

## ŚCIŚLIWOŚĆ ODPADÓW POWĘGLOWYCH I ICH MIESZANEK Z POPIOŁAMI LOTNYMI

Katarzyna Kamińska, Mariusz Cholewa, Michał Stanisławski  
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

**Streszczenie.** Celem pracy było określenie parametrów ściśliwości, to jest wartości osiadań, modułów ściśliwości pierwotnej, jak i wtórnej odpadów powęglowych oraz ich mieszanek z 10, 20 i 30% dodatkiem popiołów lotnych, pochodzących z Elektrociepłowni Kraków. Badania wykonano w średniowymiarowym edometrze o wysokości i średnicy cylindra 374 mm, na próbkach formowanych przy wilgotności optymalnej i wskaźniku zagęszczenia  $I_s = 0,95$ . Na podstawie badań stwierdzono, że najmniej ściśliwe były mieszanki odpadów powęglowych z 20 i 30% dodatkiem popiołu. Większą ściśliwość wykazała mieszanka z 10% dodatkiem popiołu, natomiast odpady powęglowe wykazały się pośrednią ściśliwością. Zarówno odpady powęglowe, jak i ich mieszanki z popiołami lotnymi charakteryzują się ogólnie korzystnymi parametrami geotechnicznymi i mogą być wykorzystane w budownictwie ziemnym.

**Słowa kluczowe:** odpady powęglowe, popioły lotne, mieszanki odpadów powęglowych z popiołami lotnymi, własności geotechniczne, ściśliwość

### WSTĘP

Postęp cywilizacyjny determinuje potrzebę wznoszenia w coraz szybszym tempie różnego rodzaju konstrukcji ziemnych, w tym wymagających dużej ilości gruntów naturalnych. Grunt rodzimy staje się w dzisiejszych czasach towarem deficytowym. Potrzeba jego pozyskania coraz częściej implikuje znaczący wzrost kosztów inwestycyjnych. Rozwiązaniem problemu zmniejszenia ilości gruntu naturalnego potrzebnego do realizacji rozmaitych zamierzeń inżynierskich może okazać się stosowanie odpadów przemysłowych, a zwłaszcza powęglowych i paleniskowych [Rosik-Dulewska 1999].

Przez całe lata odpady przemysłowe były postrzegane jako materiały zbędne, przysparzające wiele problemów. Hałdy nadal stanowią poważny problem środowiskowy, szpecą krajobraz, są źródłem pyłu zagrażającego zdrowiu okolicznych mieszkańców.

---

Adres do korespondencji – Corresponding authors: dr inż. Katarzyna Kamińska, dr inż. Mariusz Cholewa, mgr inż. Michał Stanisławski, Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków, e-mail: [mcholewa@ur.krakow.pl](mailto:mcholewa@ur.krakow.pl).

Od lat prowadzi się prace nad wykorzystaniem tych antropogenicznych gruntów, które można wykorzystać w pracach budowlanych dla zmniejszenia potrzebnej ilości gruntu rodzimego – w inżynierii lądowej oraz w budownictwie hydrotechnicznym [Zawisza 2001, Zawisza 2012].

Każda z tych dziedzin potrzebuje znacznych ilości materiału koniecznego do budowy korpusów nasypów hydrotechnicznych – obwałowań rzek, osadników popiołów, grobli, zapór, do wypełniania zapadłisk terenowych, budowy linii transportu kolejowego i drogowego oraz do budownictwa morskiego. Zastosowanie odpadów powęglowych i paleniskowych do projektowania i wykonywania różnych obiektów inżynierskich wymaga dokładnego określenia parametrów geotechnicznych tych materiałów, w szczególności charakteryzujących ich ściśliwość [Dzierwa i Zawisza 2007, Pisarczyk 1995, Zawisza i in. 2009 a, b].

## MATERIAŁY I METODY

Materiałami użytymi do badań są nieprzepalone odpady powęglowe o uziarnieniu < 60 mm, popioły lotne z Elektrociepłowni Kraków oraz ich mieszanki. Według nomenklatury geotechnicznej odpady powęglowe można sklasyfikować jako żwiry (tab. 1). Zawartość okruchów odpowiadających frakcji żwirowej była największa – 72%, natomiast frakcji piaskowej – 18%. Zawartość najdrobniejszych cząstek odpowiadających frakcji pyłowej i ilowej wynosiła 10%. Wskaźnik różnoziarnistości materiału wynosił 117, zatem można go określić jako bardzo różnoziarnisty. Wilgotność optymalna wynosiła około 10%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu  $1,95 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Skład granulometryczny popiołów lotnych pod względem geotechnicznym odpowiada pyłom ilastym (tab. 1). Zawartość okruchów odpowiadających frakcji piaskowej wynosiła 14%. Zawartość cząstek odpowiadających frakcji pyłowej była największa i wyniosła 77%, natomiast najdrobniejszej frakcji ilowej – 9%. Popioły lotne można określić jako różnoziarniste, ponieważ wskaźnik różnoziarnistości materiału wyniósł ok. 10. Wilgotność optymalna popiołów wynosiła 20%, natomiast maksymalna gęstość objętościowa szkieletu  $1,35 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ .

Mieszanki odpadów powęglowych z popiołami lotnymi pod względem geotechnicznym można sklasyfikować jako żwiry piaszczyste bardzo różnoziarniste. Dominuje frakcja żwirowa, której zawartość wynosiła 65, 55 i 52% odpowiednio do dodatku popiołu 10, 20 i 30%. Zmniejszaniu zawartości frakcji żwirowej wraz ze zwiększaniem dodatku popiołu w mieszankach odpowiadał wzrost zawartości frakcji drobnych (pyłowej i ilowej) od 8 do 18 i 20% odpowiednio do dodatku popiołu od 10 do 20 i 30%. Zawartość frakcji piaskowej nie wykazywała większych zmian i jej udział w mieszankach wynosił 27%–28%.

Wartości gęstości właściwej mieszanek odpadów powęglowych z popiołami były mniejsze niż samych odpadów i nieco większe niż popiołu, przy czym zmniejszały się nieznacznie (od  $2,38$  do  $2,29 \text{ g} \cdot \text{cm}^3$ ) przy zwiększaniu dodatku popiołu od 10 do 30%. Wynika z tego, że frakcję drobną w badanych materiałach stanowią głównie cząstki popiołu lotnego.

Wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu odpadów powęglowych była największa, a popiołów lotnych najmniejsza. Wartości tego parametru mieszanek

Tabela 1. Podstawowe właściwości fizyczne badanych materiałów  
 Table 1. Basic physical properties of the tested materials

| Parametr<br>Parameter   | Odpady<br>powęglowe<br>Coal mine<br>waste | Popioły<br>lotne<br>Fly ash | Mieszanki odpadów<br>powęglowych z dodatkiem<br>popiołów<br>Mixtures of coal mine waste<br>with the addition of fly ash |       |       |
|---|---|-----------------------------|---|-------|-------|
|   |   |                             | 10%   | 20%   | 30%   |
| Zawartość frakcji, %:<br>Fraction content, %:   |   |                             |   |       |       |
| żwirowa 63–2 mm<br>gravel 63–2 mm   | 72  | 0                           | 65  | 55    | 52    |
| piaskowa 2–0,063 mm<br>sand 2–0,063 mm  | 18  | 14                          | 27  | 27    | 28    |
| pyłowa 0,063–0,002 mm<br>silt 0,063–0,002 mm  | 6   | 77                          | 6   | 12    | 12    |
| iłowa < 0,002 mm<br>clay < 0,002 mm   | 4   | 9                           | 2   | 6     | 8     |
| Wskaźnik różnoziarnistości<br>Uniformity coefficient  | 117                                       | 10,39                       | 77,8  | 642,8 | 920   |
| Nazwa wg PN-EN ISO 14688-2:2006<br>Name acc. to PN-EN ISO 14688-2:2006                              | Gr  | clSi                        | saGr  | saGr  | saGr  |
| Gęstość właściwa, $g \cdot cm^{-3}$<br>Specific gravity, $g \cdot cm^{-3}$                          | 2,55                                      | 2,24                        | 2,38  | 2,30  | 2,29  |
| Maksymalna gęstość objęt. szkieletu,<br>$g \cdot cm^{-3}$<br>Maximum dry density, $g \cdot cm^{-3}$ | 1,95                                      | 1,35                        | 1,895   | 1,872 | 1,75  |
| Wilgotność optymalna, %<br>Optimal water content, %   | 9,10                                      | 19,90                       | 10,00   | 10,90 | 11,40 |

odpadów powęglowych z popiołami były mniejsze niż samych odpadów powęglowych i zmniejszały się od około 1,90 do 1,75  $g \cdot cm^{-3}$  odpowiednio do dodatku popiołu od 10 do 30%.

Wilgotność optymalna odpadów powęglowych była najmniejsza, a popiołów lotnych największa. Wilgotność optymalna mieszanek odpadów powęglowych z popiołami lotnymi była nieco większa niż samych odpadów powęglowych i zwiększała się od 10 do 11,4% odpowiednio do zwiększania dodatku popiołów od 10 do 30%.

Badania ścisłości przeprowadzono na próbkach odpadów powęglowych oraz ich mieszanek z popiołem lotnym przy zachowaniu proporcji 10, 20 i 30% popiołu w stosunku do suchej masy odpadów. Badania wykonywano w prototypowym średnio-wymiarowym edometrze, w którym próbki formowane są w cylindrze o średnicy i wysokości wynoszących po 374 mm. Próbki formowano przez zagęszczanie materiału warstwami o grubości 50 mm do wysokości 371 mm. Wilgotność próbek była zbliżona do optymalnej, a wskaźnik zagęszczenia  $I_s = 0,95$  (tab. 2). Obciążenie na

próbkę zadawano stopniowo poprzez system dźwigniowy przy przełożeniu 1:10, przy utrzymywaniu kolejnych stopni obciążenia (0,02; 0,05; 0,10 i 0,20 MPa) przez jedną dobę, natomiast ostatniego (0,40 MPa) do zakończenia konsolidacji. Następnie próbki odciążano do 0,02 MPa i obciążano powtórnie do 0,40 MPa. Zmiany wysokości badanej próbki rejestrowano za pomocą czujników zegarowych o dokładności 0,01 mm po: 0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 30 min., a następnie po: 1, 2, 4, 6, 24 godz. i kolejnych dobach do zakończenia osiadania. Edometr spełnia warunki odnośnie zachowania odpowiednich proporcji pomiędzy średnicą i wysokością cylindra oraz pomiędzy średnicą cylindra, a średnicą maksymalnych ziaren badanej próbki [Żurek 1969]:

$$D : h = 1$$

$$D : d_{\max} > 5$$

gdzie:

- $D$  – średnica próbki,
- $h$  – wysokość próbki,
- $d_{\max}$  – średnica maksymalna ziaren.

Tabela 2. Parametry początkowe materiałów do badań ścisłości  
Table 2. Initial parameters of the materials before compressibility tests

| Material<br>Materiał   | Wskaźnik zagęszczenia<br>Compaction index | Wilgotność, %<br>Moisture content, % |
|--|---|--------------------------------------|
| Odpady powęglowe<br>Coal mine waste  | 0,95                                      | 8,59                                 |
| Mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołów<br>Mixtures of coal mine waste with the addition of fly ash | 10%<br>20%<br>30%                         | 10,37<br>10,45<br>11,17              |

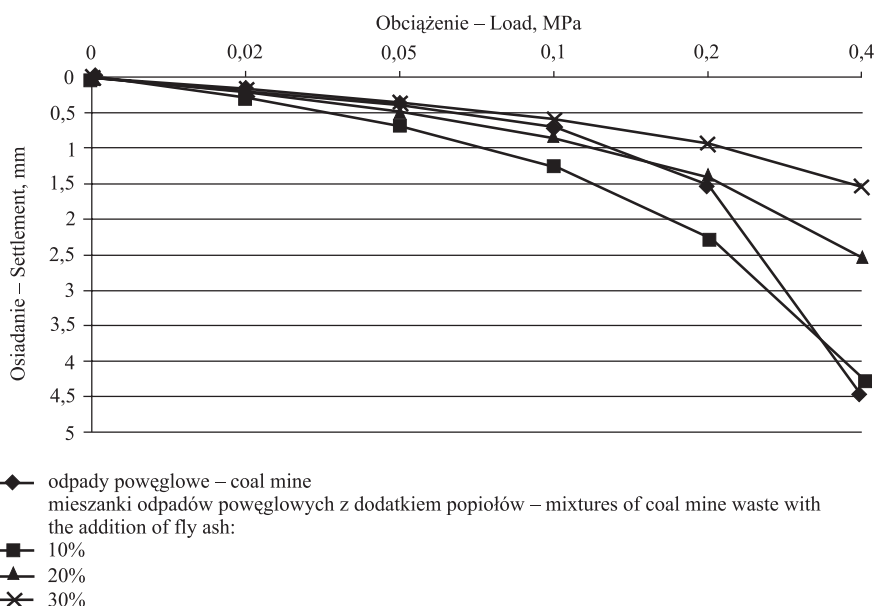
## WYNIKI I DISKUSJA

Czas konsolidacji zarówno odpadów powęglowych, jak i ich mieszanek z popiołami lotnymi był stosunkowo krótki i wyniósł 8–11 dób przy obciążeniu pierwotnym oraz 6–13 dób przy obciążeniu wtórnym.

Przebieg i wielkość osiadań przy obciążeniu pierwotnym poszczególnych próbek były wyraźnie zależne od dodatku popiołu do odpadów powęglowych (tab. 3, ryc. 1). Przy każdym stopniu obciążenia zasadnicza wartość osiadania zachodziła bezpośrednio po jego przyłożeniu; przyrost osiadań w dalszym okresie czasu był nieduży. Największe wartości osiadania występowały przy największych stopniach obciążenia – 0,40 MPa, zarówno przy obciążeniu pierwotnym, jak i wtórnym. Osiadanie końcowe odpadów powęglowych było największe i wynosiło 4,5 mm, natomiast mieszanek zmniejszało się od 4,3 do 1,5 mm wraz ze zwiększaniem dodatku popiołu od 10 do 30%.

Tabela 3. Wartości osiadań i modułów ścisłości pierwotnej badanych materiałów  
 Table 3. Settlement and primary compression moduli of the tested materials

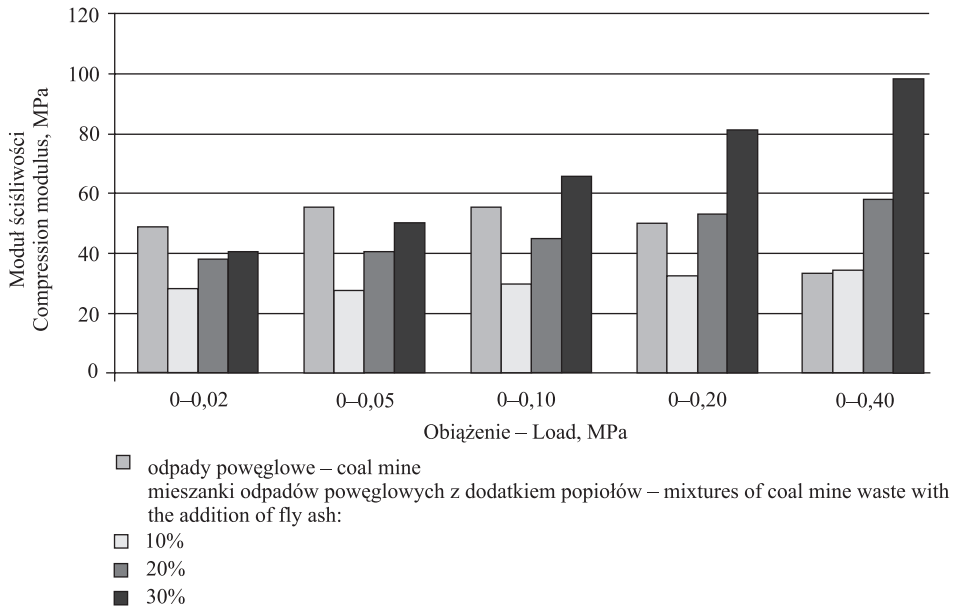
| Zakres obciążenia, MPa<br>Load range, MPa | Osiadanie, mm<br>Settlement, mm     |  |      |      | Moduł ścisłości pierwotnej, MPa<br>Primary compression modulus, MPa |  |       |       |
|---|-------------------------------------|--|------|------|---|--|-------|-------|
|   | odpady powęglowe<br>coal mine waste | mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołów lotnych<br>mixtures of coal mine waste with the addition of fly ash |      |      | odpady powęglowe<br>coal mine waste                                 | mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołów lotnych<br>mixtures of coal mine waste with the addition of fly ash |       |       |
|   |                                     | 10%  | 20%  | 30%  |   | 10%  | 20%   | 30%   |
| 0 – 0,02                                  | 0,15                                | 0,26   | 0,19 | 0,18 | 48,90   | 28,31  | 37,84 | 40,77 |
| 0 – 0,05                                  | 0,34                                | 0,68   | 0,46 | 0,37 | 55,49   | 27,50  | 40,42 | 50,35 |
| 0 – 0,10                                  | 0,68                                | 1,25   | 0,83 | 0,57 | 55,43   | 29,87  | 44,89 | 65,64 |
| 0 – 0,20                                  | 1,48                                | 2,29   | 1,40 | 0,92 | 50,28   | 32,52  | 53,04 | 81,30 |
| 0 – 0,40                                  | 4,45                                | 4,28   | 2,55 | 1,53 | 33,51   | 34,80  | 58,17 | 98,16 |



Ryc. 1. Wykresy osiadań przy obciążeniu pierwotnym badanych materiałów  
 Fig. 1. Settlement of the tested materials at primary compression

Wartości modułów ścisłości pierwotnej odpadów powęglowych zwiększały się w początkowych zakresach obciążenia (do 0,10 MPa) od około 49 do ponad 55 MPa, a przy dalszym zwiększaniu obciążenia (do 0,40 MPa) zmniejszały się do ok. 34 MPa

(tab. 3, ryc. 2). Mogło to być efektem kruszenia słabszych okruchów przy większych wartościach obciążenia. Wartości modułów ścisłości pierwotnej mieszanek odpadów powęglowych z popiołami lotnymi zwiększały się wraz ze wzrostem obciążenia od ok. 28–35 oraz od ok. 38–58 i od 41–98 MPa, odpowiednio do zwiększania dodatku popiołu od 10 do 30%. Powyższe wartości wskazują, że wraz ze zwiększaniem dodatku popiołu do odpadów powęglowych następowało znaczne zwiększanie wartości modułów ścisłości pierwotnej mieszanek.



Ryc. 2. Wartości modułów ścisłości pierwotnej badanych materiałów w kolejnych zakresach obciążenia

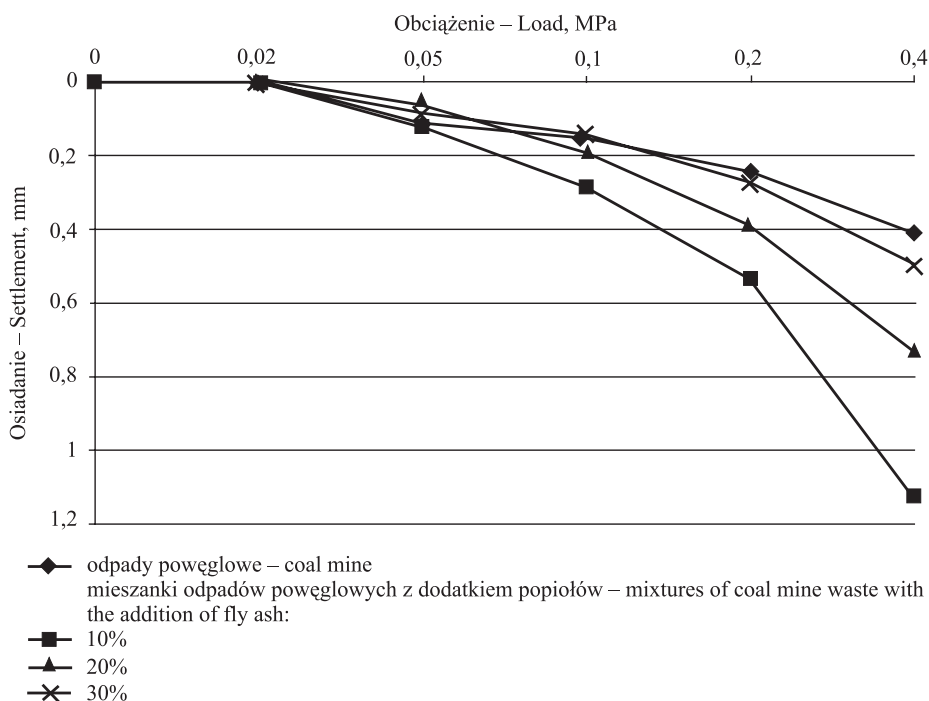
Fig. 2. Primary compression moduli of the tested materials in consecutive load ranges

Wartości osiadań odpadów powęglowych przy obciążeniu wtórnym były bardzo małe; końcowe osiadanie wyniosło 0,41 mm (tab. 4, ryc. 3). Wartości osiadań mieszanek odpadów powęglowych z popiołami lotnymi były większe; końcowe osiadania zmniejszały się od 1,13 do 0,49 mm odpowiednio do zwiększania dodatku popiołu od 10 do 30%. Odnosząc podane wyżej wartości osiadań przy obciążeniu wtórnym do wartości osiadań przy obciążeniu pierwotnym można stwierdzić, że były one mniejsze od ok. 10- (odpady powęglowe) do 3-, 4-krotnie (mieszanki).

Wartości modułów ścisłości wtórnej odpadów powęglowych zwiększały się od ok. 124–341 MPa, wraz ze zwiększaniem obciążenia od 0,02 do 0,40 MPa (tab. 5, ryc. 4). Wartości modułów ścisłości wtórnej mieszanek odpadów powęglowych z popiołami lotnymi były ogólnie mniejsze niż odpadów powęglowych; zwiększały się one od ok. 96–124, od 176–194 i od 106–289 MPa, odpowiednio do zwiększania dodatku popiołu od 10 do 30%.

Tabela 4. Wartości osiadań i modułów ścisłości wtórnej badanych materiałów  
 Table 4. Settlement and secondary compression moduli of the tested materials

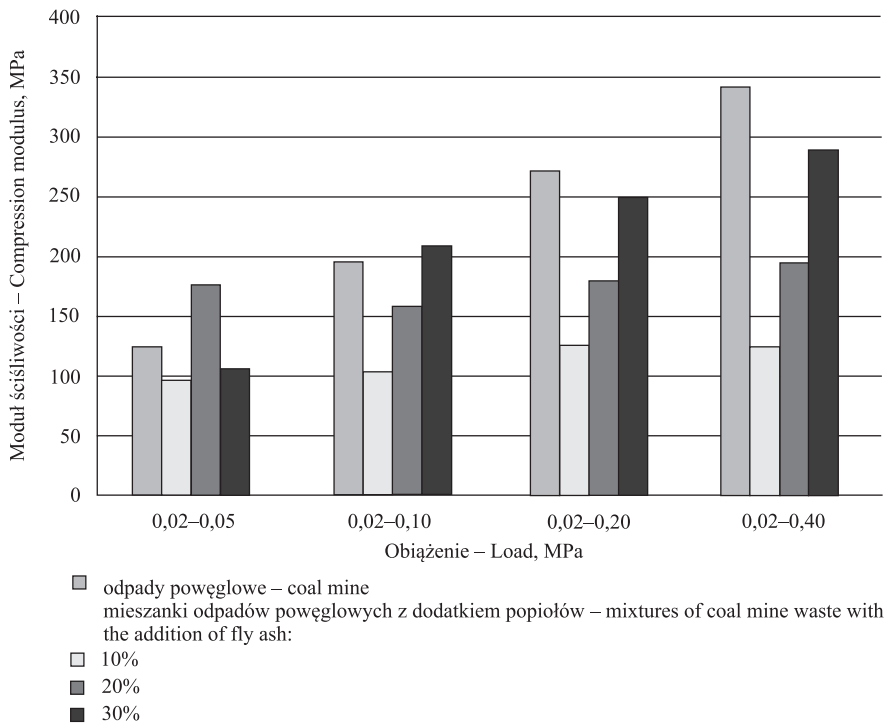
| Zakres obciążenia, MPa<br>Load range, MPa | Osiadanie, mm<br>Settlement, mm        |  |      | Moduł ścisłości wtórnej, MPa<br>Secondary compression modulus, MPa |  |  |        |        |
|---|--|--|------|--|--|--|--------|--------|
|   | odpadów powęglowych<br>coal mine waste | mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołów lotnych<br>mixtures of coal mine waste with the addition of fly ash |      |  | odpadów powęglowych<br>coal mine waste | mieszanki odpadów powęglowych z dodatkiem popiołów lotnych<br>mixtures of coal mine waste with the addition of fly ash |        |        |
|   |  | 10%  | 20%  | 30%  |  | 10%  | 20%    | 30%    |
| 0,02 – 0,05                               | 0,09                                   | 0,12   | 0,06 | 0,11   | 123,85                                 | 96,11  | 175,77 | 105,70 |
| 0,02 – 0,10                               | 0,15                                   | 0,29   | 0,19 | 0,14   | 194,92                                 | 102,35   | 157,38 | 208,83 |
| 0,02 – 0,20                               | 0,25                                   | 0,53   | 0,38 | 0,27   | 270,92                                 | 125,25   | 178,85 | 249,69 |
| 0,02 – 0,40                               | 0,41                                   | 1,13   | 0,73 | 0,49   | 341,14                                 | 124,02   | 193,66 | 289,24 |



Ryc. 3. Wykres osiadań przy obciążeniu wtórnym badanych materiałów  
 Fig. 3. Settlement of the tested materials at secondary compression

Tabela 5. Uśrednione wartości odkształceń i modułów ścisłości  
Table 5. Average values of deformations and compression moduli

| Materiał<br>Material   | Osiadanie, mm<br>przy obciążeniu<br>Settlement, mm<br>with a load |                     | Moduł ścisłości<br>Compression modulus |  |
|--|---|---------------------|--|--|
|  | pierwotnym<br>primary   | wtórny<br>secondary | pierwotny<br>primary<br>(0–0,40 MPa)   | wtórny<br>secondary<br>(0,02–0,40 MPa) |
| Odpady powęglowe<br>Coal mine waste                                | 4,45  | 0,41                | 33,51                                  | 341,14                                 |
| Mieszanki odpadów<br>powęglowych<br>z dodatkiem popiołu<br>lotnego | 10%   | 4,28                | 1,13                                   | 34,80                                  |
| Mixtures of coal mine<br>waste with the addition of<br>fly ash     | 20%   | 2,55                | 0,73                                   | 58,17                                  |
|  | 30%   | 1,53                | 0,49                                   | 98,16                                  |



Ryc. 4. Wartości modułów ścisłości wtórnej badanych materiałów w kolejnych zakresach obciążenia

Fig. 4. Secondary compression moduli of the tested materials in consecutive load ranges



## PODSUMOWANIE

Podsumowując wyniki przeprowadzonych badań i analiz, można stwierdzić, że:

1. Konsolidacja badanych odpadów powęglowych i ich mieszanek z popiołami lotnymi zachodziła stosunkowo szybko, największe osiadania występowały bezpośrednio po przyłożeniu kolejnego stopnia obciążenia i były zależne od wielkości obciążenia.
2. Wartości parametrów ścisłości badanych materiałów, to jest osiadań i modułów ścisłości (tab. 5), były wyraźnie zależne od dodatku popiołu, i tak:
  - przy obciążeniu pierwotnym:
    - największą ścisłość wykazały odpady powęglowe – wartość modułu ścisłości pierwotnej wyniosła ok. 34 MPa,
    - nieco mniejszą ścisłość wykazała mieszanka odpadów powęglowych z 10% dodatkiem popiołu – wartość modułu ścisłości pierwotnej wyniosła ok. 35 MPa,
    - dużo mniejszą ścisłością wykazały mieszanki z 20 i 30% dodatkiem popiołu – wartości modułu ścisłości pierwotnej wynosiły odpowiednio ponad 58 i 98 MPa.
  - przy obciążeniu wtórnym wartości modułów ścisłości były ok. 3-,10-krotnie większe niż przy obciążeniu pierwotnym, przy czym:
    - najmniejszą ścisłość wykazały odpady powęglowe – wartość modułu ścisłości wtórnej wyniosła ponad 341 MPa,
    - dużo większą ścisłość wykazała mieszanka odpadów powęglowych z 10% dodatkiem popiołu – wartość modułu ścisłości wtórnej wyniosła 124 MPa,
    - mieszanki z 20 i 30% dodatkiem popiołu wykazały dużo mniejszą ścisłość niż mieszanka z 10% dodatkiem popiołu, ale wyraźnie większą niż odpady powęglowe – wartości modułów ścisłości wtórnej wyniosły odpowiednio ok. 194 i 289 MPa.
  - zarówno przy obciążeniu pierwotnym, jak i wtórnym ścisłość mieszanek odpadów powęglowych z popiołami lotnymi zmniejszała się bardzo wyraźnie wraz ze zwiększaniem dodatku popiołu.
3. Wszystkie przebadane materiały wykazały dużo większą ścisłość przy obciążeniu pierwotnym niż przy obciążeniu wtórnym.
4. Odpady powęglowe oraz ich mieszanki z popiołami lotnymi charakteryzują się ogólnie korzystnymi parametrami geotechnicznymi. Dlatego mogą one stanowić antropogeniczne grunty budowlane do formowania ziemnych konstrukcji inżynierskich.

## PIŚMIENNICTWO

- Dzierwa, K., Zawisza, E. (2007). Laboratory investigations of compressibility of coarse-grained coal-mining waste. Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics, 54(1), 37–54.
- Pisarczyk, S. (1995). Ścisłość grubookruchowych gruntów nasypowych stosowanych w budowach hydrotechnicznych i komunikacyjnych. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Inżynieria Środowiska
- PN-EN ISO 14668-2. Badania geotechniczne. Oznaczenie i opis gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.

- Rosik-Dulewska, C. (1999). Podstawy gospodarki odpadami. Wydawnictwo Ekoinżynieria, Lublin.
- Zawisza, E. (2001) Geotechniczne i środowiskowe aspekty uszczelniania grubo okrucowych odpadów powęglowych popiołami lotnymi. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej w Krakowie, 280.
- Zawisza, E. (2012). Odpady hutnicze jako antropogeniczne grunty budowlane. Metody badań i właściwości geotechniczne. Wyd. UR w Krakowie, 148.
- Zawisza, E., Cholewa, M., Mardyla, P. (2009 a). Wpływ uziarnienia i zagęszczenia na ściśliwość wybranych mieszanin popiołowo-żuźlowych. Drogownictwo, 10, 343–348.
- Zawisza, E., Dzierwa, K., Orkisz, M. (2009 b). Ściśliwość nienawodnionych i nawodnionych odpadów powęglowych z KWK „Powstańców Śląskich”. Przegląd Górniczy, 7–8, 79–83.
- Żurek, J. (1969). Przybliżona metoda obliczania osiadań korpusu zapór ziemnych i namulowych, Gospodarka Wodna, 10.

## COMPRESSION OF COAL MINE WASTE AND ITS MIXTURES WITH ADDITION OF FLY ASH

**Abstract.** The purpose of this paper was to determine compression parameters – settlement, primary and secondary compression moduli – of coal mine waste and its mixtures with 10, 20 and 30% addition of fly ash from Kraków Combined Heat and Power Plant. Tests were carried out in a consolidometer, the height and diameter of the cylinder was 374 mm. Samples were formed at the optimal moisture content and compaction index  $I_s = 0.95$ . Based on the obtained results it was stated that the mixtures with 20 and 30% addition of ash were the least compressible. Higher compressibility was noticed in case of the mixture with 10% addition of ash, whereas compressibility of the coal mine waste was intermediate. Geotechnical parameters of both coal mine waste and its mixtures with fly ash were generally beneficial and they can be used in earthworks.

**Key words:** coal mine waste, fly ash, mixtures of coal mine waste with fly ash, geotechnical parameters, compressibility

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 16.06.2016*

Do cytowań – For citation: Kamińska, K., Cholewa, M., Stanisławski, M. (2016). Ściśliwość odpadów powęglowych i ich mieszanek z popiołami lotnymi. Acta. Sci. Pol., Fromatio Circumiectus, 15(2), 83–92.