

CHARAKTERYSTYKA ODPADÓW POGÓRNICZYCH I ENERGETYCZNYCH DLA ICH ZASTOSOWANIA DO BUDOWY I MODERNIZACJI NASYPÓW HYDROTECHNICZNYCH

Magdalena Borys, Piotr Filipowicz

Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej,
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych w Falentach

Wstęp

Przemysł jest nierozłącznie związany z powstawaniem dużych ilości materiałów odpadowych. Podczas gospodarczej działalności człowieka powstają między innymi odpady pogórnice oraz energetyczne. Część tych materiałów jest składowana na hałdach, natomiast pozostała część wykorzystywana jest w budownictwie oraz do rekultywacji terenu. Możliwość wykorzystania materiałów odpadowych z bieżącej produkcji oraz składowanych na hałdach do budowy nasypów hydrotechnicznych, a więc budowli stale lub okresowo piętrzących wodę, związana jest z koniecznością szczegółowego rozpoznania ich parametrów geotechnicznych. Równie istotne jest określenie zakresu ewentualnych zmian wartości tych parametrów w czasie, na skutek działania procesu wietrzenia. Proces wietrzenia jest typowy dla odpadów pogórnich, powodujący rozpad grubych ziaren na drobniejsze. Wywołany jest on przez szereg czynników atmosferycznych takich jak wahania temperatury powodującej cykliczne zmiany wilgotności czy zamarzanie wody w porach, jak również w wyniku działania korzeni roślin, a także na skutek procesów chemicznych. Znajomość zakresu oraz tendencji zmian parametrów geotechnicznych pod wpływem procesu wietrzenia ma istotne znaczenie praktyczne w przypadku zastosowania odpadów pogórnich do budowy nasypów, stale bądź okresowo piętrzących wodę, w celu ich prawidłowej eksploatacji. Część badań dotycząca odpadów pogórnich z Kopalni Węgla Kamiennego Bogdanka była finansowana z projektu badawczego nr 2 P06S 067 26.

Ogólna charakterystyka badanych materiałów odpadowych

Odpady pogórnice to materiał powstały w wyniku eksploatacji kopalni węgla kamiennego. Materiał odpadowy powstały podczas wydobywania i wzbogacania w zakładach przerobczych KOTOWSKI [2001] podzielił na następujące grupy:

- odpady górnicze surowe, który cechuje się bardzo zróżnicowanym uziarnieniem,

- odpady z procesów odzysku węgla,
- odpady przerobcze powstałe podczas procesu wzbogacania (z osadzarek, ze wzbogacalników z cieczą ciężką, poflotacyjne i mułowe).

Pod względem petrograficzno-mineralogicznym w odpadach pogórnich głównymi składnikami są skały ilaste, których zawartość wynosi 60–88% [CEBUŁAK, KOZŁOWSKI 1980; POMIAG GIG 2000].

Odpady energetyczne (paleniskowe) możemy podzielić na następujące grupy: mikrosfery, popioły lotne, żużle oraz mieszaniny popioło-żużlowe. Zgodnie z Polską normą branżową [BN-87/6722-12 za SKALMOWSKIM 1998] mikrosfery to lekka frakcja glinokrzemianów zawartych w popiołach lotnych, składająca się z kulistych ziaren wewnątrz wypełnionych gazami (azot, dwutlenek węgla). Popioły lotne wg PN-S-96035:1997 to materiał bardzo drobny, dla którego średnica większości ziaren jest mniejsza niż 0,075 mm. Natomiast żużle cechują się kruszywem o średnicy ziaren zawierających się w granicy od 2–40 mm. Mieszaniny popioło-żużlowe to odpad powstały w wyniku wymieszania żużli, nie spalonego węgla, piasku, popiołów lotnych w środowisku wodnym [CHRZANOWSKI 2000].

Skład chemiczny odpadów ma duże znaczenie ze względu na potencjalną możliwość zanieczyszczenia środowiska metalami ciężkimi lub toksycznymi związkami chemicznymi.

Wyniki badań składu chemicznego odpadów pogórnich przedstawione w literaturze dowodzą, że na ogół zawartości w nich metali ciężkich nie przekraczają ilości dopuszczalnych w glebach ciężkich, a występujące w materiale odpadowym metale ciężkie najczęściej mają formę związków trudno rozpuszczalnych w wodzie [GAZDA i in. 1988; GIG 1996; POMIAR GIG 1998, 2000; SMUSZKIEWICZ 1995]. Można, zatem stwierdzić, że odpady te nie zawierają pierwiastków lub substancji toksycznych oraz zagrażających środowisku przyrodniczemu.

Skład chemiczny odpadów paleniskowych zależy w dużej mierze od technologii spalania. Rozpoznane właściwości popioło-żużli objętych badaniami przedstawionymi w niniejszym artykule wykazały, że:

- składowanie mieszanin popiołowo-żużlowych na otwartej przestrzeni nie stwarza zagrożenia radiologicznego dla środowiska,
- stężenia pierwiastków naturalnie promieniotwórczych nie przekraczają wartości dopuszczalnych i mieszaniny te mogą być wykorzystywane do produkcji materiałów budowlanych nawet dla budynków przewidzianych na pobyt stały ludzi i zwierząt,
- podstawowymi składnikami popioło-żużli są glinokrzemiany oraz żelazo i wapń,
- pierwiastki śladowe występują w niewielkich stężeniach.

Metody badań właściwości geotechnicznych odpadów i analiza wyników

W artykule podano charakterystykę odpadów na przykładzie wyników badań odpadów pogórnich pochodzących z Kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka” w Lubelskim Zagłębiu Węglowym oraz z kopalń „Janina” i „Brzeszcze” w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, a także mieszanin popiołowo-żużlowych pobranych ze składowisk zlokalizowanych przy elektrowni Kozienice i w Kamieniu dla Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich.

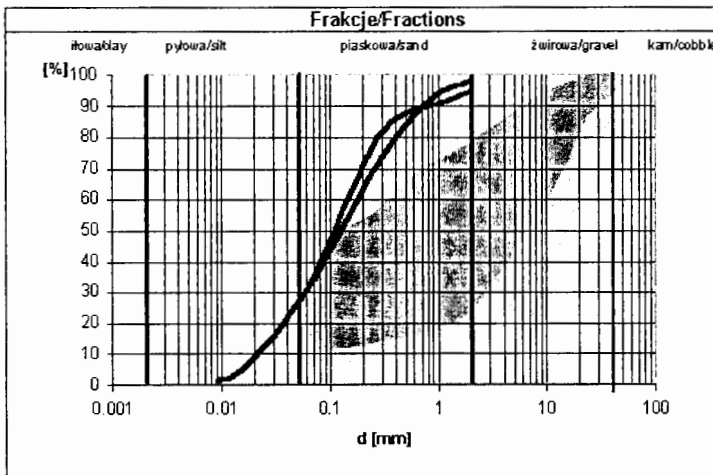
Dla pobranych prób określono właściwości geotechniczne tych materiałów,

m.in. uziarnienie, wilgotność naturalną, wilgotność optymalną, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego (wg PN-88/B-4481), współczynnik filtracji (w kolumnach filtracyjnych), kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność (w aparacie bezpośredniego ścinania).

Na podstawie przeprowadzonych badań składu granulometrycznego, którego uśrednione wyniki przedstawiono na rysunku 1 stwierdzono, że w odpadach pogórnich świeżych z KWK „Bogdanka” w Lubelskim Zagłębiu Węglowym i KWK „Brzeszcze” w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, dominowała frakcja żwirowa (ziarna o średnicy $d = 2 - 40$ mm), której zawartość wynosiła ponad 70%. Zawartości frakcji piaskowej oraz pyłowej wraz z ilową wynosiła od 8 do 12%. Zawartość frakcji kamienistej dochodziła maksymalnie do ok. 5%, co było spowodowane występowaniem pojedynczych kamieni o wymiarach około 50 mm. Pod względem uziarnienia zbadane odpady pogórnice odpowiadają pospółkom gliniastym i żwirom gliniastym.

Odpady pogórnice wieloletnie charakteryzowały się znacznie drobniejszym uziarnieniem niż odpady świeże, co można wyraźnie zauważyć na rysunku 1.

Przeprowadzone badania pobranych mieszanin popioło-żużlowych wykazały, że badane próbki z obydwu składowisk zawierały do około 5% cząstek o średnicy większej od 2 mm (frakcja żwirowa), około 30% frakcji pyłowej, pozostałe około 65% cząstek to frakcja piaskowa. Tak więc badane próbki mieszanin popioło-żużlowych pobranych ze składowisk w Kozienicach i Kamieniu pod względem uziarnienia odpowiadają gruntom drobnoziarnistym, takim jak piasek pylasty.



Rys. 1. Zakres uziarnienia odpadów pogórnich oraz mieszanin popioło-żużlowych: 1 – mieszaniny popioło-żużlowe, 2 – wieloletnie odpady pogórnice, 3 – świeże odpady pogórnice

Fig. 1. Range of grain size distribution of the mining waste and mixtures of ash and slug: 1 – ash and slug mixtures, 2 – the mining waste stored for several years, 3 – fresh mining waste

Z uwagi na to, że w badanych odpadach pogórnich kamienie o wymiarach około 50 mm występowały bardzo rzadko zdecydowano, że parametry

zagęszczenia, tj.: maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego i optymalna wilgotność mogą zostać określone w aparacie Proctora metodą II, w dużym cylindrze o średnicy wewnętrznej równej 152,4 mm [PN-88/B-04481].

Wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu odpadów pogórnicych zawierały się w granicach 1,790–1,950 t·m⁻³, a optymalnej wilgotności od 11% do 13%. Wilgotność optymalna była zbliżona do wilgotności naturalnej tych odpadów, wynoszącej od 10% do 13%.

Określona wilgotność optymalna dla badanych mieszanin popioło-żużlowych zawierała się w granicach 39–43%, natomiast wilgotność naturalna w granicach 30–38%. Uzyskane wyniki dla mieszanin popioło-żużlowych wskazują, że wilgotność optymalna jest wyższa od wilgotności naturalnej na składowisku, co wskazywałoby na konieczność dowilżania materiału podczas wbudowywania go w korpus nasypu. Jednocześnie mieszaniny te charakteryzują się niskimi wartościami maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego, co wskazuje, że nasypy budowane z ich użyciem byłyby budowlami lżejszymi niż nasypy budowane z naturalnych gruntów mineralnych. Uzyskane wartości maksymalnej gęstości objętościowej badanych mieszanin popioło-żużli zawierały się w granicach pomiędzy 1,013–1,067 t·m⁻³. Uzyskane wartości maksymalnej gęstości objętościowej badanego materiału były większe od 1,0 t·m⁻³ a zatem badane mieszaniny popioło-żużłowe spełniają wymagania stawiane odpadom energetycznym jako materiałom do budowy nasypów komunikacyjnych [Technologia wykonania nasypów komunikacyjnych z odpadów energetycznych. IBGiM; 1981 za CHRZANOWSKIM 2000].

Dla badanych odpadów pogórnicych określono współczynniki filtracji na podstawie badań przeprowadzonych w laboratorium w cylindrach filtracyjnych, dla próbek o wysokości 15 cm i średnicy 13,9 cm. Przed badaniem filtracji próbki doprowadzono do wilgotności zbliżonej do wilgotności optymalnej, a następnie zagęszczano je w cylindrach filtracyjnych do uzyskania wartości wskaźnika zagęszczenia $I_s \geq 0,95$. Na tak przygotowane próbki zadawano przepływ wody od góry do dołu próbki. Zanotowane wartości współczynników filtracji wynosiły dla materiału świeżego 10⁻⁴ m·s⁻¹ natomiast dla odpadów wieloletnich współczynnik filtracji zawierał się w granicy 10⁻⁴ – 10⁻⁷ m·s⁻¹. W literaturze SKARŻYŃSKA [1997] dla odpadów z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego podaje podobne wartości współczynnika filtracji tj.:

- ✓ świeże odpady i nowe zwałowiska 10⁻⁴–10⁻⁶ m·s⁻¹,
- ✓ zwałowiska wieloletnie 10⁻⁶–10⁻⁸ m·s⁻¹.

Badania te wykazały, że współczynnik filtracji odpadów pogórnicych wyraźnie zależy od ich wieku. Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że odpady świeże są bardzo przepuszczalne, a ich współczynnik filtracji jest porównywalny z współczynnikiem notowanym dla piasków grubych i średnich. Odpady wieloletnie charakteryzują się przepuszczalnością od kilku do kilkadziesiąciu razy niższą niż odpady świeże, porównywalną do przepuszczalności piasków średnich, piasków drobnych, a nawet piasków pylastych, piasków gliniastych i pyłów piaszczystych.

Spadek przepuszczalności odpadów w miarę upływu czasu ich składowania jest ściśle związany ze zmianą uziarnienia spowodowaną rozpadem grubych ziaren na coraz drobniejsze. Malejące wartości współczynnika filtracji wskazują na zdolność do uszczelniania (kolmatacji) odpadów pogórnicych, co potwierdzają wyniki badań prezentowane w literaturze [PIECZYRAK 1982].

Przeprowadzone badania filtracji popioło-żuźli wykazały, że współczynnik filtracji mieścił się w zakresie od 10^{-6} m·s⁻¹ do 10^{-7} m·s⁻¹. Są to wartości porównywalne do notowanych dla gruntów mineralnych drobnoziarnistych, mało spoistych, typu piasków gliniastych i pyłów piaszczystych (10^{-7} m·s⁻¹) oraz gruntów sypkich typu piasków pylastych (10^{-6} m·s⁻¹). Uzyskane wartości współczynnika filtracji zbliżone były do wartości wodoprzepuszczalności mieszanin popioło-żuźli podawanych w literaturze [CHRZANOWSKI 2000].

Do badań wytrzymałości na ścinanie odpadów pogórnicych oraz mieszanin popioło-żuźli zastosowano aparat bezpośredniego ścinania, o wymiarach skrzynki 120 x 120 x 60 mm. Z uwagi na fakt, iż odpady pogórnicych zawierają maksymalnie do 5% ziaren przekraczających średnicę 40 mm uznano, że określenie ich parametrów wytrzymałościowych można wykonać w aparacie normowym bez wcześniejszej segregacji materiału.

Próbki przed badaniem doprowadzono do wilgotności zbliżonej do optymalnej, a następnie zagęszczano je w skrzynce aparatu bezpośredniego ścinania tak, aby uzyskać stopień zagęszczenia $I_s \geq 0,95$. Zakres uzyskanych wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności przedstawiono w tabeli 1. Badania te wykazały, że odpady pogórnicych oraz mieszaniny popioło-żuźli charakteryzują się dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi. Należy zwrócić uwagę, że w miarę postępujących w czasie zmian uziarnienia odpadów pogórnicych, polegających na zmniejszaniu się ilości frakcji grubych, a zwiększaniu się ilości frakcji drobnych, rośnie wartość spójności, a maleje wartość ich kąta tarcia wewnętrznego. Wykazały to wyniki badań przeprowadzonych dla odpadów pogórnicych świeżych i wieloletnich. Potwierdzają to prezentowane w literaturze wyniki uzyskane dla odpadów z Górnośląskiego Zagłębia Węglowego [KOZIELSKA-SROKA 1995; SKARŻYŃSKA 1997; CISEK i in. 1982; KRZYK 2001].

Tabela 1; Table 1

Wytrzymałość na ścinanie odpadów, zagęszczonych do $I_s \geq 0,95$
określona na podstawie badań w aparacie bezpośredniego ścinania

Shear strength of waste materials, compacted to $I_s \geq 0.95$
determined in direct shear apparatus

Rodzaj odpadów Type of wastes	Kąt tarcia wewnętrznego Apparent angle of internal friction (°)	Spójność Cohesion (kPa)
Odpady pogórnicych; Mining wastes		
Świeże; Fresh	32–49	18–33
Wieloletnie; Old	21–35	21–37
Mieszanina popiołowo-żuźlowa; Mixtures of ash and slag		
Kozienice	28–32	18–30
Kamień	29–32	34–44

GRUCHOT [2001] zaobserwował, że istotnym czynnikiem wpływającym na uzyskiwane parametry wytrzymałościowe odpadów pogórnicych jest ich zagęszczenie. Wraz ze wzrostem wskaźnika zagęszczenia wzrasta ogólna wytrzymałość na ścinanie odpadów pogórnicych, przy czym można zaobserwować wyraźny wzrost spójności, natomiast kąt tarcia wewnętrznego może wykazać zarówno niewielki wzrost, jak i spadek wartości. Jest to związane z tym, że w trakcie procesu zagęszczania może następować rozdrobnienie materiału.

Przeprowadzone badania parametrów wytrzymałościowych mieszanin popioło-żuźlowych wykazały, że kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność badanych mieszanin zbliżone są do wartości notowanych dla piasków pylastych oraz drobnych. Dla przykładu uzyskane dla nich wartości kąta tarcia wewnętrznego przy wilgotności naturalnej i optymalnej zawierają się w granicach 29–32°. W odróżnieniu od tych gruntów naturalnych mieszanina popioło-żuźli posiada dość wysoką spójność w granicach 18–44 kPa. Wykonane badania wytrzymałości dla prób mieszanin popioło-żuźli o wilgotności znacznie przekraczającej wilgotność optymalną wykazały spadek ich spójności do wartości 9kPa, natomiast nie miało to wyraźnego wpływu na wartość kąta tarcia wewnętrznego, który wyniósł około 34°.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań odpadów pogórnicznych i mieszanin popiołowo-żuźlowych stwierdzono, że:

1. pod względem uziarnienia odpady pogórniczne świeże odpowiadają pospółkom gliniastym i żwirom gliniastym, natomiast mieszaniny popioło-żuźli są zbliżone do gruntu drobnoziarnistego, typu piasku pylastego;
2. odpady pogórniczne i mieszaniny popiołowo-żuźlowe cechują się stosunkowo dobrymi właściwościami, jako materiał do budowy nasypów ziemnych w tym również stale lub okresowo piętrzących wodę;
3. badane odpady pogórniczne i energetyczne to grunty dobrze zagęszczające się charakteryzują się wysokim kątem tarcia wewnętrznego oraz stosunkowo wysoką spójnością;
4. badane popioło-żuźle charakteryzowały się bardzo niskimi wartościami gęstości objętościowej;
5. nasypy budowane z tej mieszaniny będą lżejsze od nasypów wykonywanych z naturalnych gruntów mineralnych, o podobnych właściwościach mechanicznych. Jest to korzystne w przypadku konieczności posadowienia nasypu na słabym podłożu;
6. współczynnik filtracji odpadów pogórnicznych zależy od ich okresu składowania. Oznacza to, że wraz z czasem wartość współczynnika filtracji zmniejsza się. Jest to spowodowane rozpadem grubej frakcji na drobną i uszczelnianiem (kolmatacją) się materiału odpadowego, co jest zjawiskiem bardzo korzystnym w przypadku zastosowania tego materiału do budowy nasypów stale bądź okresowo piętrzących wodę;
7. uzyskane wartości współczynnika filtracji badanych mieszanin popioło-żuźli są porównywalne do notowanych dla gruntów mineralnych drobnoziarnistych, mało spoistych;
8. odpady pogórniczne cechują się wrażliwością na działanie czynników atmosferycznych powodujących cykliczne wysychanie, namakanie oraz przemarzanie, w rezultacie czego następuje stopniowy rozpad poszczególnych okruchów skał;
9. odpady zgromadzone na składowiskach, w tym nawet w obrębie jednego składowiska, mogą się bardzo różnić parametrami, głównie uziarnieniem,

stąd też przed przystąpieniem do projektowania konkretnego obiektu należy określić dokładnie miejsce poboru materiału na nasyp, oznaczyć podstawowe parametry dla materiału pochodzącego z danego złoża i prowadzić ich ścisłą kontrolę w trakcie wykonawstwa nasypu.

Literatura

CEBULAK S., KOZŁOWSKI K. 1980. *Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzno-chemiczna przywęglowych skał płonnych w profilach wiertniczych Cyców-4, Łęczna-4, Łęczna-9 w Lubelskim Zagłębiu Węglowym.* Prace Nauk. U. Śl. Katowice 398: 47–52.

CISEK T., KAWALEC B., KOPKA Z., SOCZAWA A. 1982. *Wpływ czasu składowania na właściwości nieprzepalonych odpadów kopalnianych.* Zesz. Nauk. Polit. Śląska, Ser. Budownictwo 57: 25–45.

CHRZANOWSKI Z. 2000. *Odpady paleniskowe z elektrociepłowni poznańskich. Właściwości fizykochemiczne oraz zastosowania.* ECO-ZEC PPU Sp. z o.o. Poznań: 75.

GAZDA L., OLESZCZYŃSKI B., POLLO I. 1988. *Charakterystyka mineralogiczno-chemiczna oraz analiza możliwości wykorzystania przerobczyc odpadów przywęglowych w kopalni w Bogdance.* Prz. Gór. 11–12: 16–18.

GIG 1996. *Badania skały płonnej z KWK Bogdanka.* Dokumentacja, Katowice (maszynopis).

GRUCHOT A.T. 2001. *Parametry wytrzymałościowe odpadów powęglowych w świetle badań laboratoryjnych prowadzonych w aparaturze średniowymiarowej.* Przegl. Nauk. Wydz. Inżynierii i Kształt. Środ., Wydawn. SGGW 20: 19–27.

KOTOWSKI W. 2001. *Utylizacja i gospodarka odpadami.* Wyższa Szkoła Ekonomii i Administracji w Bytomiu: 195.

KOZIELSKA-SROKA E. 1995. *Wpływ wietrzenia na wytrzymałość na ścinanie odpadów powęglowych.* Zesz. Nauk. AR Kraków 298: 365–376.

KRZYK P. 2001. *Wpływ czasu składowania na zmianę wybranych parametrów geotechnicznych nieprzepalonych odpadów powęglowych kopalni Anna.* Przegl. Nauk. Wydz. Inżynierii i Kształt. Środ., Wydawn. SGGW 20: 41–53.

PIECZYRAK J. 1995. *Właściwości fizyczne oraz skład chemiczny i mineralny przepalonych odpadów kopalnianych.* Ochrona Terenów Górniczych, Katowice 62: 30–38.

PN-88/B-04481. *Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.*

PN-S-96035:1997. *Drogi samochodowe. Popioły lotne.*

POMIAR GIG 1998. *Badania własności fizyko-chemicznych skał karbońskich, lokowanych na składowisku nadpoziomym w Bogdance.* Dokumentacja, Lublin (maszynopis).

POMIAR GIG 2000. *Badania właściwości fizyko-chemicznych skał karbońskich lokowanych na składowisku w Bogdance i ocena ich przydatności do rekultywacji.* Lublin (maszynopis).

SKARŻYŃSKA K.M. 1997. *Odpady powęgłowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej.* Kraków, Wydaw. AR: 199.

SKALMOWSKI K. 1998. *Poradnik gospodarowania odpadami.* Wydaw. Verlag Dashöfer Sp. z o.o.

SMUSZKIEWICZ A.M. 1995. *Wpływ składowiska skał płonnych KWK „Bogdanka” na wody podziemne i powierzchniowe*. *Ekoinżynieria* 2: 25–30.

Słowa kluczowe: odpady pogórnice, mieszaniny popioło-żużłowe, parametry geotechniczne

Streszczenie

W artykule podano charakterystykę odpadów na przykładzie wyników badań odpadów pogórnich pochodzących z Kopalni Węgla Kamiennego „Bogdanka” w Lubelskim Zagłębiu Węglowym oraz z Kopalń „Janina” i „Brzeszcze” w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym, a także mieszanin popioło-żużłowych pobranych ze składowisk zlokalizowanych przy Elektrowni „Kozienice” i w Kamieniu dla Zespołu Elektrociepłowni Wrocławskich. Szczegółowo omówiono właściwości geotechniczne tych materiałów, m.in. uziarnienie, wilgotność naturalną, wilgotność optymalną, maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego, współczynnik filtracji, kąt tarcia wewnętrznego oraz spójność.

GEOTECHNICAL PARAMETERS OF MINING WASTES WITH RESPECT TO CONSTRUCTION AND MODERNIZATION OF HYDROTECHNICAL STRUCTURES

Magdalena Borys, Piotr Filipowicz

Department of Land Reclamation Engineering,
Institute for Land Reclamation and Grassland Farming, Falenty

Key words: mining wastes, ash and slug mixtures, geotechnical parameters

Summary

The article presents the properties of mining wastes from „Bogdanka” Mine in Lubelskie Coal Basin and „Janina” and „Brzeszcze” Mines in Upper Silesian Coal Basin. The paper presents also the properties of mixtures of ash and slag from storage yards next to Kozienice Electric Power Station and Complex of Wrocław thermal-electric power station.

The article presents in details geotechnical parameters. These parameters are: grain size distribution, water content, optimum moisture content, maximum dry density of solid particles, soil permeability and shear strength of soil.

Doc. dr hab. inż. Magdalena **Borys**
Zakład Inżynierii Wodno-Melioracyjnej
Instytut Melioracji i Użytków Zielonych
Falenty
al. Hrabska 3
05-090 RASZYN
e-mail: m.borys@imuz.edu.pl