

Olga GWIZDKA\*  
Politechnika Szczecińska

## IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW NIELINIOWEGO MODELU RHOLOGICZNEGO GRUNTU ORGANICZNEGO

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono opis badań pracy gruntu organicznego znajdującego się pod obciążeniem stałym i zmiennym. Zweryfikowano elementarne równanie modelu gruntu organicznego Meyera oraz przeanalizowano pracę gruntu organicznego po częściowym odciążeniu.

## IDENTIFICATION OF PARAMETERS OF THE NON-LINEAR RHEOLOGICAL MODEL OF THE ORGANIC SOIL

**Summary.** There is the description of researches, concerning the work of organic soil under the stable and variable load included in the article. There has been verified the elementar equation of the Meyer's organic soil model and analyzed the work of organic soil after partial relieving.

Rheologia formułuje ogólne prawa powstawania i rozwoju w czasie odkształceń i przemieszczeń poprzez wprowadzenie do związków fizycznych (nazywanych inaczej równaniami konstytutywnymi) nowej zmiennej, jaką jest czas [2]. Dla gruntów jest to bardzo ważne: w nich bowiem istnieje znacznie wyraźniejszy, niż w jakichkolwiek innych materiałach, wpływ narastania odkształceń wraz z upływem czasu [3].

Grunty słabe z reguły charakteryzują się małą nośnością oraz dużymi odkształceniami. Jednym ze sposobów poprawiania nośności gruntów organicznych jest ich konsolidacja. Podłoże organiczne jest ośrodkiem zróżnicowanym i zastosowanie klasycznych modeli gruntu napotyka na duże trudności. Matematyczny opis procesu konsolidacji opiera się na ustaleniu przede wszystkim relacji obciążenie – odkształcenie.

---

\* Opiekun naukowy: Prof. dr hab. inż. Ryszard Coufal.

Podstawowa teoria konsolidacji gruntów mineralnych została sformułowana przez Terzagiego. Podany przez niego wzór osiadania obciążonego brzegu warstwy gruntu w warunkach jednoosiowego stanu odkształcenia ma następującą postać [6]:

$$s^*(t) = \frac{s(t)}{s_\infty} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \frac{\exp\left[-\pi^2(2n+1)^2\tau\right]}{(2n+1)^2} \right] \quad (1)$$

gdzie:

$s$  - osiadanie,

$s_\infty$  - końcowa wartość osiadania gruntu,

$\tau$  - bezwymiarowa funkcja czasu:

$$\tau = \frac{t}{t_m} \quad (2)$$

$$t_m = \frac{k_z}{h^2 \gamma m_v} \quad (3)$$

$t$  - czas,

$k_z$  - współczynnik wodoprzepuszczalności w kierunku pionowym  $z$ ,

$h$  - wysokość próbki,

$\gamma$  - ciężar właściwy torfu,

$m_v$  - współczynnik ścisłości objętościowej gruntu:

$$m_v = \frac{1}{M_0} \quad (4)$$

$M_0$  - moduł ścisłości pierwotnej gruntu.

W Katedrze Geotechniki Politechniki Szczecińskiej został opracowany – w oparciu o badania laboratoryjne – empiryczny model reologiczny gruntu organicznego. Model ten opisany jest elementarnym równaniem o postaci:

$$s(t, \sigma) = s_\infty(\sigma) [1 - \exp(-D t^p - \alpha t)] \quad (5)$$

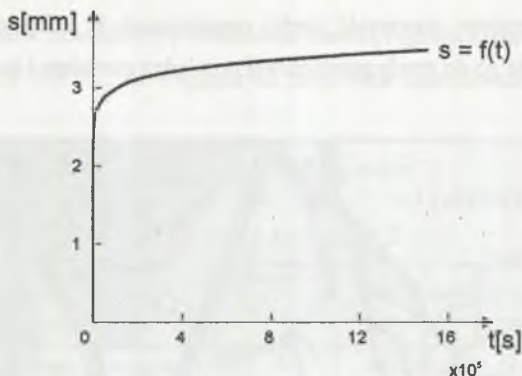
gdzie:

$s_\infty$  - wartość osiadania dla czasu  $t \rightarrow \infty$ ,

$t$  - czas,

$D, p, \alpha$  - parametry równania (5).

Przykładową krzywą osiadania gruntu wg równania (5) obrazuje rys. 1.



Rys. 1. Model Meyera – empiryczna krzywa osiadania  
 Fig. 1. Meyer's Model – empirical curve of the settlement

Parametry  $D$ ,  $p$  i  $\alpha$ , występujące w równaniu, można określić na podstawie badań laboratoryjnych dla każdej próbki gruntu oddzielnie.

Badania przeprowadzone w Katedrze Geotechniki Politechniki Szczecińskiej przez R. Bednarka i T. Kozłowskiego wykazały, iż parametry te zależą od wielu czynników, m. in. od wilgotności i porowatości gruntu, od zawartości części organicznych w gruncie, od lepkości wody gruntowej przepływającej przez grunt w wyniku filtracji, od współczynnika Poissona itp., a przede wszystkim od obciążenia gruntu. Fakt ten w istotny sposób komplikuje matematyczny opis osiadania gruntu organicznego [1].

W pierwszym etapie moich badań zajęłam się weryfikacją krzywej elementarnej opisanej zależnością (5) dla pobranych przeze mnie próbek gruntu organicznego. Grunt został pobrany w lipcu 2002 roku z brzegu Przekopu Mieleńskiego na Ostrowiu Grabowskim w Szczecinie, z głębokości 0,8 m poniżej powierzchni terenu (rys. 2).

Zakres wykonanych przeze mnie badań laboratoryjnych obejmował:

- badania makroskopowe,
- wyznaczenie cech fizycznych gruntu (wilgotności i gęstości),
- oznaczenie zawartości części organicznych,
- edometryczne badania zależności odkształcenie – czas.

W wyniku badań makroskopowych badany grunt zakwalifikowałam – wg klasyfikacji opartej na skali von Posta – do torfów amorficznych grupy H8 + H10 [5]. Jest to torf o wysokim stopniu rozkładu i barwie brązowoczarnej. Gęstość objętościowa badanego gruntu wynosiła średnio  $1,24 \text{ g/cm}^3$ , natomiast jego średnia wilgotność naturalna była rzędu 149 %.

Oznaczona laboratoryjnie zawartość części organicznych w badanym gruncie wynosiła 32,16%, co kwalifikuje go do strefy przejściowej pomiędzy namulem i torfem.



Rys. 2. Ostrów Grabowski w Szczecinie – miejsce pobrania próbek gruntu

Fig. 2. Ostrow Grabowski in Szczecin – the location of taking samples of the soil

Szczególny nacisk położyłam na badania edometryczne. Wykonałam je dla 14 próbek gruntu. Do badań tych zastosowałam 5 zwykłych edometrów oraz 2 edometry ramieniowe. Obciążenie każdej próbki wynosiło 50 kPa. Przez cały czas trwania badań próbki torfu znajdowały się pod wodą. Do komputerowej rejestracji osiadań zastosowałam miernik przemieszczeń liniowych (Linear Displacement Meter) MPL 108 oraz czujniki przemieszczeń typu PTx20. Osiadanie mierzyłam w tym etapie badań dla serii próbek przez okres 19 dni. Zapis przemieszczeń prowadziłam co 1s w początkowej fazie osiadania (pierwszych 15 min badania), a następnie co 1min (kolejne 2 godz. badania) i dalej co 15 min aż do końca trwania badania.

Dla każdej z próbek wyestymowałam wartości parametrów dla uproszczonego równania konsolidacji o postaci:

$$s(t, \sigma) = s_{\infty}(\sigma) [1 - \exp(-D t^p)] \quad (6)$$

Estymacji parametrów równania (6) dokonałam metodą regresji nieliniowej, wykorzystując program *STATISTICA 5.0 PL*. Ze względu na zbyt duże skorelowanie parametrów  $D$  i  $\alpha$  przyjąłam  $\alpha=0$ .

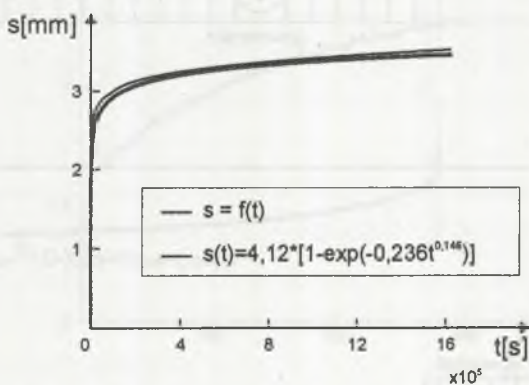
Przykładowe wyniki estymacji przedstawione zostały w tabeli 1.

Tabela 1

Wyniki estymacji parametrów  $D$  i  $p$ 

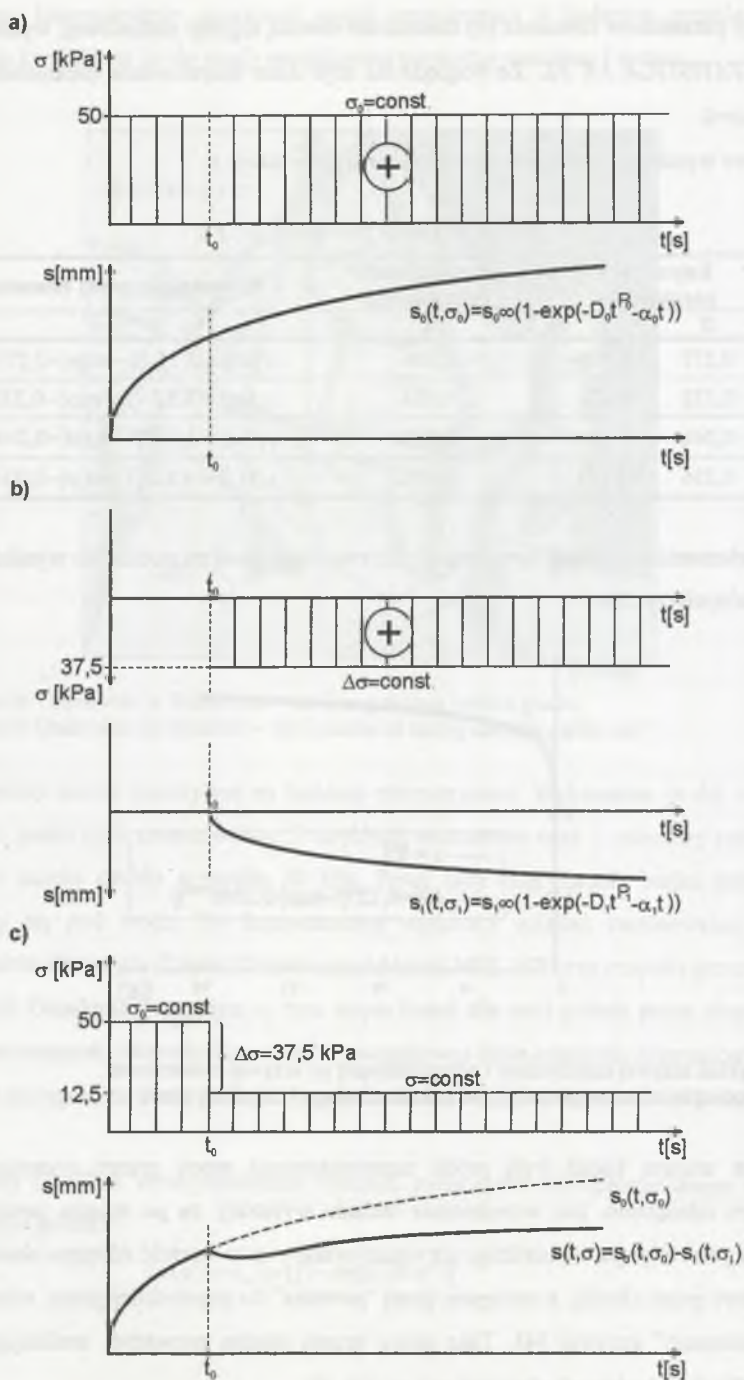
Numer próbki	Estymatory parametrów		Współczynnik determinacji	Równanie krzywej elementarnej
	$D$	$p$		
—	$D$	$p$	$R$	—
1	0,277	0,139	0,996	$s_1(t_1) = 2,75 \cdot [1 - \exp(-0,277t_1^{0,139})]$
2	0,333	0,121	0,986	$s_2(t_2) = 4,22 \cdot [1 - \exp(-0,337t_2^{0,127})]$
3	0,244	0,144	0,988	$s_3(t_3) = 3,72 \cdot [1 - \exp(-0,244t_3^{0,144})]$
4	0,236	0,146	0,990	$s_4(t_4) = 4,12 \cdot [1 - \exp(-0,236t_4^{0,146})]$

Krzywa elementarna dobrze aproksymuje krzywą otrzymaną na podstawie wyników badań doświadczalnych (rys.3).



Rys. 3. Przykład krzywej empirycznej i odpowiadającej jej krzywej elementarnej  
Fig. 3. The example of the empirical curve and the adequated elementary curve

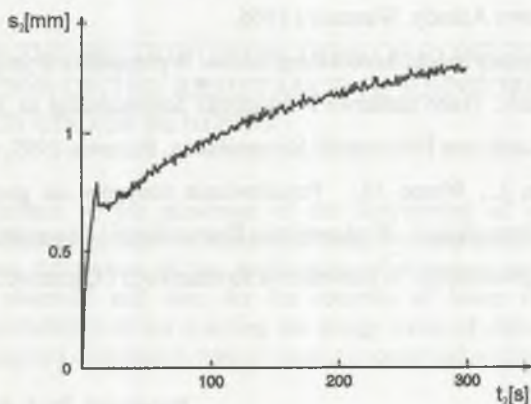
Kolejnym etapem badań była próba zaprezentowania pracy gruntu organicznego po częściowym odciążeniu. Już wcześniejsze badania wykazały, że po zdjęciu pewnej części obciążenia grunt odpręża się bardziej, niż wskazywałyby na to wartości zdjętego obciążenia. Stan ten trwa przez chwilę, a następnie grunt "powraca" do poprzedniej pracy, osiadając wg nowej, "nieznanej" krzywej [4]. Taką pracę gruntu można rozważyć, analizując krzywe osiadania dla dwóch różnych obciążeń  $\sigma_0$  i  $\sigma_1$  (rys. 4).



Rys. 4. Charakterystyka pracy gruntu po częściowym odciążeniu  
 Fig. 4. Characteristic of the working of the soil after partial relieving

Na rys. 4a) krzywa  $s_0(t, \sigma_0)$  ilustruje przebieg osiadania dla obciążenia  $\sigma_0 = const$ , natomiast krzywa  $s_1(t, \sigma_1)$  (rys. 4b) – osiadanie dla mniejszego obciążenia  $\sigma_1 = const$ . Po zmianie obciążenia w chwili  $t_0$  przebieg osiadania ilustruje krzywa  $s(t, \sigma)$  (rys. 4c)).

Założyłam, że badania laboratoryjne powinny potwierdzić teoretycznie określony przebieg osiadania gruntu. Na podstawie wstępnie przeprowadzonych badań obliczyłam, iż czas, po którym należy zdjąć obciążenie, powinien wynosić co najwyżej 1 min. Obliczenia te wykorzystałam w kolejnych badaniach edometrycznych, wykonanych na początku marca 2003 r. Świeżo pobrane próbki gruntu miały średnią wilgotność naturalną 192,32%, gęstość objętościową  $1,24 \text{ g/cm}^3$  oraz zawartość części organicznych 33,11%. W pierwszym etapie przyjąłm częściowe odciążenie próbek po czasie 20 s. W kolejnych etapach odciążałam próbki po 15, 10 oraz 5 i 2 sekundach. Dla wszystkich odciążonych prób otrzymałam charakterystyczną postać krzywej osiadania, świadcząca o poprawności przyjętych przeze mnie założeń (rys. 5).



Rys. 5. Krzywa konsolidacji torfu po częściowym odciążeniu  
Fig. 5. The consolidation curve of the peat after partial relieving

Przeprowadzone analizy teoretyczne i wstępne badania laboratoryjne pozwalają na wysunięcie następujących wniosków:

- 1) krzywa elementarna, opisana równaniem (5), dobrze aproksymuje krzywą osiadania otrzymaną w wyniku badań laboratoryjnych;
- 2) po częściowym odciążeniu grunt odpręża się bardziej, niż wskazywałaby na to wartość zdjętego obciążenia;

- 3) czas, po którym należy odciążyć próbkę, można określić teoretycznie; powinien on wynosić dla obciążenia 50 kPa i odciążenia 37,5 kPa maksymalnie 1 min.;
- 4) badania laboratoryjne przeprowadzone na próbkach częściowo odciążonych po czasie 20, 15, 10, 5 i 2 s potwierdziły prawdziwość przyjętych założeń dotyczących "pamięci" gruntu.

## LITERATURA

1. Bednarek R.: Model konsolidacji gruntu o własnościach sprężysto – plastycznych w warunkach zmiennego obciążenia. Rozprawa doktorska, Politechnika Szczecińska, Wydział Budownictwa i Architektury, Szczecin 2000.
2. Chrzanowski M., Latus P.: Reologia ciał stałych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 1995.
3. Kisiel I., Lysik B.: Zarys reologii gruntów. T.1: Działanie obciążenia statycznego na grunt. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1966.
4. Meyer Z.: Empiryczny model konsolidacji torfów w przypadku występowania obciążenia zmiennego w czasie. Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 397, Geotechnika V, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1989, s. 19 – 30.
5. Molisz R., Baran L., Werno M.: Posadawianie nasypów na gruntach organicznych metodą wstępnej konsolidacji. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
6. Wiłun Z.: Zarys geotechniki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.

Recenzent: Prof. dr hab. Jan Gaszyński

## Abstract

In 1990 in the Department of Geotechnical Engineering of the Technical University of Szczecin there was formulated the empirical equation of the curve (5) approximating dependence load – deformation.

The main goal of the research was the attempt to show the work of organic soil after the partial relieving. The laboratory analysis has shown, that the soil slackens more after taking away the part of load, than it should be resulted with the value of the taken load (fig. 4, 5).