

## **ANALIZA OSIADANIA WYDZIELONEJ KOMORY FERMENTACYJNEJ NA PODSTAWIE BADAŃ CPT I DMT**

Ryszard Chmielewski, Leopold Kruszk

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienie dotyczące badania modułów ścisłości podłoża gruntowego na podstawie terenowych sondowań statycznych i dynamicznych oraz określania na tej podstawie wartości osiadania obiektu budowlanego. Przedmiotem analizy jest istniejący zbiornik wydzielonej komory fermentacyjnej (WKF), który jest żelbetowym obiektem o kształcie walca zakończonym kopułami stożkowymi. Obiekt ten jest częściowo zagłębiony w gruncie – głębokość jego posadowienia to 1,8 m pod krawędziami zewnętrznymi (z betonem podkładowym) przy krawędziach oraz 3,4 m w części środkowej. Ogólnie należy stwierdzić, że w obszarze objętym analizą (czyli wokół WKF) warunki gruntowo-wodne można określić jako proste. Wyznaczone końcowe wartości osiadań zbiornika WKF mieściły się w przedziale 110÷180 mm, przekraczając znacznie końcową wartość podaną przez projektanta tego zbiornika. W celu rozstrzygnięcia poprawności przyjęcia przez projektanta parametrów ścisłości podłoża gruntowego pod zbiornikiem wykonano szereg badań terenowych sondowań statycznych CPTU i dynamicznych DPL oraz pomiarów DMT.

**Słowa kluczowe:** moduł ścisłości gruntu, sondowania statyczne i dynamiczne, CPTU, DPL, DMT

### **WSTĘP**

Projektant konstrukcji WKF określił całkowite osiadanie tego zbiornika na 70 mm. Wyznaczone na podstawie pomiarów geodezyjnych końcowe wartości osiadań zbiornika mieściły się w przedziale 110÷180 mm, przekraczając znacznie wartość podaną przez projektanta. Wyżej wymienione okoliczności nie stwarzają jednak zagrożenia zarówno dla bezpieczeństwa konstrukcji nośnej tego obiektu, jak i bezpieczeństwa jego użytkowania. Dodatkowo należy zauważyć, że osiadanie zbiornika było nierównomierne. Zjawi-

---

Adres do korespondencji – Corresponding author: Ryszard Chmielewski, Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa, e-mail: ryszard.chmielewski@wat.edu.pl

© Copyright by Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2016

sko to nie mogło być tylko efektem podejścia obliczeniowego czy też różnych wartości modułów podłoża gruntowego. Prawdopodobnej przyczyny należało poszukiwać w nieodpowiednim przygotowaniu podłoża gruntowego pod zbiornik, czyli niedostatecznym zagęszczeniu zasypki wykopu. W celu rozstrzygnięcia poprawności przyjęcia parametrów ścisłości podłoża gruntowego pod zbiornikiem porównano wyniki sondowań dynamicznych DPL oraz statycznych CPTU i DMT. Na podstawie tych badań określone zostały moduły ścisłości podłoża gruntowego oraz spodziewane wielkości osiadań końcowych konstrukcji zbiornika.

## OKREŚLENIE WARTOŚCI OBCIĄŻEŃ PODŁOŻA POD ZBIORNIKIEM

Przedmiotem oceny osiadania jest istniejący zbiornik wydzielonej komory fermentacyjnej (WKF). Jest to żelbetowy obiekt o kształcie walca zakończony kopułami stożkowymi. Zbiornik posiada różne grubości powłok: płyta denna – 0,7 m, górna – 0,3÷0,5 m, ściany do wysokości 8,6 m n.p.t. – 0,8 m, powyżej tego poziomu – 0,5 m. Średnica wewnętrzna zbiornika wynosi 18,0 m, a średnica zewnętrzna płyty dennej – 19,9 m [Projekt budowlany... 2011, Dokumentacja wykonawcza... 2014] (rys. 1). Na podstawie powyższych danych określone zostały obciążenia podłoża gruntowego – pierwszym z elementów było określenie wymiarów wykopu pod przedmiotowy obiekt. Objętość wykopu podzielono na dwie składowe o kształcie walca oraz stożka ściętego:

- walec wykopu

$$V_{w1} = \pi \cdot (9,95 \text{ m})^2 \cdot 1,8 \text{ m} = 559,85 \text{ m}^3 \quad (1)$$

- stożek ścięty wykopu

$$V_{w2} = \frac{\pi}{3} \cdot 1,6 \text{ m} \cdot \left[ (6,5 \text{ m})^2 + 6,5 \text{ m} \cdot 0,7 \text{ m} + (0,7 \text{ m})^2 \right] \quad (2)$$

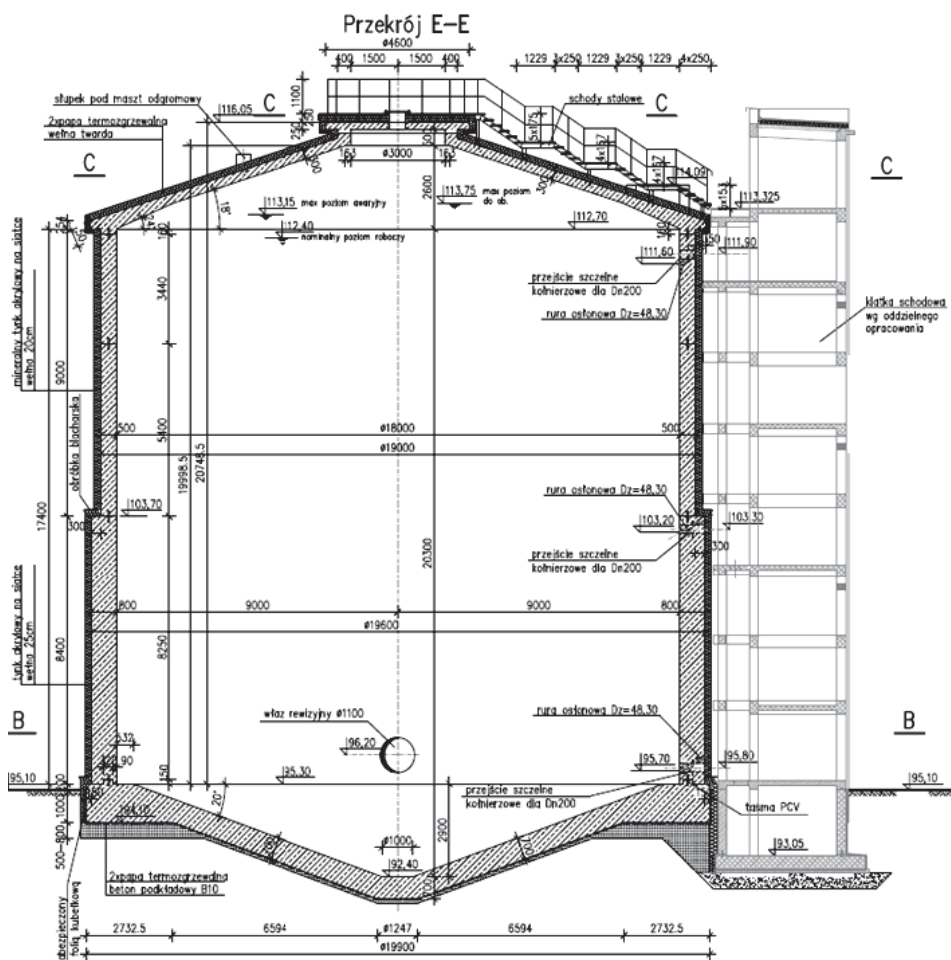
$$V_{w2} = 79,24 \text{ m}^3,$$

razem:  $V_w = 639,08 \text{ m}^3$ .

Ciężar objętościowy gruntu bezpośrednio pod WKF, nasyp do głębokości 1,5 m oraz piaski drobne, według Dokumentacji geotechnicznej... [2011] wynosiły odpowiednio 16,0 i 18,5 kN·m<sup>-3</sup>. Stąd ciężar usuniętego gruntu jest równy 10 182,40 kN. Średnia wartość odciążenia podłoża gruntowego wyniosła więc 32,74 kPa.

W sposób analogiczny, czyli obliczając objętości brył tworzących żelbetową konstrukcję zbiornika, określono ciężar konstrukcji żelbetowej pustego zbiornika, który wyniósł 31 849,01 kN. Średnia wartość dociążenia podłoża gruntowego pustym zbiornikiem jest więc równa 102,40 kPa.

Określając obciążenie zmienne przy próbie szczelności, przyjęto ciężar objętościowy wody 9,8 kN·m<sup>-3</sup>. Stąd obciążenie zmienne dla poziomu nominalnego wynosi 44 774,53 kN. Średnia wartość dociążenia wodą przy poziomie nominalnym jest równa 143,96 kPa.



Rys. 1. Przekrój E-E WKF [Dokumentacja wykonawcza... 2014]

Fig. 4. Section E-E WKF

Określając maksymalne obciążenie zmienne, jakie może oddziaływać na podłoże gruntowe, przyjęto ciężar objętościowy ścieków, zgodnie z Dokumentacją wykonawczą... [2014],  $10,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ , i stąd obciążenie zmienne dla poziomu awaryjnego wynosi  $51\,404,56 \text{ kN}$ . Średnia wartość dociążenia wodą przy poziomie nominalnym jest równa  $165,27 \text{ kPa}$ .

W wyniku przeprowadzonych obliczeń wytrzymałościowych określono obciążenia na podłoże gruntowe pod WKF, które zestawiono poniżej:

- odciążenie:  $32,74 \text{ kPa}$ ,
- obciążenie ciężarem zbiornika:  $102,40 \text{ kPa}$ ,
- obciążenie nominalne przy próbie szczelności:  $143,96 \text{ kPa}$ ,
- obciążenie maksymalne użytkowe:  $165,27 \text{ kPa}$ .

## OCENA WARUNKÓW GRUNTOWO-WODNYCH

Ogólnie należy stwierdzić, że w obszarze objętym analizą (czyli wokół WKF) warunki gruntowo-wodne można określić jako proste. Potwierdzają to wszystkie wykonane dotychczas badania podłoża gruntowego: Dokumentacja geotechniczna... [2011], Dokumentacja geologiczno-inżynierska... [2014], Raport geotechniczny... [2015]. Układ warstw tego podłoża jest następujący:

I – nasypowe grunty antropogeniczne, obejmujące holocenijskie, słabonośne grunty nasypowe występujące przy powierzchni terenu w formie ciągłej warstwy o zmiennej grubości 1,2÷1,6 m. Warstwę tę stanowi mieszanina piasków różnoziarnistych z lokalnymi wkładkami gruntów organicznych, charakteryzująca się dużą ściśliwością. Grunty te nie nadają się do posadowienia obiektów budowlanych i zostały usunięte w trakcie budowlanych robót ziemnych, co potwierdzają zapisy w dzienniku budowy.

II – warstwa wolnolodowcowych gruntów niespoistych, obejmująca grunty sypkie podścielające warstwę nasypów holocenijskich. Są to sypkie grunty fluwiogłacjalne charakteryzujące się dużymi wartościami parametrów wytrzymałościowych oraz niewielką odkształcalnością. Jednocześnie piaski te są zaliczane do grupy gruntów niewysadziniowych. Ze względu na naturalne zróżnicowanie stopnia zagęszczenia w obrębie serii fluwiogłacjalnej wyodrębniane są dwie warstwy geotechniczne.

III – warstwa gruntów spoistych zastoiskowych, obejmująca spoiste skonsolidowane utwory zlodowacenia Odry (tj. gliny), których obecność stwierdzono lokalnie na głębokości przekraczającej 2,6÷4,2 m p.p.t.

IV – warstwa iłów, obejmująca kompleks osadów pliocenijskich, których obecność stwierdzono na głębokości przekraczającej 4,1÷6,4 m p.p.t. W obrębie tej warstwy występują dwie warstwy geotechniczne. Pierwsza zbudowana jest z iłu lokalnie z przewarstwieniami piaszczystymi w stanie twardoplastycznym – IVa. Druga obejmuje spoiste, skonsolidowane osady zastoiskowe iłu pstrego w stanie twardoplastycznym – IVb.

Ustabilizowany poziom wód gruntowych występuje na głębokości 2,0 m p.p.t. W trakcie realizacji wykopu pod WKF stosowane było odwodnienie w postaci sieci igłofiltrów sięgających do poziomu –3,5 m p.p.t.

O ile układ warstw geotechnicznych w podłożu gruntowym jest zgodny we wszystkich opracowaniach, o tyle ich cechy mechaniczne są różnie przedstawiane. W tabeli 1 zestawiono edometryczne moduły ściśliwości pierwotnej, istotne dla osiadania przedmiotowego obiektu z różnych opracowań. W związku z tym w celu sprawdzenia modułów wykonane zostały dodatkowe połowe badania podłoża gruntowego dylatometrem płaskim DMT.

Tabela 1. Zestawienie modułów ściśliwości podłoża w zależności od rodzaju badań [MPa]

Table 1. Summary of constrained modulia of the subsoil depending on the type of test

Warstwa Layer	$M_0$ [Dokumentacja geotechniczna... 2011]	$M_0$ [Dokumentacja geolog-inż... 2014]	$M_0$ [Raport geotechniczny... 2015]
I	–	–	–
II	84/62	45/80	76
III	37/32	15/20	22,5
IVa	35	10	9
IVb	28	15	15

## WYNIKI BADAŃ DYLATOMETREM PŁASKIM DMT

W celu określenia modułów ścisłości podłoża gruntowego wokół WKF przeprowadzono cztery sondowania dylatometryczne do maksymalnej głębokości 12,2 m p.p.t. Łącznie wykonano 47,4 m sondowania DMT. Wykonanie sondowań dylatometrycznych miało na celu ustalenie *in situ* modułów odkształceniowych gruntów znajdujących się w podłożu gruntowym nowo wybudowanej wydzielonej komory fermentacji na terenie oczyszczalni ścieków.

Badania dylatometryczne DMT wykonane były przy użyciu dylatometru płaskiego. Wymiary ostrza: 95 mm szerokości i 15 mm grubości. Okrągła stalowa membrana, zamontowana płasko na ostrzu, ma średnicę 60 mm. Membrana, odkształcając się pod wpływem ciśnienia gazu, przekazuje naprężenie na grunt. Dylatometr wciskano przy użyciu tego samego zestawu (o nacisku 110 kN) wciskającego co CPTU. Pomiaru wykonywane były co 20 cm.

Na podstawie tych wartości ciśnień uzyskiwane są podstawowe wskaźniki według poniższych wzorów:

$$- \text{współczynnik materiałowy: } I_{DMT} = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0) \quad (3)$$

$$- \text{współczynnik składowej pionowej naprężenia: } K_{DMT} = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0} \quad (4)$$

$$- \text{moduł dylatometryczny: } E_{DMT} = 34,7 \cdot (p_1 - p_0) \quad (5)$$

gdzie:  $u_0$  – początkowe ciśnienie wody w porach gruntu.

Na podstawie powyższych wartości obliczono wartości modułu ścisłości:

$$M_{DMT} = R_M E_{DMT} \quad (6)$$

$$\text{gdzie: } R_M = 0,14 + 2,36 \log K_{DMT}, \text{ gdy } I_{DMT} \leq 0,6 \quad (7)$$

$$R_M = 0,5 + 2 \log K_{DMT}, \text{ gdy } I_{DMT} \geq 3,0 \quad (8)$$

$$R_M = R_{M0} + (2,5 - R_{M0}) \log K_{DMT}, \text{ gdy } 0,6 < I_{DMT} < 3,0 \quad (9)$$

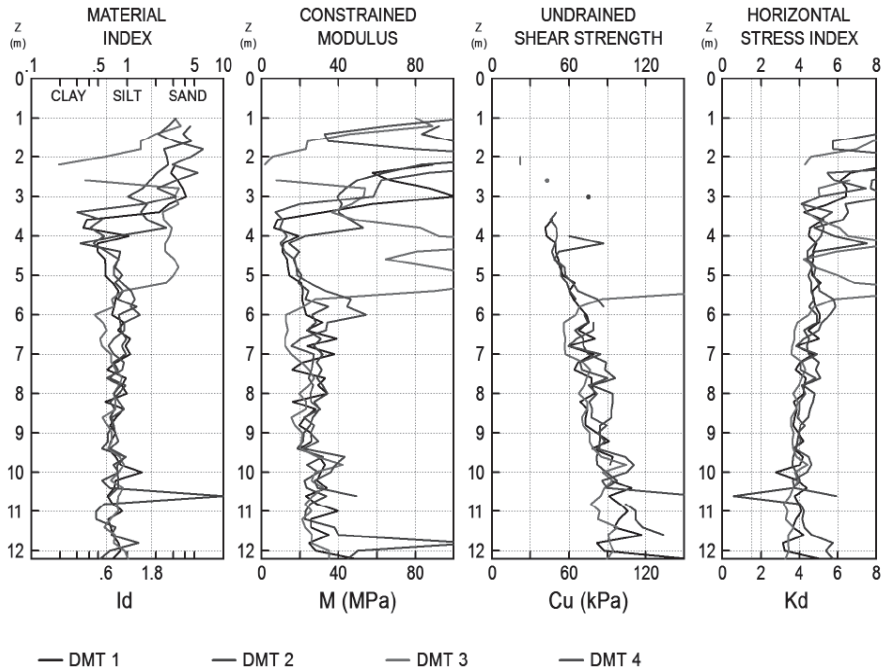
$$R_M = 0,14 + 0,15 \log I_{(DMT-0,6)}, \text{ gdy } I_{DMT} \geq 0,6 \quad (10)$$

Na rysunku 2 przedstawiono wykresy zbiorcze wyników w czterech badanych punktach oznaczonych jako DMT1÷DMT4. Widoczne są wyraźne wyższe parametry podłoża gruntowego w badaniu DMT 3. Na podstawie wyników badań polowych do analizy osiadania WKF przyjęto następujące moduły odkształcenia:

- warstwa II: 65 MPa,
- warstwa III: 15 MPa,
- warstwa IVa: 20 MPa,
- warstwa IVb: 24 MPa.

Profil podłoża gruntowego do dalszych analiz (średni pod środkiem WKF) jest następujący:

- poziom posadowienia (do spodu betonu podkładowego): 1,8 m,
- piaski drobne: do 3,2 m p.p.t.,
- glina: do poziomu 3,5 m p.p.t.,
- iły warstwy IVa: do poziomu 9,5 m p.p.t. (wg DMT),
- iły warstwy IVb: poniżej.



Rys. 2. Wykresy wynikowe z sondowań DMT:  $I_{DMT}$  – współczynnik materiałowy,  $M_{DMT}$  – moduł odkształcenia,  $Cu$  – wytrzymałość gruntu na ścinanie w warunkach bez odpływu,  $K_{DMT}$  – współczynnik składowej poziomej naprężenia,  $z$  [m] – głębokość liczona od poziomu terenu

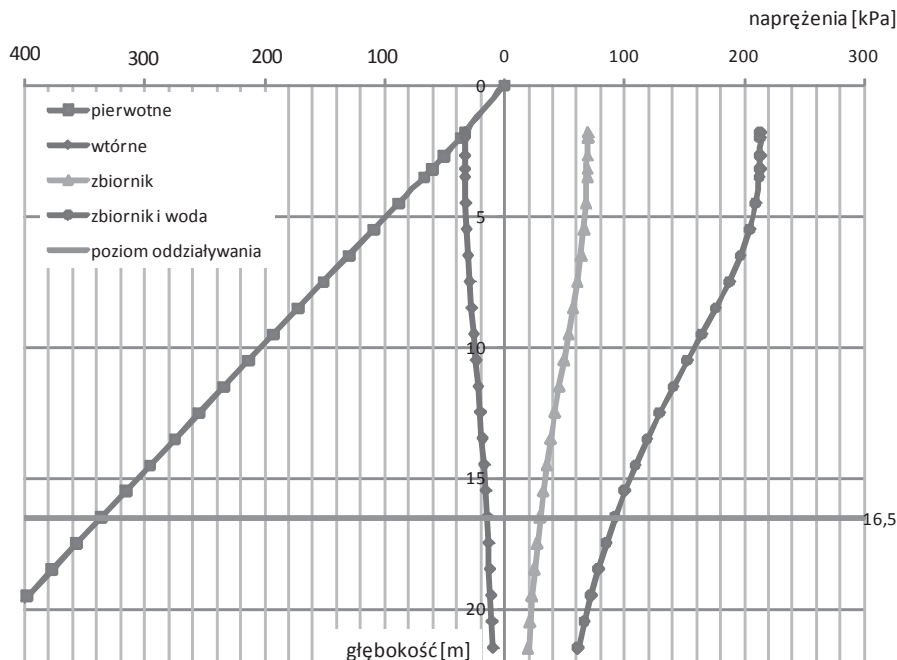
Fig. 2. Resulting graphs from DMT tests:  $I_{DMT}$  – material index,  $M_{DMT}$  – constrained modulus,  $Cu$  – undrained shear strength,  $K_{DMT}$  – horizontal stress index,  $z$  [m] – depth measured from the ground level

## OBLICZENIA OSIADANIA WKF

W pierwszej kolejności określono wartości naprężeń pierwotnych w podłożu gruntowym. Ciężary objętościowe poszczególnych warstw gruntów wynoszą:

- warstwa II do poziomu wód gruntowych:  $18,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- warstwa II powyżej poziomu wód gruntowych:  $20,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- warstwa III:  $21,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- warstwa IVa:  $21,0 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ ,
- warstwa IVb:  $20,5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ .

Na rysunku 3 przedstawiono rozkład naprężeń w podłożu gruntowym. Na osi pionowej podano głębokość  $z$  od poziomu terenu, natomiast na osi poziomej wartości naprężeń (w kPa). Obliczenia naprężeń wtórnych oraz dodatkowych przeprowadzono dla obciążenia na obszarze kołowym o promieniu 9,95 m.



Rys. 3. Rozkład naprężeń w podłożu gruntowym pod WKF

Fig. 3. Stress distribution in the subsoil under the WKF

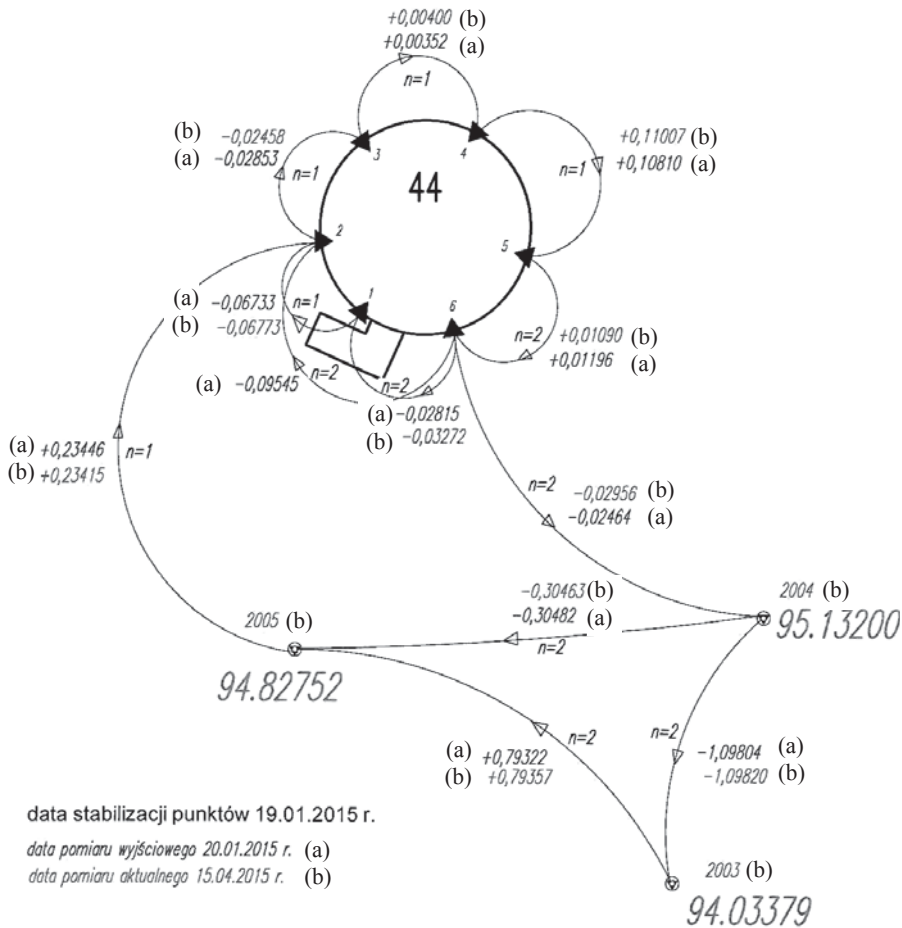
Korzystając z wykresów naprężeń w podłożu gruntowym oraz wyprowadzonych wartości modułów odkształcenia, wyznaczono obliczeniowe wartości osiadań zbiornika WKF:

- od naprężeń wtórnych: 12,6 mm,
- po ukończeniu zbiornika: 48,0 mm,
- po napełnieniu zbiornika wodą: 121,3 mm,

przy czym dodatkowo określono osiadanie maksymalne po napełnieniu zbiornika ściekami: 132,0 mm. Pomiary geodezyjne osiadania zbiornika WKF rozpoczęto w listopadzie 2014 roku, tj. po zakończeniu robót budowlanych, stąd maksymalna wartość osiadań po napełnieniu go wodą powinna wynieść 73,3 mm (bez osiadania od ciężaru własnego zbiornika).

## DYSKUSJA WYNIKÓW BADAŃ OSIADANIA WKF

Osiadanie zbiornika WKF na podłożu gruntowym mierzone było w sześciu punktach (reperach) pomiarowych, rozmieszczonych zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat rozmieszczenia reperów kontrolnych na WKF [Operaty geodezyjne... 2015]

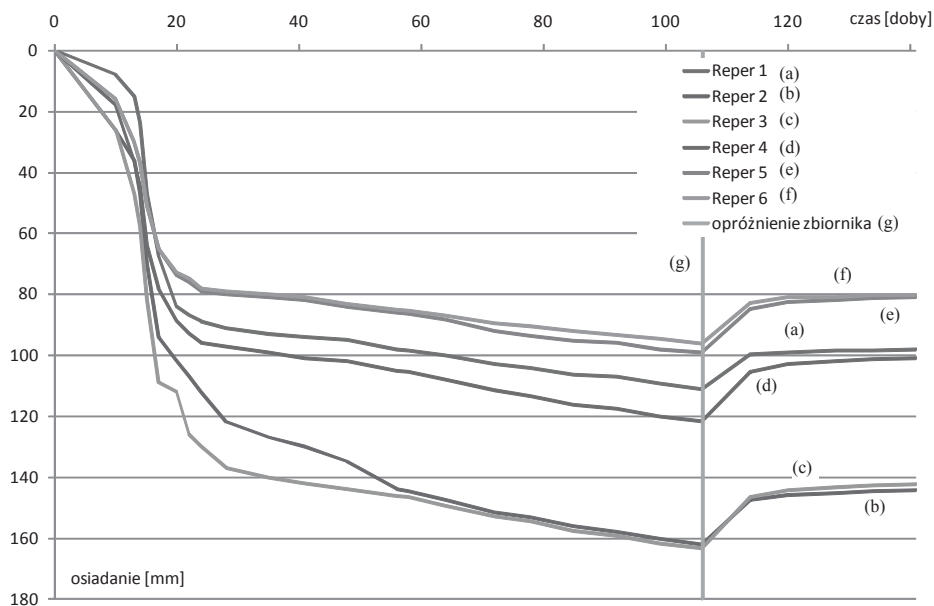
Fig. 4. Schematic layout of benchmarks on the WKF tank

Na rysunku 5 przedstawiono uzyskane wykresy pionowych przemieszczeń reperów kontrolnych. Są tu wyraźnie widoczne następujące tendencje zachowania się zbiornika WKF jako bryły sztywnej:

- bezpośrednio po napełnieniu zbiornika osiadania mieściły się w granicach od 8 do 26 mm; już na tym etapie pojawiło się przechylenie zbiornika, maksymalna różnica osiadań 18 mm,
- przez kolejne dziesięć dni wystąpiła konsolidacja pierwotna (od napełnienia zbiornika bez ciężaru własnego), różnica osiadań wzrosła do 39 mm,
- wydzielenie się w tym czasie trzech par reperów osiadających parami: repery nr 1 i 4 wyznaczają przybliżoną oś obrotu bryły WKF, podobnie osiadają repery nr 2 i 3, ostatnią zaś parę stanowią repery nr 5 i 6,



- następnie występuje konsolidacja wtórna ze względu na opróżnienie zbiornika (po 106 dniach),
- po opróżnieniu zbiornika nastąpiło wypiętrzenie zbiornika rzędu kilkunastu milimetrów, które ulega stabilizacji, przy czym stabilizacja następuje nieco odmiennie w odniesieniu do osiadania: repery stabilizują się parami nr 3 i 4, 2 i 5 oraz nr 1 i 6.



Rys. 5. Wykresy osiadań WKF

Fig. 5. Settlement graphs of the WKF tank

Osiadanie zbiornika po jego napełnieniu przekroczyło wartości wyznaczone przez projektantów. Dodatkowo należy zauważyć, że osiadanie było nierównomierne. Występujące wartości osiadań oraz różnice osiadań nie stwarzały zagrożenia bezpieczeństwa użytkownika tego obiektu. Zgodnie z normą Eurokod 7 nie ma określonych wartości przemieszczeń granicznych. Analizując wymagania dla podobnych obiektów, uwzględniając standardy użytkowe przedmiotowego zbiornika zdefiniowane przez użytkownika oraz na podstawie obowiązujących wcześniej norm polskich, można stwierdzić, że wartość osiadań granicznych budowli powinna maksymalnie wynosić 200 mm, natomiast jej przechylenie – 0,004, wartości te nie zostały przekroczone.

Końcową wartość osiadania w fazie konsolidacji wtórnej poszczególnych reperów można oszacować z zależności:

$$s = A + B \cdot \ln(t)^c \quad (11)$$

gdzie:  $t$  – czas,

$A, B, C$  – współczynniki empiryczne wyznaczone z analizy statystycznej osiadań.

Stąd końcowe wartości osiadań dla par reperów będą wynosić:

- repery nr 2 i 3 do 180 mm, wartości współczynników:  $A = 50$ ,  $B = 25$ ,  $C = 1,00$ ,
- repery nr 5 i 6 do 110 mm, wartości współczynników:  $A = 36$ ,  $B = 12,5$ ,  $C = 1,00$ .

Z kolei repery nr 1 i 4 będą osiadać o wartość pośrednią. Pomimo nadmiernych osiadań nie stwierdzono żadnych istotnych deformacji bądź uszkodzeń w postaci rys czy spękań konstrukcji żelbetowej. Należy w tym miejscu nadmienić, iż zapas nośności podłoża gruntowego wyznaczony przez projektanta zbiornika był znaczny (kilkukrotny).

## PORÓWNANIE MODUŁÓW ŚCISLIWOŚCI PODŁOŻA POD WKF

W tabeli 2 zestawiono wartości modułów ścisłości podłoża gruntowego w zależności od rodzaju badania połowego oraz czasu jego wykonania. Badanie DPL oraz określenie stanu gruntów spoistych wykonane zostały jako rozpoznanie podłoża przed rozpoczęciem inwestycji. Badania CPT wykonano po zaobserwowaniu nadmiernego osiadania WKF na potrzeby opracowania eksperckiego, zamówionego przez wykonawcę robót budowlanych. Z kolei badanie DMT wykonano na potrzeby innego opracowania eksperckiego, zamówionego przez inwestora.

Tabela 2. Wyznaczone wartości modułów w zależności od rodzaju badania

Table 2. Values of modulia depending on the type of test

Warstwa Layer	DPL [MPa]	CPT [Dokumentacja geolog.-inż...] [MPa]	CPT [Raport geotechniczny...] [MPa]	DMT [MPa]
I	–	–	–	–
II	84/62	45/80	76	65
III	37/32	15/20	22,5	15
IVa	35	10	9	20
IVb	28	15	15	24

Dla gruntów warstwy III zauważyć można przeszacowanie modułów ścisłości na podstawie określenia stanu gruntów spoistych oraz zależności korelacyjnych z normy PN-81/B-03020. Jakkolwiek pozostałe wartości modułów są zbliżone do modułów określonych w badaniach DMT. Badania połowe sondą CPT wykazują zaniżone wartości modułów ścisłości dla iłłów w stosunku do innych badań.

Należy podkreślić, iż różnice w wartościach modułów powodują istotne różnice w wynikach analiz osiadania WKF. Obliczeniowe osiadanie od obciążeń użytkowych (wypełnienie zbiornika) z wykorzystaniem wyników z poszczególnych badań połowych wynosi:

- DPL i BM: 47 mm (z zastosowaniem częściowych współczynników bezpieczeństwa 58 mm),
- CPT [Dokumentacja geologiczno-inżynierska... 2014]: 119 mm,
- CPT [Raport geotechniczny... 2015]: 127 mm,
- DMT: 72 mm.

Jakkolwiek żadna z powyższych wartości osiadań nie zbliżyła się do zmierzonych osiadań maksymalnych wynoszących 163 mm.

## PODSUMOWANIE

Różnica pomiędzy osiadaniami rzeczywistym analizowanego zbiornika WKF a wartościami prognozowanymi przez projektanta nie jest efektem niewłaściwego podejścia obliczeniowego czy też przyjęcia różnych wartości modułów podłoża gruntowego. Prawdopodobną zasadniczą przyczyną było niestaranne przygotowanie podłoża gruntowego pod ten zbiornik, czyli niedostateczne zagęszczenie zasyпки wykopu, szczególnie pod częścią stożkową dna. Widoczne jest to w dokumentacji [Raport geotechniczny... 2015], gdzie na wykresach zagęszczenia występują luźne grunty w stosunkowo niewielkiej odległości od zbiornika. W wyniku takiego błęd wykonawczego w pierwszej kolejności ten zbiornik oparty był na bocznej, płaskiej części dna z podbudową z betonu (por. rys. 1). W wyniku napełnienia zbiornika nastąpiło dogęszczanie gruntu pod częścią płaską dna zbiornika WKF, powodując jego dalsze osiadanie, które przekroczyło przewidywalne wartości określone przez projektanta.

Uwzględniając brak współpracy podłoża pod częścią stożkową, można stwierdzić, że głębokość oddziaływania fundamentu wzrasta do 23,5 m, natomiast osiadanie obliczeniowe – do wartości 167 mm.

Obecnie niezwykle trudno jest przeprowadzić uzasadnienie tego związku przyczynowo-skutkowego ze względu na kilka czynników, między innymi:

- brak zarówno pomiarów zagęszczenia zasyпки wykopów, jak i bezpośredniego dostępu do tej zasyпки ze względu na istniejący zbiornik,
- brak pomiarów geodezyjnych osiadania zbiornika WKF w trakcie jego wznoszenia,
- brak inwentaryzacji geometrycznej wnętrza zbiornika przed jego napełnieniem.

Wyznaczone końcowe wartości osiadań zbiornika WKF mieszczą się w przedziale 110÷180 mm i przekraczają znacznie końcową wartość wyznaczoną przez projektanta tego zbiornika. Nie stwarza to jednak zagrożeń dla bezpieczeństwa jego konstrukcji nośnej, jak również użytkowania [Ustawa – Prawo budowlane 1994].

Szacowany czas, w jakim zbiornik WKF może osiadać, to około 240 dni po jego napełnieniu. Jak wiadomo, poziom naprężeń ma istotny wpływ na parametry sztywności podłoża gruntowego w czasie eksploatacji, przy czym wartości modułów powinny rosnać w wyniku konsolidacji podłoża pod przyłożonym obciążeniem.

Celowe jest każdorazowe przedstawianie w opracowaniach metodyki wyznaczania wartości charakterystycznych parametrów geotechnicznych. Taki wymóg wynika również z Rozporządzenia MTBiGM [2012] oraz normy [PN-EN 1997-2, Eurokod 7], tak aby wykonawca badań polowych podłoża gruntowego przedstawiał sposób uzyskiwania wartości pomierzonych, wartości wyprowadzonych oraz wartości charakterystycznych i obliczeniowych parametrów podłoża gruntowego. Niestety często taka procedura badawcza jest pomijana w praktyce budowlanej i stąd w przypadkach stanów awaryjnych i katastrof budowlanych budowli trudno jest obiektywnie wyznaczyć związki przyczynowo-skutkowe, posługując się wyłącznie wartościami charakterystycznymi.

## PIŚMIENNICTWO

- Dokumentacja geologiczno-inżynierska dla ustalenia warunków geologiczno-inżynierskich celem posadowienia projektowanych obiektów na terenie rozbudowywanej oczyszczalni ścieków, kwiecień 2014 r.
- Dokumentacja geotechniczna dla potrzeb rozbudowy i modernizacji Oczyszczalni Ścieków Zakładu Wodociągów i Kanalizacji, czerwiec 2011 r.
- Dokumentacja wykonawcza. Konstrukcja, obiekt nr 44 wydzielona komora fermentacyjna, Modernizacja i rozbudowa oczyszczalni ścieków, kwiecień 2014 r.
- Operaty geodezyjne z pomiarów przemieszczeń pionowych obiektu 44 WKF, styczeń – kwiecień 2015 r.
- PN-81/B-03020. Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- PN-EN 1997-2: 2007. Eurokod 7. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
- Projekt budowlany branży architektoniczno-konstrukcyjnej rozbudowy i modernizacji komór fermentacyjnych wraz z urządzeniami i instalacją biogazu na oczyszczalni ścieków, wrzesień 2011 r.
- Raport geotechniczny z badania gruntów w rejonie wydzielonej komory fermentacyjnej (obiekt nr 44) na terenie modernizowanej oczyszczalni ścieków, luty 2015 r.
- Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych.
- Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane. Dz.U. nr 89 z 1994 r., poz. 414 z późn. zm.

## ANALYSIS OF SETTLEMENT FOR SEPARATE DIGESTER ON BASIS OF SITE INVESTIGATIONS

**Abstract.** The paper presents the issues concerning the testing of constrained moduli of subsoil based on static and dynamic penetrations, and use of these moduli to determine settlement of a building structure. The subject of analysis is an existing digester (WKF) – a cylindrical reinforced concrete building structure with conical domes. This fermenting tank is partially recessed into the ground, foundation depth is 1.8 m at the outer edges (with concrete primer), and 3.4 m in the middle. Generally, soil and water conditions in the area of analysis (i.e. around WKF) can be described as simple. The predicted final values of settlement of the WKF tank fell in the range of 110 ÷ 180 mm, exceeding significantly the final value announced by the designer of this tank. In order to determine validity of the designer's decision to assume such parameters of subsoil under the tank, a series of subsoil tests were performed, including static (CPTU) and dynamic (DPL) penetration and dilatometer tests (DMT) dilatometer tests (DMT).

**Key words:** constrained moduli of subsoil, static and dynamic penetration tests, CPTU, DPL, DMT

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 12.06.2016

Cytowanie: Chmielewski, R., Kruszka, L. (2016). Analiza osiadania wydzielonej komory fermentacyjnej na podstawie badań CPT i DMT. *Acta Sci. Pol. Architectura*, 15 (2), 33–44.