

dr inż. Mariusz Kowalow, *m.kowalow@gco-consult.com*
Geotechnical Consulting Office Sp. z o.o., Szczecin

Prof. dr hab. inż. Zygmunt Meyer, *z.meyer@gco-consult.com*, *meyer@zut.edu.pl*
Geotechnical Consulting Office Sp. z o.o., Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin

ANALIZA PRZYCZYŃ DUŻEGO OSIADANIA RUROCIĄGU KANALIZACYJNEGO W WILNIE

ANALYSIS OF REASONS OF HIGH SETTLEMENT OF SEWAGE PIPELINE IN VILNIUS

Streszczenie W mieście Wilno podjęto budowę wielkopowierzchniowego centrum komercyjnego. W celu zapewnienia dobrej komunikacji pomiędzy miastem a centrum, zbudowano drogę dwupasmową. Droga umożliwia ruch ciężkich pojazdów. W trakcie budowy centrum, wystąpiły bardzo duże osiadania rurociągu, ułożonego na tym terenie. Rurociąg został umieszczony wzdłuż drogi na głębokości ok. 6 m. Opracowanie zawiera analizę powstałych znacznych osiadań rurociągu.

Abstract: In the town Vilnius a project of erecting a big shopping mall was undertaken. To provide a good communication from the town to the shopping mall a new highway was built up to enable heavy traffic of big trucks. During the erection time, a problem occurred of big settlement of the sewage pipeline, placed on this terrain. It turns out, that the pipeline was finally placed along the highway close to the meridian, at the depth ca. 6 m. In the paper the analysis of the big settlement is given.

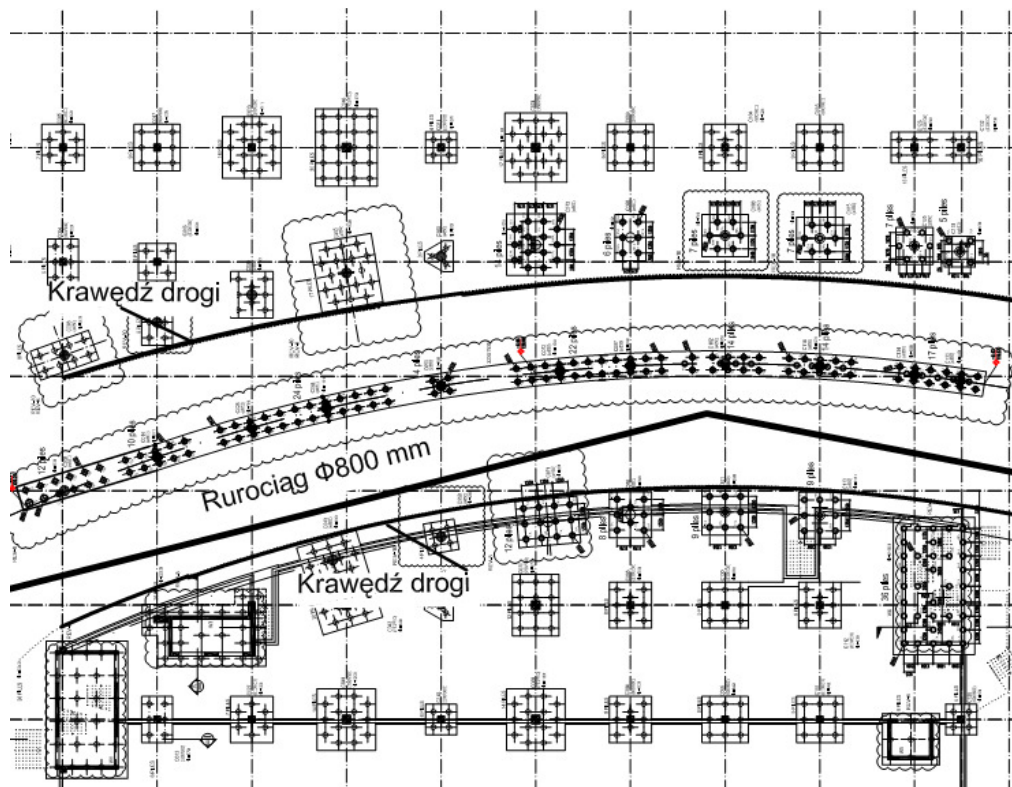
1. Wstęp

W mieście Wilno podjęto budowę wielkopowierzchniowego centrum komercyjnego. Centrum zlokalizowane jest na przedmieściach.

W celu zapewnienia dobrej komunikacji pomiędzy miastem a centrum, zbudowano drogę dwupasmową. Droga umożliwia ruch ciężkich pojazdów.

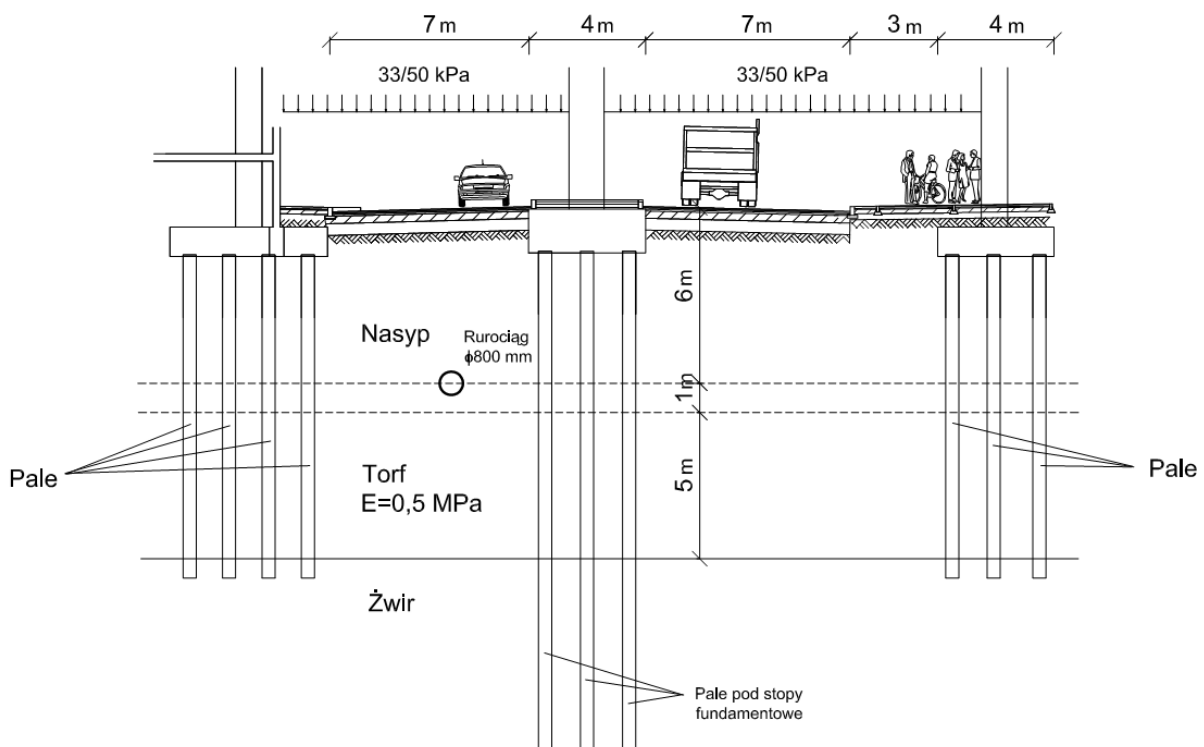
Przed kilku laty, przed rozpoczęciem prac związanych z budową centrum handlowego oraz drogi, na terenie tym ułożono rurociąg kanalizacyjny z rur PCV o średnicy \varnothing 800 mm, umieszczony na głębokości ok. 6 m, poniżej powierzchni terenu.

Schematycznie usytuowanie centrum handlowego, drogi i rurociągu pokazano na **rysunku 1**.



Rysunek 1. Usytuowanie rurociągu kanalizacyjnego

Przekrój poprzeczny terenu w miejscu usytuowania rurociągu, drogi i centrum handlowego pokazano na **rysunku 2**.



Rysunek 2. Przekrój poprzeczny w rejonie rurociągu

Chronologicznie kolejność prac na tym terenie wyglądała następująco: najpierw położono rurowiąg (rurowiąg posiada dokumentację), następnie po paru latach wykonano drogę (droga posiada dokumentację), a po pewnym czasie przystąpiono do budowy centrum handlowego [3, 4].

Dokumentacja geotechniczna, którą sporządzono dla potrzeb rurowiągu kanalizacyjnego wskazuje w tym miejscu na występowanie piasków różnych w warstwie nasypowej, a głębiej żwiru. Otwory te były wykonane jedynie do głębokości 6 m. W trakcie eksploatacji drogi i budowy centrum, wystąpiły bardzo duże osiadania rurowiągu.

Z powodu dużego osiadania wykonano nowe wiercenia do głębokości 18 m.

Badania te pozwoliły ustalić, że poniżej rurowiągu znajdują się torfy o małym module ściśliwości $M_c = (0,50 \div 0,75)$ MPa. Mięszkość torfów dochodzi nawet do 5 m. W przekroju podłużnym rurowiągu mięszkość torfu zmieniła się wskazując na wyklinowanie się. Biorąc pod uwagę fakt, że w podłożu znajdowały się grunty organiczne postanowiono sprawdzić jaki wpływ na osiadania warstwy torfu mają dwa pasma drogi i obciążenie ruchem oraz fundamenty budowanego centrum.

2. Obliczenie osiadania warstwy torfu

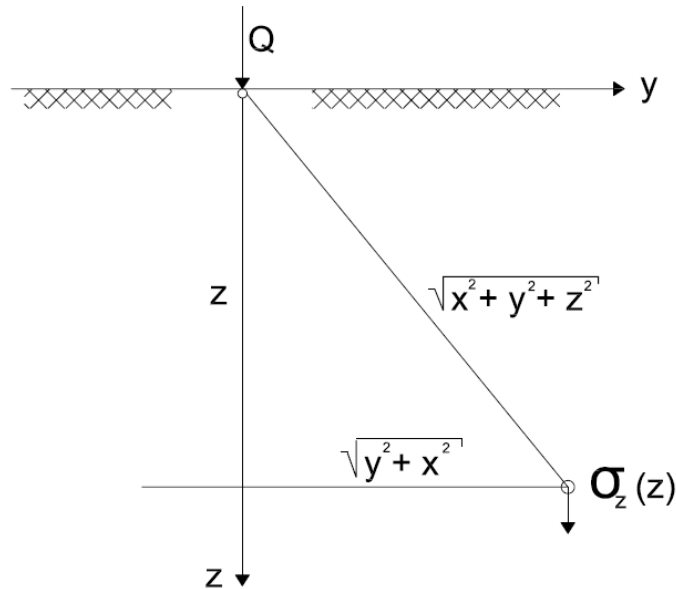
2.1 Osiadanie od obciążenia ruchem na drodze.

Obliczenie osiadania warstwy torfu od ruchu na drodze wymaga przyjęcia schematu obliczeniowego rozkładu naprężeń w gruncie. Do obliczeń tych przyjęto w pierwszej kolejności model Boussinesqu'a. Mamy przy założeniu liniowej teorii sprężystości [1,2]:

$$\sigma_z(z) = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{Q \cdot z^3}{(z^2 + y^2 + x^2)^{5/2}} \quad (1)$$

Q - siła skupiona,
 x, y, z - współrzędne przyjętego układu prostokątnego.

Schematycznie wymiary geometryczne występujące w tym wzorze pokazano na **rysunku 3**.



Rysunek 3. Wymiary geometryczne położenia punktu obliczeniowego [2,3]

Aby prawidłowo obliczyć osiadanie warstwy torfu potrzebna jest znajomość naprężeń wewnątrz tej warstwy. Jako obciążenie zewnętrzne na powierzchni drogi przyjęto obciążenie równomierne od ruchu na drodze:

$$q = \sigma_0 \cdot B \quad (2)$$

gdzie:

B - szerokość pasma drogi [m],

σ_0 - obciążenie równomiernie rozłożone na drodze.

Ponieważ wzór (1) podaje rozkład naprężeń w gruncie od siły skupionej, a w przypadku drogi mamy do czynienia z obciążeniem liniowym równomiernie rozłożonym dlatego rozkład ten musimy obliczyć ze wzoru:

$$\sigma_z(z) = \frac{2 \cdot 3}{2\pi} \cdot \sigma_0 \cdot B \cdot z^3 \int_0^\infty \frac{d\eta}{[z^2 + x^2 + (1-\eta)^2]^{5/2}} \quad (3)$$

gdzie:

η - jest nową współrzędną wzdłuż osi drogi, która określa położenie siły elementarnej $qd\eta$ w stosunku do przekroju obliczeniowego (x, y, z) .

Po wykonaniu obliczeń otrzymamy:

$$\sigma_z(z) = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{q \cdot z^3}{(z^2 + x^2)^2} \quad (4)$$

Wzór ten pozwala na obliczenie naprężeń od jednego i drugiego pasma drogi w osi pod rurociągami w stropie i spągu torfów.

Obliczenia przeprowadzono biorąc pod uwagę wymiary pokazane na rysunku 2, dla obu pasm drogi:

- Na poziomie stropu torfów naprężenia te wynoszą $\sigma_z^{(1)}$:

$$\sigma_z^{(1)} = 0,65 \cdot \sigma_0 + 0,06 \sigma_0 = 0,71 \sigma_0$$

oraz

- Na poziomie spągu torfów naprężenia te wynoszą $\sigma_z^{(2)}$:

$$\sigma_z^{(2)} = 0,38 \cdot \sigma_0 + 0,11 \sigma_0 = 0,49 \sigma_0, \quad \text{gdzie}$$

σ_0 są to naprężenia użytkowe na drodze.

Osiadanie warstwy torfu od obciążenia drogą wynosi:

$$S = \frac{\sigma_z^{(1)} + \sigma_z^{(2)}}{2} \cdot \frac{H}{M_c} \quad (5)$$

gdzie:

H - miąższość warstwy torfu ($H = 5$ m),

M_c - moduł ścisłości.

Podstawiając odpowiednio za $M_c = 0,5$ MPa otrzymamy osiadanie.

Do obliczeń przyjęto: klasyczne obciążenie jednostkowe na drodze $\sigma_0 = 33$ kPa, oraz wartość docelową w przypadku bardzo ciężkiego transportu $\sigma_0 = 50$ kPa

W przypadku ośrodka sprężystego obliczenia osiadań uwzględnia się redukcję naprężeń w głąb gruntu. Ponieważ w podłożu mamy ścisłą warstwę torfu zanikanie naprężeń w niej jest bardzo wolne. Zgodnie z regułą Föchlicha [2] w torfach nie obserwujemy wyraźnej redukcji naprężeń, dlatego w obliczeniach przyjęto stałe σ_z w warstwie torfu $\sigma_z = \sigma_z^{(1)} = 0,71 \sigma_0$.

W wyniku obliczeń otrzymano następujące osiadania:

- $S = 23$ cm dla $\sigma_0 = 33$ kPa, oraz
- $S = 35$ cm dla $\sigma_0 = 50$ kPa.

2.2 Obliczenie osiadania warstwy torfu od obciążenia fundamentu budowli.

Do obliczenia osiadania warstwy torfu pod rurociągiem kanalizacyjnym przyjęto wymiary geometryczne pokazane na **rysunku 2**. Na rysunku tym pokazano również położenie sąsiednich fundamentów w stosunku do rurociągu.

Stopy fundamentowe zaprojektowano jako konstrukcje posadowione na palach. Warstwę nośną dla pali stanowią piaski gliniaste położone poniżej torfów. Wymiary stóp oraz pali dobrano w taki sposób, że maksymalne osiadanie nie przekracza $s_{dop} = 3$ cm.

Określenie oddziaływania tego osiadania na warstwę torfu można w przybliżeniu obliczyć tak jak dla przypadku osiadania od siły skupionej [1]. Otrzymujemy:

$$S(x) = S(L) \cdot \frac{L}{x} \quad (6)$$

L - odległość krawędzi stopy od jej osi [m],

x - odległość osi rurociągu od osi stopy [m],

za wielkość $S(L)$ przyjęto 3,0 cm.

Otrzymamy:

$$S(x) = 3,0 \cdot \frac{2 \text{ m}}{8,5 \text{ m}} = 0,7 \text{ cm}$$

Jest to wielkość pomijalnie mała przy ustalaniu osiadania warstwy torfu.

Można też obliczyć naprężenia na pobocznicę pala, w warstwie torfu, które towarzyszą temu osiadaniu. Zastosowano tu związek naprężeń pobocznicę pala i osiadania pala w obszarze liniowej teorii sprężystości.

Mamy w zakresie liniowej teorii przemieszczeń następujący związek [1,4]:

$$\tau = \frac{1}{15} \cdot \frac{E \cdot S}{D} \quad (7)$$

Gdzie:

D - średnica pala [cm].

Przyjmując pale o średnicy 40 cm otrzymamy około $\tau = 3,0$ kPa. Jest to wartość, którą możemy przyjąć w praktyce dla torfów dobrze rozłożonych. Jest ona porównywalna z kohezją gruntu i może przenieść obliczone wcześniej osiadania w obszarze torfów. Oznacza to, że ruch pionowy pali nie dociąża praktycznie rurociągu przez odpowiednie przemieszczenie się warstwy torfów.

3. Wnioski

1. W pracy przeprowadzono analizę osiadania rurociągu kanalizacyjnego, które pojawiło się w czasie budowy centrum handlowego w Wilnie.
2. Konieczność takiej analizy wynikała z dużych osiadań jakie zaobserwowano w trakcie budowy Centrum - nawet 30 cm.
3. Przeprowadzone obliczenia wskazują na możliwość takiego osiadania w warunkach gruntowych jakie nawiercono (torfy).
4. Z obliczeń wynika, że duże osiadania zostało wywołane ruchem pojazdów na drodze oraz obecnością w podłożu warstwy torfów o dużej miąższości.

4. Literatura

- [1] Bowles J., E., 1996, *Foundation analysis and design*, The McGraw – Hill Co., Inc.,
- [2] Meyer Z., Bednarek R., 7-10 June 1999, *Influence of coefficient of stress concentration in Froehlich's Formula upon calculating the settlement of weak layer in stratified soil*, XII Th European Conference On Soil Mechanics And Foundation Engineering, Amsterdam,
- [3] Meyer Z., Kowalów M., 23-26 May 2007, *Zmiana sposobu wzmocnienia gruntów słabych na Ostrowie Grabowskim w oparciu o badania konsolidacji torfów*, XXIII Międzynarodowa Konferencja "Awarie Budowlane"; Szczecin-Międzyzdroje,
- [4] Wiłun Z., *Zarys Geotechniki*, Warszawa, 1987,
- [5] GCO Report - 03.02. 2009, *Final Report - Settlements situation and approximate road and pipe settlement calculation in the road area after executing of bypass works*, Building III, Szczecin.