem na pograniczu iłu z pyłem). Skład chemiczny próbki zbadany z wykorzystaniem fluorescencji rentgenowskiej przedstawiono w tabl. 1.

Właściwości pucolanowe próbki popiołu lotnego wykorzystanego w badaniach przedstawiono i omówiono w pracy [4]. Zawartość w popiele lotnym minerałów ilastych poddanych termicznej transformacji w kotle oraz obecność reaktywnego wolnego tlenku wapnia powstałego w temperaturze spalania wynoszącej około 750°C sprawia, że w materiale tym zachodzą reakcje wiązania na skutek jego zmieszania z wodą. Wraz z upływem czasu w popiele lotnym spada zawartość portlandytu oraz anhydrytu. Jednocześnie obserwowany jest wzrost zawartości hydratów w formie amorficznej i krystalicznej. Analiza termogravimetryczna potwierdziła obecność hydratów w formie

Tabl. 1. Skład chemiczny popiołu lotnego [4]

Składnik	Zawartość [%]
SiO ₂	41,94
Al ₂ O ₃	20,18
Fe ₂ O ₃	6,21
CaO	16,68
CaO _{free}	4,92
MgO	1,78
SO ₃	6,12
Na ₂ O	1,02

amorficznej po 7 dniach od momentu zmieszania próbki popiołu lotnego z wapnem i wodą [4]. Obecność etryngitu oraz niewielkiej ilości uwodnionych glinianów wapnia w formie krystalicznej potwierdzono na podstawie analizy rentgenowskiej wykonanej po 14 dniach [4]. Jak wykazano na przykładzie mieszaniny kaolinu Speswhite oraz popiołu lotnego z procesu fluidalnego spalania węgla powstawanie hydratów przyczynia się do redukcji ścisłości, wzrostu spójności oraz zmiany uziarnienia wraz z upływem czasu. Jednocześnie obserwowany jest spadek odczynu pH jako rezultat reakcji chemicznych zachodzących w wiążących mieszaninach [4].

PROGRAM BADAŃ

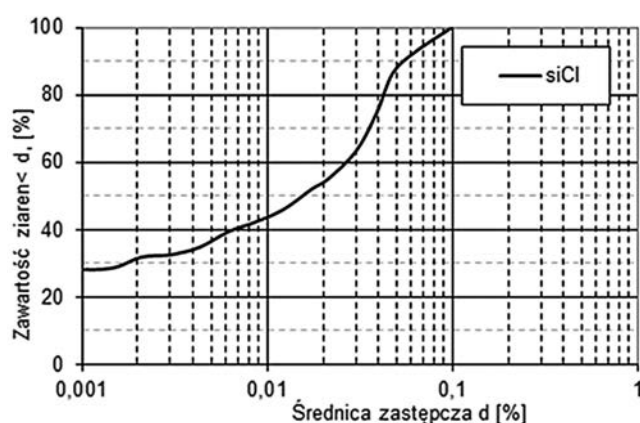
Program badań obejmował przygotowanie próbek o składzie przedstawionym w tabl. 2. Każda próbka miała wilgotność początkową wynoszącą 30%.

Temperatura pokojowa wahała się w granicach 20 ÷ 25°C, natomiast warunki niskiej temperatury odpowiadały 4 ÷ 5°C. Wszystkie próbki zabezpieczono przed utratą wilgotności oraz przed kontaktem z powietrzem atmosferycznym ze względu na ryzyko karbonatyzacji mogącej zakłócać reakcje powstawania hydratów.

W celu zbadania wpływu temperatury przechowywania próbek na zmianę ich ścisłości wraz z upływem czasu próbki przebadano w edometrze. Każdą mieszkankę bezpośrednio po zmieszaniu z wodą układano warstwami w pierścieniu edometrycznym. Podczas tej czynności masa mieszaniny w pierścieniu była kontrolowana, w celu uzyskania próbek o $S_r = 1$. Następnie

Tabl. 2. Nazwy i skład badanych próbek wraz z temperaturą ich przechowywania

Nazwa próbki	Ilość popiołu lotnego / 100 g gruntu	Warunki przechowywania próbek
Grunt	-	Temperatura pokojowa
FA 20_C	20	Niska temperatura
FA 20_W	20	Temperatura pokojowa
FA 40_C	40	Niska temperatura
FA 40_W	40	Temperatura pokojowa



Rys. 1. Krzywa uziarnienia gruntu

próbki owinięto nieprzepuszczalną folią i umieszczono w temperaturze pokojowej lub obniżonej, w zależności od ich zamierzonego przeznaczenia. Ścisłość zbadano przed upływem 24 h (dzień „0”) oraz w dniu 7 i 28 od momentu przygotowania próbek. Badania wykonano zgodnie z [1] (metoda „B”) w celu skrócenia czasu badania ze względu na zachodzące w mieszaninach reakcje powstawania hydratów. Przedstawione wyniki badań obejmują wykresy ścisłości, na których największe obciążenie pionowe działające na górną powierzchnię próbek wyniosło 815 kPa.

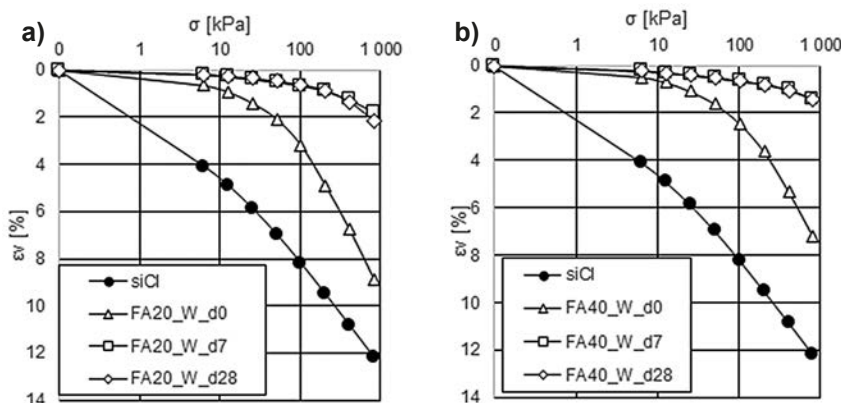
Dodatkowo zbadano wpływ temperatury na zmianę odczynu pH wraz z upływem czasu. W tym celu próbki przechowywano w warunkach temperatury pokojowej i temperatury obniżonej, podobnie jak w przypadku próbek przeznaczonych do badania w edometrze. Każdą z próbek umieszczono w osobnym, dokładnie zamkniętym pojemniku o objętości 20 ml w celu ograniczenia karbonatyzacji. Odczyn pH mieszanin gruntowo-popiołowych zbadano zgodnie z [2] w 1, 7, 11, 14 oraz 28 dniu od momentu przygotowania próbek.

WYNIKI BADAŃ I OBSERWACJE

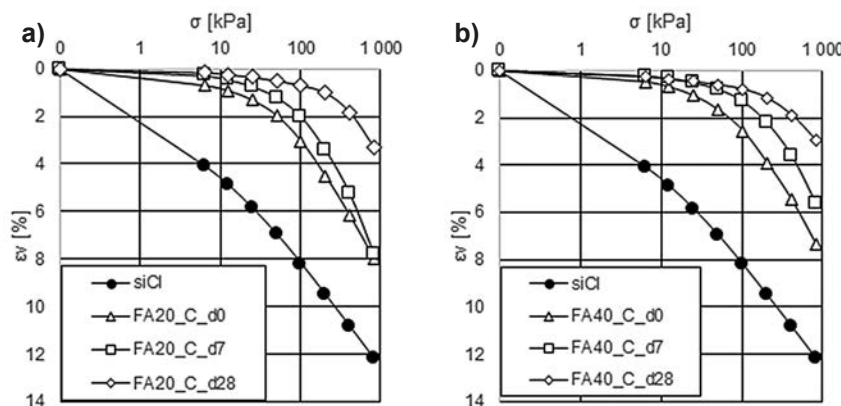
Krzywe ścisłości uzyskane na podstawie badań edometrycznych przeprowadzonych dla gruntu i mieszanin przechowywanych w temperaturze pokojowej oraz temperaturze obniżonej przedstawiono na rys. 2 i 3.

Z analizy wyników badań edometrycznych (rys. 2 i 3) wynika, że dodatek popiołu lotnego do gruntu drobnoziarnistego powoduje redukcję ścisłości w ciągu pierwszej doby od momentu przygotowania próbki w odniesieniu do gruntu drobnoziarnistego, co stanowi potwierdzenie obserwacji zawartych w pracy [4]. Efekt ten może być związany zarówno z wprowadzeniem do gruntu drobnoziarnistego materiału o większej zawartości frakcji piaszczystej i pyłastej, jak również ze zmianą składu chemicznego cieczy porowej. W wyniku zmieszania popiołu lotnego z wodą do roztworu przedostają się składniki chemiczne, które mogą sprzyjać flokulacji cząstek drobnoziarnistych.

Kolejna obserwacja wynikająca z badań edometrycznych to redukcja ścisłości mieszanin przechowywanych w temperaturze pokojowej głównie w ciągu pierwszych 7 dni (rys. 2a i b). Odszańcenie objętościowe pod obciążeniem 815 kPa zredukowano do 2,1% w mieszaninie z dodatkiem 20% popiołu lotnego oraz do 1,4% w mieszaninie z dodatkiem 40% popiołu lotnego. W ciągu kolejnych 3 tygodni ścisłość mieszanin przechowywanych w temperaturze pokojowej nie uległa znacznej zmianie. Obniżenie temperatury przechowywania próbek do około $4 \div 5^{\circ}\text{C}$ spowodowało spowolnienie zmian zachodzących w ścisłości mieszanin wraz z upływem czasu (por. rys. 2a z rys. 3a).



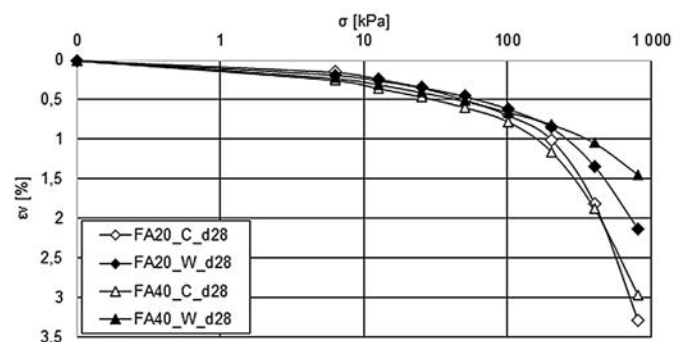
Rys. 2. Krzywe ścisłości uzyskane w dniu 0, 7 i 28 dla mieszanin przechowywanych w warunkach temperatury pokojowej
a) mieszanina FA20_W; b) mieszanina FA40_W (na podstawie [5])



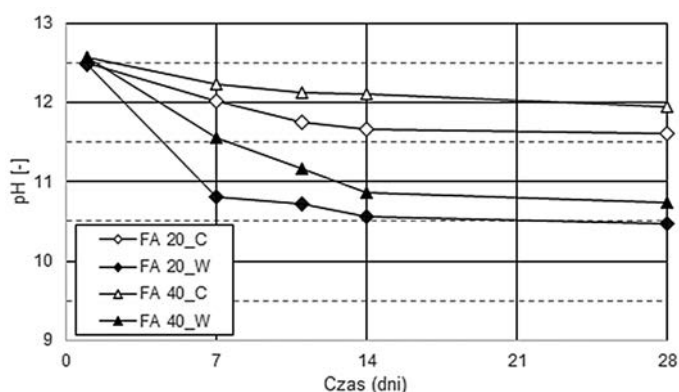
Rys. 3. Krzywe ścisłości uzyskane w dniu 0, 7 i 28 dla mieszanin przechowywanych w warunkach niskiej temperatury
a) mieszanina FA20_C; b) mieszanina FA40_C (na podstawie [5])

oraz 2b z rys. 3b). Po 7 dniach wartości odkształcenia objętościowego uzyskane dla mieszaniny FA 20_C są zbliżone do tych, które uzyskano podczas badania w dniu 0. W ciągu kolejnych 3 tygodni ściśliwość tej mieszaniny ulega redukcji. Krzywa ściśliwości uzyskana dla mieszaniny FA 40_C po 7 dniach znajduje się pomiędzy krzywymi uzyskanymi w badaniach przeprowadzonych w dniu 0 i 28.

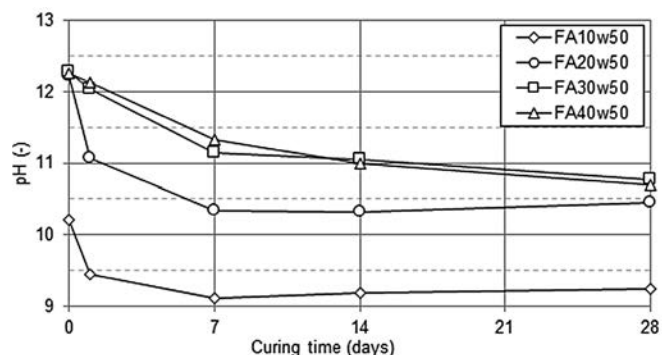
Wyniki uzyskane dla wszystkich mieszanin badanych po 28 dniach przedstawiono na rys. 4. Można zauważyć, że w warunkach obniżonej temperatury ściśliwość mieszanin gruntu drobnoziarnistego i popiołu lotnego jest wyższa w porównaniu do mieszanin o tym samym składzie, lecz przechowywanych



Rys. 4. Krzywe ściśliwości uzyskane z badań edometrycznych przeprowadzonych po 28 dniach na próbkach przechowywanych w różnych temperaturach otoczenia



Rys. 5. Zmiany odczynu pH mieszanin FA20 i FA40 przechowywanych w temperaturze pokojowej i temperaturze obniżonej obserwowane wraz z upływem czasu



Rys. 6. Zmiany odczynu pH obserwowane wraz z upływem czasu – mieszaniny o wilgotności początkowej wynoszącej 50% (por. [4])

w temperaturze pokojowej. Wyższa zawartość popiołu lotnego przyczynia się do redukcji ściśliwości, przy czym efekt ten jest bardziej wyraźny dla mieszanin przechowywanych w temperaturze pokojowej.

Na rys. 5. można zauważyć, że wartość pH mieszanin przechowywanych w temperaturze pokojowej spada gwałtownie w ciągu pierwszych 7 dni, a zastosowanie większej ilości popiołu lotnego przyczynia się do utrzymania wartości pH na wysokim poziomie przez dłuższy czas. Podobny trend uzyskano w badaniach przeprowadzonych na mieszaninach kaolinu Spe-swhite i tego samego popiołu lotnego, jak omówiono w pracy [4].

W pracy [4] potwierdzono brak zmian ściśliwości dla mieszaniny FA10w50 (10% dodatku popiołu lotnego), której odczyn pH obniżył się do wartości 9,1 w ciągu pierwszego tygodnia od momentu przygotowania próbek (rys. 6).

Z przeprowadzonych badań wynika, że wartości pH wszystkich mieszanin gruntowo-popiołowych nie osiągają wartości zbliżonych do 9, a ich ściśliwość ulega redukcji wraz z upływem czasu, co stanowi potwierdzenie obserwacji zawartych w pracy [4]. Obniżona temperatura przechowywania próbek przyczynia się do spowolnienia spadku wartości pH, co może być związane z opóźnieniem reakcji chemicznych zachodzących w mieszaninach gruntowo-popiołowych.

PODSUMOWANIE

Na podstawie przedstawionych wyników i analiz można stwierdzić, że:

- dodatek popiołu lotnego do gruntu drobnoziarnistego przyczynił się do redukcji ściśliwości w krótkim czasie,
- ściśliwość mieszanin gruntowo-popiołowych przechowywanych w temperaturze pokojowej ulega znacznej redukcji w ciągu pierwszych 7 dni,
- niższa temperatura otoczenia przyczynia się do spowolnienia redukcji ściśliwości i wartości pH.

LITERATURA

1. ASTM-D 2435-96:1998 Standard test method for one-dimensional consolidation properties of soils
2. ASTM-D 4972-01 1998 Standard test method for pH of soils
3. EN ISO 14688-2:2006/Ap2 Poprawka do polskiej normy. Dotyczy PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
4. Knapik K.: Experimental and numerical analyses of fly ash from fluidized bed combustion applications for selected ground improvement. (PhD thesis, Silesian University of Technology). Poland, Gliwice 2016.
5. Kocon J.: Wpływ temperatury przechowywania mieszaniny gruntu drobnoziarnistego i popiołu lotnego z procesu fluidalnego spalania węgla na jej ściśliwość (The influence of storing temperature of the mix of fine grained soil and fly ash from fluidized bed combustion on its compressibility. Master thesis, Silesian University of Technology). Poland, Gliwice 2018.