

Wpływ obciążenia i wilgotności na wartości wskaźnika nośności mieszanki popiołowo-żużlowej ze składowiska elektrowni „Skawina”

Influence of loading and moisture content on the CBR ratio of ash-slag mixture



Dr inż. Andrzej Gruchot^{*)}



Mgr inż. Agnieszka Wójtowicz^{*)}

Treść: W pracy przedstawiono wyniki badań wskaźnika nośności CBR mieszanki popiołowo-żużlowej pobranej ze składowiska Elektrowni „Skawina” z uwzględnieniem wpływu obciążenia i wilgotności. Próbkę do badań formowano przy wilgotności zbliżonej do optymalnej oraz mniejszej od niej o około 7% i większej o około 3%. Próbkę w trakcie badania obciążono siłą o wielkości 22 i 44 N. Stwierdzono, że wskaźnik nośności mieszanki popiołowo-żużlowej zależał w istotny sposób od wilgotności, przy której były formowane próbki oraz w mniejszym stopniu od obciążenia. Najwyższe jego wartości uzyskano dla próbek formowanych przy wilgotności zbliżonej do optymalnej, najniższe dla próbek formowanych przy wilgotności większej od optymalnej.

Abstract: This paper presents the results of California Bearing Ratio tests of ash-slag mixture from „Skawina” power plant landfill with consideration of the influence of loading and moisture content. The tests were based on samples formed at the moisture content close to the optimal one, lower by about 7% than the optimal one and higher by about 3% than the optimal one. During the test the samples were loaded with 22 and 44 N. It was stated that the bearing ratio of ash-slag mixture greatly depended on the moisture content of samples and to a lesser extent on the loading applied. The highest values were obtained for samples formed at the moisture content close to the optimal one, the lowest – for samples formed at the moisture content higher than the optimal one.

Słowa kluczowe:

mieszanka popiołowo-żużlowa, wskaźnik nośności CBR, wilgotność, obciążenie

Key words:

ash-slag mixture, CBR ratio, moisture content, loading

1. Wprowadzenie

W Polsce węgiel brunatny i kamienny jest podstawowym źródłem wykorzystywanym do produkcji energii elektrycznej i ciepłej. Pisarczyk [7] ocenia, że przy produkcji 1 kWh energii wytwarzanych jest od 35 do 220 g odpadów poenergetycznych. Odpady te to tzw. uboczne produkty spalania (UPS) w postaci popiołów lotnych, żużli, mieszanin popiołowo-żużlowych, mikrosfer, popiołów z kotłów fluidalnych, gipsów z odsiarczania spalin metodą mokrą wapienną, odpadów z odsiarczania spalin metodami półsuchymi i suchymi. Wytwarzane w procesach spalania odpady powstają na skutek

występowania w węglu znacznych ilości substancji niepalnych, których zawartość w węglu kamiennym waha się od 11 do 17%, a w węglu brunatnym – od 3 do 11% [3].

Powstające odpady były i często dalej są składowane na składowiskach, co powoduje wiele problemów, takich jak pylenie, konieczność wygospodarowania dużej przestrzeni, wymywanie zanieczyszczeń do wód gruntowych. Zagospodarowanie odpadów oprócz zmniejszenia konieczności ich składowania prowadzi do wielu korzyści zarówno w zakresie ochrony środowiska, jak i pod względem ekonomicznym. Obecnie zdecydowana większość odpadów poenergetycznych jest wykorzystywana w budownictwie, drogownictwie, górnictwie lub rolnictwie. Odpady te z powodzeniem zastępują grunty naturalne w nasypach ziemnych, pełnią rolę spoiwa podczas stabilizacji gruntów lub są składni-

^{*)} Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

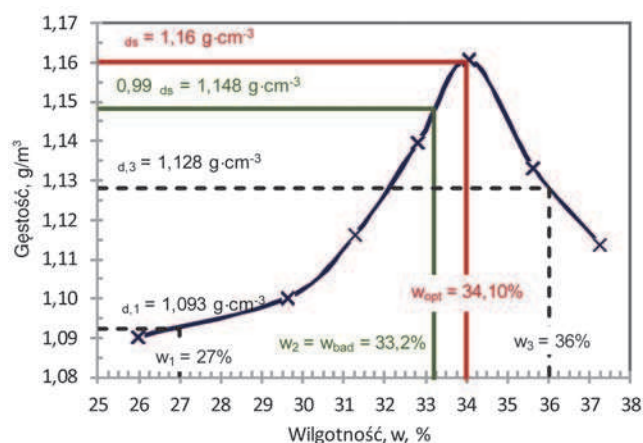
kiem mieszanek mineralnych w podbudowach drogowych [1, 2, 11]. W górnictwie są wykorzystywane w postaci wodnych zawieszin, głównie w technologiach uszczelniania i izolacji zwałów, a także likwidacji wyrobisk korytarzowych [8, 9]. W rolnictwie wykorzystuje się je w celu poprawy struktury gleb oraz jako nawóz [5, 10]. W budownictwie ogólnym popioły stosuje się także do produkcji klinkieru, ze względu na właściwości pucolanowe mogą również zastępować cement w betonie [4]. Produkuje się z nich kruszywa lekkie oraz produkty ceramiki budowlanej [6].

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy było określenie wpływu obciążenia i wilgotności na wskaźnik nośności CBR mieszaniny popiołowo-żuźlowej pobranej ze składowiska Elektrowni „Skawina”.

Podstawowe właściwości fizyczne oraz parametry zagęszczalności oznaczono metodami standardowymi. Skład uziarnienia odpadów oznaczono metodą sitową dla ziarn i cząstek większych od 0,063 mm oraz metodą areometryczną dla cząstek mniejszych od 0,063 mm. Gęstość właściwą szkieletu oznaczono metodą kolby miarowej w wodzie destylowanej. Wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono w aparacie Proctora w cylindrze o objętości 2,2 dm³, przy energii zagęszczania 0,59 J·cm⁻³.

Wartości wskaźnika nośności CBR określono na próbkach mieszaniny popiołowo-żuźlowej o pełnym uziarnieniu bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po 4 dobach nasączenia wodą [13]. Próbki formowano przy wilgotności wyjściowej wyznaczonej z krzywej Proctora i odpowiadającej 0,99·ρ_{ds} (33,2% - wymóg normy [13]) oraz przy wilgotności mniejszej o około 7% (27%) i większej o około 3% (36%) od wilgotności optymalnej (rys. 1). Dla przyjętych wilgotności stopień wilgotności próbek wynosił od 0,54 do 0,76. Należy jednak wskazać, że przy wilgotności wynoszącej 36% stwierdzono grawitacyjny odciek wody z przygotowanych próbek i tym samym oznaczona wilgotność mieszaniny w trakcie ich formowania była o kilka procent wyższa od tej po badaniu wskaźnika nośności CBR.



Rys. 1. Zależność gęstości objętościowej szkieletu od wilgotności mieszaniny popiołowo-żuźlowej - parametry zagęszczalności i przyjęte wilgotności wyjściowe do formowania próbek

Fig. 1. Relationship between the dry density and the moisture content of ash-slag mixture – compactability parameters and the assumed output moisture contents for sample formation

Próbki w trakcie badania obciążono siłą o wartości 22 i 44 N. Wskaźnik nośności określono przy penetracji trzpienia o powierzchni 20 cm² do głębokości 2,5 i 5,0 mm z prędkością 1,25 mm·min⁻¹. Jako wartość miarodajną przyjęto wyższą wartość wskaźnika nośności. W trakcie procesu nasączenia próbek wodą, rejestrowano zmiany ich wysokości, co pozwoliło określić wartość pęcznienia liniowego wyrażonego w procentach jako stosunek przyrostu wysokości do początkowej wysokości próbki. Analizę uzyskanych wyników przeprowadzono w oparciu o wartości średnie wskaźnika nośności CBR z co najmniej dwóch powtórzeń i wilgotności w strefie penetracji trzpienia.

3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Właściwości fizyczne

W składzie uziarnienia mieszaniny popiołowo-żuźlowej dominowała frakcja piaszkowa, której było blisko 57%, frakcji żwirowej było 14%, pyłowej nieco ponad 26%, a ilowej – 3% (tab. 1). Według nomenklatury geotechnicznej uziarnienie mieszaniny odpowiadało kilkufrakcyjnym piaskom pylastym.

Gęstość właściwa szkieletu wynosiła około 2,4 g·cm⁻³, a maksymalna gęstość objętościowa szkieletu 1,16 g·cm⁻³ przy wilgotności optymalnej 34%.

Tabela 1. Charakterystyka geotechniczna mieszaniny popiołowo-żuźlowej

Table 1. Geotechnical characteristics of ash-slag mixture

Lp	Parametr	Symbol	Jednostka	Wartość
1	Zawartość frakcji, %:			
	- żwirowa: 2 ÷ 63 mm	Gr		13,9
	- piaszkowa: 0,063 ÷ 2 mm	Sa	%	56,8
	- pyłowa: 0,002 ÷ 0,063 mm	Si		26,3
	- ilowa: < 0,002 mm	Cl		3,0
2	Nazwa wg [12]	siSa (piasek pylasty)		
3	Wskaźnik jednorodności uziarnienia	C _u	-	12,7
4	Wskaźnik krzywizny uziarnienia	C _c	-	1,4
5	Gęstość właściwa szkieletu	ρ _s	g·cm ⁻³	2,41
6	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	ρ _{ds}	g·cm ⁻³	1,16
7	Wilgotność optymalna	w _{opt}	%	34,1

3.2. Wskaźnik nośności CBR

Wskaźnik nośności próbek obciążonych siłą 22 N i formowanych przy wilgotności zbliżonej do optymalnej w badaniu bezpośrednio po zagęszczeniu wyniósł średnio 41%, a po 4-dobowym nasączeniu wodą - 31% przy wzroście wilgotności o 7%. Przy wilgotności formowania próbek mniejszej od optymalnej wskaźnik nośności wyniósł 38% dla próbek bezpośrednio po zagęszczeniu i 29% po 4-dobowym czasie nasączenia wodą, przy wzroście wilgotności o blisko 12%. Natomiast przy wilgotności większej od optymalnej uzyskano wskaźnik nośności wynoszący 27% dla próbek bezpośrednio po zagęszczeniu, a po 4-dobowym czasie nasączenia wodą wskaźnik ten wyniósł nieco ponad 16%, przy wzroście wilgotności o 4% (rys. 1a).

Zwiększenie obciążenia do 44 N (rys. 1b) pozwoliło uzyskać wskaźnik nośności wynoszący blisko 43% w przypadku próbek formowanych przy wilgotności zbliżonej do optymalnej w badaniach bezpośrednio po zagęszczeniu i 40% po 4-dobowym czasie nasączenia wodą, przy wzroście wilgotności o 4%. Przy wilgotności mniejszej od optymalnej uzyskano wskaźnik nośności wynoszący 40% dla próbek bezpośrednio po zagęszczeniu i 32% po 4 dobach ich nasączenia wodą i przy wzroście wilgotności o ponad 10%. W przypadku próbek formowanych przy wilgotności większej od optymalnej w badaniach bezpośrednio po zagęszczeniu wskaźnik nośności wyniósł 30%, a po wzroście wilgotności o 5% spowodowanym 4-dobowym czasem nasączenia wodą - 18%.

Wyniki badań przedstawiono w tab. 2.

W oparciu o powyższą analizę wpływu wilgotności, przy której były formowane próbki stwierdzono, że ma ona znaczący wpływ na wartości wskaźnika nośności. Najwyższe jego wartości uzyskano dla próbek formowanych przy wilgotności zbliżonej do optymalnej, a więc przy największym zagęszczeniu próbki (rys. 2). Nieco niższe wartości wskaźnika nośności, o około 3% uzyskano dla próbek formowanych przy wilgotności mniejszej od optymalnej. Natomiast dla próbek formowanych przy wilgotności większej od optymalnej uży-

skano również wartości niższe w stosunku do wilgotności optymalnej, przy czym różnice sięgają tutaj blisko 14% w badaniach bezpośrednio po zagęszczeniu oraz ponad 22% w badaniach po 4 dobach nasączenia wodą i obciążeniu siłą 44 N.

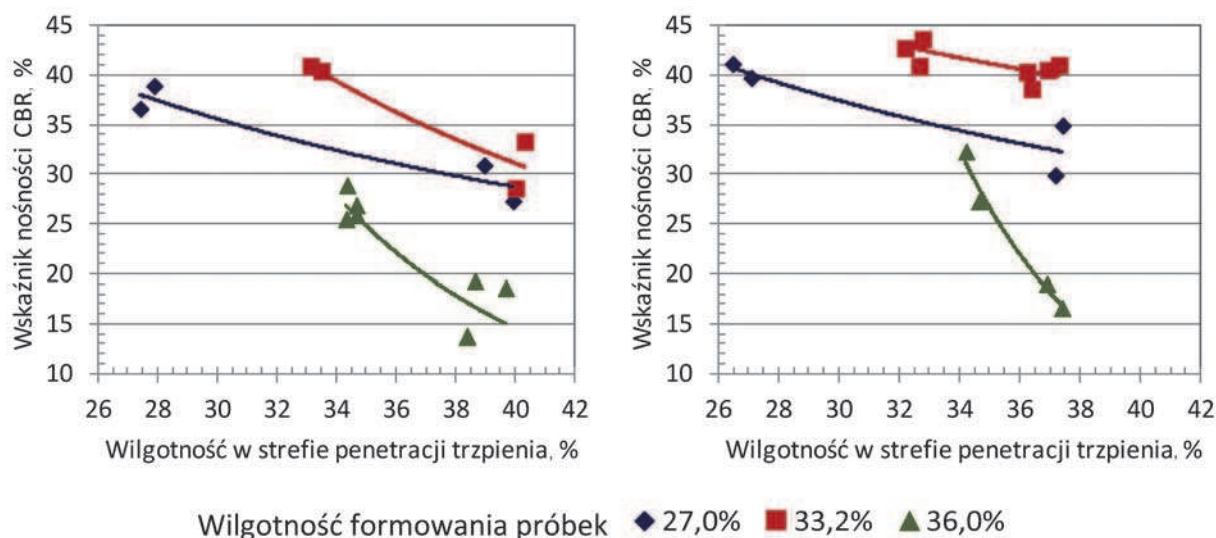
Wzrost obciążenia próbek z 22 do 44 N spowodował zwiększenie wskaźnika nośności (rys. 3). W przypadku próbek poddanych badaniu bezpośrednio po zagęszczeniu było to nieznaczne zwiększenie, bo o około 2 do 3%. Natomiast dla próbek po 4-dobowym czasie nasączenia wodą uzyskano zwiększenie o ponad 9% dla próbek formowanych przy wilgotności optymalnej, a dla próbek formowanych przy wilgotności mniejszej i większej od optymalnej – od nieco ponad 1 do 3%.

3.3. Pęcznienie liniowe

Pęcznienie liniowe mieszaniny popiołowo-żuźlowej po 4-dobowym czasie nasączenia wodą było niewielkie i nie przekraczało 0,1%. Nawet przy tak nie wielkim pęcznieniu należy stwierdzić, że najwyższe wartości stwierdzono dla próbek formowanych przy najniższej wilgotności. Obserwowano również wpływ obciążenia próbek, jego wzrost spowodował zmniejszenie pęcznienia liniowego.

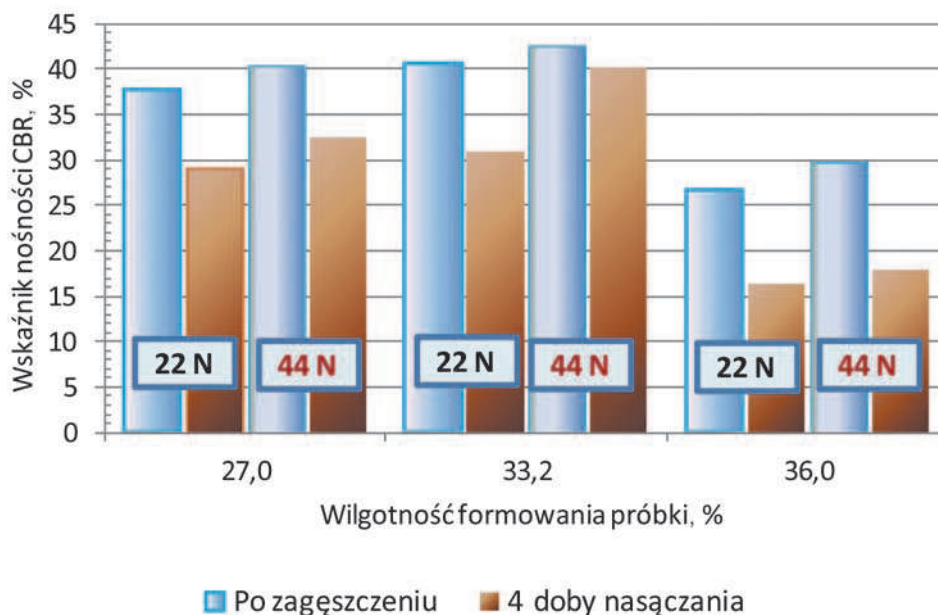
Tabela 2. Wyniki badań wskaźnika nośności CBR mieszaniny popiołowo-żuźlowej
Table 2. Test results of CBR ratio of ash-slag mixture

Wilgotność założona	Czas nasączenia wodą	Wilgotność w strefie penetracji trzpienia	Wskaźnik nośności CBR	Wilgotność w strefie penetracji trzpienia	Wskaźnik nośności CBR
		%			
%	dooby	Obciążenie 22 N		Obciążenie 44 N	
27,0	0	27,7	37,8	26,8	40,4
	4	39,4	29,1	37,3	32,4
33,0	0	33,3	40,7	32,6	42,7
	4	40,2	31,0	36,7	40,1
36,0	0	34,5	26,8	34,4	29,8
	4	38,8	16,4	37,2	17,8

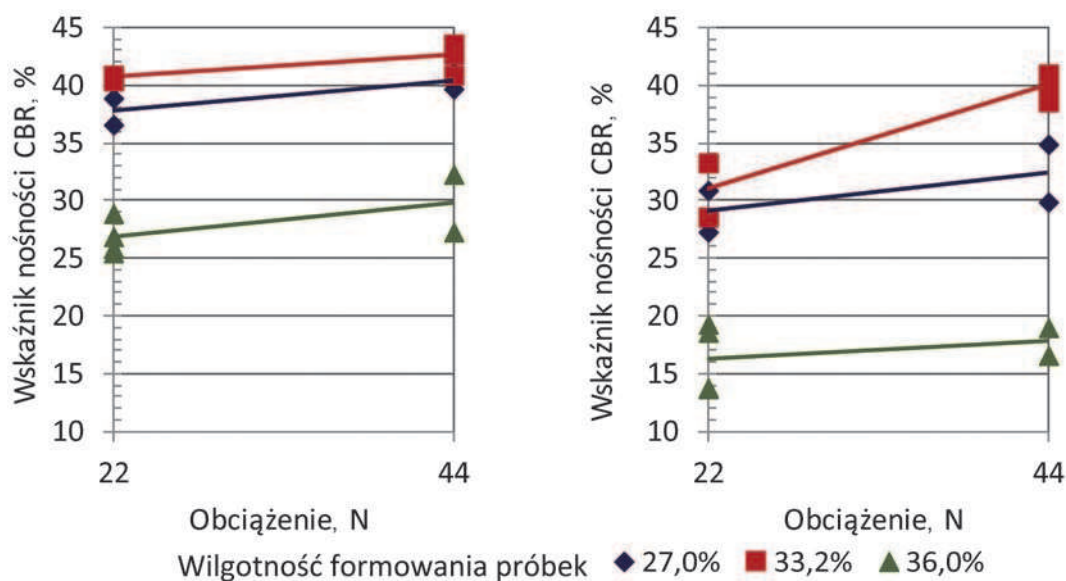


Rys. 1. Zależność wskaźnika nośności CBR od wilgotności próbki w strefie penetracji trzpienia a) obciążenie 22 N, b) obciążenie 44 N

Fig. 2. Relationship between the CBR ratio and moisture content of sample in the rod penetration zone



Rys. 2. Zależność wskaźnika nośności CBR od wilgotności, przy której formowano próbki
 Fig. 3. Relationship between the CBR ratio and the moisture content by which samples were formed



Rys. 3. Zależność wskaźnika nośności od obciążenia dla przyjętych wilgotności formowania próbek
 a – badanie bezpośrednio po zagęszczeniu próbek, b – badanie po 4-dobowym czasie nasączenia próbek
 Fig. 4. Relationship between the CBR ratio and the loading for the assumed moisture contents of the samples' formation

4. Podsumowanie

Na podstawie analizy wyników badań mieszaniny popiołowo-żużlowej z Elektrowni „Skawina” stwierdzono, że wskaźnik nośności CBR badanych odpadów zależał od wilgotności, przy której były formowane próbki oraz w mniejszym stopniu od obciążenia. Najwyższe jego wartości uzyskano dla próbek formowanych przy wilgotności zbliżonej do optymalnej, najniższe dla próbek formowanych przy wilgotności większej od optymalnej.

Wilgotność odgrywa również znaczącą rolę w przypadku próbek poddanych nasączeniu wodą. Wzrost wilgotności odpadów w wyniku 4-dobowego czasu nasączenia spowodował zmniejszenie wskaźnika nośności mieszaniny.

Wzrost obciążenia od 22 do 44 N spowodował nieznaczne zwiększenie wskaźnika nośności w badaniach na próbkach bezpośrednio po zagęszczeniu. Natomiast po 4-dobowym czasie nasączenia wodą wpływ ten jest dość istotny, dla konstrukcji nawierzchni drogowej i będzie czynnikiem zwiększającym nośność nasypu wykonanego z przedmiotowej mieszaniny.

Literatura

1. *Duszyński A., Śliwińska-Serafin M.*: Mieszanki popiołowo-żuźlowe – identyfikacja dla zastosowania w budownictwie drogowym. Monografia „Popioły z energetyki”. Międzyzdroje 2007.
 2. *Filipiak J.*: Wykorzystanie ubocznych produktów spalania jako stabilizatora do wzmacniania gruntów organicznych. Rocznik Ochrona Środowiska, 2013, 1153–1163.
 3. *Galos K., Uliasz-Bocheńczyk A.*: Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2005, nr 1.
 4. *Garbacik A., Baran T.*: Prognoza rozwoju cementów i spoiw hydraulicznych z dużą ilością popiołów. Monografia „Popioły z energetyki”, Międzyzdroje 2007.
 5. *Gibczyńska M.*: Popioły w rolnictwie. Monografia „Popioły z energetyki”. Zakopane 2009.
 6. *Nowak W., Majchrzak-Kucęba I., Majchrzak A.*: Nowe kierunki zagospodarowania popiołów lotnych. Monografia „Popioły z energetyki”, Zakopane 2011.
 7. *Pisarczyk S.*: Grunty nasytowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
 8. *Plewa F., Pierzyna P., Piontek P.*: Wpływ rodzaju odpadów poenergetycznych na właściwości mechaniczne mieszanin kompozytowych stosowanych w różnych środowiskach górnictwa podziemnego. „Polityka energetyczna” 2007, t. 10, z. 2.
 9. *Plewa F., Pierzyna P.*: Wykorzystanie ubocznych produktów spalania do utylizacji wód kopalnianych. „Polityka energetyczna” 2008, t. 11, z. 1.
 10. *Rosik-Dulewska C.*: Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
 11. *Sybilski D., Kraszewski C.*: Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych. Instytut Budowy Dróg i Mostów, Warszawa 2004.
 12. PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikacji. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
 13. PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
-
-