

Wpływ stabilizacji mieszanki popiołowo-żużlowej cementem na jej wytrzymałość na ścinanie

Andrzej Gruchot, Justyna Paclawska

W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów wytrzymałości na ścinanie mieszanki popiołowo-żużlowej pobranej ze składowiska Elektrowni „Skawina”. Badania zostały przeprowadzone na mieszaninie z 3 i 6% dodatkiem stabilizatora w postaci cementu portlandzkiego klasy 32,5R. W badaniach przyjęto 7- i 28-dobowy czas pielęgnacji powietrzno-wodnej próbek oraz pielęgnację z 3 i 14 cyklami zamrażanie-odmrażanie. Uzyskano wyższe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności w stosunku do mieszanki bez dodatku cementu. Czas, rodzaj pielęgnacji próbek, jak również dodatek spoiwa miały istotne znaczenie na uzyskane wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie.

Artykuł recenzowany zgodnie z wytycznymi MNiSW data zgłoszenia do redakcji: 26.03.2012 data akceptacji do druku: 15.06.2012



dr inż. Andrzej Gruchot
Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie
Katedra Inżynierii Wodnej
i Geotechniki
mgrucho@cyf-kr.edu.pl



inż. Justyna Paclawska
Srogów Dolny

Tab.1: Charakterystyka geotechniczna mieszanki popiołowo-żużlowej

Parametr	Wartość		
	Próbka		średnia
	1	2	
Zawartość frakcji [%]:			
- żwirowa Gr: 63 ÷ 2 mm	13,7	13,7	13,7
- piaskowa Sa 2 ÷ 0,063 mm	62,8	64,3	63,5
- pyłowa Si 0,063 ÷ 0,002 mm	21,9	20,3	21,1
- ilowa Cl < 0,002 mm	1,6	1,7	1,7
Nazwa wg [PN-EN ISO 14688-2:2006]	siSa	siSa	siSa
	Piasek pylasty		
Zawartość cząstek [%]:			
≤ 0,075 mm	24,5	24,5	24,5
≤ 0,02 mm	12,0	12,0	12,0
Wskaźnik różnoziarnistości [-]	13,5	13,5	13,5
Gęstość właściwa szkieletu [t · cm ⁻³]	2,53	2,54	2,54
Wilgotność optymalna* [%]	30,0	31,2	30,6
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu* [t · cm ⁻³]	1,25	1,28	1,27

*za [5]

Intensywny rozwój budownictwa komunikacyjnego wymaga pozyskiwania nowych źródeł materiałów ziemnych do budowy nasypów. Z drugiej strony przemysł wydobywczy, energetyczny czy metalurgiczny generuje olbrzymie ilości odpadów, które w wielu przypadkach cechują się dobrymi parametrami geotechnicznymi gwarantującymi ich przydatność w budownictwie drogowym [6]. W Polsce około 15% wytworzonych odpadów stanowią popioły lotne i mieszanki popiołowo-żużłowe, a problem ich bezpiecznej utylizacji jest zagadnieniem złożonym [2]. Najczęściej są one wykorzystywane do produkcji ceramiki budowlanej oraz do robót inżynierijno-drogowych w budownictwie ziemnym. Ocena przydatności tych odpadów do celów budownictwa ziemnego powinna być każdorazowo poprzedzona określeniem ich właściwości geotechnicznych, w tym wytrzymałości na ścinanie [1], [6].

W wielu przypadkach grunty rodzime lub antropogeniczne nie spełniają wymogów odnośnych norm i wymagają polepszenia właściwości geotechnicznych, aby mogły stanowić podłoże budowlane lub materiał konstrukcyjny. Jednym ze sposobów poprawy tych właściwości są dodatki innych materiałów, np. odpowiednio przygotowanych spoiw hydraulicznych, a więc materiałów posiadających cechy wiążące [4], [7].

Cel i zakres badań

Celem badań było określenie wpływu 3 i 6% dodatku stabilizatora w postaci cementu portlandzkiego klasy 32,5R oraz zagęszczenia na parametry wytrzymałości na ścinanie, tj. kąta tarcia wewnętrznego i spójności mieszanki popiołowo-żużlowej pobranej ze składowiska Elektrowni „Skawina”.

Podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry zagęszczalności oznaczono me-

rodami standardowymi. Skład uziarnienia określono metodą łączoną – sitową (dla $d \geq 0,063$ mm) oraz areometryczną (dla $d < 0,063$ mm), a gęstość właściwą szkieletu – metodą kolby miarowej w wodzie destylowanej. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono w aparacie Proctora w cylindrze o objętości $2,2 \text{ dm}^3$ przy energii zagęszczania $0,59 \text{ J} \cdot \text{cm}^3$.

Badania wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono w standardowym aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce o wymiarach w przekroju poprzecznym 12×12 cm. Próbki z dodatkiem 3 i 6% cementu przygotowywano w formie o wymiarach $12 \times 12 \times 4,3$ cm przy wilgotności optymalnej i dwóch wskaźnikach zagęszczenia $I_s = 0,90$ i $1,00$, a następnie poddano 7- i 28-dobowej pielęgnacji powietrzno-wodnej oraz pielęgnacji o tym samym czasie trwania, ale odpowiednio z 3 i 14 cyklami zamrażanie-odmrażanie. Próbki po pielęgnacji ścinano przy prędkości $1,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ i obciążeniu o wielkości 50, 100, 200 i 300 kPa do uzyskania 10% odkształcenia poziomego próbki. Obliczenia parametrów wytrzymałości na ścinanie przeprowadzono metodą najmniejszych kwadratów dla kryterium ścinania odpowiadającemu wartości maksymalnej naprężeń ścinających [9], [10].

Wyniki badań - właściwości fizyczne

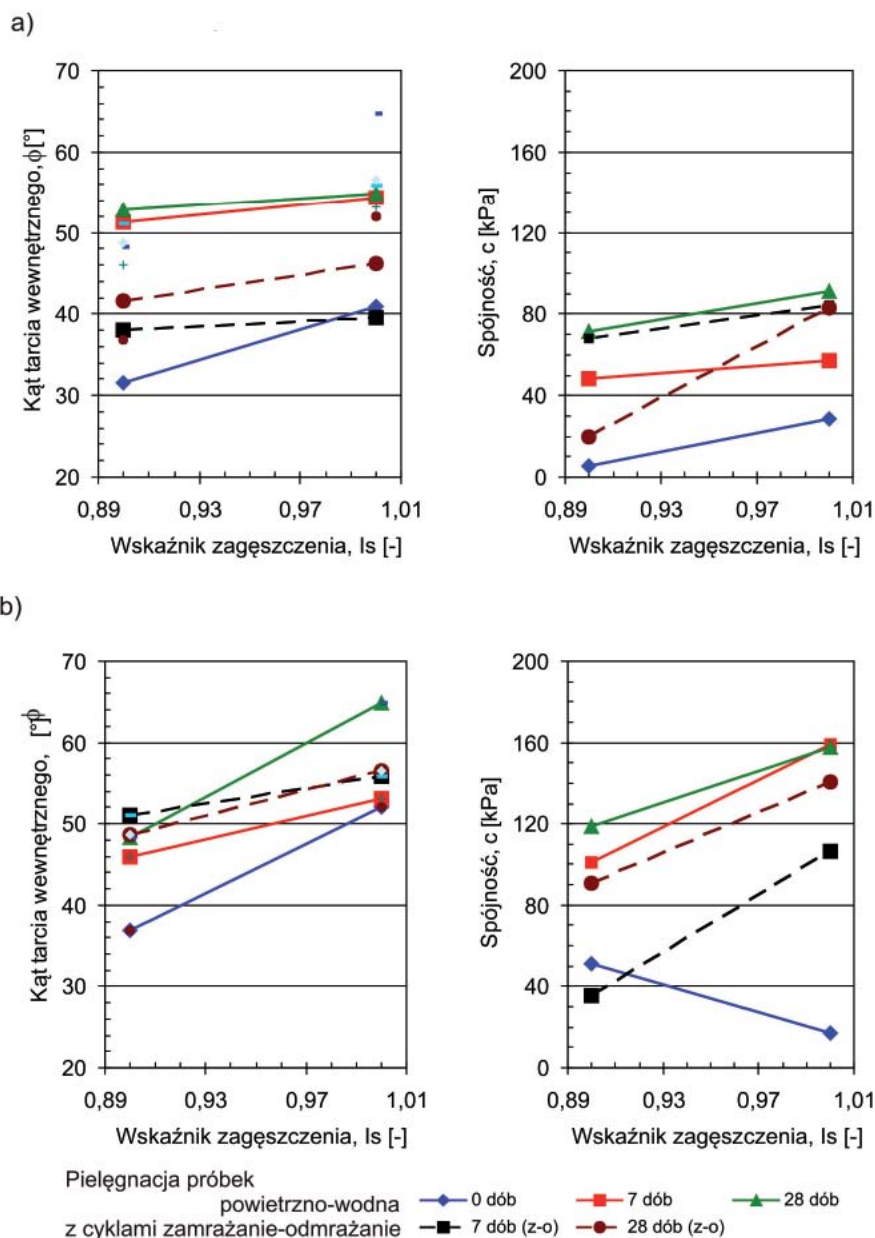
Według nomenklatury geotechnicznej mieszanka popiołowo-żużlowa została sklasyfikowana jako kilkufrakcyjne piaski pyłaste (s_isa) [9]. W składzie uziarnienia dominowała frakcja piaskowa w ilości około 64%, frakcji pyłowej było 21%, a ilowej około 2% (tab. 1). Zawartość frakcji żwirowej nie przekraczała 14%. Gęstość właściwa szkieletu wynosiła średnio $2,54 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Wyniki badań - parametry zagęszczalności

Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu mieszaniny bez dodatku cementu wynosiła $1,26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ przy wilgotności optymalnej około 31% [5]. Dodatek cementu w ilości 6 i 10% spowodował zwiększenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu odpowiednio do $1,36$ i $1,42 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Natomiast wilgotność optymalna zmniejszyła się do około 24,5 i 23% [3]. Do celów prezentowanych badań założono, że przy dodatku cementu w ilości 3% maksymalna gęstość objętościowa szkieletu wynosiła $1,32 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ przy wilgotności optymalnej 27,3%

Wyniki badań - wytrzymałość na ścinanie

Najwyższe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności uzyskano po 28 dobach



1. Wpływ zagęszczenia na parametry wytrzymałości na ścinanie mieszaniny popiołowo-żużlowej z dodatkiem cementu, a) 3% dodatku cementu, b) 6% dodatku cementu

pielęgnacji powietrzno-wodnej (tab. 2). Wartości kąta tarcia wewnętrznego przy 3% dodatku cementu i próbek o wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,90$ były większe o ponad 21° i blisko 14° dla $I_s = 1,00$ w stosunku do próbek poddanych badaniu po 1 godzinie od uformowania i średnio o 1° w stosunku do próbek po 7-dobowym czasie pielęgnacji (rys. 1). Zwiększenie dodatku cementu do 6% pozwoliło uzyskać wartości kąta tarcia wewnętrznego większe o ponad 11° przy wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,90$ i blisko 13° przy $I_s = 1,00$ w stosunku do próbek poddanych badaniu po 1 godzinie od momentu przygotowania i o 2° przy $I_s = 0,90$ i 12° przy $I_s = 1,00$ w stosunku do badań po 7-dobowym czasie pielęgnacji.

Wartości spójności dla mieszaniny z 3% dodatkiem cementu były większe o 66 kPa

przy $I_s = 0,90$ i o ponad 62 kPa przy $I_s = 1,00$ w stosunku do próbek poddanych badaniu po 1 godzinie od uformowania oraz o ponad 22 i 34 kPa w stosunku do próbek po 7-dobowym czasie. Spójność mieszaniny z 6% dodatkiem cementu była większa o blisko 68 kPa przy $I_s = 0,90$ i o ponad 148 kPa przy $I_s = 1,00$ w stosunku do próbek poddanych badaniu po 1 godzinie od uformowania oraz większe o ponad 17 kPa przy $I_s = 0,90$ i mniejsze o około 2 kPa przy $I_s = 1,00$ w stosunku do badań po 7-dobowym czasie pielęgnacji.

Zwiększenie ilości cykli zamrażanie-odmrażanie z 3 do 14 spowodowało zwiększenie kąta tarcia wewnętrznego i zmniejszenie spójności próbek mieszaniny z dodatkiem 3% cementu. Dla próbek o wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,90$ kąt tarcia wewnętrznego

Tab.2: Zestawienie wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności mieszanki popiołowo-żużlowej stabilizowanej dodatkiem cementu dla zastosowanego czasu pielęgnacji

Wskaźnik zagęszczenia I_s [-]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ [°]			Spójność c [kPa]		
	Dodatek cementu [%]					
	0*	3	6	0*	3	6
Czas pielęgnacji – 0 dób						
0,90	39,1	31,6	36,9	14,8	5,1	50,9
1,00	43,4	41,0	52,0	25,3	28,7	8,9
Czas pielęgnacji – 7 dób						
0,90	-	52,8	46,0	-	71,1	101,1
1,00	-	54,8	53,1	-	91,3	159,3
Czas pielęgnacji – 28 dób						
0,90	-	52,8	48,3	-	71,1	118,5
1,00	-	54,8	64,8	-	91,3	157,4
Czas pielęgnacji – 7 ^o dób (3 cykle zamrażania-odmrażania)						
0,90	-	38,1	51,1	-	67,9	35,5
1,00	-	39,6	55,8	-	84,5	106,7
Czas pielęgnacji – 28 ^o dób (14 cykli zamrażania-odmrażania)						
0,90	-	41,6	48,7	-	19,9	91,0
1,00	-	46,2	56,5	-	83,1	140,3

*za [5]

go zwiększył się o 3,5°, a spójność zmniejszyła się o 48 kPa. Podobnie przy zagęszczeniu $I_s = 1,00$ kąt tarcia wewnętrznego zwiększył się o blisko 7°, a spójność zmniejszyła się o około 2 kPa.

Natomiast dla próbek mieszanki z dodatkiem 6% cementu zwiększenie ilości cykli zamrażanie-odmrażanie z 3 do 14 spowodowało niezbyt duże zmiany kąta tarcia wewnętrznego nie przekraczające 2,5° oraz zwiększenie spójności o blisko 56 kPa przy $I_s = 0,90$ i o ponad 34 kPa przy $I_s = 1,00$.

Analizując wpływ pielęgnacji próbek z cyklami zamrażania i odmrażania na wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie w stosunku do pielęgnacji próbek powietrzno-wodnej stwierdzono ich znaczne zmniejszenie. Wielkość tych zmian zależała od dodatku cementu i zagęszczenia próbek (rys. 2).

W badaniach mieszanki popiołowo-żużlowej z 3% dodatkiem cementu zastosowanie 3 (łącznie 7 dób pielęgnacji) i 14 (łącznie 28 dób pielęgnacji) cykli zamrażanie-odmra-

żanie w stosunku do pielęgnacji powietrzno-wodnej o tym samym czasie trwania (7 i 28 dób) spowodowało zwiększenie kąta tarcia wewnętrznego o około 7 do 15°. Spójność próbek mieszanki o zagęszczeniu odpowiadającym $I_s = 0,90$ zmniejszyła się o ponad 19 kPa dla 7-dobowego czasu pielęgnacji i 51 kPa dla 28-dobowego czasu pielęgnacji, a dla próbek o zagęszczeniu równym $I_s = 1,00$ zmniejszyła się o ponad 27 kPa dla 7-dobowego czasu pielęgnacji i zwiększyła się o 8 kPa dla 28-dobowego czasu pielęgnacji.

Natomiast w badaniach mieszanki popiołowo-żużlowej z 6% dodatkiem cementu zastosowanie 3 i 14 cykli zamrażanie-odmrażanie spowodowało dla próbek o zagęszczeniu równym $I_s = 0,90$ zmniejszenie kąta tarcia wewnętrznego o 5° dla 7-dobowego czasu pielęgnacji i o 0,5° dla 28-dobowego czasu pielęgnacji oraz zwiększenie spójności odpowiednio do długości czasu pielęgnacji o 66 i 28 kPa. Natomiast dla próbek o zagęszczeniu $I_s = 1,00$ zmniejszenie

kąta tarcia wewnętrznego o 5° dla 7-dobowego czasu pielęgnacji i zwiększenie o ponad 8° dla 28-dobowego czasu pielęgnacji oraz zwiększenie spójności odpowiednio do czasu pielęgnacji o 53 i 14 kPa.

Porównanie wyników

Porównując uzyskane wyniki z badaniami wytrzymałości na ścinanie mieszanki popiołowo-żużlowej bez dodatku cementu [5] można stwierdzić, że dodatek cementu w ilości 3 i 6% w sposób istotny zwiększył wartości parametrów wytrzymałości na ścinanie.

Wartości kąta tarcia wewnętrznego mieszanki bez dodatku cementu były niższe w stosunku do mieszanki z obydwojma dodatkami cementu, dla której zastosowano pielęgnację powietrzno-wodną. Natomiast w odniesieniu do badań próbek mieszanki cyklicznie zamrażanych i odmrażanych wartości kąta tarcia wewnętrznego dla mieszanki bez dodatku cementu były wyższe w stosunku do mieszanki z 3% dodatkiem i niższe w stosunku do mieszanki z 6% dodatkiem cementu.

Wartości spójności mieszanki popiołowo-żużlowej bez dodatku cementu są znacznie niższe niż dla mieszanki z dodatkiem cementu, tak dla pielęgnacji powietrzno-wodnej, jak i pielęgnacji z cyklami zamrażania i odmrażania. Zakres różnic w wartościach zależy głównie od czasu pielęgnacji próbek. Jedynie spójność dla mieszanki poddanej 14 cyklom zamrażania i odmrażania jest zbliżona do wartości dla mieszanki bez dodatku cementu.

Wnioski

Analiza uzyskanych wyników badań wytrzymałości na ścinanie mieszanki popiołowo-żużlowej z Elektrowni „Skawina” z dodatkiem 3 i 6% cementu portlandzkiego klasy 32,5R pozwoliła na wyciągnięcie następujących wniosków:

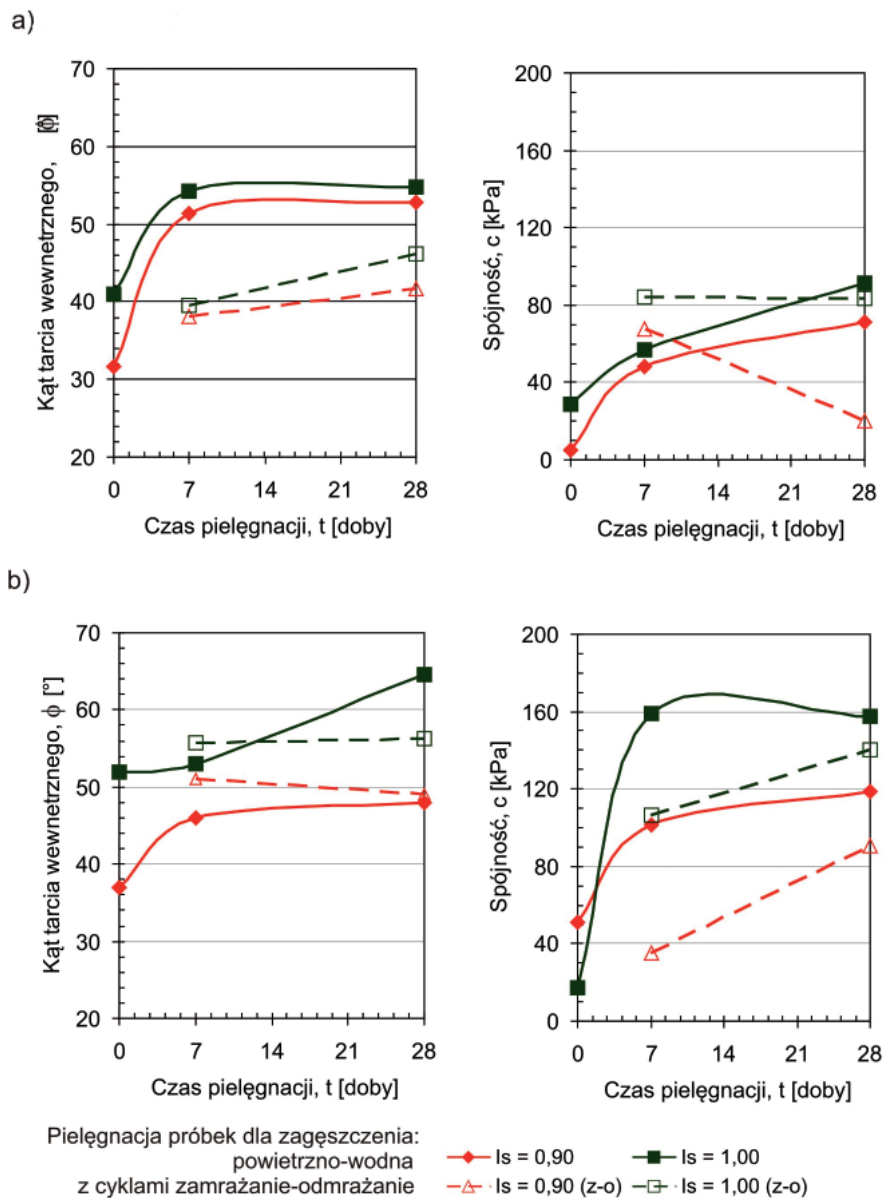
1. Badana mieszanka popiołowo-żużłowa z dodatkiem cementu charakteryzuje się wyższymi wartościami parametrów wytrzymałości na ścinanie w stosunku do mieszanki bez dodatku cementu.
2. Stwierdzono zwiększenie wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności wraz ze wzrostem wskaźnika zagęszczenia od $I_s = 0,90$ do 1,00.
3. Stwierdzono, że zastosowanie 7- i 28-dobowego czasu pielęgnacji powietrzno-wodnej spowodowało zwiększenie parametrów wytrzymałości na ścinanie mieszanki w stosunku do badań przeprowadzonych bezpośrednio po zagęszczeniu próbek.
4. Stwierdzono, że cykliczne zamrażanie i odmrażanie mieszanki spowodowało zmniejszenie wartości parametrów wy-

trzymałości na ścinanie w stosunku do badań mieszaniny podanej pielęgnacji powietrzno-wodnej.

5. Uzyskane wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności mieszaniny z dodatkiem cementu i pielęgnacji z cyklami zamrażanie-odmrażanie są generalnie wyższe od wartości uzyskanych dla mieszaniny bez dodatku cementu. Jedynie dla mieszaniny z 3% dodatkiem cementu zastosowanie zamrażania i odmrażania spowodowało zmniejszenie kąta tarcia wewnętrznego.

Materiał źródłowy

- [1] Duszyński A., Śliwińska-Serafin E.: 2007. Mieszanki popiołowo-żużlowe – identyfikacja dla zastosowania w budownictwie drogowym. Materiały konferencji „Popioły z Energetyki”, EKOTECH Sp. z o.o., Międzyzdroje - Szczecin.
- [2] Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A.: 2005. Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 21, Zeszyt 1, Kraków.
- [3] Gruchot A.: 2010. Wytrzymałość na ścinanie mieszaniny popiołowo-żużlowej w zależności od przyjętego kryterium zniszczenia. Drogownictwo. 7-8, 238-242.
- [4] Gruchot A., Kłos J.: 2010. Wpływ dodatku popiołów lotnych na wskaźniki nośności odpadów powęglowych. Przegląd Górniczy, 1-2, 53-56.
- [5] Gruchot A., Resiula E.: 2011. Wpływ zagęszczenia i nawodnienia na wytrzymałość na ścinanie mieszaniny popiołowo-żużlowej i stateczność wykonanego z niej nasypu. Górnictwo i geoinżynieria, 2, 257-264.
- [6] Gruchot A., Zawisza E.: 2007. Badania parametrów geotechnicznych wybranych odpadów przemysłowych w aspekcie wykorzystania ich do budownictwa drogowego. Przegląd Górniczy, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, 10, 26-32.
- [7] Rybicki S., Górniak K., Gaweł A.: 2007. Właściwości mieszanin gruntowo-popiołowych i ich wykorzystanie w Inżynierii Środowiska. Geologia, t. 33.
- [8] PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu. Komitet Normalizacji Miar i Jakości. Warszawa.
- [9] PN-EN ISO 14688-2:2006 Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania. PKN, Warszawa.
- [10] PKN-CEN ISO/TS 17892-10:2009. Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 10: Badanie w aparacie bezpośredniego ścinania. PKN, Warszawa.



2. Wpływ czasu i rodzaju pielęgnacji próbek na parametry wytrzymałości na ścinanie mieszaniny popiołowo-żużlowej z dodatkiem cementu, a) 3% dodatku cementu, b) 6% dodatku cementu