

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (2), 123–131  
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (2)  
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (2), 123–131  
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (2)  
<http://iks.pn.sggw.pl>  
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.2.12

**Eugeniusz ZAWISZA, Andrzej GRUCHOT, Marcin BIGOS**

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie  
Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow

## **Stabilizacja mieszanin popiołowo-żużlowych spoiwami hydraulicznymi do celów budownictwa drogowego** **Stabilisation of ash-slag mixtures with hydraulic binders for road engineering purposes**

**Słowa kluczowe:** mieszanina popiołowo-żużlowa, stabilizacja, wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność

**Key words:** ash-slag mixture, stabilization, compressive strength, frost resistance

### **Wprowadzenie**

Wytworzenie energii elektrycznej i ciepłej w ramach systemu spalania paliw stałych, takich jak węgiel kamienny i brunatny, powoduje powstawanie produktów ubocznych. Są to odpady poenergetyczne, a głównie popioły lotne, żużle paleniskowe i mieszaniny popiołowo-żużlowe. Duże części tych odpadów stwarzają problemy dla środowiska i gospodarki, ponieważ przez wiele lat większość z nich była wywożona na składowiska (Galos i Uliasz-Bocheńczyk, 2005). Z upływem czasu wykorzy-

stanie odpadów poenergetycznych wzrosło, zwłaszcza w przemyśle materiałów budowlanych oraz w inżynierii lądowej. Dotyczy to głównie budowy nasypów komunikacyjnych i hydrotechnicznych, w których stanowią materiał konstrukcyjny, a także rekultywacji terenów zdegradowanych oraz jako materiału podsadzkowego w kopalniach (Kucowski, Laudyn i Przekwas, 1994; Zawisza, 2001; Pisarczyk, 2004).

Grunty stosowane do budowy nasypów ziemnych muszą charakteryzować się odpowiednimi parametrami geotechnicznymi w celu zapewnienia warunków stateczności i nośności. Gdy grunty nie wykazują odpowiednich właściwości geotechnicznych, można polepszyć ich parametry poprzez stabilizację. Klasykami spoiwami stosowanymi do stabilizacji gruntów naturalnych i an-

tropogenicznych są cement i wapno. W ostatnich latach na rynku pojawiły się nowe spoiwa hydrauliczne, takie jak Silment, Solitex, Terramix (Zawisza i Kłęk, 2006; Zawisza i Sobuła, 2007; Zawisza i Franczak, 2010; Zawisza, Biśtyga i Koczyński, 2017).

Przedmiotem badań była mieszanina popiołowo-żużlowa pochodząca ze składowiska Elektrociepłowni Kraków (EDF Polska S.A.), dawniej Elektrociepłowni „Łęg”. Mieszanina stanowi uboczne produkty spalania węgla kamiennego i była składowana na sucho. Celem badań było określenie wytrzymałości na ściskanie oraz mrozoodporności mieszaniny stabilizowanej spoiwami hydraulicznymi. Badania przeprowadzono w aspekcie możliwości wykorzystania przedmiotowej mieszaniny do celów budownictwa drogowego. W niniejszej pracy zebrano wyniki badań mieszaniny pobieranej ze składowiska w różnym czasie i stabilizowanej cementem i wapnem (Zawisza i Kłęk, 2006), spoiwami Solitex i Terramix F22,5 (Zawisza i in., 2017) oraz ponownie cementem i wapnem (badania własne).

## **Materiały i metody badań**

Skład uziarnienia i gęstość właściwą szkieletu oznaczono metodami standardowymi (Myślińska, 1998). Właściwe zagęszczenie mieszaniny ze stabilizatorem jest warunkiem uzyskania wymaganej wytrzymałości na ściskanie, dlatego oznaczono parametry zagęszczalności mieszaniny z dodatkiem 3, 6 i 8% odpowiedniego spoiwa w stosunku do suchej masy materiału.

Wytrzymałość na ściskanie oznaczono na próbkach mieszaniny bez dodatku oraz z dodatkiem 3, 6 i 8% spoiwa Solitex, spoiwa Terramix F22,5, cementu portlandzkiego klasy 32,5R lub wapna hydratyzowanego w stosunku do suchej masy mieszaniny. Próbki ( $d = h = 8$  cm, po 3 próbki z każdego materiału) formowano w aparacie Proctora przy wilgotności optymalnej dla każdego materiału do uzyskania wskaźnika zagęszczenia  $I_S = 1,0-1,02$ , przy energii zagęszczenia  $E_z = 0,59 \text{ J}\cdot\text{cm}^{-3}$ . We wcześniejszych badaniach (Zawisza, Gruchot i Michalski, 2006) próbki miały średnicę  $d = 11$  cm i wysokość  $h = 10$  cm i były stabilizowane cementem lub wapnem. Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano na próbkach bezpośrednio po ich uformowaniu ( $R_0$ ), po 7 ( $R_7$ ) i 28 ( $R_{28}$ ) dobach pielęgnacji – w badaniach Zawiszy i innych (2006) po 7 i 28 dobach – oraz po 14 cyklach zamrażania i odmrażania (28 dób pielęgnacji –  $R_{28z-o}$ ) w celu określenia wskaźnika mrozoodporności zgodnie z procedurami określonymi w normie PN-S-96012:1997. Dla każdego dodatku spoiwa przygotowano po 3–4 próbki, a jako wynik badania przyjęto wartość średnią.

## **Wyniki badań i dyskusja**

Skład uziarnienia mieszaniny popiołowo-żużlowej, pobieranej w różnym czasie i z różnych fragmentów składowiska, wykazuje pewne, stosunkowo nieduże zróżnicowanie. Dotyczy to zwłaszcza frakcji grubszych – żwirowej i piaskowej, w których różnice ich zawartości w próbkach pobranych losowo w różnym

TABELA 1. Podstawowe właściwości geotechniczne mieszaniny popiołowo-żużłowej próbek pobranych w latach 2004, 2015, 2016

TABLE 1. Basic geotechnical properties of the ash-slag mixture samples taken during field tests 2004, 2015 and 2016

Parametr Parameter	Wartości Values		
	2004*	2015**	2016***
Zawartość frakcji / Fraction content [%]			
– żwirowa / gravel 63–2 mm	11,50	7,0	11,65
– piaskowa / sand 2–0,063 mm	50,10	58,9	53,81
– pyłowa / silt 0,063–0,002 mm	36,50	32,5	32,24
– ilowa / clay < 0,002 mm	1,9	1,7	1,15
Nazwa wg / Name acc. to PN-EN ISO 14688-2:2006 (badania geotechniczne / geotechnical tests)	siFSa	siFSa	siFSa
Wskaźnik różnoziarnistości / Uniformity coefficient [–]	16	10,6	21,1
Gęstość właściwa szkieletu / Density of solid particles [g·cm <sup>-3</sup> ]	2,19	2,42	2,25
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu / Maximum dry density of solid particles [g·cm <sup>-3</sup> ]	1,11	1,15	1,125
Wilgotność optymalna / Optimum moisture content [%]	33,80	36,4	33,1

\*Zawisza i in. 2006, \*\* Zawisza i in. 2017, \*\*\* badania własne / own studies.

czasie (lata 2004, 2015 i 2016) wynoszą około 5–9% (tab. 1). Mniejsze różnice występują w przypadku frakcji drobniejszych (pyłowej i ilowej) i wynoszą odpowiednio około 4 i 0,7%. Nie wpływa to na ich klasyfikację geotechniczną (wg PN-EN ISO 14688-2:2006), zgodnie z którą wszystkie próbki materiału odpowiadają piaskom drobnym pylistym, kilku lub wielofrakcyjnym. Parametry charakteryzujące zagęszczalność, to jest wilgotność optymalna i maksymalna gęstość objętościowa szkieletu, wykazały stosunkowo nieduże zróżnicowanie (tab. 2).

Dodatek spoiwa, zarówno cementu, jak i wapna lub spoiw Solitex czy Terramix F22,5, nie spowodował istotnych zmian parametrów zagęszczalności powstałych mieszanek. Wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu

wynoszące od 1,11 do 1,15 g·cm<sup>-3</sup> są większe od minimalnej wymaganej według normy PN-S-02205:1998 ( $\rho_{ds} \geq 1,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) dla mieszanin popiołowo-żużłowych stosowanych do budowy nasypów. Biorąc powyższe pod uwagę, prognozuje się dobrą zagęszczalność materiału podczas wbudowywania w nasyp przy wilgotności optymalnej.

Badania wytrzymałości na ściskanie wykazały jego zależność od rodzaju i procentowego dodatku spoiwa (tab. 3). Najbardziej skuteczna była stabilizacja mieszaniny popiołowo-żużłowej cementem, mniej skuteczna wapnem, dużo mniej skuteczna spoiwem Terramix F22,5, a najmniej skuteczna spoiwem Solitex.

Na podstawie uzyskanych wartości wytrzymałości na ściskanie stabilizowanej mieszaniny popiołowo-żu-

TABELA 2. Parametry zagęszczalności mieszanki popiołowo-żuźlowej z dodatkiem stabilizatora  
 TABLE 2. The parameters of compactibility of the ash-slag mixture with the addition of the stabilizer

Parametr Parameter	Rodzaj stabilizatora Type of stabiliser	Dodatek stabilizatora Stabilizer addition [%]			
		3	6	8	10
Wilgotność optymalna Optimum moisture content	cement	33,5* 34,5***	32,3* 34,2***	– 33,4***	32,2* –
	wapno / lime	33,1* 35,4***	32,3* 34,6***	– 33,8***	32,2* –
	Terramix F22,5	35,8***	36,4***	36,5***	–
	Solitex	35,23***	35,9***	35,2***	–
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu Maximum dry density of solid particles [g·cm <sup>-3</sup> ]	cement	1,13* 1,10***	1,135* 1,115***	– 1,13***	1,15* –
	wapno / lime	1,13* 1,093***	1,145* 1,106***	– 1,11***	1,15* –
	Terramix F22,5	1,145**	1,13**	1,135**	–
	Solitex	1,156**	1,14**	1,149**	–

\* Zawisza i in. 2006, \*\* Zawisza i in. 2017, \*\*\* badania własne / own studies.

lowej można określić jej przydatność w budownictwie drogowym w zależności od rodzaju spoiwa. W normie PN-S-96012:1997 określone zostały minimalne dopuszczalne wartości wytrzymałości na ściskanie dla materiałów stabilizowanych cementem stosowanych na warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowej i do ulepszenia podłoża (tab. 4).

Odnosząc otrzymane wartości wytrzymałości na ściskanie mieszanki popiołowo-żuźlowej stabilizowanej cementem do wartości wymaganych, stwierdza się, że przy 6- i 8-procentowym dodatku tego spoiwa spełnia ona wymogi zarówno dotyczące podbudowy zasadniczej lub pomocniczej nawierzchni drogowej, jak i górnej części warstwy ulepszonego podłoża. W dolnej warstwie ulepszonego podłoża wymogi spełnia mieszanka już przy dodatku 3% cementu. Mieszanka popiołowo-żuźłowa stabilizowana spo-

iwami Terramix F22,5 i Solitex nie spełnia wymogów cytowanej normy.

Norma PN-S-96011:1998 dotyczy stabilizacji gruntów wapnem. Określa ona wartości wytrzymałości na ściskanie gruntu z dodatkiem wapna dla górnej warstwy ulepszonego podłoża, podbudowy pomocniczej dróg o ruchu lekkim oraz do wstępnego ulepszenia gruntów przeznaczonych do dalszej stabilizacji lub na dolne warstwy ulepszonego podłoża (tab. 5). Mieszanka popiołowo-żuźłowa spełnia wymagania dla wszystkich wymienionych przypadków już przy dodatku 3% wapna. Mieszanka popiołowo-żuźłowa stabilizowana spoiwem Terramix F22,5 przy dodatku 6% spełnia wymogi cytowanej normy dla górnej warstwy ulepszonego podłoża i wstępnego ulepszenia gruntów przeznaczonych do dalszej stabilizacji lub na dolne warstwy ulepszonego podłoża. Przy dodatku 8%

TABELA 3. Wytrzymałość na ściskanie mieszanki popiołowo-żuźlowej stabilizowanej spoiwami hydraulicznymi

TABLE 3. Compressive strength of the ash-slag mixture stabilized by the hydraulic binders

Stabilizator Stabiliser		Wytrzymałość na ściskanie [MPa] po: Compressive strength [MPa] after:			
Rodzaj Type	Dodatek stabilizatora Stabilizer addition [%]	pielęgnacji powietrzno-wodnej air-water curing		cyklach mrożenia – odmrażania freezing and thawing cycles	
		$R_0$	$R_7$	$R_{28}$	$R_{28}^{z-o}$
Brak None	0	0,12* 0,10***	– 0***	– 0***	– 0***
Cement	3	– 0,11***	0,90* 0,89***	1,06* 0,92***	0,74* 0,16***
	6	– 0,10***	1,78* 1,74***	2,80* 2,57***	2,21* 1,65***
	8	0,16***	2,34***	3,04***	2,13***
	10	–	1,77*	3,76*	2,85*
Wapno Lime	3	– 0,11***	0,60* 0,78***	0,99* 1,17***	0,98* 0,58***
	6	– 0,13***	0,72* 0,95***	1,88* 2,03***	1,14* 0,85***
	8	0,15***	0,93***	2,07***	0,76***
	10	–	0,80*	1,94*	1,07*
Solitex	3	–	0,00**	0,00**	–
	6	–	0,00**	0,10**	–
	8	–	0,13**	0,14**	–
Terramix F22,5	3	–	0,11**	0,30**	–
	6	–	0,35**	0,76**	0,03**
	8	–	0,51**	0,88**	0,07**

\* Zawisza i in. 2006, \*\* Zawisza i in. 2017, \*\*\* badania własne / own studies.

spoiwa spełnione zostały wymagania zarówno dla górnej warstwy ulepszonego podłoża, jak i podbudowy pomocniczej dróg o ruchu bardzo lekkim. Mieszanka ta stabilizowana z użyciem spoiwa Solitex w żadnym przypadku nie spełnia wymogów cytowanej normy.

Wyniki obliczeń wskaźnika mrozoodporności materiału stabilizowanego cementem i wapnem odniesiono do określonych wymogów normowych.

Wartości wskaźnika mrozoodporności mieszanki popiołowo-żuźlowej stabilizowanej cementem mieszczą się w zakresie od 0,17 przy dodatku 3% do 0,70 przy dodatku 8% (tab. 4). Przy dodatku 6 i 8% cementu mieszanka spełnia więc wymogi odnośnej normy dotyczące górnej i dolnej części warstwy ulepszonego podłoża. Mieszanka z dodatkiem 8% cementu spełnia również wymogi dla podbudowy zasadniczej lub pomocniczej

TABELA 4. Wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporność mieszanki popiołowo-żużlowej stabilizowanej cementem na tle wymagań normowych (badania własne)

TABLE 4. The compressive strength and frost resistance of the ash-slag mixture stabilized with cement against standard requirements (own studies)

Wymagania normy PN-S-96012:1997 The requirements of PN-S-96012:1997			Wyniki badań Tests results		
podbudowa zasadnicza lub pomocnicza nawierzchni drogowej basic or secondary foundation of the road surface	górną część warstwy ulepszonoego podłoża the upper part of the improved substrate layer	dolną część warstwy ulepszonoego podłoża the lower part of the improved substrate layer	czas pie- lęgnacji curing duration [24 h]	dodatek cementu cement addition [%]	wartości values
Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength [MPa]					
1,6–2,2	1,0–1,6	–	7×	3	0,89
				6	1,74
				8	2,34
2,5–5,0	1,5–2,5	0,5–1,5	28×	3	0,92
				6	2,57
				8	3,04
Wskaźnik mrozoodporności Frost resistance index [–]					
0,7	0,6	0,6	–	3	0,17
				6	0,64
				8	0,70

nawierzchni drogowej. Przy stabilizacji mieszanki wapnem wartości wskaźnika mrozoodporności mieściły się w zakresie od 0,37 przy dodatku 8% do 0,50 przy dodatku 3% (tab. 5). Należy jednak zauważyć, że w normie PN-S-96011:1998 nie określono minimalnej wymaganej wartości wskaźnika mrozoodporności. Określono natomiast wymaganą odporność na zamrażanie i odmrażanie poprzez liczbę cykli (po 14 dobach pielęgnacji), po których próbki nie powinny ulec rozpadowi. Wynosi ona co najmniej 3 cykle dla górnej warstwy ulepszonoego podłoża oraz co najmniej 5 cykli dla podbudowy pomocniczej dróg o ruchu bardzo lek-

kim. Warunki te spełnia już mieszanka z dodatkiem 3% wapna.

W próbkach stabilizowanych spoiwem Terramix F22,5 wartości wskaźnika mrozoodporności były bardzo małe i wynosiły 0,04 i 0,083 przy jego dodatku odpowiednio 6 i 8%. Próbki stabilizowane spoiwem Solitex rozmkły już po kilku cyklach zamrażania i odmrażania, wykazując brak mrozoodporności.

## Podsumowanie

Zróznicowanie uziarnienia badanej mieszanki popiołowo-żużlowej, pochodzącej z różnych fragmentów składowi-

TABELA 5. Wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporność mieszanki popiołowo-żużlowej stabilizowanej wapnem na tle wymagań normowych (badania własne)

TABLE 5. The compressive strength and frost resistance of the ash-slag mixture stabilized with lime against standard requirements (own studies)

Wymagania normy PN-S-96011:1998 The requirements of PN-S-96011:1998			Wyniki badań Tests results		
górną warstwę ulepszonych podłoża the upper part of the improved substrate layer	podbudowa pomocnicza dróg o ruchu lekkim secondary foundation of light traffic roads	wstępne ulepszenie gruntów przeznaczonych do dalszej stabilizacji lub na dolnej warstwie ulepszonych podłoża initial improvement of soils intended for further stabilization or for the lower layers of the improved substrate	czas pieczenia curing duration [24 h]	dobór wapna lime addition [%]	wartości values
Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength [MPa]					
≥ 0,3	≥ 0,5	≥ 0,2	7×	3	0,78
				6	0,95
				8	0,93
≥ 0,4	≥ 0,7	–	28×	3	1,17
				6	2,03
				8	2,07
Wskaźnik mrozoodporności Frost resistance index [-]					
≥ 3 cykli* ≥ 3 cycles*	≥ 5 cykli* ≥ 5 cycles*	–	–	3	0,50
				6	0,42
				8	0,37

\* Wymagana liczba cykli z-o, po których próbka nie ulega rozpadowi / Number of cycles f-th required, after which sample is not desintegrated.

ska i o różnym okresie zalegania, było stosunkowo nieduże i wynosiło do około 9% we frakcjach grubszych (żwirowej i piaskowej) i do 4% we frakcjach drobniejszych (pyłowej i ilowej). Ze względu na to, że od składu uziarnienia zależą wartości parametrów geotechnicznych, należy każdorazowo badać pobraną partię materiału. Zakres tych badań powinien być określony w zależności od planowanego zastosowania.

Stabilizacja jest ważnym czynnikiem ulepszenia właściwości geotechnicznych mieszanki w aspekcie zastosowania tego materiału do celów budownictwa drogowego. Następuje zwiększenie wytrzymałości na ściskanie i mrozoodporności (w większości przypadków), zależne w sposób istotny od rodzaju zastosowanego spoiwa i jego procentowego dodatku do mieszanki. Wyniki stabi-

lizacji prowadzonej z użyciem różnych spoiw hydraulicznych wykazały, że:

- Najbardziej skutecznym spoiwem jest cement. Dodatek 6% tego spoiwa kwalifikuje mieszankę jako materiał przydatny na podbudowę zasadniczą lub pomocniczą nawierzchni drogowej oraz na górne warstwy nasypów w strefie przemarzania.
- Mniej skutecznym spoiwem jest wapno. Dodatek 3% tego spoiwa kwalifikuje mieszankę jako materiał przydatny na podbudowę nawierzchni drogowej o ruchu bardzo lekkim i na górne warstwy ulepszonego podłoża. Dodatek 6% tego spoiwa kwalifikuje mieszankę jako materiał przydatny na górne warstwy nasypów w strefie przemarzania lub na podbudowę nawierzchni drogowej o ruchu bardzo lekkim.
- Jeszcze mniej skutecznym spoiwem jest Terramix F22,5. Dodatek 8% tego spoiwa kwalifikuje mieszankę jako przydatną do górnej warstwy ulepszonego podłoża i podbudowy pomocniczej dróg o ruchu bardzo lekkim.
- Najmniej skutecznym spoiwem jest Solitex. Dodatek nawet 8% tego spoiwa nie kwalifikuje mieszankę jako przydatnej ani do warstw konstrukcyjnych, ani do ulepszenia podłoża.

Badana mieszanka popiołowo-żużlowa może być stosowana: jako materiał samodzielny – do budowy korpusów nasypów w miejscach suchych lub izolowanych od wody; po stabilizacji spoiwami hydraulicznymi, głównie cementem lub wapnem – do formowania warstw konstrukcyjnych w budownictwie drogowym. Wykorzystanie materiałów odpadowych z przemysłu energetycznego

do celów budownictwa inżynierskiego ma duże znaczenie ekonomiczne i przyczynia się do ochrony środowiska przyrodniczego poprzez ograniczenie ilości ubocznych produktów spalania wywożonych na składowiska.

## Literatura

- Galos, K. i Uliasz-Bocheńczyk, A. (2005). Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, 21(1), 23-42.
- Kucowski, J., Laudyn, D. i Przekwas, M. (1994). *Energetyka a ochrona środowiska*. Warszawa: WNT.
- Myślińska, E. (1998). *Laboratoryjne badania gruntów*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Pisarczyk, S. (2004). *Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
- PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
- PN-S-96011:1998. Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych.
- PN-S-96012:1997. Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoża z gruntu stabilizowanego cementem.
- Zawisza, E. (2001). *Geotechniczne i środowiskowe aspekty uszczelniania grubookruchowych odpadów powęglowych popiołami lotnymi*, Zeszyt 280. Kraków: Wydawnictwo Akademii Rolniczej w Krakowie.
- Zawisza, E., Biśtyga, J. i Kopczyński, M. (2017). Wytrzymałość na ściskanie i mrozoodporność popioło-żużla stabilizowanego spoiwami hydraulicznymi. *Acta Scientiarum Polonorum, Formatio Circumiectus*, 16(1), 27-41.
- Zawisza, E. i Franczak, A. (2010). Wytrzymałość i mrozoodporność stabilizowanych popiołów lotnych. *Drogownictwo* 6, 202-207.
- Zawisza, E., Gruchot, A. i Michalski, P. (2006). Wpływ stabilizacji cementem lub wapnem



na wytrzymałość i mrozoodporność odpadów energetycznych ze składowiska Elektrociepłowni „Łęg” w Krakowie. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 1, 22-30.

Zawisza, E. i Kłęk, K. (2006). Stabilizacja popiołów spoiwami w drogownictwie. *Drogoznictwo*, 12, 396-400.

Zawisza, E. i Sobuła, K. (2007). Wytrzymałość i mrozoodporność popiołów lotnych z elektrociepłowni” Kraków” stabilizowanych cementem lub wapnem. *Prace Naukowe Instytutu Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Wrocławskiej. Konferencje*, 76(42), 665-676.

## Streszczenie

**Stabilizacja mieszanin popiołowo-żużlowych spoiwami hydraulicznymi.** Artykuł zawiera wyniki badań stabilizacji mieszaniny popiołowo-żużlowej pochodzącej ze składowiska Elektrociepłowni „Kraków”: cementem, wapnem, spoiwami Terramix F22,5 i Solitex. Badania obejmowały określenie podstawowych parametrów geotechnicznych oraz wytrzymałości na ścislenie bez dodatku spoiwa i z dodatkiem 3, 6 i 8% po 7 i 28 dobach pielęgnacji oraz po 28 dobach pielęgnacji próbek poddanych cyklom zamrażania i odmrażania. Wyniki przeprowadzonych badań i analiz odniesiono do przedmiotowych

norm i dokonano oceny przydatności stabilizowanej mieszaniny popiołowo-żużlowej do celów budownictwa drogowego.

## Summary

**Stabilisation of ash-slag mixtures with hydraulic binders.** The paper presents results of investigation on stabilization of the ash-slag mixture from the landfill of “Kraków” CHP Plant using: cement, lime, Terramix F22.5 and Solitex. The research included determining basic geotechnical characteristics as well as the compressive strength without and with addition of 3, 6 and 8% of a binder after 7 and 28 days of curing samples and after 28-day cycles of freezing and thawing. The results of the conducted tests and analyses were referenced to the relevant standards and the usability of the stabilized ash-slag mixture for road engineering purposes was assessed.

### Authors' address:

Eugeniusz Zawisza  
Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja  
Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki  
30-059 Kraków, al. Mickiewicza 24/28  
Poland  
e-mail: kiwig@urk.edu.pl