



ANDRZEJ GRUCHOT

Uniwersytet Rolniczy
w Krakowie
rmgrucho@cyf-kr.edu.pl

Wytrzymałość na ściskanie i mrozoodporność mieszaniny popiołowo-żużlowej z Elektrowni „Skawina” stabilizowanej wapnem lub cementem

Mieszanki popiołowo-żużłowe oraz popioły lotne są odpadami zroźnicowanymi pod względem składu chemicznego i mineralogicznego

szaniny popiołowo-żużlowej oznaczono zgodnie z normą [6]. Skład ziarnowy cząstek większych od 0,063 mm oznaczono metodą sitową, a cząstek mniejszych od 0,063 mm metodą areometryczną. Gęstość właściwą szkieletu ozna-

w zależności od rodzaju spalanego węgla, ale również od technologii jego spalania i metody odsiarczania spalin. Dlatego w celu właściwego ich zagospodarowania w budownictwie ziemnym potrzebne jest prowadzenie szeregu badań geotechnicznych ukierunkowanych na konkretne ich zastosowanie. Badania te często prowadzone są z dodatkami spoiw hydraulicznych, których zadaniem jest poprawa parametrów wytrzymałościowych mieszanin popiołowo-żużłowych [1], [2].

Nowoczesna podbudowa drogowa powinna spełniać szereg wymagań, a ponieważ coraz częściej stosuje się do jej wykonania materiały odpadowe powstające w wyniku spalania węgla to spełnienie tych wymagań jest często możliwe dopiero po zastosowaniu stabilizacji cementem lub wapnem [3]. Główną cechą gruntu stabilizowanego jest jego mieszana struktura, składająca się z agregatów szkieletu nośnego i wypełnienia w postaci agregatów drobnych cząstek gruntowych. Szkielet nośny powstaje wskutek wiązania spoiwa z rozproszoną frakcją piaskową i pyłową. Cząstki gruntowe nie związane spoiwem wypełniają i sklejają związane spoiwem agregaty szkieletu nośnego, a będąc jednocześnie amortyzatorami sił zewnętrznych zapewniają mieszance gruntu i spoiwa znaczną podatność [4], [5].

Cel i metody badań

Celem przeprowadzonych badań było określenie wpływu dodatku cementu lub wapna na wytrzymałość na ściskanie oraz mrozoodporność mieszaniny popiołowo-żużlowej pobranej z osadnika Elektrowni „Skawina”.

Podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry zagęszczalności mie-

Tabela 1. Pielęgnacja próbek mieszaniny popiołowo-żużlowej bez oraz z dodatkiem spoiwa do badań wytrzymałości na ściskanie

Wytrzymałość na ściskanie	Dodatek spoiwa [% (m/m)]	Wilgotność próbek [% (m/m)] dla spoiwa		Pielęgnacja próbek	
		Cement	Wapno	czas [doby]	przebieg
R ₀	0	27,5		0	brak
	3	–	27,3		
	6	26,5	25,8		
	10	26,5	–		
R ₇	0	28,9		7	3 doby w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym przez 1 dobę zanurzone 1 cm w wodzie, a przez następne 3 doby zanurzone całkowicie w wodzie
	3	–	30,2		
	6	29,3	28,4		
	10	28,0	–		
R ₁₄	0	28,7		14	7 dób w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym całkowite zanurzenie próbek w wodzie w temperaturze pokojowej na 7 dób
	3	–	28,9		
	6	28,6	28,5		
	10	27,4	–		
R ₂₈	0	28,8		28	14 dób w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym całkowite zanurzenie próbek w wodzie w temperaturze pokojowej na 14 dób
	3	–	29,9		
	6	29,6	28,5		
	10	28,2	–		
R ₂₈ ^{z-o}	0	28,3		42	13 dób w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym całkowicie zanurzone w wodzie na 1 dobę, a następnie w ciągu kolejnych 14 dób poddane cykлом ¹⁾ zamrażania i odmrażania
	3	–	31,9		
	6	30,4	29,8		
	10	29,7	–		
R ₄₂	0	29,1		42	28 dób w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym całkowite zanurzenie próbek w wodzie w temperaturze pokojowej na 14 dób
	3	–	30,0		
	6	29,9	30,0		
	10	28,2	–		
R ₄₂ ^{z-o}	0	29,0		42	28 dób w temperaturze pokojowej z zabezpieczeniem przed wysychaniem, po czym całkowicie zanurzone w wodzie na 1 godzinę, a następnie w ciągu kolejnych 14 dób poddane cykлом ¹⁾ zamrażania i odmrażania
	3	–	29,6		
	6	29,2	28,8		
	10	27,5	–		

¹⁾ jeden cykl to 8-godzinne zamrażanie w temperaturze –23°C i 16-godzinne odmrażanie w wodzie w temperaturze pokojowej

czono metodą kolby miarowej w wodzie destylowanej. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono metodą Proctora w cylindrze o objętości 2,2 dm³ przy energii zagęszczania 0,59 J·cm⁻³. Kapilarność bierną oznaczono w kapilarymetrze laboratoryjnym, a wskaźnik piaskowy w typowym cylindrze o średnicy 32 mm i wysokości 430 mm.

Badania stabilizacji mieszanki przeprowadzono przy zastosowaniu typowych spoiw hydraulicznych – cementu portlandzkiego klasy 32,5R oraz wapna hydratyzowanego. Procentowy dodatek cementu w ilości 6 i 10% oraz wapna w ilości 3 i 6% w stosunku do suchej masy mieszanki z cementem przyjęto zgodnie z wymaganiami normy [7], a mieszanki z wapnem według [8]. Próbkę do badań o średnicy i wysokości 8 cm formowano w typowym aparacie z formą dzieloną, zagęszczając je udarowo energią 0,59 J·cm⁻³. Wskaźnik zagęszczenia, tak przygotowanych próbek, wynosił od 0,98 do 1,02, a wilgotność była zbliżona do optymalnej określonej dla mieszanki popiołowo-żużlowej i każdego dodatku spoiwa.

Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie próbek stabilizowanych cementem i wapnem przeprowadzono po 7, 14, 28 i 42 dobach pielęgnacji (tab. 1). Oznaczono również wytrzymałość na ściskanie próbek stabilizowanych obydwojoma rodzajami spoiwa po 14 cyklach zamrażania i odmrażania – łącznie po 28 i 42 dobach pielęgnacji. Badania przeprowadzono każdorazowo na trzech próbkach z każdej mieszanki, przyjmując wartość średnią do dalszej analizy. Przyjęty czas stabilizacji próbek wynikał z zaleceń norm dotyczących stabilizacji gruntów do celów budownictwa drogowego cementem [7] i wapnem [8] oraz do podbudów z betonu popiołowego [9]. W celu porównania wyników wytrzymałości na ściskanie mieszanki z dodatkiem spoiwa badania przeprowadzono również na próbkach bez dodatku spoiwa.

Do oceny odporności na zamrażanie mieszanki popiołowo-żużlowej z dodatkiem spoiwa oznaczono wskaźnik mrozooporności obliczony jako stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek po 28 i 42 dobach pielęgnacji z cyklami zamrażania i odmrażania do wytrzymałości próbek po analogicznym czasie pielęgnacji nie poddanych cyklowi zamrażania i odmrażania.

Wyniki badań i ich analiza

Właściwości fizyczne

W składzie ziarnowym badanej mieszanki popiołowo-żużlowej dominowała frakcja piaskowa (blisko 66%), frakcji żwirowej było ponad 21%, a pyłowej – ponad 12%, natomiast udział frakcji ilowej był znikomy (tab. 2). Według nomenklatury geotechnicznej [10] uziarnienie mieszanki odpowiadało różnoziarnistym pospółkom.

Gęstość właściwa szkieletu wynosiła 2,50 g/cm³. Badaną mieszankę pod względem wysadzinowości można zaliczyć do gruntów wątpliwych, ponieważ zawartość cząstek mniejszych od 0,075 mm wynosiła 22,5%, cząstek mniejszych od 0,02 mm – 7,5%. Należy jednak zaznaczyć, że wskaźnik piaskowy o wartości około 47% i niewielka kapilarność bierna – około 20 cm, charakteryzuje grunty niewysadzinowe.

Tabela 2. Podstawowe właściwości geotechniczne mieszanki popiołowo-żużlowej

Parametr	Wartość
Zawartość frakcji [(m/m)]:	
• żwirowa 40÷2 mm	21,6
• piaskowa 2,0÷0,05 mm	65,8
• pyłowa 0,05÷0,002 mm	12,6
• ilowa < 0,002 mm	0,1
Wskaźnik różnoziarnistości [-]	10,6
Nazwa wg [10]	Pospółka
Zawartość cząstek [(m/m)]	≤ 0,075 mm
	≤ 0,02 mm
	22,5
	7,5
Gęstość właściwa szkieletu [g·cm ³]	2,50
Kapilarność bierna [cm]	20,3
Wskaźnik piaskowy [%]	46,9

Zagęszczalność

Wilgotność optymalna mieszanki popiołowo-żużlowej wynosiła blisko 26%, a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu 1,35 g·cm⁻³ (tab. 3). Dodatek spoiwa spowodował zmniejszenie wilgotności optymalnej – do 24,5 i około 23% odpowiednio przy 6 i 10% zawartości cementu oraz do 24,6 i 25,6% przy 3 i 6% zawartości wapna. W przypadku maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu dodatek spoiwa spowodował jej zwiększenie – odpowiednio do 1,36 i 1,42 g·cm⁻³ przy dodatku cementu oraz do około 1,37 g·cm⁻³ przy dodatku wapna.

Tabela 3. Parametry zagęszczalności mieszanki popiołowo-żużlowej oraz jej mieszanek ze spoiwem

Rodzaj spoiwa	Dodatek spoiwa [(m/m)]	Wilgotność optymalna [(m/m)]	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu [g·cm ⁻³]
Brak	0	25,90	1,35
Cement	6	24,50	1,36
	10	22,70	1,42
Wapno	3	24,60	1,365
	6	25,60	1,35

Wytrzymałość na ściskanie

Ogólnie można stwierdzić, że wytrzymałość na ściskanie próbek mieszanki popiołowo-żużlowej zależała od rodzaju i ilości spoiwa oraz od czasu pielęgnacji (tab. 4). Próbkę bez dodatku spoiwa po zanurzeniu w wodzie ulegały rozmoknięciu, co w rezultacie prowadziło do całkowitego ich rozplynięcia. Charakter zniszczenia próbek w trakcie badania był podobny do opisywanego w [11].

Wytrzymałość na ściskanie próbek mieszanki zwiększała się wraz ze zwiększeniem dodatku spoiwa i wydłużaniem czasu ich pielęgnacji. W mieszanki z dodatkiem 6 i 10% cementu było to zwiększenie wytrzymałości od 0,09 do 2,59 MPa oraz od 0,11 do 4,74 MPa odpowiednio do czasu pielęgnacji od 0 do 42 dób (rys. 1a). Natomiast dodatek 3 oraz 6% wapna spowodował zwiększenie wytrzymałości odpowiednio od 0,12 do 2,48 MPa oraz od 0,12 do 2,83 MPa odpowiednio do czasu pielęgnacji od 0 do 42 dób (rys. 1b). Najwyższe warto-

Tabela 4. Wartości wytrzymałości na ściskanie i wskaźnika mrozoodporności mieszanki popiołowo-żużlowej stabilizowanej wapnem lub cementem

Czas pielęgnacji [doby]	Dodatek spoiwa [% (m/m)]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa] przy zastosowaniu spoiwa		Wskaźnik mrozoodporności [-] przy zastosowaniu spoiwa			
		Wapno	Cement	Wapno	Cement		
0	3	0,12	-	-	-		
7		0,39					
14		0,60					
28		1,58					
42		2,48					
28 ^{z-o}		0,42				0,27	
42 ^{z-o}		1,69				0,68	
0	6	0,12	0,09	-	-		
7		0,48	1,14				
14		0,70	1,22				
28		1,31	1,99				
42		2,83	2,59				
28 ^{z-o}		0,29	1,45			0,22	0,73
42 ^{z-o}		1,81	2,43			0,64	0,94
0	10	-	0,11	-	-		
7			1,74				
14			2,02				
28			3,76				
42			4,74				
28 ^{z-o}			2,66			0,71	
42 ^{z-o}			4,63			0,98	

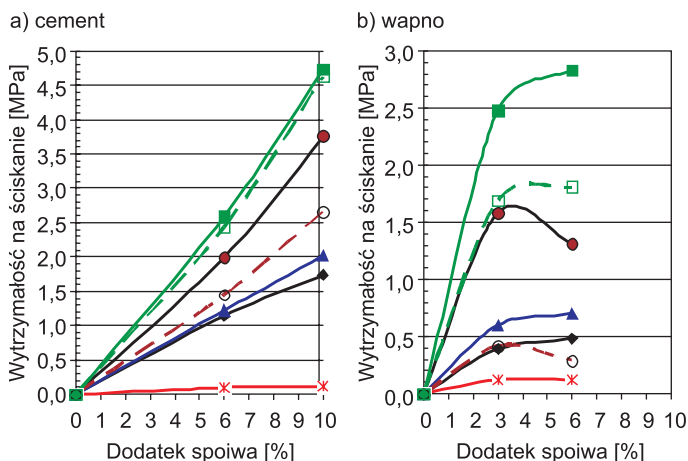
ści wytrzymałości na ściskanie uzyskano przy 6% dodatku wapna i 10% cementu oraz najdłuższym czasie pielęgnacji.

W odniesieniu do wapna należy zauważyć, że 2-krotne zwiększenie jego dodatku (od 3 do 6%) nie spowodowało znaczącego zwiększenia wytrzymałości, a nawet w przypadku 28-dobowego czasu pielęgnacji jej zmniejszenie o ok. 0,27 MPa. Zwiększenie dodatku cementu z 6 do 10% spowodowało równomierny przyrost wytrzymałości proporcjonalny do zastosowanego czasu pielęgnacji.

Analiza porównawcza wyników badania przeprowadzona przy 6% dodatku obydwu spoiw wykazuje, że próbki z cementem odznaczały się wyższymi wartościami wytrzymałości na ściskanie od próbek z wapnem. Największe różnice stwierdzono w próbkach o czasie pielęgnacji 7 dób – ponad 2,4-krotne, a przy czasie pielęgnacji 14 i 28 dób – odpowiednio ponad 1,7 i 1,5-krotne. Natomiast przy 42-dobowym czasie pielęgnacji próbki z dodatkiem wapna wykazały wyższe wartości wytrzymałości na ściskanie o ok. 10% w stosunku do próbek z dodatkiem cementu.

Wytrzymałość na ściskanie stanowi kryterium oceny przydatności gruntów stabilizowanych spoiwami hydraulicznymi do budowy dróg. W stosunku do gruntów stabilizowanych cementem odnośne wymagania określa norma [7], a stabilizowanych wapnem norma [8].

Wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie gruntów stabilizowanych cementem stosowanych na podbudowy zasadnicze nawierzchni drogowej po 7 dobach pielęgnacji wynosi co najmniej 1,6 MPa, a po 28 dobach – 2,5 MPa. Wymagania te spełnia mieszanka popiołowo-żużłowa z dodatkiem 10% cementu (rys. 2). W stosunku do górnej części ulepszonego podłoża wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie wynosi co najmniej 1,0 MPa po 7 dobach i 1,5 MPa po 28 dobach pielęgnacji, a dolnej części ulepszonego podłoża – 0,5 MPa po 28 dobach pielęgnacji. Wymagania te spełnia mieszanka z dodatkiem 6 i 10% cementu.

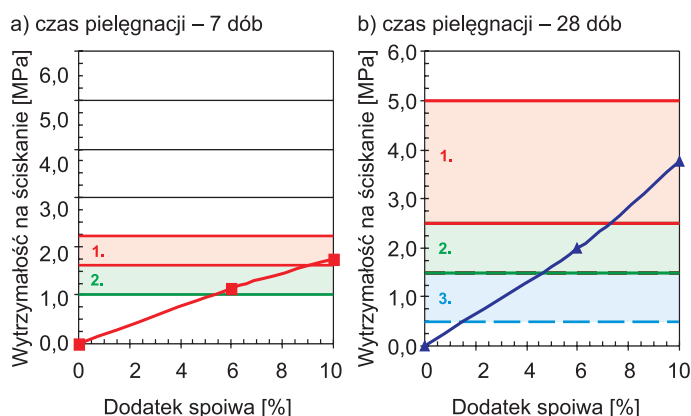


czas i rodzaj pielęgnacji próbek

powietrzno-wodna { —x— 0 dób —◆— 7 dób —▲— 14 dób
—●— 28 dób —■— 42 doby

z cyklami zamrażania i odmrażania —○— 28 dób —□— 42 doby

Rys. 1. Wpływ dodatku spoiwa na wytrzymałość na ściskanie mieszanki popiołowo-żużlowej w zależności od czasu i rodzaju pielęgnacji próbek

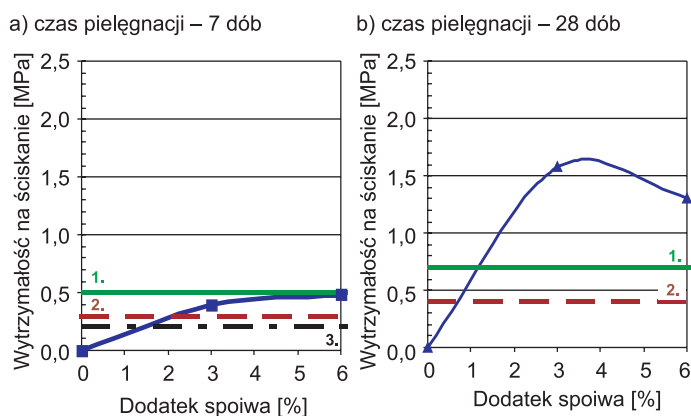


Wymagania normy [7] dotyczące:

1. podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR 1; podbudowy pomocniczej obciążonej ruchem od KR 2 do KR 6
2. części górnej ulepszonego podłoża warstwy o grubości ≥ 10 cm i ruchu kategorii KR 5 i KR 6 lub warstwy ulepszonego słabego podłoża z gruntów wątpliwych oraz wysadzinowych
3. części dolnej ulepszonego podłoża – konstrukcji nawierzchni posadowionej na podłożu wrażliwym na działanie wody i mrozu

Rys. 2. Zależność wytrzymałości na ściskanie stabilizowanej mieszanki popiołowo-żużlowej od procentowej zawartości cementu na tle wymagań normowych

Wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie gruntów stabilizowanych wapnem stosowanych na podbudowy pomocnicze dróg o bardzo lekkim ruchu po 7 dobach pielęgnacji wynosi co najmniej 0,5 MPa, a po 28 dobach – 0,7 MPa. Wymagania te spełnia mieszanka z dodatkiem 6% wapna po 28-dobowym czasie pielęgnacji (rys. 3), a po 7 dobach pielęgnacji uzyskana wartość wytrzymałości przy tym samym dodatku wapna jest na granicy wymagań normowych. W stosunku do górnej warstwy ulepszonego podłoża wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie wynosi co najmniej 0,3 MPa po 7 dobach i 0,4 MPa po 28 dobach pielęgnacji, a do wstępnego ulepszenia lub dolnych warstw ulepszonego podłoża – 0,2 MPa po 28 dobach pielęgnacji. Wymagania te spełnia mieszanka popiołowo-żużłowa z dodatkiem 3 i 6% wapna.



Wymagania normy [8] dotyczące:
 1. podbudowy pomocniczej dróg o ruchu bardzo lekkim (KR-1)
 2. górnej warstwy ulepszonego podłoża
 3. wstępnie ulepszonej lub dolnej warstwy ulepszonego podłoża

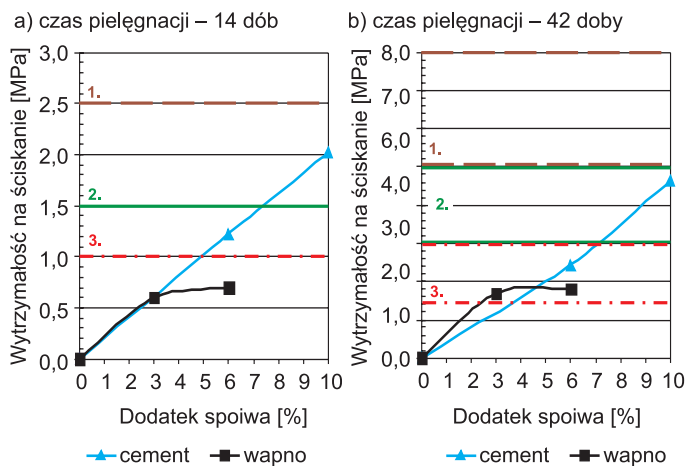
Rys. 3. Zależność wytrzymałości na ściskanie stabilizowanej mieszanki popiołowo-żużłowej od procentowej zawartości wapna na tle wymagań normowych

Wymagane wartości wytrzymałości na ściskanie próbek betonu popiołowego w zależności od rodzaju warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej (tab. 6) podaje [9]. Miarodajną wartością wytrzymałości na ściskanie przy projektowaniu składu betonu popiołowego jest wytrzymałość po 42 dobach pielęgnacji (R_{42}). Natomiast wytrzymałość po 14-dobowym czasie pielęgnacji (R_{14}) ma charakter pomocniczy i informuje o szybkości twardnienia betonu.

Wymagana wartość wytrzymałości na ściskanie mieszanki popiołowo-żużłowej w aspekcie jej przydatności do betonu popiołowego po 14-dobowym czasie pielęgnacji została spełniona przy obydwu dodatkach cementu do dolnych warstw podbudowy obciążonych ruchem lekkim i średnim. Natomiast przy 10% dodatku dodatkowo wytrzymałość ta spełnia wymagania odnośnie górnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim oraz dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem ciężkim i bardzo ciężkim (rys. 4a).

Wydłużenie czasu pielęgnacji do 42 dob spowodowało ponad 2-krotny wzrost wytrzymałości na ściskanie, nie zmieniając jednak zakresu zastosowania mieszanki (rys. 4b).

Zastosowanie wapna jako spoiwa do betonu popiołowego miało w prezentowanych badaniach charakter porównawczy



Wymagania normy [9] dotyczące:

1. górnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem ciężkim i bardzo ciężkim
2. górnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim bądź dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem ciężkim i bardzo ciężkim
3. dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim

Rys. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie stabilizowanej mieszanki popiołowo-żużłowej od procentowej zawartości spoiwa w betonie popiołowym na tle wymagań normowych

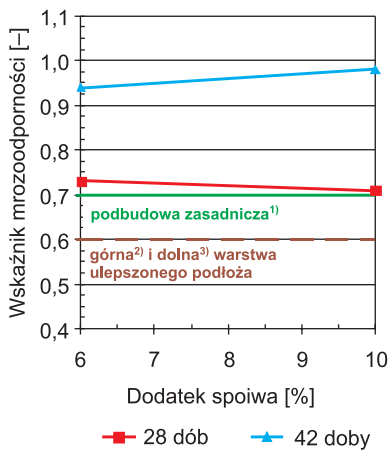
i pozwoliło stwierdzić, że po 14 dobach żaden z dodatków nie spełnia prezentowanych wymagań. Jedynie po 42 dobach z 6% dodatkiem wapna zostały spełnione wymagania odnośnie wytrzymałości na ściskanie do dolnych warstw podbudowy obciążonych ruchem lekkim i średnim (rys. 4).

Wskaźnik mrozoodporności

Próbki mieszanki poddane cyklom zamrażania i odmrażania, wykazują niższe wartości wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek nie poddanych takim cyklom (pielęgnacja powietrzno-wodna). W przypadku stabilizacji cementem wytrzymałość na ściskanie zwiększyła się od ok. 1,4 do 2,6 MPa po 28-dobowym okresie pielęgnacji i od 2,4 do 4,6 MPa po 42-dobowym okresie pielęgnacji wraz ze zwiększeniem dodatku spoiwa od 6 do 10% (tab. 4). Wskaźnik mrozoodporności wraz z wydłużeniem czasu pielęgnacji z 28 do 42 dob zwiększył się od 0,73 do 0,94 i od 0,71 do 0,98 odpowiednio przy 6 i 10% dodatku spoiwa (tab. 4).

Zgodnie z wymaganiami [7] po 28 dobach pielęgnacji próbek, w tym po 14 cyklach zamrażania i odmrażania, wskaźnik mrozoodporności górnej i dolnej części ulepszonego podłoża nie powinien być mniejszy niż 0,6, a podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej nie mniejszy niż 0,7. Wymagania te spełniają próbki mieszanki popiołowo-żużłowej stabilizowane obydwoma dodatkami cementu (rys. 5).

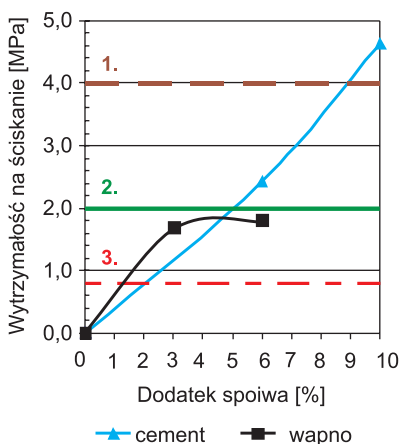
W przypadku stabilizacji wapnem próbki mieszanki popiołowo-żużłowej z dodatkiem 3% spoiwa, poddane cyklom zamrażania i odmrażania, charakteryzowały się wytrzymałością na ściskanie wynoszącą 0,42 i 1,69 MPa po 28 i 42 dobach pielęgnacji; próbki z dodatkiem 6% spoiwa miały wytrzymałość 0,29 i 1,81 MPa, odpowiednio do ww. czasu pielęgnacji. Wskaźnik mrozoodporności wraz z wydłużeniem czasu pielęgnacji od 28 do 42 dob zwiększył się od 0,27 do 0,68 i od 0,22 do 0,64 odpowiednio przy 3 i 6% dodatku spoiwa (tab. 4).



Rys. 5. Zależność wskaźnika mrozoodporności mieszanki popiołowo-żużlowej od procentowej zawartości cementu na tle wymagań normowych

Norma [8] odnosząca się do materiałów stabilizowanych wapnem nie określa minimalnej wartości wskaźnika mrozoodporności. Decydującą rolę odgrywa tutaj liczba cykli zamrażanie–odmrażanie, która powinna wynosić, co najmniej od 3 do górnej warstwy ulepszonego podłoża, do 5 dla podbudowy pomocniczej dróg obciążonych ruchem bardzo lekkim. Biorąc pod uwagę takie kryterium można stwierdzić, że wszystkie próbki z dodatkiem wapna spełniają wymagania normy.

Zgodnie z wymaganiami normy dotyczącymi podbudowy z betonu popiołowego po 42 dobach pielęgnacji, w tym po 14 cyklach zamrażania i odmrażania, wytrzymałość na ściskanie powinna wynosić co najmniej 0,8 MPa do dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim i 4,0 MPa do górnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem ciężkim i bardzo ciężkim. Wymagania te spełnia mieszanka z dodatkiem 10% cementu, natomiast mieszanka z 6% dodatkiem spełnia wymagania do górnej i dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim oraz do dolnej warstwy podbudowy obciążonej ruchem ciężkim i bardzo ciężkim (rys. 6). Dodatek wapna pozwolił uzyskać wartości wytrzymałości na ściskanie



Rys. 6. Zależność wytrzymałości na ściskanie mieszanki popiołowo-żużlowej od procentowej zawartości spoiwa na tle wymagań normowych dotyczących betonu popiołowego

Wymagania normy [7] dotyczące:

- 1) podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR 1; podbudowy pomocniczej obciążonej ruchem od KR 2 do KR 6,
- 2) warstwy o grubości ≥ 10 cm i ruchu kategorii KR 5 i KR 6 lub warstwy ulepszonego słabego podłoża z gruntów wątpliwych oraz wysadzinowych,
- 3) konstrukcji nawierzchni posadowionej na podłożu wrażliwym na działanie wody i mrozu.

spełniające te wymagania jedynie do dolnych warstw podbudowy obciążonej ruchem lekkim i średnim. Wymagania zostały osiągnięte tak przy 3 jak i 6% dodatku wapna w stosunku do masy mieszanki popiołowo-żużlowej.

Podsumowanie

Stabilizacja gruntów antropogenicznych, jakimi są popioły lotne i mieszanki popiołowo-żużlowe, przynosi korzystne efekty ze względu na polepszenie ich właściwości mechanicznych. Jak wykazały prezentowane badania jest to znaczące zwiększenie wytrzymałości na ściskanie i generalnie spełnienie wymagań odnośnych norm w aspekcie wykorzystania ich jako gruntu budowlanego w budownictwie ziemnym.

Skład ziarnowy pozwala zaliczyć badaną mieszankę popiołowo-żużlową do gruntów wątpliwych pod względem wysadzinowości, natomiast wartości wskaźnika piaskowego i kapilarności biernej do gruntów niewysadzinowych. Badania wytrzymałości na ściskanie i wskaźnika mrozoodporności mieszanki popiołowo-żużlowej stabilizowanej cementem i wapnem pozwalają stwierdzić, że odnośne wymagania normowe dotyczące ich stosowania do celów budownictwa drogowego zostały spełnione przy maksymalnym zastosowanym dodatku spoiwa.

Mieszanka stabilizowana cementem odznacza się znacznie większą wytrzymałością na ściskanie i podobną mrozoodpornością w stosunku do mieszanki stabilizowanej wapnem.

Podsumowując można stwierdzić, że do celów budownictwa ziemnego mieszanka popiołowo-żużlowa niestabilizowana może być przydatna np. do wypełnień terenowych i rekultywacji obszarów zdegradowanych. Natomiast stabilizacja takiej mieszanki cementem lub wapnem gwarantuje poprawę jej parametrów mechanicznych i możliwość zastosowania do celów budownictwa drogowego.

Bibliografia

- [1] Gruchot A.T., Zawisza E. 2007. Zagęszczalność a nośność wybranych odpadów powęglowych i pohutniczych. „Przegląd Górniczy” 11, 26–30
- [2] Gruchot A.T. 2009. Charakterystyka geotechniczna wybranych odpadów poenergetycznych w aspekcie wykorzystania ich do budownictwa drogowego. Materiały XV Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej, Wydawnictwa Uczelniane UTP, Bydgoszcz, 253–258
- [3] Zawisza E., Gruchot A., Michalski P. 2006. Wpływ stabilizacji cementem lub wapnem na wytrzymałość i mrozoodporność odpadów energetycznych ze składowiska Elektrociepłowni „Łęg” w Krakowie. „Inżynieria Morska i Geotechnika” 27, 1, 22–30
- [4] Witun Z. 2000. Zarys geotechniki. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa
- [5] Pisarczyk S. 2004. Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa
- [6] PN-B-04481:1988. Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu
- [7] PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem
- [8] PN-S-96011:1998. Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych
- [9] PN-S-06103:1997. Drogi samochodowe. Podbudowa z betonu popiołowego
- [10] PN-B-02480:1984 Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów
- [11] Zawisza E., Kłęk K. 2006. Stabilizacja popiołów spoiwami „Silment” w drogownictwie. „Drogownictwo” 12, 396–401 ■