

**Marzena LENDO-SIWICKA, Karina NIEDŹWIEDZKA**

Katedra Geoinżynierii SGGW w Warszawie  
Department of Geotechnical Engineering Warsaw University of Life Sciences – SGGW

## **Wpływ pęcznienia na parametry odkształceniowe ilów jako materiału budowlanego** **Impact of swelling on the deformation parameters of clays as a building material**

**Słowa kluczowe:** ily plioceniowe, pęcznienie, grunty ekspansywne, badania edometryczne  
**Key words:** Pliocene clays, swelling, expansive soils, oedometer tests

### **Wprowadzenie**

Iły – według PN-EN 14688 grunty drobnoziarniste zawierające od 25 do 60% cząstek ilastych (cząstki o wymiarach  $\leq 0,002$  mm) – występują na wszystkich kontynentach świata (Chen 1988, Lu i Likos 2004). W Polsce przeważnie są to trzeciorzędowe plioceniowe ily serii poznańskiej (Grabowska-Olszewska 1998, Kumor 2006), które w wyniku procesów głacictektonicznych zostały wypiętrzone i w strefach będących podłożem obiektów budowlanych często występują jako ciągłe, jednolite warstwy o zmiennej miąższości lub jako warstwy nieciągłe, tzw. porwaki.

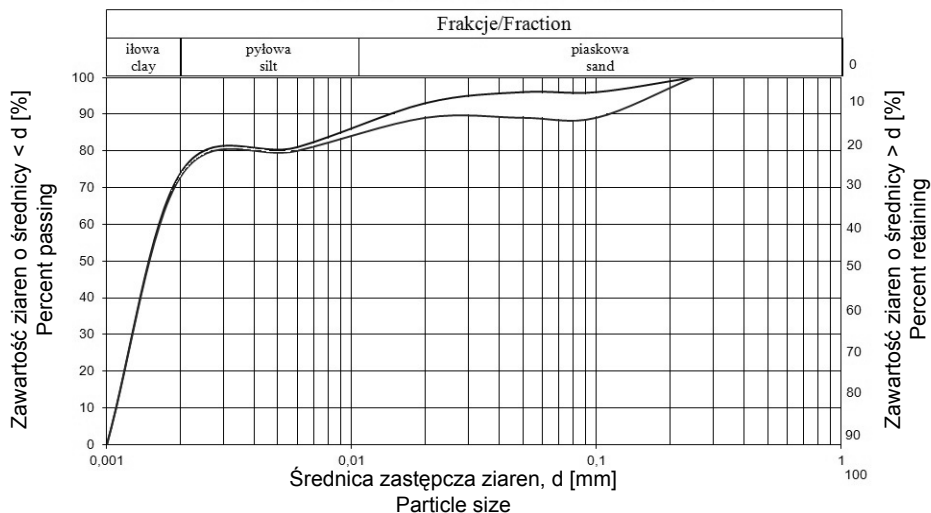
Biorąc pod uwagę skład mineralogiczny i właściwości fizyczne oraz mechaniczne, ily są powszechnie zaliczane do gruntów ekspansywnych, to znaczy wrażliwych na zmiany wilgotności (Fredlund i Rahardjo 1993, Garbulewski i Żakowicz 2007), których efektem jest zwiększenie (pęcznienie) lub zmniejszenie (skurcz) ich objętości (Niedzielski i Kumor 2009). Oba procesy, mogące spowodować awarie i katastrofy budowlane, uzasadniają opinię, że projektowanie geotechniczne obiektów budowlanych w iłach stanowi trudne zadanie inżynierskie. W przypadku nieuwzględnienia nietypowych właściwości ilów, zwłaszcza niespotykanych w innych gruntach zmian objętości, na całym świecie często dochodzi do awarii obiektów budowlanych (Chen 1988). Każdego roku uszkodzenia budynków, dróg, rurociągów i innych konstrukcji spowodowane pęcznieniem gruntów po-

wodują większe straty ekonomiczne niż powodzie, huragany, tornada i trzęsienia ziemi. Wiele szkód wywołanych przez grunty ekspansywne wynika nie z braku odpowiednich rozwiązań technicznych, ale z braku rozpoznania tych gruntów i nieodpowiedniego oszacowania ich późniejszych zmian objętości. Nietypowy charakter zachowania się iłó w wynika przede wszystkim z obecności we frakcji ilastej minerałów hydrofilnych, takich jak montmorylonit, beidelit i innych, które tworzą wspólną grupę nazywaną smektytami. W związku z tym, jak również z powodu trudności odpowiedniego zagęszczenia, ily rzadko są wykorzystywane w konstrukcjach budowli ziemnych (np. nasypów). Jednakże niektóre elementy konstrukcyjne (np. uszczelnienia mineralne składowisk odpadów) wymagają zastosowania gruntów drobnoziarnistych o zawartości cząstek ilastych powyżej 20%, czyli w zasadzie iłó w.

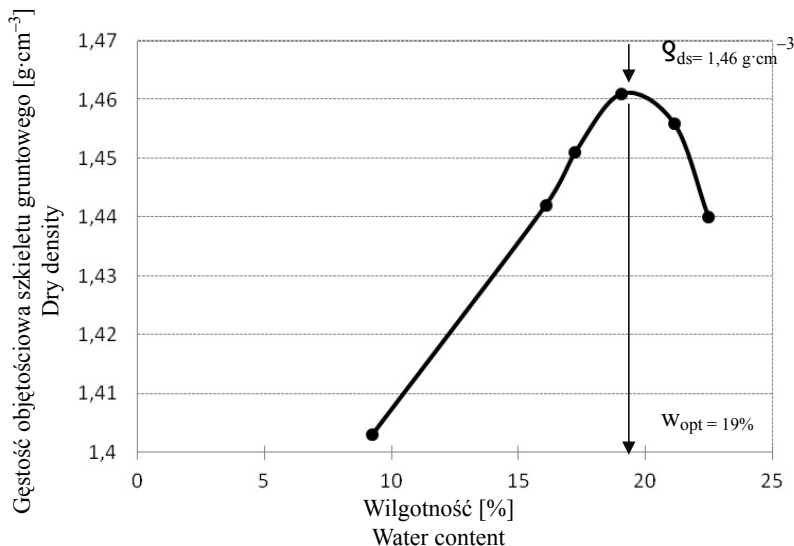
W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań przerobionych iłó w plicieńskich występujących na trasie budowy I linii metra w Warszawie. Materiał do badań pobrano z podłoża stacji metra Marymont. Interpretacja wyników badań edometrycznych próbek zagęszczonych w aparacie Proktora umożliwiła określenie wpływu pęcznienia na parametry odkształceniowe iłó w przerobionych.

### Badania właściwości ılı w

Do badań laboratoryjnych pobrano próbki ılı w spod projektowanej płyty dennej stacji metra warszawskiego Marymont, z głębokości około 15 m. W celu uzyskania próbek o jednakowym uziarnieniu i jednorodnych pod względem właściwości ekspansywnych pobrane z podłoża stacji metra próbki ılı w rozdrobniono i zagęszczono w aparacie Proktora. Zakres uziarnienia badanego ılı w przedstawiono na rysunku 1.



RYSUNEK 1. Zakres uziarnienia badanych próbek ılı w  
 FIGURE 1. Particle size range distributions of tested clay samples



RYSUNEK 2. Krzywa zagęszczalności ilów  
 FIGURE 2. Moisture density curve of clay

Z badań w aparacie Proctora (rys. 2) uzyskano następujące parametry zagęszczalności ilów:  $\rho_{ds} = 1,46 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ,  $w_{opt} = 19\%$ .

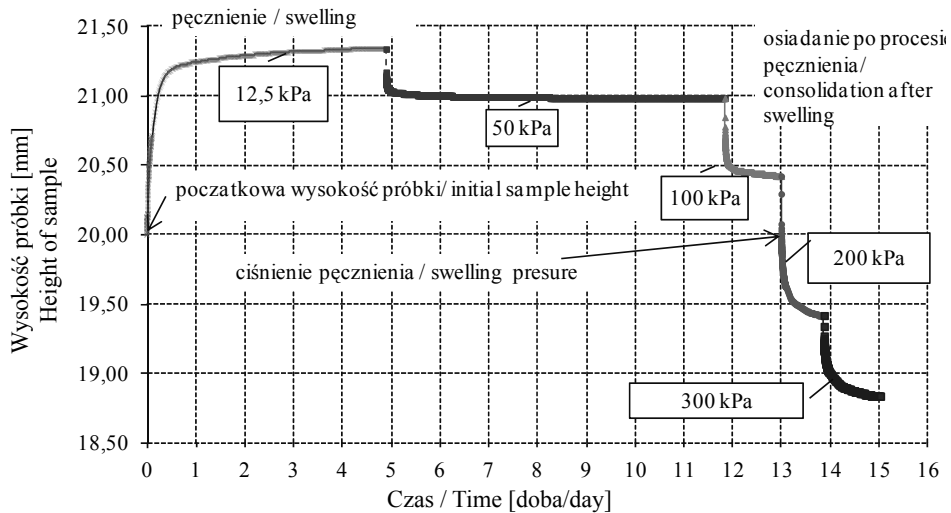
Badanie ciśnienia pęcznienia ilów przeprowadzono dwiema metodami – metodą stopniowego obciążania spęczniałej pojedynczej próbki według normy ASTM D4546-90 i metodą serii próbek według normy PN-88/B-04481. Oznaczenie ciśnienia pęcznienia metodą stopniowego obciążania pojedynczej próbki polegało na wstępnym obciążeniu jej siłą wywołującą naprężenie 12,5 kPa, a następnie nasyceniu wodą do całkowitego spęcznienia. Spęczniałą próbkę obciążano kolejno następującymi obciążeniami: 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600 kPa. Badanie wykazało (rysunek 3), że ciśnienie pęcznienia ilów wynosi 200 kPa. Oznaczenie ciśnienia pęcznienia metodą serii próbek wymaga zastosowania kilku jednakowych próbek gruntu o zbliżonej

wilgotności. W badaniach do oznaczenia ciśnienia tą metodą wykorzystane zostały 4 próbki. Każdą próbkę obciążono inną wartością naprężenia, a następnie nasycono je wodą. Zmiany wysokości próbek, zarówno pęcznienia, jak i osiadania, rejestrowane były do momentu ich stabilizacji. Wyniki badań przedstawione zostały na rysunku 4. Ciśnienie pęcznienia określone metodą serii próbek wynosiło 225 kPa, czyli było o 12,5% większe od ciśnienia pęcznienia uzyskanego metodą obciążenia pojedynczej próbki.

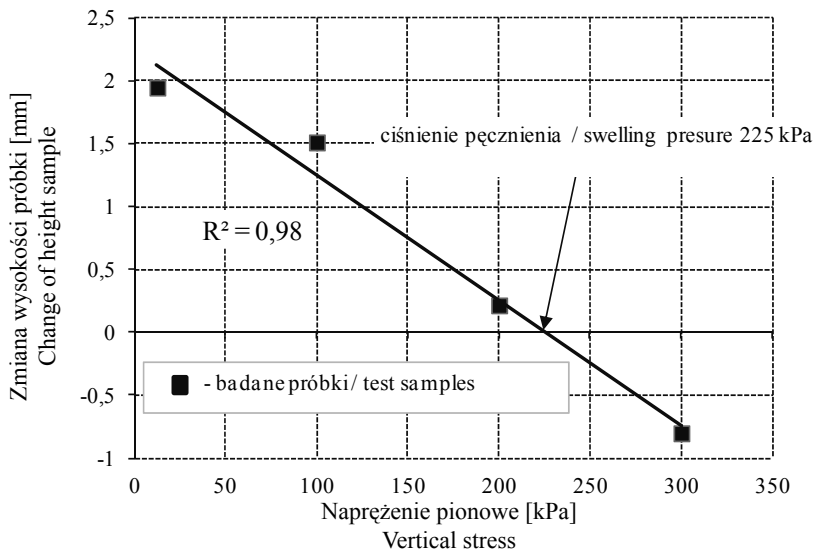
## Badania edometryczne

### Metodyka badań

Edometr jest przyrządem powszechnie stosowanym w badaniach laboratoryjnych do określania parametrów ścisłości gruntów. Badania tego typu polegają na obciążaniu lub/i odciążaniu próbek



RYSUNEK 3. Wyznaczenie ciśnienia pęcznienia metodą stopniowego obciążenia pojedynczej próbki (próbka A)  
 FIGURE 3. Determination of swelling pressure by gradual loading a single sample (sample A)



RYSUNEK 4. Wyznaczenie ciśnienia pęcznienia metodą serii próbek  
 FIGURE 4. Determination of swelling pressure by a series of samples

gruntu i określeniu zmian ich wysokości w trakcie badania. Badana próbka gruntu znajduje się w nieodkształcalnym pierścieniu edometrycznym, a przyłożone

do niej obciążenie wywołuje osiowy stan odkształcenia. Z badań tego typu używa się krzywe ścisłości w formie zmian wskaźnika porowatości lub zmian

wysokości próbki w funkcji naprężenia pionowego, a także krzywe konsolidacji, czyli wykresy zmian wysokości próbki lub wskaźnika porowatości w czasie. Badania przeprowadzono w trzech cyklach obciążenia: cykl pierwszy – początkowe obciążenie próbki, swobodne pęcznienie, cykl drugi – kolejne etapy obciążenia do wartości 600 kPa, i cykl trzeci – odciążenie próbki. Na podstawie przeprowadzonych badań edometrycznych określono moduły ścisłości (pęcznienia i „odprężenia”) oraz wskaźniki pęcznienia i „odprężenia” gruntu.

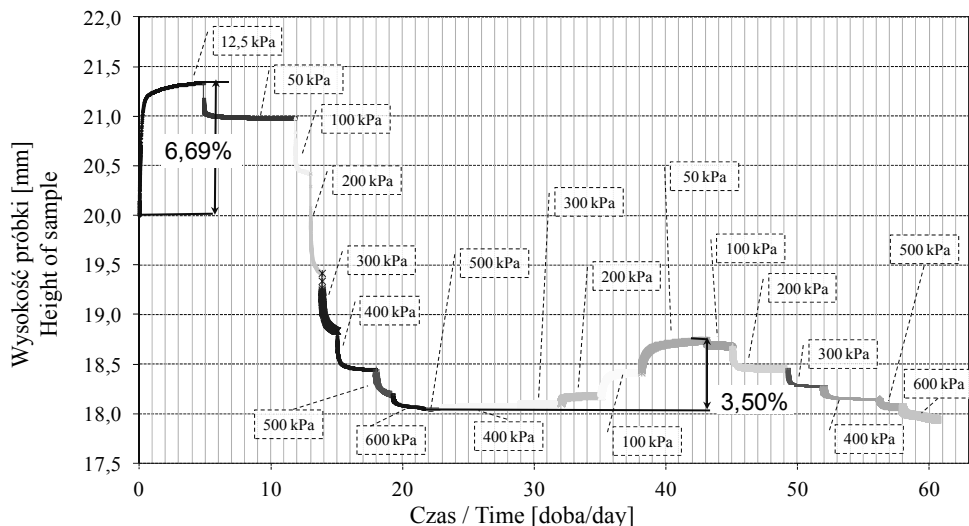
## Wyniki badań

Badania ilów w edometrach przeprowadzono, stosując pięć próbek o wilgotności w zakresie od 21,71 do 22,33%. Wyniki badań próbki A przedstawiono na rysunku 5, a wartości wskaźników pęcznienia i odprężenia dla wszystkich

próbek zestawiono w tabeli 1. Wskaźniki pęcznienia próbek obciążonych wartością 12,5 kPa wynosiły od 6,7 do 9,7%, a wartości tych wskaźników przy zmianie obciążenia z 600 na 50 kPa – od 3,5 do 5,4%.

Na podstawie przeprowadzonych badań obliczono moduły ścisłości zarówno dla próbek, które miały możliwość całkowitego spęcznienia, jak i dla próbek odprężanych. Zależności między wskaźnikami pęcznienia oraz odprężenia i modułami przedstawiono na rysunkach 6 i 7.

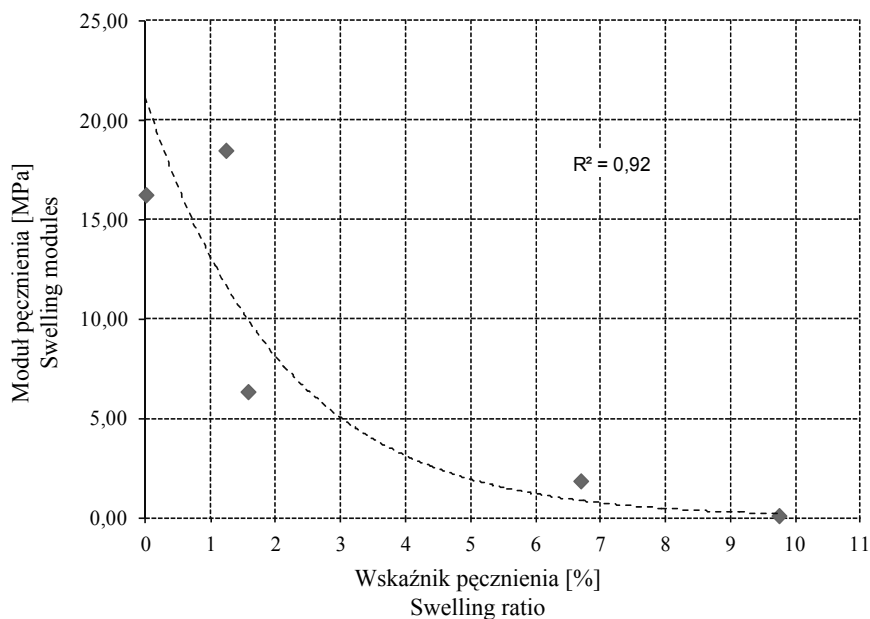
Zależność między modulem pęcznienia a wskaźnikiem pęcznienia opisano regresją wykładniczą, dla której wartość współczynnika determinacji krzywoliniowej ( $R^2$ ) wynosi 0,93 (rys. 6). Z kolei relacja między wskaźnikiem odprężenia a modulem odprężenia została opisana regresją liniową, której  $R^2 = 0,94$  (rys. 7).



RYSUNEK 5. Wyniki badań wskaźnika pęcznienia dla próbki A  
FIGURE 5. The results of swelling ratio for sample A

TABELA 1. Obliczone wskaźniki pęcznienia, moduły pęcznienia i odprężenia  
 TABLE 1. Calculated swelling ratios, swelling and rebound modules

Próbka Sample	Wilgotność początkowa The initial moisture content [%]	Cykl 1 / Cycle 1		Moduły pęcznienia Swelling modules [MPa]	Cykl 3 / Cycle 3		Moduły odprężenia Rebound modules [MPa]
		Pęcznienie pod obciążeniem The swelling under load [kPa]	Wskaźnik pęcznienia Swelling ratio $V_p$ [%]		Odprężenie w zakresie obciążeń Rebound of the burden [kPa]	Wskaźnik odprężenia Rebound ratio $V_o$ [%]	
A	22,03	12,5	6,69	1,87	600–50	3,5	15,45
B	21,73	12,5	9,74	0,12	600–50	3,7	14,88
C	21,71	200	1,23	18,5	600–50	5,41	10,12
E	22,33	100	1,57	6,36	600–100	3,17	15,77
F	22,12	100	0	16,26	600–100	2,45	20,45

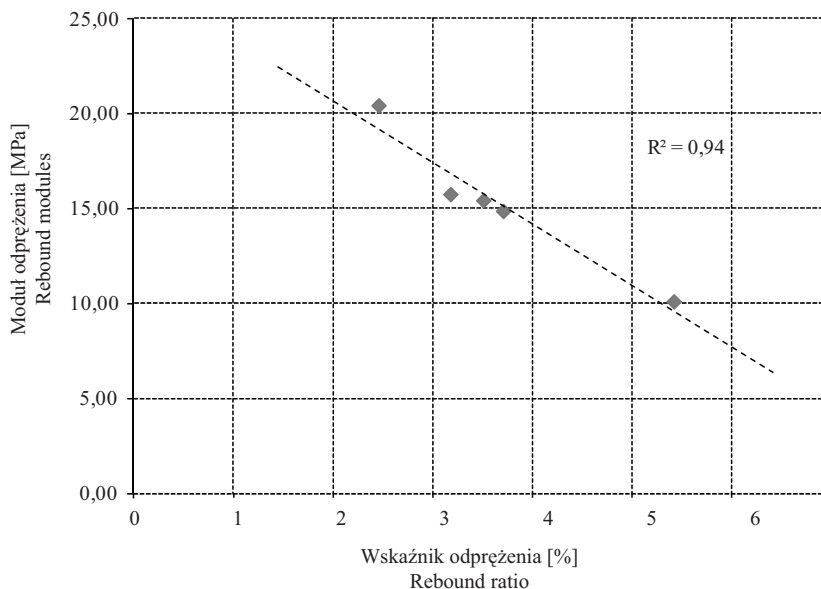


RYSUNEK 6. Zależność między wskaźnikiem pęcznienia a modułem pęcznienia iłów  
 FIGURE 6. The relationship between swelling ratios and swelling modules

### Podsumowanie i wnioski

Interpretując wyniki badań iłów, można zauważyć istotny wpływ stopnia spęcznienia na moduły ściśliwości. Największe moduły pęcznienia określono

dla próbki C, której poprzez natychmiastowe przyłożenie dużego obciążenia nie pozwolono spęcznić. Przyłożone obciążenie było niewiele większe od wartości ciśnienia pęcznienia. Spęczniałe próbki A i B odznaczają się modułami pęcz-



RYSUNEK 7. Zależność pomiędzy wskaźnikiem odprężenia a modułem odprężenia iłłów  
 FIGURE 7. The relationship between rebound ratios and rebound modulus

nienia w zakresie 0,12–1,87. Moduły odprężenia zawierają się w przedziale od 10,12 do 20,45 dla próbki najmniej spęczniałej.

Prezentowane wyniki wskazują na konieczność uwzględnienia w obliczeniach projektowych zmniejszenia wartości modułów ściśliwości zależnie od wartości stopnia spęcznienia.

## Literatura

- ASTM D4546-90 Standard tests methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils.
- CHEN F.N. 1988: Foundations on expansive soils. American Elsevier Science Publ., New York.
- FREDLUND D.G., RAHARDJO H. 1993: Soil Mechanics for Unsaturated Soils. John Wiley and Sons, New York.
- GARBULEWSKI K., ŻAKOWICZ S. 2007: Skurcz gruntu zjawisko groźne w uszczelnieniach mineralnych. *Inżynieria Morska i Geotechnika 2*: 86–91.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. 1998: Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- KUMOR M.K. 2006: Wybrane problemy geotechniczne gruntów ekspansywnych. XX Ogólnopolska Konferencja „Warsztat pracy projektanta konstrukcji”. Wisła – Ustroń: 233–260.
- LU N., LIKOS W.J. 2004: Unsaturated soil mechanics. John Wiley and Sons, New York.
- NIEDZIELSKI A., KUMOR M.K. 2009: Geotechniczne problemy posadowień na gruntach ekspansywnych w Polsce. *Inżynieria Morska i Geotechnika 3*: 180–190.
- PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntu.
- PN-EN 14688 1 Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikacja gruntów. Część 1. Oznaczenie i opis.
- PUVADI V.S., THALLAK G.S., KANAKAPURA S., SUBBA R. 1978: Indian standard methods of test for soils. Part XI. Determination of free swell index of soils.

## Streszczenie

**Wpływ pęcznienia na parametry odkształceniowe ilów jako materiału budowlanego.** W niniejszym artykule podjęto próbę oceny wpływu pęcznienia zagęszczonych próbek iłu na parametry odkształceniowe, którą przeprowadzono w czasie badań wykonanych w laboratorium geotechnicznym Katedry Geoinżynierii SGGW w Warszawie. Badania te przeprowadzono na próbkach gruntu pobranych spod płyty dennej stacji metra Marymont w Warszawie. Zbadano podstawowe właściwości fizyczne iłu oraz ciśnienie pęcznienia i ścisłość próbek gruntów zagęszczonych. Na podstawie badań obliczono wskaźniki pęcznienia i moduły ścisłości (pęcznienia i odprężenia) dla próbek poddanych pęcznieniu i odprężeniu. Stwierdzono, że obciążenie początkowe gruntów ekspansywnych ma duży wpływ na ich pęcznienie, wartości wskaźników pęcznienia rosną wraz ze zmniejszaniem się obciążenia początkowego oraz, że próbki iłu o mniejszej wilgotności początkowej, obciążone tym samym naciskiem, wykazują większy wskaźnik pęcznienia. Wartości modułów ścisłości rosną wraz ze zmniejszeniem się wskaźników pęcznienia i odprężenia.

## Summary

**Impact of swelling on the deformation parameters of clays as a building material.** This paper makes an attempt to assess the im-

part of swelling to deformation parameters. Research was conducted at the Geotechnical Laboratory in the Department of Geotechnical Engineering; Warsaw University of Life Sciences. Samples for laboratory analyses were taken from the Marymont metro station in Warsaw, Poland. The samples were then examined based on basic physical properties of the soil, the swelling pressure and the soil compressibility. Based on the results made, the calculations of the swelling index and the compressibility modulus, we conclude that the analysis demonstrates that the initial load applied to the soil has a big impact on swelling. The swelling index increases with a decrease of the initial load, and the samples with less moisture and loaded with the same pressure have a higher swelling index. Compressibility modulus is increasing with decreasing of swelling and rebound indexes.

### Authors' address:

Marzena Lendo-Siwicka, Karina Niedźwiedzka  
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego  
Katedra Geoinżynierii  
ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa  
Poland  
e-mail: marzena\_lendo\_siwicka@sggw.pl