

WPLYW WARUNKÓW WODNYCH NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ŚCINANIE KRUSZYWA Z ŻUŻLA HUTNICZEGO

Eugeniusz Zawisza, Andrzej Gruchot

Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Przedmiotem pracy jest kruszywo z żużli hutniczych o uziarnieniu 0–11,2 mm, pochodzące z przeróbki odpadów zalegających na składowisku ArcelorMittal Poland w Pleszowie koło Krakowa – Nowej Huty. Celem badań było określenie wytrzymałości na ścinanie i wskaźnika nośności kruszywa w zależności od warunków wodnych, oznaczono również pęcznienie liniowe przy różnym obciążeniu próbki. Wytrzymałość na ścinanie określono w aparacie bezpośredniego ścinania, w skrzynce o przekroju 12×12 cm, z ramkami pośrednimi tworzącymi strefę ścinania o grubości 1 cm. Próbki formowano przy wilgotności optymalnej i wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,97$, a następnie ścinano bezpośrednio po uformowaniu oraz po 3-dobowym nasączeniu wodą. Wskaźnik nośności i pęcznienie określono w cylindrze o objętości $2,2 \text{ dm}^3$. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności oraz wskaźnika nośności były stosunkowo wysokie, co świadczy o dużej wytrzymałości na ścinanie i nośności badanego materiału. Nawodnienie spowodowało obniżenie parametrów wytrzymałościowych i nośności, przy czym parametry te były nadal stosunkowo wysokie. Pęcznienie kruszywa było stosunkowo nieduże. Uzyskane wyniki badań stanowiły podstawę do dokonania oceny możliwości wykorzystania przedmiotowego materiału do celów budownictwa drogowego.

Słowa kluczowe: odpady hutnicze, kruszywa, charakterystyka geotechniczna, parametry wytrzymałościowe, nośność

WSTĘP

W budownictwie ziemnym coraz szerzej wykorzystuje się kruszywa produkowane z odpadowego surowca mineralnego, powstającego np. przy podziemnej eksploatacji złóż węgla kamiennego lub żużli hutniczych będących produktami ubocznymi procesów hutniczych [Pisarczyk 2004, Zawisza 2001, 2012]. Kruszywa te, ze względu na

Adres do korespondencji – Corresponding Authors: dr hab. inż. Eugeniusz Zawisza, prof. UR, dr hab. inż. Andrzej Gruchot, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; e-mail: kiwig@urk.edu.pl, rmgrucho@cyf-kr.edu.pl.

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, Kraków 2017

materiał z jakiego są wytwarzane, są określane jako sztuczne. Należy jednak zauważyć, że surowiec, z którego są one produkowane, nie został poddany żadnej przeróbce oprócz mechanicznej (przekruszenie i rozsianie do odpowiednich frakcji). Tak więc, biorąc pod uwagę definicję kruszyw naturalnych, która stanowi, że są to kruszywa pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostały poddane żadnej innej obróbce, można kruszywa z żużła hutniczego zaliczyć do tej grupy [Kozioł i Kawalec 2008].

Kruszywa z wyselekcjonowanych materiałów odpadowych są konkurencyjne w stosunku do kruszyw naturalnych z uwagi na cenę, ponieważ są tańsze, jak również pod względem zmniejszenia negatywnego oddziaływania na środowisko naturalne, ponieważ są produktem proekologicznym. Należy również zaznaczyć, że kruszywa te są porównywalne pod względem właściwości z kruszywami mineralnymi. Ze względu na niższą gęstość objętościową w wielu przypadkach zmniejsza się ich zapotrzebowanie, co obniża koszty budowy obiektów ziemnych. Ze względu jednak na gęstość mogą się w dość szerokim zakresie różnić pod względem właściwości wytrzymałościowych.

Żużle hutnicze w zależności od rodzaju procesu, składu chemicznego, materiału ogniotrwałego używanego do budowy pieca różnią się składem chemicznym i mineralogicznym. Powoduje to, że należą one do najbardziej zróżnicowanych materiałów odpadowych. W konsekwencji wymagają każdorazowo przed ich wykorzystaniem dokładnego rozpoznania ich właściwości geotechnicznych [Zawisza 2012].

Celem badań było określenie wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie i pęcznienie kruszywa z żużła hutniczego w zależności od warunków wodnych. Badania wykonano w aspekcie oceny możliwości wykorzystania tego materiału do celów budownictwa drogowego.

MATERIAŁY I METODY

Materiał do badań pochodził ze składowiska huty ArcelorMittal Poland w Pleszowie koło Krakowa – Nowej Huty, na którym Ekoprod Sp. z o.o. wytwarza kruszywa z żużła hutniczego o różnych klasach ziarnowych. Przedmiotem badań przedstawionych w niniejszej pracy było kruszywo o uziarnieniu 0–11,2 mm. Podstawowe parametry fizyczne kruszywa oznaczono metodami standardowymi [Myślińska 1998, Wiłun 2000]. Skład granulometryczny oznaczono metodą sitową. Parametry zagęszczalności, to jest wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu oznaczono w aparacie Proctora w cylindrze o objętości $2,1 \text{ dm}^3$ ($h = 12 \text{ cm}$, $d = 15 \text{ cm}$), stosując standardową energię zagęszczania $0,59 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$.

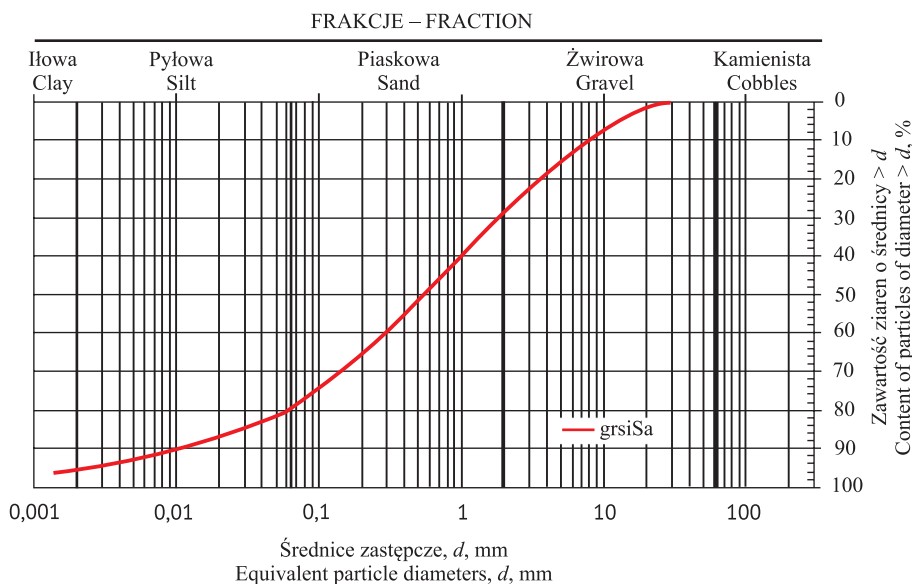
Wartości parametrów charakteryzujących wytrzymałość na ścinanie, to jest kąta tarcia wewnętrznego i spójności, oznaczono w aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce o wymiarach w przekroju poprzecznym $12 \times 12 \text{ cm}$, z ramkami pośrednimi tworzącymi strefę ścinania o grubości 1,0 cm. Stosowanie ramek pośrednich umożliwia ścinanie strefowe, ograniczające wpływ ząbienia i klinowania się ziaren na wartość spójności (tzw. spójność pozorna). Próbkę formowano bezpośrednio w skrzynce aparatu przez ręczne zagęszczanie materiału przy wilgotności optymalnej do uzyskania wskaźnika zagęszczenia $I_s = 0,97$. Następnie próbki konsolidowano przy obciążeniu pionowym o wielkości

50, 100, 200, 300 i 400 kPa przez 15 minut i ścinano przy prędkości $0,25 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ bezpośrednio po ich uformowaniu oraz po 3-dobowym nasączeniu wodą.

Badania wskaźnika nośności wykonano w cylindrze o objętości $2,2 \text{ dm}^3$ ($h = 17,5 \text{ cm}$, $d = 15 \text{ cm}$), zgodnie PN-S-02205:1998, przy penetracji próbki trzpieniem o powierzchni 20 cm^2 do głębokości 2,5 i 5 cm. Większą z uzyskanych wartości przyjęto jako miarodajną wartość wskaźnika nośności. Próbki do badań wskaźnika nośności formowano przy wilgotności odpowiadającej 99% maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu wyznaczonej z krzywej Proctora przy energii zagęszczenia $0,59 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3}$. Próbki poddano nasączeniu w wodzie przez 4 doby bez obciążenia oraz przy obciążeniu siłą 22 oraz 44 N. W czasie nasączenia wodą rejestrowano przyrost wysokości próbek. Wartość pęcznienia liniowego określono jako stosunek przyrostu wysokości próbki do jej początkowej wysokości i wyrażono w procentach.

WYNIKI BADAŃ

Według nomenklatury geotechnicznej [PN-EN ISO 14688-1, 2:2006] badane kruszywo hutnicze można sklasyfikować jako piasek pylasty z dużą zawartością żwiru (tab. 1, ryc. 1). Wskaźnik różnoziarnistości wynosił około 94, a więc materiał można określić jako wielofrakcyjny. W składzie uziarnienia kruszywa dominowała frakcja piaskowa (48%). Zawartość frakcji żwirowej była stosunkowo duża – ponad 34%, frakcji pyłowej była znacznie mniejsza – 14%, a ilowej nieduża – około 4%. Wilgotność optymalna wynosiła 21%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu około $1,69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (ryc. 2).

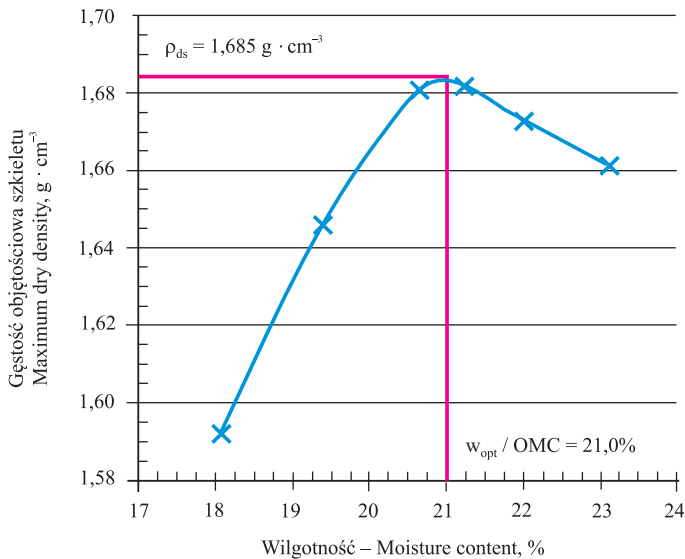


Ryc. 1. Krzywa uziarnienia kruszywa z żużła hutniczego

Fig 1. Grain size distribution curves of the blast furnace slag aggregate

Tabela 1. Podstawowe parametry fizyczne kruszywa z żużla hutniczego
Table 1. Basic physical parameters of the blast furnace slag aggregate

| Parametr – Parameter | Wartość – Value |
|--|------------------------------|
| Zawartość frakcji – Fraction content, %: | |
| żwirowa – gravel (2–63 mm) | 34,5 |
| piaskowa – sand (0,063–2 mm) | 48,0 |
| pyłowa – silt (0,002–0,063 mm) | 14,0 |
| iłowa – clay (< 0,002 mm) | 3,5 |
| Nazwa wg – Name acc. to PN-EN ISO 14688-2:2006 | grsiSa |
| Wskaźnik różnoziarnistości – Uniformity coefficient, – | 93,75 |
| Wilgotność naturalna – Optimum moisture content, % | 18,69–20,05 średnio 19,43 |
| Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu Maximum dry density of solid particles, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | 1,685 |
| Wilgotność optymalna – Optimum moisture content, % | 21,0 |



Ryc. 2. Krzywa zagęszczalności kruszywa z żużla hutniczego

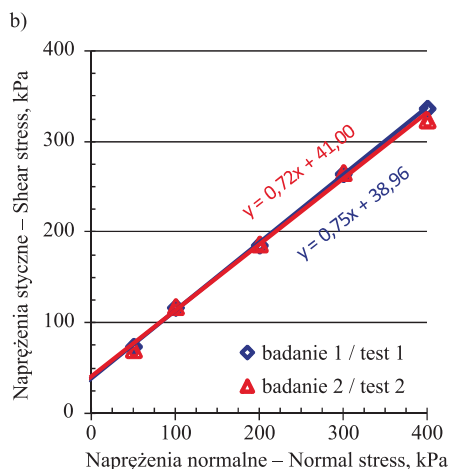
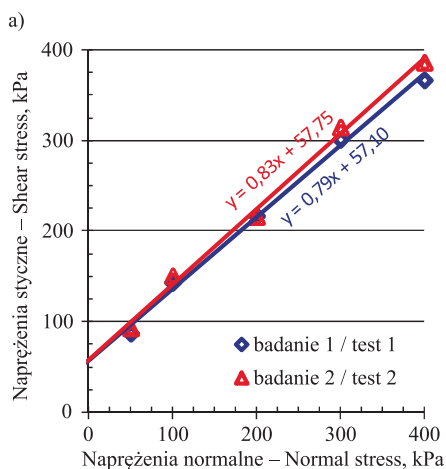
Fig. 2. Compactness curve of the blast furnace slag aggregate

Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie zestawiono w tabeli 2. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności kruszywa o wilgotności optymalnej i wskaźniku zagęszczenia $I_s = 0,97$ wynosiły średnio: $\phi = 39,5^\circ$, $c = 57,45$ kPa. Są to wartości bardzo duże i świadczą o dużej wytrzymałości na ścinanie badanego materiału. Wartości tych parametrów po 3 dobach nasączenia próbek wodą wynosiły średnio: $\phi = 36,35^\circ$, $c = 40,00$ kPa. Wskazują

one, że nawodnienie próbek wpłynęło na zmniejszenie zarówno wartości kąta tarcia wewnętrznego (około 8%), jak i spójności (dość duża o ponad 30%). Znajduje to odzwierciedlenie na wykresach obrazujących wytrzymałość na ścinanie badanego materiału oraz charakteryzujących ją parametrów w zależności od warunków wodnych (ryc. 3).

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałości na ścinanie kruszywa z żużla hutniczego
Table 2. Test results of the shear strength of the blast furnace slag aggregate

| Wytrzymałość na ścinanie próbek – Shear strength of the samples: | | | | | |
|--|--|----------------------|----------------------------|---|----------------------|
| nienawodnionych – unsaturated | | | nawodnionych – saturated | | |
| Nr próbki No. of sample | Kat tarcia wewnętrznego Angle of internal friction | Spójność Cohesion | Nr próbki No. of sample | Kat tarcia wewnętrznego Angle of internal friction | Spójność Cohesion |
| | ϕ , | c , kPa | | ϕ , ° | c , kPa |
| | ścinanie bezpośrednio po uformowaniu próbek shearing directly after moulding of the samples | | | ścinanie po 3 dobach nasączenia próbek wodą shearing of the samples after 3-day soaking in water | |
| 1 | 38,4 | 57,1 | 1w | 36,8 | 39,0 |
| 2 | 39,7 | 57,8 | 2w | 35,9 | 41,0 |
| Średnia Mean | 39,05 | 57,45 | Średnia Mean | 36,35 | 40,0 |



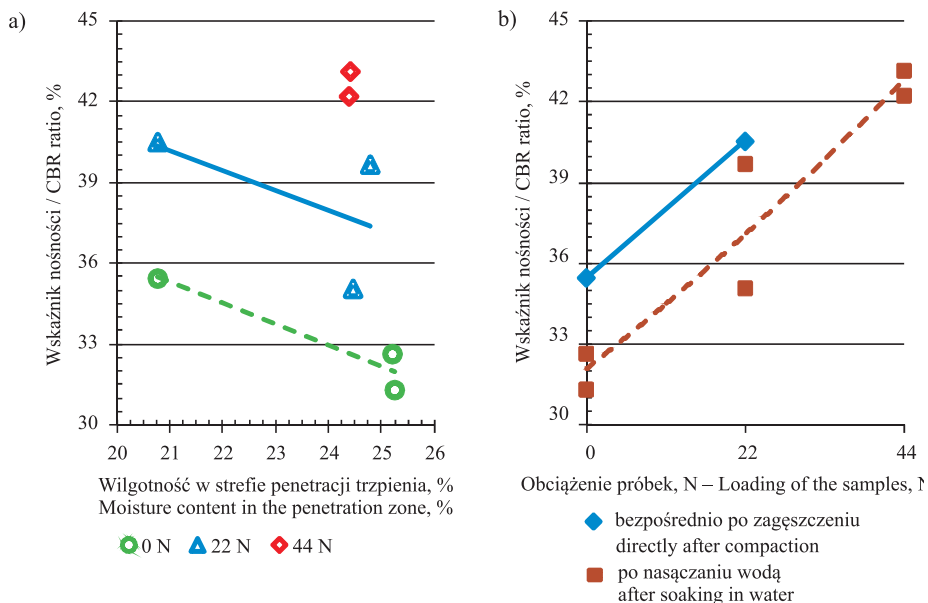
Ryc. 3. Zależność naprężeń stycznych od normalnych nienawodnionych (a) i nawodnionych (b) próbek żużla hutniczego

Fig. 3. Shear stress versus normal stress for the unsaturated (a) and saturated (b) samples of the blast furnace slag

Wskaźnik nośności oznaczony bezpośrednio po uformowaniu próbek wynosił około 36% bez ich obciążenia oraz ponad 40% przy obciążeniu siłą 22 N (tab. 3). Po czterech dobach nasączenia wodą zmniejszył się do wartości 32% bez obciążenia próbek oraz do nieco ponad 37% przy obciążeniu 22 N. Było to spowodowane zwiększeniem wilgotności mieszaniny w strefie penetracji trzpienia o 3–4% (od wilgotności początkowej wynoszącej około 21% do 24–25% po nasączeniu wodą). Przy obciążeniu 44 N wskaźnik nośności po czterech dobach nasączenia wodą wynosił około 43% (ryc. 4).

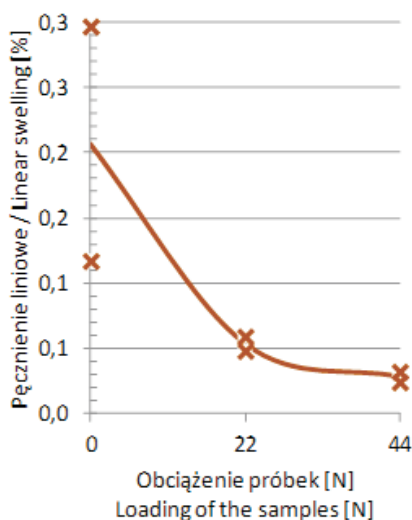
Tabela 3. Wyniki badań wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego kruszywa z żużla hutniczego
Table 3. Values of CBR ratio and linear swelling of the blast furnace slag aggregate

| Parametr – Parameter | Wartość – Value | | |
|---|-----------------|------------------------------|-----------------|
| | | dla próbki for the sample | średnia mean |
| Wskaźnik nośności – CBR ratio, % | | | |
| • bezpośrednio po zagęszczeniu próbki przy obciążeniu siłą – directly after compaction of the sample at the load of: | 0 N | 35,5 | 35,5 |
| | 22 N | 40,5 | 40,5 |
| | 44 N | – | – |
| • po 4-dobowym nasączeniu wodą przy obciążeniu siłą – after 4-day soaking in water at the load of: | 0 N | 31,3–32,7 | 32,0 |
| | 22 N | 34,1–39,7 | 37,4 |
| | 44 N | 42,2–43,2 | 42,7 |
| Pęcznienie liniowe po 4-dobowym nasączeniu wodą przy obciążeniu siłą, %: | | | |
| Linear swelling after 4-day soaking in water at the load of, %: | 0 N | 0,117–0,297 | 0,207 |
| | 22 N | 0,048–0,059 | 0,057 |
| | 44 N | 0,024–0,032 | 0,028 |



Ryc. 4. Wpływ wilgotności (a) i obciążenia (b) na wskaźnik nośności kruszywa z żużla hutniczego
Fig. 4. Influence of moisture content (a) and loading (b) on the CBR ratio of the blast furnace slag aggregate

Pęcznienie liniowe kruszywa po 4 dobach nasączenia wodą zależało od wielkości obciążenia próbki (tab. 3, ryc. 5). Przy braku obciążenia próbek wartość pęcznienia wynosiła średnio 0,21%. Przy obciążeniu próbek siłą 22 N wartość pęcznienia liniowego wynosiła średnio 0,06%, a przy obciążeniu siłą 44 N – 0,03%. Uzyskane wartości wskazują na istotne zmniejszenie pęcznienia wskutek zwiększenia obciążenia.



Ryc. 5. Zależność pęcznienia liniowego kruszywa z żużla hutniczego od obciążenia
Fig. 5. Linear swelling of the blast furnace slag versus load

OCENA PRZYDATNOŚCI BADANEGO KRUSZYWA HUTNICZEGO DO BUDOWY NASYPÓW DROGOWYCH

W normie PN-S-02205:1998 określone zostały wymagania w stosunku do gruntów naturalnych mineralnych oraz materiałów odpadowych z przemysłu hutniczego (żużle wielkopiecowe i inne metalurgiczne) i energetycznego (popioły lotne i mieszaniny popiołowo-żużlowe). Wymagania te dotyczą parametrów charakteryzujących uziarnienie, wysadzinowość, zagęszczalność, nośność i pęcznienie liniowe oraz zawartość części organicznych. Uziarnienie badanego kruszywa hutniczego odpowiada piaskom pylastym z dużą domieszką żwiru. Według wymogów wyżej cytowanej normy żużle hutnicze mogą być przydatne na dolne warstwy nasypów poniżej strefy przemarzania jeśli pochodzą ze starych zwalów (powyżej 5 lat), a jeśli pochodzą z nowego studzenia (do 5 lat) to są przydatne z zastrzeżeniem dotyczącym ograniczonej podatności na rozpad – łącznie straty masy do 5%. Mogą być również przydatne na górne warstwy nasypów w strefie przemarzania z zastrzeżeniem, że mają być one drobnoziarniste i nierozpadowe – straty masy do 1%. Badane kruszywo hutnicze pochodzi ze starych zwalów (powyżej 5 lat), można więc założyć, że procesy rozpadowe zostały zakończone i materiał spełnia warunek dotyczący rozpadowości. W tabeli 4 przedstawiono wartości parametrów geotechnicznych badanego kruszywa hutniczego oraz normowych parametrów kryterialnych.

Tabela 4. Wartości parametrów geotechnicznych badanego kruszywa z żużla hutniczego na tle wymagań normowych do nasypów drogowych
 Table 4. Values of geotechnical parameters of the tested blast furnace slag aggregate against standard requirements for road embankments

| Parametr – Parameter | Wymagania normy Requirements of the standard PN-S-02205:1998 | Kruszywo hutnicze Blast furnace slag aggregate |
|---|---|--|
| Maksymalny wymiar ziarna Maximum diameter of a grain, mm | 200 | brak ziaren powyżej 200 mm |
| Wskaźnik uziarnienia – Uniformity coefficient | ≥ 3 | 105,26 |
| Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu Maximum dry density of solid particles, $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ | $\geq 1,6$ | 1,685 |
| Zawartość cząstek – Content of particles, %: | | |
| $\leq 0,075$ mm | < 15 | 18,5 |
| $\leq 0,02$ mm | < 3 | 11,0 |
| Grupa wysadzinowości – Heaving group | zależnie od grupy gruntów depending on a type of soil | wątpliwe uncertain |

Na podstawie przedstawionych wyników badań można stwierdzić, że kruszywo hutnicze o uziarnieniu 0–11,2 mm stanowi antropogeniczny grunt drobnoziarnisty na pograniczu gruboziarnistego [PN-EN ISO 14688-2:2006]. Duża wartość wskaźnika różnoziarnistości ($C_U = 105,26$) świadczy, że jest to materiał wielofrakcyjny, można więc prognozować jego dobrą zagęszczalność podczas budowy nasypu przy zachowaniu odpowiedniej wilgotności. Wilgotność naturalna, nieco zmienna w różnych partiach materiału (od 18,7 do 20,0% w przypadku badanych próbek), była zbliżona do wilgotności optymalnej ($w_{opt} = 21\%$), a więc można go wbudowywać w nasyp bez dodatkowych zabiegów polegających na jego dowilgacaniu. Materiał posiadał wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu ($\rho_{ds} = 1,69 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$), większą od minimalnej wymaganej ($\rho_{ds} \geq 1,6 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$). Wartości kąta wewnętrznego zarówno przy wilgotności optymalnej ($\phi = 39,05^\circ$), jak i po nawodnieniu ($\phi = 36,35^\circ$) były znacznie większe od minimalnej wymaganej ($\phi = 20^\circ$). Również wartości spójności była stosunkowo duża ($c = 57,45 \text{ kPa}$ przy wilgotności optymalnej i $c = 40 \text{ kPa}$ po nawodnieniu). Wartości te świadczą o dużej wytrzymałości na ścinanie, co pozwala prognozować dobrą stateczność skarp nasypów budowanych z tego materiału. Wskaźnik nośności po czterech dobach nasączenia wodą przy obciążeniu siłą 22 N ($w_{nos} = 37,4\%$) był znacznie większy od wymaganego minimalnego ($w_{nos} \geq 10$), można więc prognozować odpowiednią nośność nasypów formowanych z tego materiału. Pęcznienie linowe przy obciążeniu siłą 22 N ($p = 0,057\%$) było mniejsze od dopuszczalnego ($p \leq 0,5\%$), również przy braku obciążenia pęcznienie ($p = 0,207\%$) było mniejsze od dopuszczalnego ($p \leq 2\%$). Jednak biorąc pod uwagę zawartość cząstek

drobnych ($d < 0,075$ m – ponad 18%), badany materiał można sklasyfikować jako wątpliwy pod względem wysadzinowości. Dlatego można go dopuścić do stosowania na dolne warstwy nasypów drogowych poniżej strefy przemarzania.

PODSUMOWANIE

Wyniki przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz ich analiza stanowią podstawę do stwierdzenia, że kruszywo hutnicze o uziarnieniu 0–11,2 mm może stanowić materiał konstrukcyjny w budownictwie ziemnym, w szczególności drogowym. Jako grunt antropogeniczny charakteryzuje się stosunkowo korzystnymi parametrami geotechnicznymi. Jest to materiał drobnoziarnisty na pograniczu gruboziarnistego, wielofrakcyjny, dobrze zagęszczalny przy wilgotności optymalnej. Przy wysokiej wartości wskaźnika zagęszczenia ($I_s = 0,97$) odznacza się dużą wytrzymałością na ścinanie. Może być stosowany do budowy nasypów drogowych różnych klas technicznych – na dolne warstwy poniżej strefy przemarzania w miejscach suchych lub izolowanych od wody. W celu zapewnienia warunków stateczności i nośności należy zachować wymagany dla danej klasy technicznej drogi wskaźnik zagęszczenia przy właściwej wilgotności materiału i nachyleniu skarp nasypu.

PIŚMIENNICTWO

- Koziół, W., Kawalec, P. (2008). Kruszywa alternatywne w budownictwie. Tańsze i przyjaźniejsze dla środowiska. *Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne*, 4(19), 34–37.
- Kucowski, J., Laudyn, D., Przekwas, M. (1987). *Energetyka a ochrona środowiska*. WNT, Warszawa.
- Myślińska, E. (1998). *Laboratoryjne badania gruntów*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Pisarczyk, S. (2004). *Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-1:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczenie i opis*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PN-EN ISO 14688-2:2006. *Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PN-S-02205:1998. *Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Wiłun, Z. (2000). *Zarys geotechniki*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Zawisza, E. (2001). Geotechniczne i środowiskowe aspekty uszczelniania grubookruchowych odpadów powęglowych popiołami lotnymi. *Zesz. Nauk. AR w Krakowie, Rozprawy*, 280, Wydawnictwo AR, Kraków.
- Zawisza, E. (2012). Odpady hutnicze jako antropogeniczne grunty budowlane. Metody badań i właściwości geotechniczne. *Acta Sci. Pol., Formatio Circumiectus*, 16(1), 27–41.

INFLUENCE OF WATER CONDITIONS ON THE SHEAR STRENGTH OF THE BLAST FURNACE SLAG AGGREGATE

Abstract. Furnace slag aggregate with the grain size of 0–11,2 mm from the processing of the waste from the ArcelorMittal Poland landfill in Pleszów near Kraków – Nowa Huta is the subject of the work. The study aimed at the determination of shear strength and bearing ratio of the aggregate depending on water conditions; linear swelling was also determined at different loadings of the sample. The shear strength was determined in a direct shear apparatus, in a box of 12×12 cm cross section, with intermediate frames forming 1.0 cm thick shear zone. The samples were formed at the optimum moisture content and the degree of compaction $I_s = 0,97$, and then sheared directly after forming and after 3-day water-soaking. Bearing ratio and swelling were determined in a cylinder of a volume of 2.2 dm^3 . The values of the angle of internal friction and cohesion and bearing ratio were relatively high, indicating a high shear strength and bearing capacity of the tested material. Hydration resulted in lower strength parameters and bearing capacity, although these parameters were still relatively high. The aggregate swelling was relatively small. The obtained results of the research were the basis for evaluating the possibility of using the material in question for road construction purposes.

Key words: furnace slag, aggregates, geotechnical characteristics, strength parameters, bearing capacity

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2017

Do cytowań – For citation: Zawisza, E., Gruchot, A. (2017). Wpływ warunków wodnych na wytrzymałość na ścinanie kruszywa z żużla hutniczego. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumiecetus, 16(3), 231–240.