

OLGA KOPCZYŃSKA\*

EMPIRYCZNY MODEL OSIADANIA GRUNTU  
ORGANICZNEGO.  
METODA BADAWCZA I JEJ WYNIKITHE EMPIRICAL MODEL OF THE ORGANIC SOIL  
SETTLEMENT.  
THE RESEARCH METHOD AND IT'S RESULTS

## Streszczenie

Rozwój ekonomiczny miasta Szczecina skutkuje zainteresowaniem inwestorów obszarem torfowym Międzyodrza. Celem głównym artykułu uwzględnienie właściwości reologicznych tego słabego gruntu w modelu obliczeniowym. W pracy zastosowano wstępne oszacowanie parametrów równania modelu Meyera, który został opracowany w roku 1990 w Katedrze Geotechniki Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technicznego w Szczecinie. Opisano empiryczny model Meyera i omówiono badania laboratoryjne próbek gruntu. Dokonano wstępnego określenia parametrów gruntu w równaniu uproszczonym krzywej podstawowej. Badaniom laboratoryjnym poddano dwie grupy próbek gruntu organicznego. Uzyskano charakterystyczne kształty krzywej osiadania, co potwierdziło wstępnie przyjęte założenia.

*Słowa kluczowe: model empiryczny, krzywe osiadanie, badania laboratoryjne*

## Abstract

The economical expansions of Szczecin determines the investors' interest of the peat areas of Międzyodrza. The main job of the article is to take the rheology properties of the weak organic soil into consideration in the model. The study applies to initial estimation of parameters of the equation of the Meyer's model which was developed in 1990 in the Cathedral of Geotechnics in the ZUT in Szczecin. There here was shortly described empirical model of Meyer and there were discussed laboratory researches of samples of the soil and there was made initial estimation of parameters of simplified equation of the elementary curve. There has been two groups of samples of the organic soil examined. There has been received the characteristic shape of the sedimentation curve, that proved the initial assumption.

*Keywords: empirical model, sedimentation curve, laboratory tests*

\* Dr inż. arch. – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

## 1. Wstęp

Międyodrze – tą nazwą określane jest występujący w dolinie Odry, w rejonie Szczecina, jeden z największych obszarów zbudowanych z utworów powodziowych (głównie torfowi namulów) [1].

Zagospodarowanie terenów Międzyodrza jest już od czasów średniowiecza związane z rozwojem Szczecina. W XIII wieku miasto porzuciło południowy kierunek rozwoju i zwróciło się ku Odrze. W murach obronnych wybudowano furty i pomosty prowadzące na rozwijające się nabrzeże. Powstał Most Długi łączący miasto z położoną na wschodzie wyspą Łasztownią. Na Łasztowni początkowo zlokalizowane zostało zaplecze portowe Szczecina (drewniane nabrzeże, warsztaty szkutnicze, budynki gospodarcze, magazyny i spichlerze). Później zaczęto i tam wznosić budynki mieszkalne, wybudowano kościół. Nowe tereny budowlane rozrastały się wraz z upływem lat na kolejne wyspy i dziś nazwą Łasztownia objęty jest cały ten obszar, aż do przeprawy przez Parnicę. Kiedy w XV i XVI wieku rozbudowany został port szczeciński, wybudowano drugi most łączący miasto z Łasztownią – przeznaczony dla ruchu pieszego Most Kłodny [8].

Zarówno tereny portowe, jak i zabudowa Łasztowni zostały prawie całkowicie zniszczone podczas II wojny światowej. Po wojnie port został odbudowany, natomiast na wschód od Odry, w dość dużej odległości od rzeki i obecnego centrum miasta, powstały rozwijające się do dziś nowe osiedla mieszkaniowe. Zarówno duża część Łasztowni, jak i spora część terenów Międzyodrza znajdujących się w obrębie miasta pozostaje niezagospodarowana. Rozwój gospodarczy miasta powoduje, iż zainteresowanie inwestorów i projektantów coraz częściej skierowane jest na torfowe tereny położone po wschodniej stronie Odry.

Wymiana gruntu słabego jest ekonomiczna jedynie w przypadkach, gdy jego miąższość nie przekracza 3,00 m. W pozostałych przypadkach bardziej racjonalne jest posadawianie obiektów (szczególnie nasypów drogowych) bezpośrednio, przy jednoczesnym skonsolidowaniu gruntów słabych. Wstępna konsolidacja słabego podłoża gruntowego jest obecnie najbardziej rozpowszechnioną metodą jego wzmocnienia [22].

Matematyczny opis procesu konsolidacji opiera się na ustaleniu związków pomiędzy obciążeniem i odkształceniem w przypadku niepełnego nasycenia porów gruntu wodą, a także związków opisujących filtrację, czyli przepływ wody w gruncie pod wpływem różnicy ciśnień [23]. Z wymienionych dwóch zjawisk dobrze rozpoznane zostało dotychczas jedynie zjawisko filtracji. Istniejące modele uwzględniają zarówno anizotropowość ośrodka gruntowego, jak i zmiany współczynnika filtracji w czasie na skutek konsolidacji. Natomiast zależność między obciążeniem i osiadaniami gruntu organicznego jest w dalszym ciągu przedmiotem badań. Grunt organiczny jest ośrodkiem bardzo niejednorodnym, w przypadku którego zastosowanie klasycznych modeli konsolidacji napotyka na duże trudności.

W 1986 roku ukazała się publikacja (Meyer) [18] dotycząca sformułowania modelu osiadania gruntu organicznego. W ciągu kolejnych lat prac i analiz matematycznych oraz laboratoryjnych opracowano równanie modelu – zwanego dalej empirycznym – które stanowi podstawę rozważań zawartych w niniejszej pracy.



Rys. 1. Szczecin w XVI w. – plan miasta; źródło [8]

Fig. 1. Szczecin in 16th century – city plan [8]

## 2. Założenia

Jednym z najważniejszych zadań geomechaniki jest znalezienie równań konstytutywnych poprawnie opisujących zachowanie się gruntów pod obciążeniami [9].

Dokładność opisu pracy gruntu znajdującego się pod obciążeniem jest czynnikiem decydującym o bezpieczeństwie danej budowli.

Stosowane obecnie modele gruntów można podzielić na dwie grupy:

- modele mechaniczne,
- modele empiryczne, opracowane na podstawie badań laboratoryjnych.

Grunt budowlany jest ośrodkiem rozdrobnionym, trójfazowym, zbudowanym ze słabo lub zupełnie nie związanych ze sobą cząstek mineralnych oraz porów wypełnionych wodą i gazem, tworzących strukturę złożoną, niejednorodną [10]. Natomiast projektowanie fundamentów, budowli ziemnych i innych obiektów geotechnicznych polega w większości przypadków na rozwiązywaniu zagadnień ośrodka ciągłego. Istotne jest więc stworzenie związków realistycznie opisujących tzw. makroskopowe (czyli uśrednione dla zbioru wielu cząstek) reakcje rzeczywistego materiału na obciążenia.

Z badań laboratoryjnych wynika, iż właściwości makroskopowe gruntów są bardzo złożone. W związku z tym znalezienie odpowiednich relacji obciążenie – odkształcenie, czyli stworzenie adekwatnego modelu konstytutywnego dla gruntu, należy do najtrudniejszych zadań geomechaniki [10].

Większość opracowanych dotychczas modeli dotyczy gruntów mineralnych, stosunkowo mało jest natomiast prac traktujących o modelowaniu zachowania się pod

obciążeniem gruntów organicznych. Z punktu widzenia właściwości geologiczno-inżynierskich grunty organiczne różnią się od mineralnych przede wszystkim obecnością substancji organicznej oraz w większości przypadków koloidalnością fazy ciekłej [20]. Ze względu na niejednorodną i bardzo złożoną strukturę w przypadku gruntów organicznych stosowne jest formułowanie modeli empirycznych, opracowanych na podstawie badań laboratoryjnych próbek danego gruntu. Wśród opracowanych już modeli empirycznych wyróżnić należy model opracowany w Szwedzkim Instytucie Geotechnicznym [15], model Den Haana [6, 7] oraz empiryczny model gruntu organicznego sformułowany przez Meyera [13] w Katedrze Geotechniki byłej Politechniki Szczecińskiej (Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie).

Podłoże organiczne jest bardzo podatne na wszelkie zmiany stanu naprężenia. Pod wpływem przyłożonego obciążenia zmianie ulega struktura szkieletu, którego cząstki zbliżają się do siebie redukując jednocześnie objętość porów i wypychając z nich wodę, powietrze oraz gazy będące produktem rozkładu substancji organicznych. Część słabszych cząstek gruntowych ulega zniszczeniu w wyniku załamania się ich struktury [19].

Opisane powyżej czynniki biorą udział w osiadaniu gruntu organicznego.

W efekcie analiz i wielu badań przeprowadzonych w Katedrze Geotechniki ZUT wybrano zależność najwierniej opisującą przebieg osiadania [13, 14, 17, 18] i stwierdzono, że relację obciążenie – osiadanie najlepiej aproksymuje krzywa (1):

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

gdzie:

- $s$  – osiadanie warstwy gruntu, [m]
- $s$  – osiadanie gruntu po czasie  $t \rightarrow \infty$ , [m]
- $t$  – czas, [s]
- $D, p, \alpha$  – parametry równania,
- $\sigma$  – naprężenie, [kPa].

Równanie (1) jest związkiem empirycznym, który pozwala na statystyczne – na podstawie danych z pomiarów edometrycznych – obliczenie parametrów  $D$ ,  $p$  i  $\alpha$  dla danego rodzaju torfu oraz dla danej wielkości obciążenia  $\sigma$  [2, 5, 14, 16]. W opisywanej zależności wyrażenie  $s_{\infty}(\sigma)$  oznacza końcową wartość osiadania próbki w edometrze, po upływie bardzo długiego czasu:

$$s_{\infty}(\sigma) = \lim_{t \rightarrow \infty} s(t, \sigma) \quad (2)$$

Krzywa osiadania torfu wg równania (1) została przedstawiona na rys. 2.

Równanie (1) opisuje pracę gruntu organicznego przy stałym obciążeniu ( $\sigma = \text{const}$ ) [14], zwykle jednak – w przypadku obiektów inżynierskich - obciążenie zmienia się wraz z upływem czasu. Zaistniała więc potrzeba sformułowania modelu przedstawiającego zależność osiadania w warunkach zmiennego obciążenia.

Badania laboratoryjne [3, 11, 12, 15] wykazały, że po zdjęciu pewnej części obciążenia, grunt odpręża się bardziej, niż wskazuje na to wartość zdjętego obciążenia. Stan ten trwa przez pewien czas, a następnie grunt „powraca” do poprzedniej fazy osiadania. Krzywa osiadania gruntu zaraz po chwili odciążenia  $t_0$  posiada charakterystyczne ekstremum.

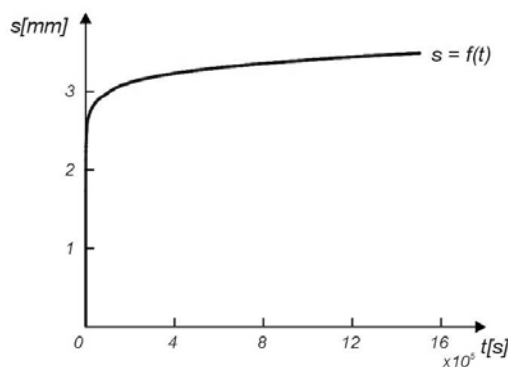
Zjawisko zmiany osiadania gruntu przy gwałtownej zmianie obciążenia w chwili  $t_0$  na wartość mniejszą można opisać za pomocą modelu empirycznego analizując krzywe osiadania dla obciążenia  $\sigma_0$  i odciążenia  $\sigma_1$  (rys. 3) [12]. Funkcja osiadania w przypadku obciążenia stałego w czasie ma postać zapisaną równaniem (1). Krzywa  $s_0(t, \sigma_0)$  (rys. 3a)) ilustruje przebieg osiadania dla obciążenia  $\sigma_0 = \text{const}$ . Równanie tej krzywej przedstawia wzór (3). Krzywa  $s_1(t, \sigma_1)$  (rys. 3b)) opisuje osiadanie gruntu dla odciążenia o wartości  $\sigma_1 = \text{const}$ . Odciążenie to nastąpiło w chwili  $t_0$  (wzór 4). Po zmianie obciążenia w chwili  $t_0$  przebieg osiadania ilustruje krzywa  $s(t, \sigma)$  (rys. 3c)), która jest wynikiem superpozycji krzywych  $s_0$  oraz  $s_1$  (wzór 5):

$$s_0(t, \sigma_0) = s_{0\infty}(\sigma_0) \cdot [1 - \exp(-D_0 \cdot t^{p_0} - \alpha_0 \cdot t)] \quad (3)$$

$$s_1(t - t_0, \sigma_1) = s_{1\infty}(\sigma_1) \cdot [1 - \exp(-D_1(t - t_0)^{p_1} - \alpha_1(t - t_0))] \quad (4)$$

$$\begin{aligned} s(t, \sigma) &= s_0(t, \sigma_0) - s_1(t - t_0, \sigma_1) = \\ &= s_{0\infty}(\sigma_0) \cdot [1 - \exp(-D_0 \cdot t^{p_0} - \alpha_0 \cdot t)] - \\ &- s_{1\infty}(\sigma_1) \cdot [1 - \exp(-D_1(t - t_0)^{p_1} - \alpha_1(t - t_0))] \end{aligned} \quad (5)$$

Tak opracowany teoretycznie model empiryczny uwzględniający częściowe odciążenie gruntu w chwili  $t_0$  poddany został weryfikacji na podstawie badań edometrycznych.



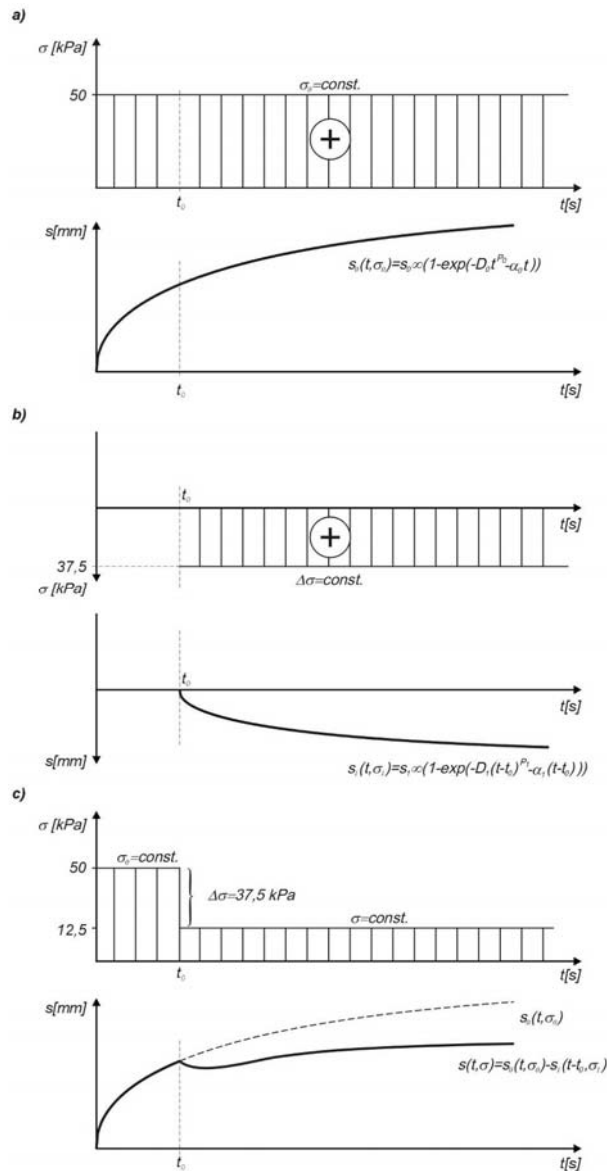
Rys. 2. Model empiryczny – krzywa osiadania gruntu organicznego

Fig. 2. Empirical model – sedimentation curve for organic soil

Ponieważ wśród różnych rodzajów gruntów organicznych torfów zajmują znaczącą pozycję, a rejon Szczecina stanowi jeden z obszarów, na których występuje najwięcej torfowisk w kraju, zdecydowano się na przebadanie właśnie tego rodzaju gruntu.

Przebadano dwie grupy próbek torfu. Pierwszą grupę próbek pobrano z Ostrowia Grabowskiego w Szczecinie, drugą grupę stanowiły próbki pobrane w miejscowości Tanowo znajdującej się około 20 km na północ od Szczecina.

Pierwszą grupę próbek zakwalifikowano do torfów amorficznych grupy H8 ÷ H10. Jest to torf o wysokim stopniu rozkładu i barwie brązowoczarnej.



Rys. 3. Charakterystyka pracy gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia

Fig. 3. Behavior characteristic for organic soil in condition of partial unloading

Drugą grupę próbek stanowił słabo rozłożony torf włóknisty o barwie brązowej, należący do torfów grupy H1 ÷ H4.

Określono laboratoryjnie wilgotność oraz zawartość części organicznych dla badanych grup próbek gruntu. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Cechy fizyczne badanych torfów

Cechy fizyczne	Lokalizacja	
	Ostrów Grabowski	Tanowo
Stopień rozkładu	H8 ÷ H10	H1 ÷ H4
Barwa	brązowoczarna	brązowa
Wilgotność naturalna $w_n$ [%] (średnia)	149	330
Gęstość objętościowa $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ] (średnia)	1,24	1,09
Zawartość części organicznych $I_{om}$ [%]	33,11	56,48

Badania zależności osiadanie – czas zostały wykonane w edometrach, w normowych pierścieniach. Do komputerowej rejestracji osiadań zastosowano miernik przemieszczeń liniowych (*Linear Displacement Meter*) MPL 108 oraz wyskalowane z dokładnością do 0,01 mm czujniki przemieszczeń typu indukcyjnego o symbolu PTx20.

W badaniach edometrycznych, których wyniki prezentowane są w niniejszym artykule, przyjęto początkowe obciążenia próbek  $\sigma_0$  o wartościach 100 kPa oraz 50 kPa. Dla tych wartości obciążeń początkowych częściowe odciążenia próbek  $\sigma_1$  wynosiły odpowiednio: 50 i 25 kPa. Przyjęto częściowe odciążenia próbek po czasach  $t_0 = 20$  i 15 s. Wybrane krzywe osiadania prezentowane są na rys. 4 i 5.

Dla wszystkich przebadanych próbek otrzymano charakterystyczną, posiadającą ekstremum, postać krzywej osiadania, świadcząca o poprawności przyjętych założeń.

Do weryfikacji modelu zapisanego równaniem (5) wykorzystano program autorski, który identyfikował poszczególne parametry równania metodą pełnego przeglądu [4, 21].

Wektor zmiennych decyzyjnych  $\mathbf{x}$  zawiera parametry poszczególnych krzywych osiadania (po obciążeniu i po częściowym odciążeniu):

$$\mathbf{x} = [s_{0\infty}, D_0, p_0, \alpha_0, s_{1\infty}, D_1, p_1, \alpha_1]^T \quad (6)$$

Jako kryterium zgodności modelu matematycznego z rzeczywistym obrazem osiadania zastosowano klasyczne kryterium metody najmniejszych kwadratów (7):

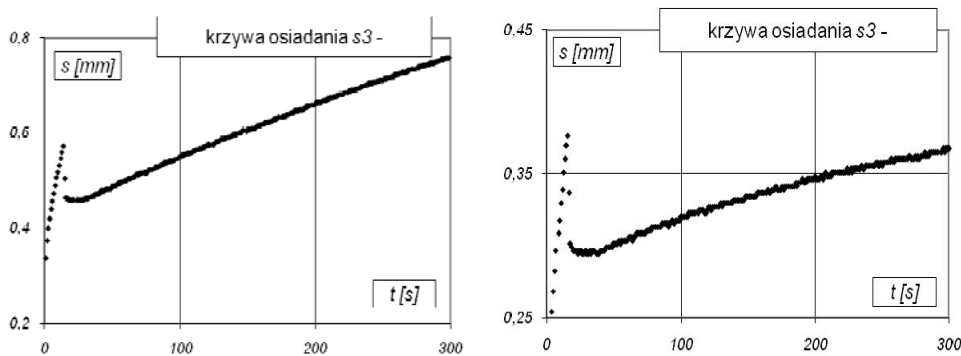
$$\mathbf{V}[f(\mathbf{x})] = \sum_{i=1}^n [s_i - s_i(t)]^2 \quad (7)$$

gdzie:

$s_i$  – wartości osiadania gruntu pomierzone laboratoryjnie, [m]

$s_i(t)$  – wartości osiadania gruntu obliczone na podstawie równania (5), [m].

Weryfikacja modelu empirycznego potwierdziła bardzo dobrą aproksymację krzywej osiadania, otrzymanej w wyniku badań laboratoryjnych przez krzywą otrzymaną na podstawie równania (5.1).

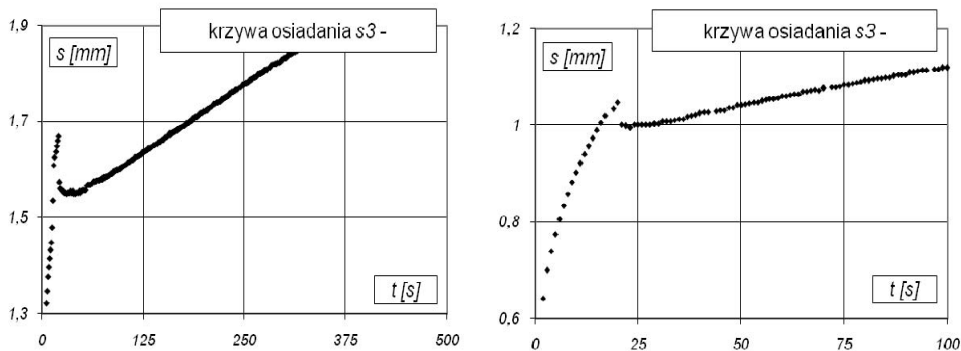


Rys. 4. Krzywe osiadania wybranych próbek gruntu:

- po lewej: krzywa D7S3 – próbka gruntu z Tanowa,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s,
- po prawej: krzywa D9S3 – próbka z O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s

Fig. 4. Settlement curves for selected soil samples:

- on the left: D7S3 curve – soil sample from Tanow,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s,
- on the right: D9S3 curve: soil sample from O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s



Rys. 5. Krzywe osiadania wybranych próbek gruntu:

- po lewej: krzywa D5S3 – próbka gruntu z Tanowa,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s,
- po prawej: krzywa D1S3 – próbka z O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s

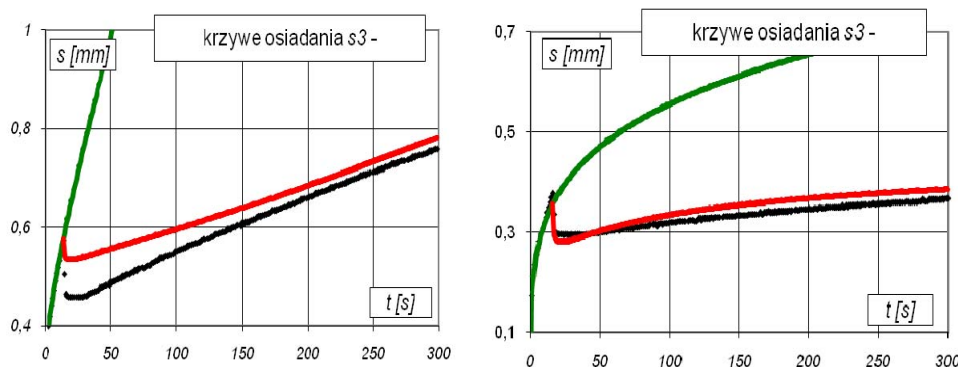
Fig. 5. Settlement curves for selected soil samples:

- on the left: D5S3 curve – soil sample from Tanow,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s,
- on the right: D1S3 curve: soil sample from O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s

Wyniki weryfikacji wybranych krzywych, odpowiadających krzywym zobrazowanym na rys. 4 i 5, prezentowane są na rys. 6 i 7. Kolorem czarnym oznaczono uzyskany w laboratorium przebieg osiadania gruntu, kolor zielony ilustruje obliczone wg przyjętego modelu krzywe osiadania dla obciążenia stałego  $\sigma_0$  – wzór (3), kolorem czerwonym



natomiast oznaczone zostały obliczone wg modelu krzywe osiadania po częściowym odciążeniu – wzór (5).

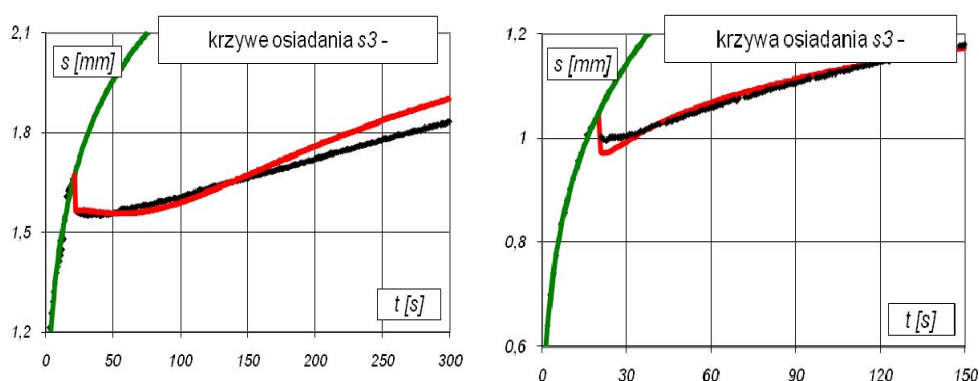


Rys. 6. Weryfikacja krzywych osiadania wybranych próbek gruntu:

- u góry po lewej: krzywa D7S3 – próbka gruntu z Tanowa,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s,
- u góry po prawej: krzywa D9S3 – próbka z O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s

Fig. 6. Verification of settlement curves for selected soil samples:

- on the left side: D7S3 curve – soil sample from Tanow,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s,
- on the right side: D9S3 curve - soil sample from O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 100$  kPa,  $\sigma_1 = 50$  kPa,  $t_0 = 15$  s



Rys. 7. Weryfikacja krzywych osiadania wybranych próbek gruntu:

- po lewej: krzywa D5S3 – próbka gruntu z Tanowa,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s,
- po prawej: krzywa D1S3 – próbka z O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s

Fig. 7. Verification of settlement curves for selected soil samples:

- on the left side: D5S3 curve – soil sample from Tanow,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s,
- on the right side: D1S3 curve – soil sample from O. Grabowskiego,  $\sigma_0 = 50$  kPa,  $\sigma_1 = 25$  kPa,  $t_0 = 20$  s

W tabeli 2 zestawiono wartości parametrów:  $s_{0\infty}$ ,  $D_0$ ,  $p_0$ ,  $\alpha_0$ ,  $s_{1\infty}$ ,  $D_1$ ,  $p_1$ ,  $\alpha_1$ , otrzymanych w wyniku identyfikacji dla wybranych krzywych osiadania. Dla każdej z krzywych podano błąd funkcji celu  $V_0[f(\mathbf{x})]$  dla obciążenia początkowego oraz  $V_1[f(\mathbf{x})]$  dla częściowego odciążenia.

Obliczone wartości parametrów czterech wybranych krzywych osiadania

Numer próbki	Czas zmiany obciążenia	Parametry krzywej $s_0$ dla obciążenia początkowego $\sigma_0$				Min. metoda najmn. kw.	Parametry krzywej $s_1$ dla odciążenia $\sigma_1$				Min. metoda najmn. kw.
	$t_0$ [s]	$s_{0\infty}$ [mm]	$D_0$	$p_0$	$\alpha_0$	$V_0[f(x)]$	$s_{1\infty}$ [mm]	$D_1$	$p_1$	$\alpha_1$	$V_1[f(x)]$
<b>Próbki torfu z Ostrowia Grabowskiego</b>											
– obc. początkowe $\sigma_0 = 100$ kPa, odc. $\sigma_1 = 50$ kPa, założony czas odciążenia próbek $t_0 = 15$ s											
D9s3	16	3,07	0,06	0,26	0,00001	0,0001	0,63	0,11	0,26	0,00096	0,2045
– obc. początkowe $\sigma_0 = 50$ kPa, odc. $\sigma_1 = 25$ kPa, założony czas odciążenia próbek $t_0 = 20$ s											
D1s3	20	2,02	0,31	0,26	0,00276	0,0003	0,55	0,16	0,16	0,00836	0,1302
<b>Próbki torfu z Tanowa</b>											
– obc. początkowe $\sigma_0 = 100$ kPa, odc. $\sigma_1 = 50$ kPa, założony czas odciążenia próbek $t_0 = 15$ s											
D7s3	14	5,61	0,06	0,11	0,00201	0,0000	3,87	0,01	0,26	0,00256	0,0649
– obc. początkowe $\sigma_0 = 50$ kPa, odc. $\sigma_1 = 25$ kPa, założony czas odciążenia próbek $t_r = 20$ s											
D5s3	21	3,33	0,31	0,26	0,00056	0,0736	0,71	0,16	0,01	0,02291	3,2316

### 3. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań, obliczeń i analiz można sformułować następujące wnioski końcowe:

1. Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły postawioną tezę pracy, że prognozowanie osiadania gruntu organicznego w warunkach częściowego odciążenia wymaga uwzględnienia właściwości reologicznych gruntu.
2. Empiryczne równanie gruntu organicznego pozwala na modelowanie zachowania się gruntu w warunkach częściowego odciążenia.
3. Przebieg osiadania gruntu organicznego przy częściowym odciążeniu jest krzywą rosnącą dla czasu  $t \rightarrow \infty$  oraz posiadającą ekstremum w przedziale  $t \in \langle t_0, \infty \rangle$ .
4. Moment zdjęcia odciążenia oraz czas, w którym nastąpi największa wartość odprężenia gruntu można określić teoretycznie wykorzystując równanie modelu empirycznego.
5. Zakres oraz wielkość ekstremum zależy zarówno od chwili, w której nastąpiło częściowe odciążenie gruntu organicznego, jak i od wartości tego odciążenia w stosunku do obciążenia gruntu.

## Literatura

- [1] Borkowski M., Mrozińska G., Szutowicz J., *Program Waterfront w świetle geotechnicznych uwarunkowań Międzyodrza*, IX Seminarium Naukowego Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry, Rugia 2001.
- [2] Coufal R., Gwizdka O., *Charakterystyka wybranych modeli reologicznych jako podstawy do określenia modelu reologicznego gruntu organicznego*, X Sem. Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry. Geotechnika w warunkach oddziaływania morza, Międzyzdroje 14–15.06.2002.
- [3] Coufal R., Gwizdka O., *Laboratoryjna weryfikacja empirycznego modelu konsolidacji gruntu organicznego w warunkach zmiennego obciążenia*, XI Sem. Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska w ujściu Odry. Problemy inżynierii środowiska w woj. zachodniopomorskim, Szczecin – Ystad – Świnoujście, 30–31 maja 2003.
- [4] Coufal R., Gwizdka O., *Identyfikacja parametrów elementarnego równania konsolidacji*, XIII Krajowa Konferencja Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Gliwice – Szczyrk, 11–13 czerwca 2003.
- [5] Coufal R., Kopczyńska O., *Nieliniowy model reologiczny gruntu organicznego na tle znanych modeli gruntów*, XII Seminarium Naukowe z cyklu Regionalne problemy ochrony środowiska. Środowisko w świetle dyrektyw Unii Europejskiej, Kołobrzeg 4–6 czerwca 2004.
- [6] Den Haan E.J., *Vertical compression of soils*, Delft University Press, Delft 1994.
- [7] Den Haan E.J., Termaat R., Edil T., *Advances in understanding and modelling the mechanical behaviour of peat*, A. A. Balkema, Rotterdam 1994.
- [8] *Dzieje Szczecina* pod red. G. LABUDY.; Tom II: Wiek X – 1805, Państwowe Wyd. Naukowe, Warszawa – Poznań 1985.
- [9] Gryczmański M., *Reologiczny model o wzmocnieniu anizotropowym dla szkieletu gruntowego*, Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Inżynierskiej w Opolu, Nr 91, Budownictwo z. 20, Opole 1983.
- [10] Gryczmański M., *O konstytutywnych modelach gruntów*, Inż. i Bud., nr 2/85, Warszawa 1985.
- [11] Gwizdka O., *Identyfikacja parametrów nieliniowego modelu reologicznego gruntu organicznego*, IV Konferencja Naukowa Doktorantów Wydz. Budownictwa, Gliwice – Wisła, 20–21 listopada 2003.
- [12] Kopczyńska O., *Wpływ właściwości reologicznych gruntu organicznego na osiadanie w warunkach zmiennego obciążenia*, Zeszyt Doktorantów 2004–05 Kierunku Budownictwo, Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2004.
- [13] Meyer Z., *Empiryczny model konsolidacji torfów*, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 379 Geotechnika IV, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1988.
- [14] Meyer Z., *Empiryczny model konsolidacji torfów w przypadku występowania obciążenia zmiennego w czasie*, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 397 Geotechnika V, Wyd. Uczelniane Pol. Szczecińskiej, Szczecin 1989.
- [15] Meyer Z., Bednarek R., *Uproszczony model osiadania gruntu organicznego z wykorzystaniem wpływu właściwości reologicznych*, Inż. Morska i Geotechnika nr 5/2001.

- [16] Meyer Z., Bednarek R., *Laboratoryjne metody określania parametrów krzywej elementarnej*, Konferencja Naukowa 45 lat Geotechniki w Łodzi. Geotechnika w polskim budownictwie, Łódź 2003.
- [17] Meyer Z., Kowalów M., *Funkcja czasu w empirycznym modelu konsolidacji torfów*, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 357 Geotechnika III, Wydawnictwa Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1987.
- [18] Meyer Z., Mrozińska G., *Empiryczna formuła osiadania torfów występujących w rejonie Wyspy Puckiej, określona w oparciu o bad. laboratoryjne*, Prace naukowe Politechniki Szczecińskiej nr 322 Geotechnika II, Wyd. Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1986.
- [19] Molisz R., Baran L., Werno M., *Posadawianie nasypów na gruntach organicznych metodą wstępnej konsolidacji*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
- [20] Myślińska E., *Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [21] Paczkowski W., *Wybrane problemy dyskretnej optymalizacji ewolucyjnej*, Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej Nr 544, Szczecin 1999.
- [22] Szymański A., *Czynniki warunkujące analizę odkształcenia gruntów organicznych obciążonych nasypem*, Wyd. SGGW-AR, Warszawa 1991.
- [23] Wilun Z., *Zarys geotechniki*, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa 2000.