

**KONFERENCJA ŚRODOWISKOWA
SEKCJI MECHANIKI GRUNTÓW I SKAŁ ORAZ FUNDAMENTOWANIA
KOMITETU INŻYNIERII LĄDOWEJ I WODNEJ PAN
"GEOTECHNIKA W OŚRODKU GLIWICKIM"**

ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ

1995

Seria: BUDOWNICTWO z. 80

Nr kol. 1288

Jacek KAWALEC
Katedra Geotechniki
Politechnika Śląska

**MODELOWE BADANIA STATECZNOŚCI SKARP WYKONANYCH Z
ODPADÓW KOPALNIANYCH**

Streszczenie. W pracy przedstawiono metodę prowadzenia niszczących badań modelowych stateczności skarp dla celów szacowania parametrów wytrzymałościowych odpadów kopalnianych, pod kątem ich przydatności do nasypów drogowych. Omówiono sposoby przygotowywania i prowadzenia badań, zwracając uwagę na trudności występujące przy ich realizacji oraz możliwości ich pokonania. Zamieszczono wyniki uzyskane z badań modelowych wykonanych w skrzyni o wymiarach 100x100x100 cm dla skarp o nachyleniach 45° i 60°, porównując je z rezultatami otrzymanymi w aparacie bezpośredniego ścinania.

**MODEL INVESTIGATIONS OF STABILITY OF SLOPES PERFORMED FROM
COAL MINING WASTE**

Summary. The paper presents the methodology of conducting non-destructive model investigations of slopes stability for appraisal of strength parameters of coal mining waste taking into account their usability for road embankments. The ways of investigations preparation and conducting have been discussed, paying attention to difficulties occurring during their carrying out and possibilities of their overcoming. Results of model investigations, carried out in a case of dimensions 100x100x100 cm for slopes of 60° and 45°, have been presented compared with the results obtained in a direct shear apparatus.

ОБРАЗЦОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАТИЧНОСТИ ВАЛОВ ИСПОЛНЕННЫХ ИЗ ШАХТНЫХ ОТБРАСОВ

Резюме. В диссертации представлено метод ведения разрушительных, образцовых исследований статичности валов для оценки параметров прочности шахтных отбросов учитывая их полезность для дорожных валов. Обсуждено методы приготовления и ведения исследований, обращая внимание на затруднения появляющиеся при их выполнении а также возможность преодоления их. Представлено результаты полученные после образцовых исследований выполненных в коробке форматом 100x100x100 см для валов о угле наклонения 45° и 60°, сравнивая их с результатами полученными в аппарате непосредственного срезания.

1. WSTĘP

Z panoramą Górnego Śląska nieodzownie kojarzą się hałdy odpadów kopalnianych tworzące od lat specyficzny krajobraz, dla wielu mieszkańców naszego regionu kojarzące się niegdyś z postępem technicznym, pracą i dobrymi zarobkami, a obecnie uświadamiające zagrożenia i problemy związane z wieloletnią rabunkową gospodarką węgla. W obecnej chwili stoimy przed konieczną modernizacją większości inwestycji prowadzonych w latach powojennych na tym terenie, mającą na celu dostosowanie warunków życia i pracy do standardu europejskiego. Wiąże się to nieodzownie z remontem istniejącej sieci komunikacyjnej, który w wielu przypadkach polegać będzie na zaprojektowaniu oraz wykonaniu całkowicie nowych odcinków dróg i autostrad.

Specyficzne warunki Górnego Śląska, jak również koszty transportu tradycyjnych materiałów stosowanych do budowy nasypów drogowych kierują uwagę wielu potencjalnych inwestorów na odpady kopalniane jako materiału zastępczego [2]. Wymaga to jednak dokładnych analiz i badań tych odpadów pod kątem możliwości ich zastosowania do celów drogowych. Badania takie prowadzone są w szerokim zakresie, m. in. w Katedrze Geotechniki Politechniki Śląskiej.

Jednym z zasadniczych badań prowadzonych dla oceny przydatności odpadów kopalnianych do budowy nasypów drogowych jest oznaczanie wartości ich kąta tarcia wewnętrznego ϕ oraz kohezji c . Najpowszechniej stosowane aparaty do wyznaczania ϕ oraz c to aparat trójosiowy lub aparat skrzynkowy. Przy badaniu materiału o ostrych

krawędziach, jak to ma miejsce w przypadku odpadów kopalnianych, zmuszeni jesteśmy do rezygnacji z aparatu trójosiowego ściskania na rzecz aparatu bezpośredniego ścinania. Jednakże badania w aparatach skrzynkowych posiadają również szereg wad, jak chociażby wymuszona powierzchnia ścinania, niejednorodny stan naprężenia w próbce, czy brak możliwości pomiarów ciśnienia wody w porach. Wielkowymiarowy aparat bezpośredniego ścinania wielopłaszczyznowego oraz wprowadzenie składników poprawkowych pozwalają na nieco dokładniejsze oszacowania [7].

Możliwa jest jeszcze inna droga oszacowania parametrów wytrzymałościowych, która polega na odwróceniu zwykłego toku obliczeń projektowych i próbie przejścia od wyników pomiarów badania niszczącego wraz z jego warunkami geometrycznymi, obciążeniem niszczącym i znanym mechanizmie zniszczenia do poszukiwanych parametrów materiałowych. W dalszych rozważaniach będzie ona określana jako metoda analizy wstecznej. Jest to jednak związane z wieloma problemami technicznymi, nie spotykanymi przy zwykłych badaniach laboratoryjnych.

W celu oszacowania parametrów wytrzymałościowych potwierdzających wyniki laboratoryjne należy przeprowadzić terenowe badania "in situ" w skali naturalnej lub znacznie do niej zbliżonej. Przygotowywane badania terenowe mają umożliwić sprawdzenie parametrów ϕ i c przy wykorzystaniu wstecznej analizy stateczności skarpy [4]. Obliczenia polegać będą na analizie jedną z metod pasków [6] z uwzględnieniem pomierzonej geometrii bryły poślizgu przy współczynniku stateczności równym jedności (zniszczenie). Konieczne jest przeprowadzenie dwóch testów przy różnych nachyleniach skarpy. Wyznaczenie kąta tarcia wewnętrznego w aparacie bezpośredniego ścinania w połączeniu z badaniem "in situ" pozwoli na sprawdzenie innej techniki interpretacyjnej nazwanej roboczo metodą analizy półwstecznej.

Opisane wyżej badania modelowe w skali naturalnej winny być poprzedzone badaniami w mniejszej skali w laboratorium. Powinno to okazać się bardzo pomocne podczas realizacji badań w terenie, dzięki pewnemu doświadczeniu nabytemu zarówno przy formowaniu skarpy, modelowaniu obciążenia, jak i inwentaryzacji osuwiska.

Celem niniejszej pracy jest omówienie modelowych badań utraty stateczności skarpy przeprowadzonych w laboratorium Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej oraz przedstawienie problemów, jakie występowały w trakcie przygotowywania badań,

modelowania skarp i doprowadzaniu do ich zniszczenia.

2. RODZAJ ODPADÓW UŻYTYCH DO BADAŃ

Badania przeprowadzono na dwóch rodzajach odpadów kopalnianych. Pierwszy był łupek pochodzący z KWK "Makoszowy". W materiale tym przeważały frakcje grube (kamenista, żwirowa, piaskowa). Ponieważ skarpa modelowana była w skrzyni doświadczalnej bez odrzucenia frakcji kamenistej, przeprowadzenie testu na tym materiale nie było wykonalne. Z tego względu dokonano wstępnego przesiewu materiału przez sito o średnicy oczka 12 mm. Drugi wykorzystany materiał to łupek wstępnie skruszony w Zakładzie "CERG-Gliwice", a pochodzący z zakładu przerobczego KWK "Sośnica". Odpady te odpowiadają uziarnieniem żwirom, znajdującym się na pograniczu pospółek. Oba materiały zostały przebadane laboratoryjnie [3], [5], a najistotniejsze ich parametry geotechniczne podaje tabl. 1.

Tablica 1

Parametry geotechniczne odpadów z KWK "Makoszowy" i KWK "Sośnica"

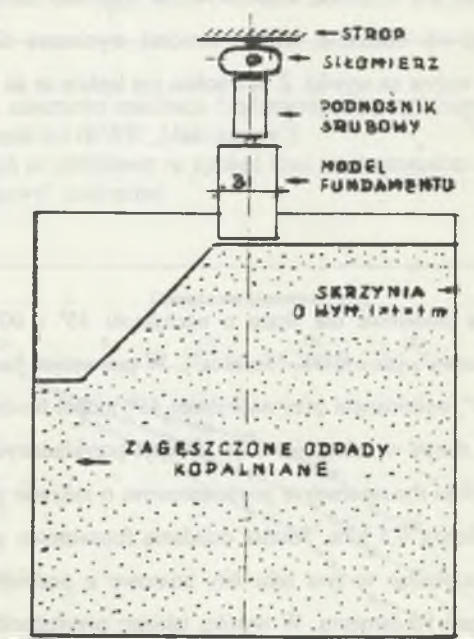
Badana cecha	KWK "Makoszowy"*	KWK "Sośnica"
wskaznik różnoziarnistości	$U = 5,75-6,58$	$U = 12,3-19,4$
gęstość właściwa	$\rho_s = 2,53-2,54 \text{ g/cm}^3$	$\rho_s = 2,52-2,55 \text{ g/cm}^3$
zawartość węgla	$I_c = 13,2-13,6$	$I_c = 13,6-13,9$
wilgotność optymalna	$w_{opt} = 12,0 \%$	$w_{opt} = 10,4 \%$
maksymalna gęstość objętościowa szkieletu	$\rho_{ds} = 1,90 \text{ g/cm}^3$	$\rho_{ds} = 1,99 \text{ g/cm}^3$
kąt tarcia wewnętrznego	$\phi_u = 34,5^\circ-39^\circ$	$\phi_u = 41,5^\circ-44^\circ$
kohezja	$c_u = 1-31 \text{ kPa}$	$c_u = 9-25 \text{ kPa}$

* po przesianiu przez sito 12 mm.

3. STANOWISKO DO BADAŃ MODELOWYCH

Podstawowym elementem stanowiska badawczego była skrzynia o wymiarach 100x100x100 cm, o sztywnym szkieletcie stalowym i ścianach z płyt pleksiglasowych

grubości 20 mm, zaprojektowana przez J. Sękowskiego [8] i wykorzystywana wcześniej do badań modelowych słabych podłoży wznacnianych geosiatkami. Sztynny fundament pasmowy modelowano fragmentem drewnianej belki o przekroju 14x23 cm i długości 98 cm. Układ obciążający to: podnośnik śrubowy sterowany ręcznie i dynamometr pierścieniowy o zakresie pomiarowym do 100 kN i dokładności odczytu 0,8 kPa. Podnośnik został oparty dołem o fundament, górą natomiast poprzez dynamometr o sztywną belkę stalową umieszczoną w stropie. Schemat stanowiska badawczego przedstawia rys. 1. Pomiarów osiadań boków fundamentu dokonywano przy użyciu niwelatora, z dokładnością do 0,5 mm.



Rys. 1. Schemat stanowiska badawczego

Fig. 1. Test stand scheme

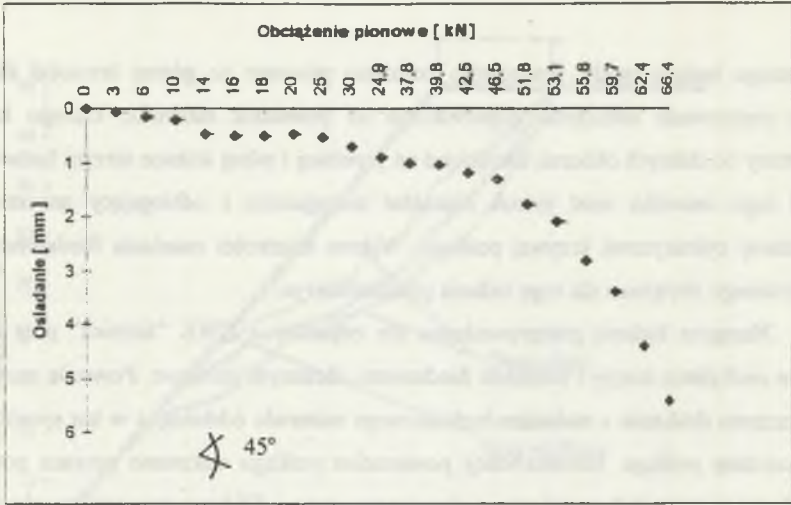
Materiał wbudowywano w skrzynię warstwami 10 cm, zagęszczanymi ręcznie ubijakiem Proctora, opuszczanym dziesięciokrotnie w jedno miejsce ze stałej wysokości ($I_s=0,95$), aż do jej całkowitego napełnienia. Bardzo ważne okazało się dokładne

zagęszczanie materiału tuż przy bocznych ściankach, na których można zaobserwować powierzchnię poślizgu. Następnie na przedniej i tylnej ścianie skrzyni naniesiono kształt projektowanej skarpy o odpowiednim nachyleniu. Kolejnym krokiem było wycięcie skarpy w tak zagęszczonym materiale. Dokonano tego przy użyciu łopatkę oraz brzeszczota metalowej piły, usuwając nadmiar materiału poza skrzynię. Takie postępowanie pozwoliło na bardzo dokładne przygotowanie stanowiska do badań. Początkowo obawiano się, iż wykonanie skarpy o nachyleniu 60° może okazać się niemożliwe. Przeprowadzone badania wykazały jednak, że po wymodelowaniu takiej skarpy i obciążeniu fundamentem pozostawienie takiego układu na kilkadziesiąt godzin nie wpłynęło na zachowanie się modelu budowli. Ważne jest, aby w trakcie wbudowywania materiału odrzucać większych rozmiarów kamienie, gdyż ich obecność bardzo utrudnia wycinanie skarpy o stałym nachyleniu, co może mieć wpływ na wyniki. Z pewnością nie będzie to aż tak istotne przy prowadzeniu badań "in situ".

4. PRZEBIEG BADAŃ

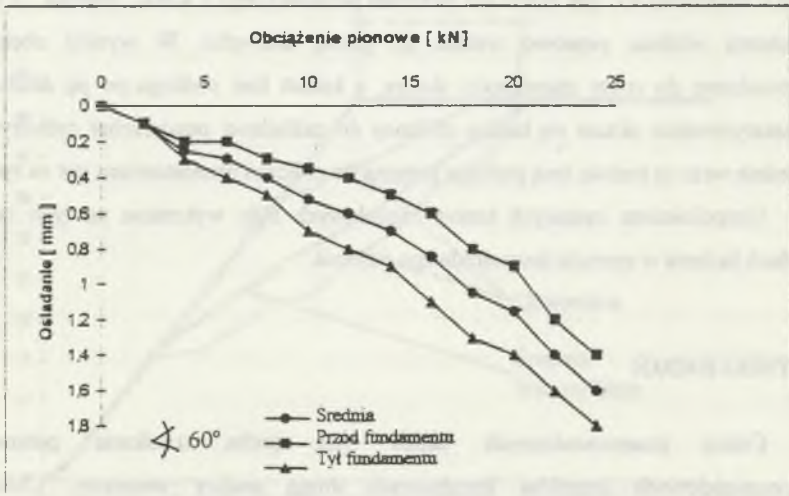
Wykonano badania modelowe dla skarp o nachyleniu 45° i 60° (zarówno dla odpadów z KWK "Makoszowy", jak i KWK "Sośnica"). W pierwszym badaniu dla odpadów z KWK "Makoszowy", wykonanym przy nachyleniu 45° , model fundamentu ułożono na płask wzdłuż krawędzi skarpy w odległości 5 cm. Odczyt przykładowych kolejnych faz obciążenia dokonywany był na dynamometrze pierścieniowym o zakresie pomiarowym do 100 kN i dokładności odczytu 0,8 kPa. Pomiar osiadania fundamentu przeprowadzano metodą geodezyjną, wykorzystując w tym celu łaty miarowe z podziałką milimetrową umieszczone na obu końcach fundamentu. W wyniku takiego przyłożenia obciążenia nie udało się doprowadzić do utraty stateczności skarpy, a więc nie uzyskano żadnej linii poślizgu. W tym przypadku nastąpiła bowiem wcześniejsza utrata nośności podłoża [1]. Wykres zależności osiadania fundamentu od przyłożonego obciążenia przedstawia rys. 2. W dalszych rozważaniach badanie to nazwano badaniem utraty nośności podłoża.

Kolejnym krokiem było opróżnienie skrzyni z materiału i ponowne jego wbudowywanie w celu przygotowania skarpy o nachyleniu 60° . Po doświadczeniach z



Rys. 2. Wykres zależności osiadania fundamentu od przyłożonego obciążenia przy badaniu utraty nośności (KWK „Makoszowy”)

Fig. 2. The graph of settlement vs. applied load at investigations on bearing capacity loss („Makoszowy” coal mine)



Rys. 3. Wykres zależności osiadania fundamentu od przyłożonego obciążenia przy badaniu utraty stateczności (KWK „Makoszowy”)

Fig. 3. The graph of foundation settlement vs. applied load at investigations on stability loss („Makoszowy” coal mine)

pierwszego badania model fundamentu położono pionowo na górnej krawędzi skarpy. Takie usytuowanie obciążenia doprowadziło do powstania osuwiska, którego kształt konieczny do dalszych obliczeń naniesiono na przedniej i tylnej ścianie skrzyni badawczej. Profil tego osuwiska miał jednak charakter nieregularny i odbiegający znacznie od zakładanej cylindrycznej krzywej poślizgu. Wykres zależności osiadania fundamentu od przyłożonego obciążenia dla tego badania przedstawia rys. 3.

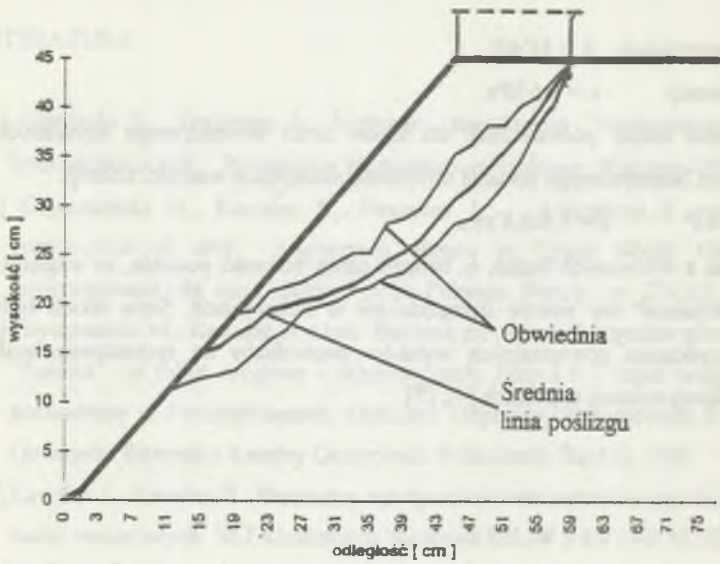
Następne badanie przeprowadzono dla odpadów z KWK "Sośnica" przy takim samym nachyleniu skarpy i modelem fundamentu ułożonym pionowo. Powstałe osuwisko oczyszczono delikatnie z nadmiaru rozluźnionego materiału odsłaniając w ten sposób całą powierzchnię poślizgu. Inwentaryzacji powierzchni poślizgu dokonano poprzez pomiary głębokości w siatce 5x2 cm od górnej płaszczyzny skrzyni. Efektem tego było uzyskanie 21 przekrojów prostopadłych do krawędzi skarpy, które po opracowaniu statystycznym pozwoliły narysować kształt średniej linii poślizgu. Jej szkic wraz obwiednią przedstawiono na rys. 5.

W ramach ostatniego z serii czterech badań modelowych wykonano ponownie skarpe o nachyleniu 45° tym razem dla materiału pochodzącego z KWK "Sośnica", a model fundamentu ułożono pionowo wzdłuż jej górnej krawędzi. W wyniku obciążania doprowadzono do utraty stateczności skarpy, a kształt linii poślizgu po jej dokładnym zinwentaryzowaniu okazał się bardzo zbliżony do zakładanej powierzchni cylindrycznej. Obwiednia wraz ze średnią linią poślizgu przyjętą do obliczeń przedstawiona jest na rys. 4.

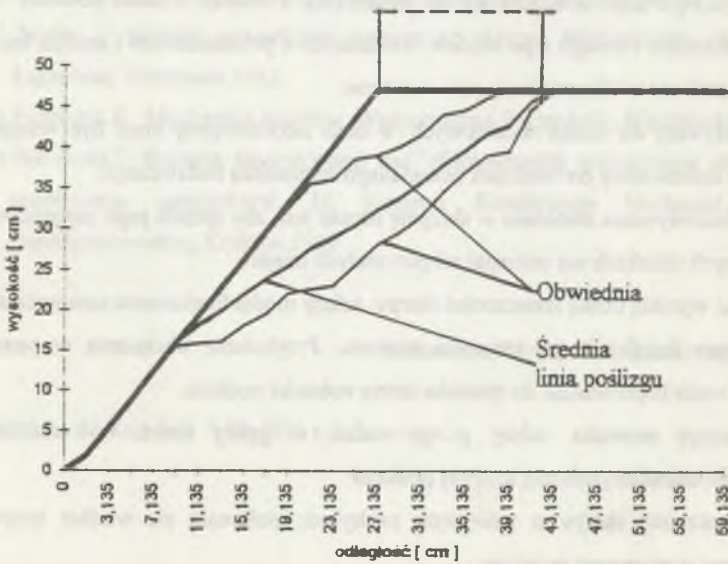
Uzupełnieniem opisanych testów modelowych były wykonane na tych samych odpadach badania w aparacie bezpośredniego ścinania.

5. WYNIKI BADAŃ

Celem przeprowadzonych badań była próba uzyskania parametrów wytrzymałościowych odpadów kopalnianych drogą analizy wstecznej. Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu metody Felleniusa dla skarp o nachyleniach 45° i 60° wykonanych z odpadów pochodzących z KWK "Sośnica". Ostatecznie uzyskano następujące parametry:



Rys. 4. Obwiednia linii poslizgu dla skarpy o nachyleniu 45° (KWK „Sośnica”)
 Fig. 4. The envelope of slip lines for a 45° slope („Sośnica” coal mine)



Rys. 5. Obwiednia linii poslizgu dla skarpy o nachyleniu 60° (KWK „Sośnica”)
 Fig. 5. The envelope of slip lines for a 60° slope („Sośnica” coal mine)

- kąt tarcia wewnętrzznego $\phi = 41^{\circ}40'$;
- kohezja (spójność) $c = 8,5$ kPa.

W wyniku analizy półwstecznej, dla kątów tarcia wewnętrznych uzyskanych z badań w aparacie bezpośredniego ścinania otrzymano następujące wartości kohezji:

- dla $\phi = 41,5^{\circ}-44^{\circ}$ $c = 3,8-8,8$ kPa.

Pierwsze z wykonanych badań, tj. badanie utraty nośności podłoża, ze względu na swą "niepowtarzalność" nie zostało uwzględnione w obliczeniach. Seria takich testów zakończona uzyskaniem powtarzalnych wyników pozwoliłaby na sprawdzenie analizy wstecznej mieszanej opisanej w pracach [4], [5].

6. WNIOSKI

W pracy omówione zostały modelowe badania utraty stateczności skarp dla celów analizy wstecznej, przeprowadzone w laboratorium Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej, wraz z problemami, jakie występowały w trakcie przygotowywania badań, modelowania skarp i doprowadzania ich do zniszczenia. Poniższe wnioski powinny być pomocne w uniknięciu różnego typu błędów, związanych z prowadzeniem i analizą badań modelowych, zarówno w laboratorium, jak i w terenie.

- 1) Materiał używany do badań modelowych w skali laboratoryjnej musi być wstępnie przesiany i dostosowany do wielkości posiadanego stanowiska badawczego.
- 2) Podczas wbudowywania materiału w skrzynię istotne jest, aby sposób zagęszczenia przy bocznych ściankach nie odbiegał od pozostałych miejsc.
- 3) Aby uzyskać wyraźną utratę stateczności skarpy, należy model fundamentu umieszczać w bezpośrednim sąsiedztwie jej krawędzi naziomu. Przyłożenie obciążenia w pewnej odległości może doprowadzić do zjawiska utraty nośności podłoża.
- 4) Inwentaryzację osuwiska należy przeprowadzić w gęstej siatce, co umożliwi wyznaczenie charakterystycznej krzywej poślizgu.
- 5) Utrata stateczności skarpy o mniejszym nachyleniu dokonała się wzdłuż krzywej cylindrycznej o mniejszym promieniu.

Jednym z powodów trudności interpretacji wyników jest ograniczona ilość badań, które winny obejmować powtarzalne serie tych samych modeli.

LITERATURA

- [1] Dembicki E., Tejchman A.: Wybrane zagadnienia fundamentowania budowli hydrotechnicznych. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań 1974.
- [2] Gryczmański M., Kawalec B., Pieczyrak J.: Applications of mining wastes to construction of civil engineering objects in Upper Silesia. Geotechnique et environnement - 4e` me Colloque Franco-Polonais, Nancy, pp. 277-285, 1993,
- [3] Gryczmański M., Kawalec B. i inni: Badania przydatności odpadów górniczych z KWK "Sośnica" dla robót drogowo - inżynierskich. Etap I b - Łupek wstępnie skruszony pochodzący z Przedsiębiorstwa Utylizacji Odpadów Powęglowych P.W."CERG" w Gliwicach. Biblioteka Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej, 1995.
- [4] Kawalec J., Kawalec B.: Parametry wytrzymałościowe odpadów kopalnianych w świetle badań modelowych. XLI Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB "Krynica'95", wrzesień 1995 [w druku].
- [5] Kawalec J.: Parametry wytrzymałościowe odpadów górniczych w zastosowaniu do nasypów drogowych. Praca dypl. magisterska (Promotor: Prof. dr h. inż. M. Gryczmański), Biblioteka Katedry Geotechniki Politechniki Śląskiej, 1994.
- [6] Madej J.: Metody sprawdzania stateczności zboczy. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
- [7] Pisarczyk S.: Mechanika gruntów. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1992.
- [8] Sękowski J.: Badania laboratoryjne nad efektywnością wzmocnienia słabego podłoża gruntowego geosiatkami. IX Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Kraków 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Krystyna Skarzyńska

Wpłynęło do Redakcji 5.05.1995 r.

Abstract

The paper presents a method of performing destructive model investigations of stability of slopes for appraisal of strength parameters, using as examples coal mining wastes originating from "Makoszowy" and "Sośnica" coal mines, to assess their usability to form road embankments. Basic geotechnical parameters of the aforementioned wastes have been presented. Methods of preparation and carrying out of model investigations have been discussed, paying attention to problems occurring during their performance and possibilities of their overcoming. Conclusions given in the elaboration can be used at performance of planned field examinations. Results of model investigations, carried out in a case of dimensions 100x100x100 cm for slopes of 45° and 60°, have been presented. Strength parameters for coal mining waste from "Sośnica" coal mine, obtained from calculations using back and half-back analysis methods, have been compared with results obtained in a direct shear apparatus.