

*Bogumił Wrana\*, Michał Skrzycki\**

## WPŁYW WŁAŚCIWOŚCI IŁU NA PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE W WARSTWIE GRUNTU MINERALNEGO PRZYKRYCIA SKŁADOWISKA ODPADÓW

---

### 1. Wstęp

Zagadnienie projektowania układu warstw przykrywających składowiska odpadów przemysłowych jest obecnie problemem naukowym podejmowanym przez wiele ośrodków badawczych. Jednym z głównych problemów jest zagadnienie utrzymania warstw przykrywających na tyle sztywnych, by nie deformowały się razem z osiadającymi warstwami odpadów, lecz przekrywały lokalne nierówności. Przy projektowaniu warstwy konstrukcyjnej, składającej się głównie z ładu, stawiane są, zatem wymogi parametrów wytrzymałościowych z warunkiem ich utrzymania przez długi okres czasu eksploatacji składowiska.

Warstwa konstrukcyjna, w odniesieniu do stanu granicznego nośności, ma podobne zadanie jak np. powłoka żelbetowa konstrukcji naziemnych, w której o nośności decydują naprężenia rozciągające i ściskające w zewnętrznych włóknach powłoki oraz naprężenia styczne przy podporach. Aby warstwa konstrukcyjna przekrycia składowiska spełniała swoje zadanie, to dla niej należy tak dobrać procent zawartości ładu oraz określić wilgotność optymalną (zakres optymalny zmiany wilgotności), aby uzyskać jak najwyższe parametry wytrzymałościowe:

- a) maksymalna wytrzymałość na rozciąganie/ściskanie,
- b) maksymalna wytrzymałość na ścinanie.

W artykule przedstawiono zagadnienia zmian wartości parametrów warstwy ładu piaszczystego w zależności od:

- a) procentu zawartości ładu oraz
- b) wartości wilgotności przedstawione przez Al-Shayea [1],  
oraz wyniki własne z doświadczenia zginania czteropunktowego belki z ładu.

---

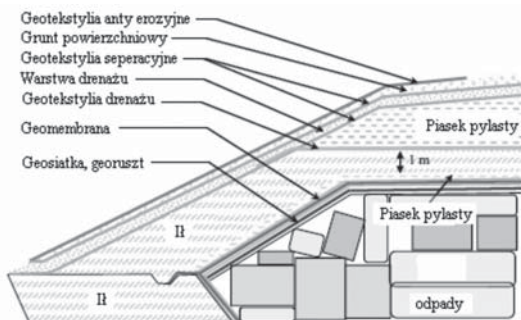
\* Instytut Mechaniki Budowli, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, Kraków

## 2. Warstwy przekrycia składowisk odpadów przemysłowych

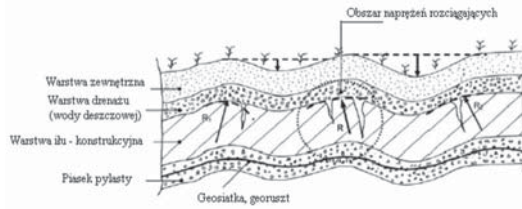
Budowa przekrycia składowiska odpadów przemysłowych jest uzależniona od rodzaju składowanych odpadów. Różnica w budowie przekryć składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych polega na odpowiednim zwiększeniu ilości warstw izolacyjnych oraz drenażowych w celu spełnienia wymagań stawianych konkretnemu składowisku. W artykule podejmowane jest zagadnienie parametrów warstwy konstrukcyjnej bez szczegółowego określenia rodzajów odpadów. Na rysunkach 1 i 2 przedstawiono przykładowy przekrój przez składowisko odpadów z uwzględnieniem zjawiska lokalnych osiadań przekrycia. Na rysunku 3 pokazano typową postać odkształcenia warstwy konstrukcyjnej, które ulega odkształceniom odpadów. Rozważane odkształcenie lokalne przekrycia wierzchołową występuje w przypadku większości składowisk i jest związane z osiadaniem masywu odpadów. Zjawisko to występuje we wszystkich rodzajach składowisk, dla wszystkich typów składowanych odpadów. Z obserwacji zarówno krajowych jak i zagranicznych składowisk wiadomo, że masyw odpadów w ciągu trzech lat od zamknięcia składowiska może osiadać w zakresie 5% do 30%, a największe osiadania występują w pierwszym roku od przekrycia.



Rys. 1. Przekrycie warstwą mineralną odpadów



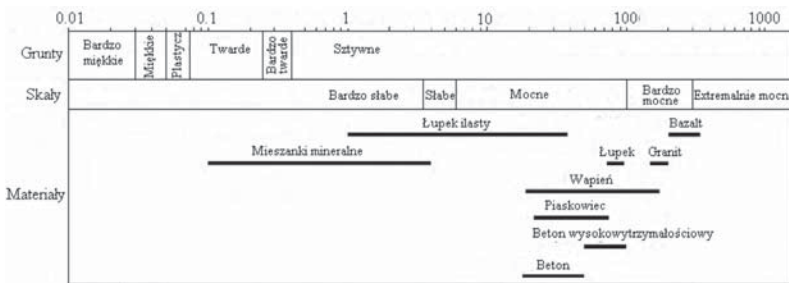
Rys. 2. Przykładowe warstwy przekrycia odpadów [2]



Rys. 3. Odształcenia w warstwach przekrycia [2]

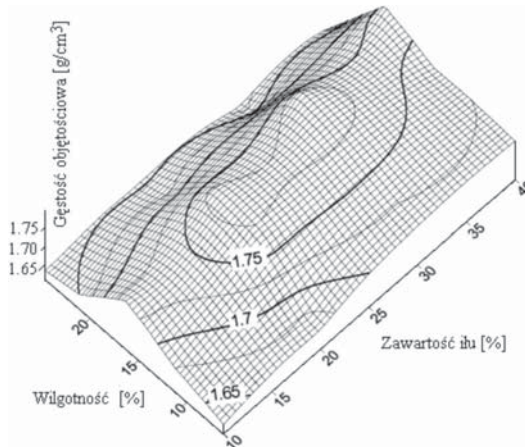
### 3. Parametry mechaniczne warstwy konstrukcyjnej

Przegląd parametrów mechanicznych gruntów można znaleźć w wielu opracowaniach. Na rysunku 4 przedstawiono porównanie wytrzymałości na ściskanie gruntów, skał i betonu.

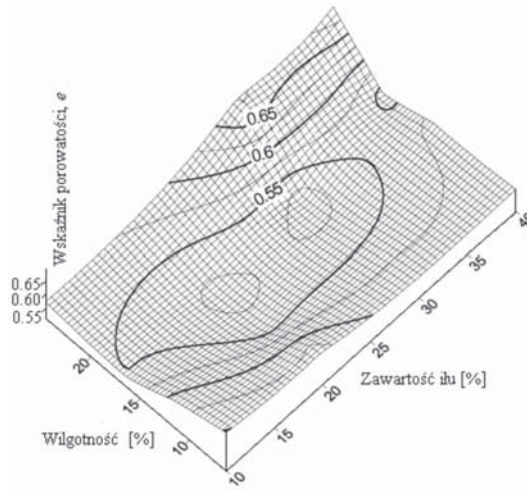


Rys. 4. Parametry wytrzymałościowe gruntów, skał i betonu [3]

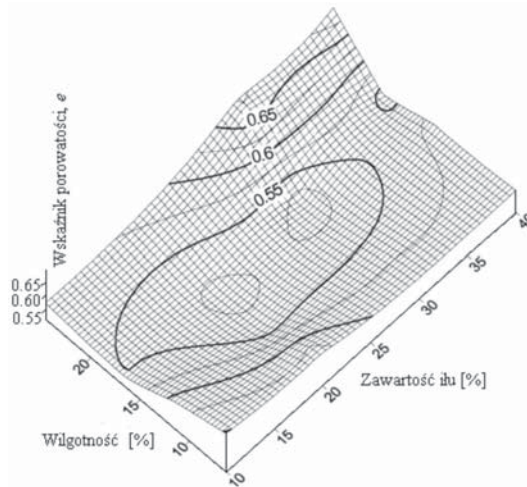
Poniżej, na rysunku 5 przedstawiono zależność gęstości objętościowej od wilgotności i zawartości iltu, na rysunku 6 wskaźnik porowatości w zależności od procentu wilgotności i zawartości iltu, na rysunku 7 kąta tarcia wewnętrznego w zależności od



Rys. 5. Gęstość objętościowa w zależności od procentu wilgotności i zawartości iltu [1]



**Rys. 6.** Wskaźnik porowatości w zależności od procentu wilgotności i zawartości iłu [1]

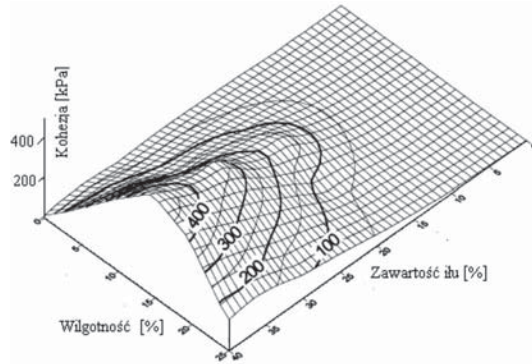


**Rys. 7.** Wartość kąta tarcia wewnętrznego w zależności od procentu wilgotności i zawartości iłu [1]

procentu wilgotności i zawartości iłu, na rysunku 8 wartość kohezji w zależności od procentu wilgotności i zawartości iłu.

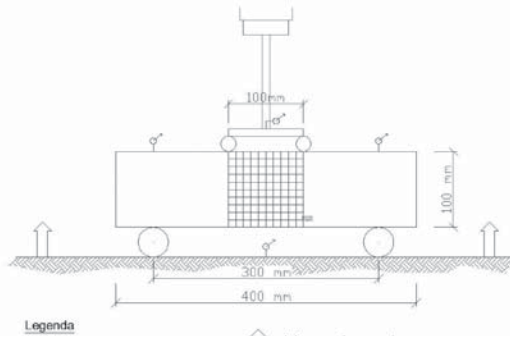
#### **4. Parametry mechaniczne uzyskane w czteropunktowym teście zginania belki z iłu**

Badanie czteropunktowego zginania belki wykonanej z iłu wykonane zostało w celu rozpoznania cech wytrzymałościowych materiału stosowanego na przekrycie składowiska



**Rys. 8.** Wartość kohezji w zależności od procentu wilgotności i zawartości ilu [1]

materiałów niebezpiecznych (odpadów przemysłowych), w warstwie przykrycia mineralnego. Badanie ma celu zaimplementowanie warunków lokalnego osiadania przekrycia składowiska w warunkach laboratoryjnych i stanowi przygotowanie pod prace modelowe *in situ*. Test jest realizowany za pomocą maszyny wytrzymałościowej na rolkach okrągłych. Schematycznie zasadę przeprowadzania testu przedstawiono na rysunku 9.



**Rys. 2.** Przykładowe warstwy przekrycia odpadów [2]

W teście czteropunktowego zginania belki ilastej wykorzystano materiał ilasty występujący lokalnie w okolicach Krakowa. Parametry fizyczne wykorzystanego do badania gruntu są następujące: zawartość frakcji ilastej powyżej 35 procent, wilgotność próbki  $w = 22\%$  przy ciężarze objętościowym  $1,70 \text{ g/cm}^3$ , granica plastyczności  $w_p = 55\%$ . W ujęciu jakościowym, można powiedzieć, że wybrany materiał badawczy spełnia zalecenia Instytutu Techniki Budowlanej [6] dla zastosowań w budowie składowisk odpadów.

Przygotowanie badania opierało się na spreparowaniu próbki gruntu. W przypadku testu czteropunktowego zginania do badania formowano próbę w kształcie belki o przekroju 100 na 100 mm i długości 50 mm. Formowanie odbywało się w skonstruowanej

specjalnie do tego celu ramie. Istotnym problemem w tym przypadku okazała się przykładana do materiału mineralnego siła, która miała w odpowiedni sposób statycznie zaęścić materiał.

W miejscu największego przewidywanego wyężenia belki umieszczono czujniki przemieszczenia oraz — w celu weryfikacji wychylenia wierzchołków belki — na górnej powierzchni obydwu końców belki. Przyłożone obciążenie mierzono przez średnią wartość obciążenia zarejestrowanego przez czujnik obciążenia zamocowany do górnej części belki. Obciążenie czteropunktowe realizowane było przez przyłożenie przemieszczenia działającego ze stałą wartością 0,2 mm/min, które aplikowano za pomocą dolnej, poruszającej się płyty prasy. Do określenia panujących w belce naprężeń zastosowano cyfrową analizę obrazu, przez co w środkowej części belki naniesiono siatkę punktów dla dalszej analizy ich przemieszczeń.

Ostatecznie wyniki testu wskazały na wystąpienie pierwszego znaczącego pęknięcia już w trzydziestej czwartej sekundzie testu. Dalsza kontynuacja testu spowodowała całkowite zniszczenie próbki.

## 5. Wnioski

W problemie badania lokalnych osiadań czaszy składowiska odpadów znaczącym problemem jest skala zjawiska. Przeprowadzane badania czteropunktowego zginania umożliwiają wstępne określenie przewidywanego zakresu osiadań. Badania wykazały, że w przypadku tego typu testów jest zależność pomiędzy parametrami wytrzymałościowymi a wilgotnością i uziarnieniem gruntu jest bardzo istotna. W przypadku wykonanego testu i porównaniu do wcześniej wykonywanych tego typu badań [5], okazuje się, że wytrzymałość na zginanie dla badanego łu „krakowskiego” jest porównywalna.

## LITERATURA

- [1] *Al-Shayea N.A.*: The Combined Effect of Clay and Moisture Content on the Behavior of Remolded Unsaturated Soils, *Engineering Geology*, 62, 2001, pp. 319–342
- [2] *Gourc J.P., Camp S., Viswanadham B.V.S., Rajesh S.*: Deformation Behavior of Clay Cap Barriers of Hazardous Waste Containment Systems. Full-scale and centrifuge tests, *Geotextiles and Geomembranes*, 28, 2010, pp. 281–291
- [3] *Wong L.S., Hashim R., Ali F.H.*: Strength and Permeability of Stabilised Peat Soil. *J. Appl. Sci.* 8, 21, 2008, pp. 3986–3990
- [4] *Skrzycki M. K.*: Przykrycie składowiska odpadów warstwą gruntu spoistego. Praca dyplomowa magisterska, Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, Kraków, 2008
- [5] *Camp S.*: Comportement ous flexion d’une argile: application a la couverture d’une ISD TFA, Rozprawa Doktorska, Université Joseph Fourier, 2008
- [6] Instrukcja ITB nr 444/2009: Zasady budowy składowisk odpadów