

Andrzej Batog, Maciej Hawrysz**

PRZYDATNOŚĆ MIESZANEK POPIOŁOWO-GRUNTOWYCH DO BUDOWY NASYPÓW KOMUNIKACYJNYCH

1. Wstęp

Wzrost ilości inwestycji komunikacyjnych oraz przyspieszenie tempa ich realizacji na terenie miasta Wrocławia i jego okolicach bezpośrednio wpływa na zwiększone zapotrzebowanie na kwalifikowany materiał gruntowy. Kolejnym istotnym czynnikiem wpływającym na zwiększony popyt na dobry materiał gruntowy jest aktualnie preferowany sposób projektowania tras komunikacyjnych na terenach zurbanizowanych, który polega na prowadzeniu tras ruchu po nasypach ziemnych a nie po estakadach żelbetowych. Wynika to z aktualnych oszacowań kosztów, według których wyższy jest koszt wykonania konstrukcji żelbetowej niż nasypów. Jednym ze skutków intensywnej inwestycji jest wyczerpywanie się położonych w rejonie Wrocławia już ostatnich złóż odpowiedniego materiału gruntowego, przydatnego do bezpośredniego wbudowania w korpusy nasypów komunikacyjnych.

W tej sytuacji możliwe są dwa sposoby rozwiązywania problemu braku odpowiedniego materiału gruntowego do formowania nasypów komunikacyjnych, a mianowicie:

- eksploatacja złóż położonych w znacznej odległości od budowy lub poszukiwanie i uruchamianie eksploatacji nowych złóż surowców mineralnych,
- wykorzystanie antropogenicznych materiałów gruntowych takich jak odpady paleniskowe lub budowlane po ich odpowiednim przetworzeniu [1], jako składniki mieszanek z gruntami mineralnymi o lepszych właściwościach.

W pracy przedstawiono wyniki badań geotechnicznych antropogenicznego materiału gruntowego w postaci mieszanek naturalnego kruszywa mineralnego z odpadem paleniskowym (mieszanka popiołu i żużla) pochodzącymi ze spalania węgla w elektrociepłowni zlokalizowanej w pobliżu miasta Wrocławia. Rezultaty badań pozwoliły na ustalenie zakresu przydatności badanego materiału gruntowego do budowy nasypów

* Instytut Geotechniki i Hydrotechniki, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Politechnika Wroclawska, Wrocław

komunikacyjnych. Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono dyskusję podanych w przedmiotowych normach [2] i wytycznych [3] kryteriów oceny przydatności tego typu mieszanek do wykonywania budowli ziemnych. W szczególności wskazano na niejednoznaczność normowych kryteriów oceny przydatności pod kątem zawartości części organicznych.

2. Charakterystyka mieszanek

Przeprowadzone badania dotyczyły materiału gruntowego powstałego w wyniku zmieszania naturalnego gruntu piaszczystego pochodzącego z budowanego zbiornika retencyjnego „Staw Siechnice” oraz odpadu paleniskowego (mieszaniny popiołowo–żuźlowej) pochodzącego ze składowiska w Siechnicy, który znajduje się w obrocie handlowym pod nazwą „Kruszywo geotechniczne — GEO 2”.

Próby materiału gruntowego do badań laboratoryjnych zostały pobrane w sposób losowy. Próbkę mieszaniny popiołowo–żuźlowej (kruszywo geotechniczne GEO 2) pobrano z trzech miejsc na składowisku odpadów paleniskowych Siechnica, miejsca poboru próbek zaznaczono na planie sytuacyjnym (rys. 1).



Rys. 1. Lokalizacja miejsc poboru próbek odpadu paleniskowego z obszaru składowiska w Siechnicy



Rys. 2. Lokalizacja miejsc poboru próbek naturalnego kruszywa ze Stawu Siechnica

Próbkę piasku ze Stawu Siechnice pobrano z trzech otworów badawczych oznaczonych symbolami O1, O2, O3 oraz z odkrywki o oznaczeniu O4, których lokalizację przedstawiono na rysunku 2.

Do badań laboratoryjnych przygotowano dwie mieszanki gruntów naturalnego i antropogenicznego:

mieszanka I — tworzą ją po jednej objętości obu składników ($1 V_{pz} : 1 V_p$), co odpowiada proporcji wagowej $1 m_{pz} : 2/3 m_p$, oznaczono ją symbolem 1–1,

mieszanka II — tworzy ją półtojei jednostki objętościowej popiołu z żużlem i jedna jednostka objętości piasku ($1,5 V_{pz} : 1 V_p$), co z kolei odpowiada jednakowej masie obu składników w tej mieszance, którą oznaczono symbolem 1,5–1.

gdzie:

V_{pz}, m_{pz} — objętość i masa mieszaniny popiołowo – żużlowej,
 V_p, m_p — objętość i masa piasku.

3. Program badań laboratoryjnych mieszanek

Celem badań było ustalenie możliwości wykorzystania powstałego nowego materiału gruntowego w postaci mieszanki popiołowo–żużlowo–piaskowej do robót ziemnych, a w szczególności do budowy nasypów drogowych obwodnic Wrocławia.

Badania wybranych parametrów geotechnicznych wykonano zgodnie z procedurami podanymi w normie PN-88/B-04481 [4].

Skład granulometryczny badanego materiału gruntowego ustalono na podstawie analizy sitowej z przemywaniem jego próbek. Zawartość części organicznych oznaczono metodą utleniania za pomocą dwuchromianu potasu metodą Tiurina. Wskaźnik pęcznienia swobodnego został oznaczony na próbkach o wysokości 1 cm w przyrządzie Wasiliewa [5].

Badania wytrzymałości gruntu na ścinanie prowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania (ABS) na próbkach o wymiarach $12 \times 12 \times 6$ cm, wstępnie zagęszczonych do przyjętego poziomu gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} przy trzech różnych obciążeniach pionowych σ_n , odpowiadających naprężeniom pionowym występującym w nasypach ziemnych o wysokości do 10 m. Prędkość ścinania kształtek wynosiła 0,1 mm/min. Dla każdej próby wykonano trzy serie ścięć próbek o założonym zagęszczeniu. W podobny sposób przygotowywano próbki do badań ściśliwości w edometrze. Łącznie wykonano dwie serie badań (po jednej dla każdej mieszanki), w każdej z nich po trzy badania próbek o różnym wstępnym zagęszczeniu.

Badania wytrzymałości, w takim samym zakresie, przeprowadzono dla mieszanek o wilgotności „naturalnej” i na próbkach dodatkowo nasączonych wodą — mieszanki „nawilżone”, po nasyceniu ich wodą w strefie podciągu kapilarnego.

4. Wyniki badań

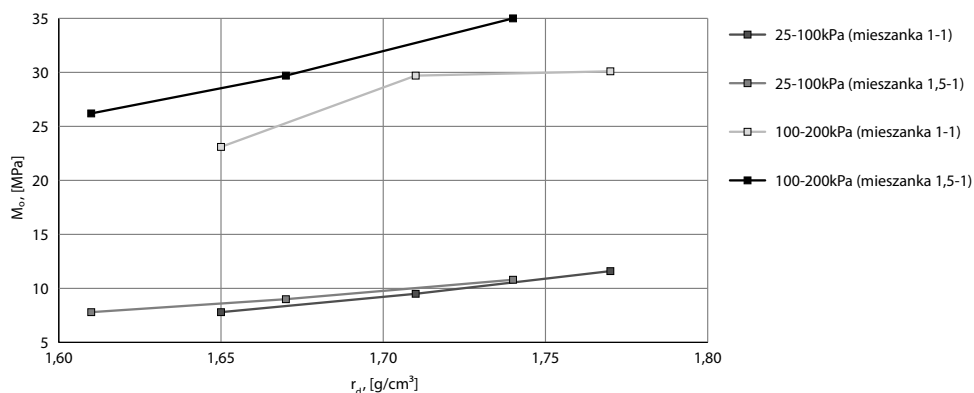
Określone w toku badań wartości parametrów geotechnicznych dla obu mieszanek zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

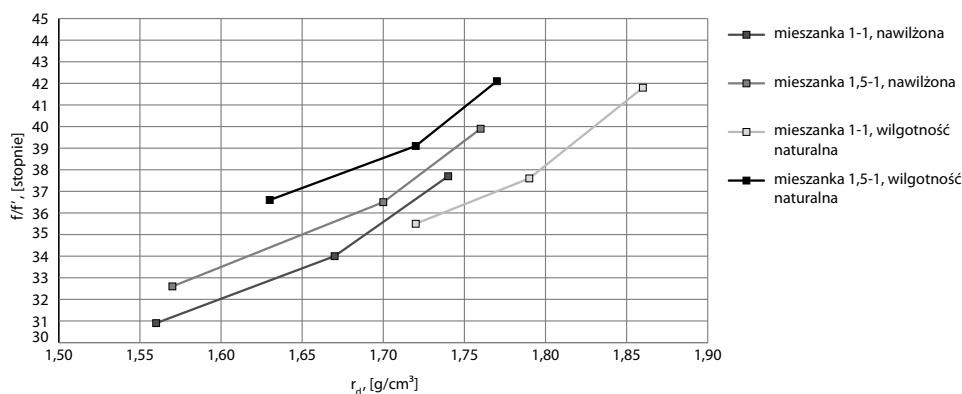
Zestawienie wyników badań laboratoryjnych mieszanek

Właściwości	Parametry		Mieszanka 1-1	Mieszanka 1,5-1
Uziarnienie	Zawartość frakcji kamienistej i żwirowej, $f_k + f_z$	%	15	16
	Zawartość frakcji piaskowej (0,05 ÷ 2mm), f_p	%	74	71
	Zawartość frakcji pyłowej (0,002 ÷ 0,05mm), f_π	%	10	12
	Zawartość frakcji ilowej (poniżej 0,002mm), f_i	%	1	1
	Symbol gruntu w/g PN-86/B-02480, PN-EN ISO 14688:2006	—	Po Sa	Po siSa
	Wskaźnik jednorodności uziarnienia, C_u	—	17,5	18,7
	Wskaźnik krzywizny uziarnienia, C_c	—	3,0	2,9
Zawartość części organicznych	Oznaczona metodą utleniania Turina, I_{om}	%	1,6	2,0
	Zawartość niespalonego węgla	%	3,4	3,8
Wilgotność	„naturalna” (dla gruntu na hałdzie), w_l	%	12,1	13,6
	„nawilżona” (dla gruntu nasyconego wodą), w_2	%	18,2	18,6
Parametry zagęszczalności	Wilgotność optymalna, w_{opt}	%	14,3	14,7
	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego, ρ_d	g/cm ³	1,81	1,77
Wysadzinowość	Zawartość cząstek o średn. $d < 0,075$ mm	%	14	17
	Zawartość cząstek o średn. $d < 0,02$ mm	%	6	7
	Kapilarność bierna, H_{kb}		1,1	1,2
	Wskaźnik swobodnego pęcznienia, ε_p^0	%	1,2	1,4
	Grupa wysadzinowości	—	grunt wątpliwy	grunt wątpliwy
Wodoprzepuszczalność	Współczynnik filtracji według wzoru USBSC, k_{10}	m/s	$5,8 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
Wytrzymałość na ścinanie	Kąt tarcia wewnętrznego φ (mieszanka o wilgotności „naturalnej”)	°	35,5–41,8	36,6–42,1
	Efektywny kąt tarcia wewnętrznego φ (mieszanka nawilżona)	°	30,6–37,7	32,6–39,9
Ścisłość	Edometryczny moduł ścisłości M_o dla przedziału obciążeń $\sigma' = 25-100$ kPa	MPa	27,8–11,6	7,8–10,8
	Edometryczny moduł ścisłości M_o dla przedziału obciążeń $\sigma' = 100-200$ kPa	MPa	23,1–30,1	26,2–35,0

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej M_o w dwu zakresach obciążeń. Natomiast na rysunku 4 przedstawiono wyniki d kąta tarcia wewnętrznego.



Rys. 3. Wyniki badań ścisłości mieszanek popiołowo-piaskowych



Rys. 4. Wyniki badań kąta tarcia wewnętrznego mieszanek popiołowo-piaskowych

5. Charakterystyka badanego materiału gruntowego

5.1. Ocena mieszanek pod względem zagęszczalności

Wyniki przeprowadzonych analiz granulometrycznych metodą przesiewu wykazały że obie mieszanki są dobrze uziarnione, charakteryzują się wskaźnikiem jednorodności uziarnienia $C_U > 5$ i wskaźnikiem krzywizny uziarnienia C_C w przedziale wartości 1–3.

5.2. Ocena mieszanek pod względem zagęszczalności

Porównując wilgotność „naturalną” mieszanek z oznaczoną dla nich w aparacie Proctora wilgotnością optymalną, zauważa się że są one niższe około 2% od wilgotności optymalnej. Oznacza to, że wytworzone mieszanki popiołowo-żużlowo-piaskowe nie powinny długo pozostawać na hałdach, ponieważ może spowodować to ich przesuszenie lub, w przypadku

długotrwałych opadów atmosferycznych, nadmierne zawilgocenie. Najkorzystniejszym wariantem jest „wyprodukowanie” mieszanki bezpośrednio przed jej wbudowaniem w nasyp.

5.3 Ocena mieszanek pod względem zawartości części organicznych

Kryteria dopuszczalnej zawartości części organicznych w gruntach naturalnych i mieszankach popiołowo-żużlowych przeznaczonych do formowania budowli ziemnych, zamieszczone w normie [2] są nieporównywalne. W przypadku gruntów naturalnych, przydatnych do wbudowania w nasyp dopuszcza się, jeśli zawartość miękkiej skały organicznej typu humus namuł, torf itp., będzie nie większa niż 2% substancji, która zostanie wyprażona w wysokiej temperaturze. Natomiast w przypadku mieszaniny popiołowo-żużlowej, dopuszcza się zawartość twardej skały organicznej — niespalonego węgla, aż do 10% zawartości.

Sytuacja taka wykazuje, iż w przypadku mieszanek odpadów paleniskowych z gruntami naturalnymi brak jest jednoznacznego kryterium dla oceny zawartości części organicznych, mających wpływ na kształtowanie się właściwości inżynierskich. Biorąc pod uwagę dotychczasowe doświadczenia, proponuje się ustalenie kryterium przydatności mieszanek odpadów paleniskowych z gruntami naturalnymi, do wykonywania budowli ziemnych, w oparciu zarówno o dopuszczalną zawartość niespalonego węgla określaną na podstawie strat prażenia, jak i o dopuszczalną zawartość części organicznych I_{om} ale ustalanych metodą utleniania Tiurina [7]. Wskazane zagadnienie powinno być przedmiotem dalszych prac badawczych. Dla analizowanych mieszanek stwierdzono spełnienie obu kryteriów zawartości części organicznych.

5.4. Ocena badanego materiału gruntowego pod względem nośności

Badania wskaźnika nośności CBR wykazują wysoki poziom nośności mieszaniny popiołowo-żużlowej (CBR = 40,2%). Ponadto w badaniach wytrzymałości na ścinanie wytworzonych mieszanek uzyskano wysokie i bardzo wysokie wartości kątów tarcia wewnętrznego.

5.5. Ocena badanego materiału gruntowego pod względem wysadzinowości

Obie badane mieszanki kwalifikują się do grupy gruntów wątpliwych (mało wysadzinowych) oznaczanych przez Z. Wiłuna [6] jako grupa B. Wynika to zarówno z zawartości w mieszaninach cząstek drobnych o średnicach $d \leq 0,075$ mm i $d \leq 0,02$ mm, z wysokości podciągu kapilarnego na poziomie nieco powyżej 1 m oraz wartości wskaźnika swobodnego pęcznienia wynoszącego $\varepsilon_p^0 > 1\%$.

6. Podsumowanie

Badany antropogeniczny materiał gruntowy wytworzony w następstwie wymieszania w określonych proporcjach gruntu naturalnego — piasku z materiałem antropogenicznym

— odpadem paleniskowym, uzyskał właściwości dobrze uziarnionego gruboziarnistego (nie-spoistego) materiału gruntowego klasyfikowanego jako pospółki.

Wyniki badań próbek wytworzonego materiału gruntowego wykazały, iż przy dopuszczalnej zawartości części organicznych oraz niespalonego węgla, obie mieszanki mogą być wykorzystane jako samodzielny materiał konstrukcyjny na górne i dolne warstwy nasypów poniżej strefy przemarzania.

Pewna część projektowanych nasypów drogowych na obszarze Wrocławia i w jego sąsiedztwie przebiega przez tereny zalewowe i poldery rzeki Odry [8], w wyniku czego nasypy będą w okresie wezbrań powodziowych poddane działaniu wód. Przeprowadzone badania wykazały że w przypadku zawilgocenia wbudowanych w nasyp warstw z przedmiotowych mieszanek nie nastąpi znaczące pogorszenie parametrów wbudowanego gruntu skutkujące utratą jego przydatności do wykonywania budowli ziemnych.

Ponadto warto zauważyć że mieszanka II (o większej zawartości popiołów i żużla) charakteryzuje się lepszymi parametrami mechanicznymi (rys. 3 i rys. 4), niż mieszanka I, co przy nie przekroczeniu dopuszczalnych wartości innych parametrów fizycznych i chemicznych pozwala na wykorzystanie znacznie większej ilości odpadów paleniskowych niż w przypadku użycia mieszanki I–I (mieszanka I).

LITERATURA

- [1] *Batog A., Hawrysz M.*: Przydatność materiału gruntowego z recyklingu odpadów budowlanych do budowy ziemnych nasypów komunikacyjnych. Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne metody stabilizacji podłoża pod nawierzchnie drogowe i kolejowe”, Żmigród — Węglewo 2009
- [2] PN-S-02205:1998. Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [3] *Pisarczyk S.*: Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2004
- [4] PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu
- [5] Posadowienie budowli na gruntach ekspansywnych, Instrukcja ITB nr 296, Warszawa 1990
- [6] *Wilun Z.*: Zarys geotechniki. Wyd. KiL, Warszawa, 2006
- [7] *Mysłińska E.*: Grunty organiczne i laboratoryjne metoda ich badania. Wyd. PWN, Warszawa 2001
- [8] *Batog A., Hawrysz M.*: Geotechniczne aspekty budowy nasypów drogowych na terenach zalewowych w rejonie Wrocławia. XV Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Inżynierii Geotechnicznej, Bydgoszcz 2009