

ANALIZA EKONOMICZNA ZABEZPIECZENIA GŁĘBOKIEGO WYKOPU

Daniel ZIELEPUZA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Artykuł przedstawia analizę ekonomiczną zabezpieczenia głębokiego wykopu. Przedstawiono dwa warianty zabezpieczenia głębokiego wykopu: ścianę szczelinową i obudowę mieszaną w postaci ściany szczelinowej i ścianki szczelnej. Obliczenia parcia gruntu wykonano zgodnie z Eurokodem 7 analitycznie i za pomocą programu GEO5. Zabezpieczenie wykopu zaprojektowane zostało zgodnie z etapami jego wykonania. Dla obu wariantów przeprowadzono analizę ekonomiczną oraz analizę przemieszczeń konstrukcji zabezpieczającej wykop. W wyniku zastosowania obudowy mieszanej koszty były nieco niższe niż dla ściany szczelinowej.

Słowa kluczowe: zabezpieczenie głębokiego wykopu, ściana szczelinowa, ścianka szczelna, obudowa mieszana.

1. Wprowadzenie

Wzrost gęstości zabudowy miejskiej oraz mała przepustowość układów komunikacyjnych wymusza stosowanie coraz trudniejszych rozwiązań. Budowle podziemne są obecnie nieodzownym elementem budownictwa, widocznym zwłaszcza w dużych miastach, co wynika z braku nowych terenów inwestycyjnych w centrach miast. Rozwój budownictwa podziemnego umożliwia zaoszczędzenie powierzchni terenu i wykorzystanie jej, na przykład na tereny rekreacyjne.

Podczas realizacji kubaturowych budowli podziemnych konieczne jest wykonanie głębokich wykopów. Głębokie wykopu znajdują się często bardzo blisko istniejącej zabudowy. Wpływa to na ich dodatkowe obciążenie oraz wymusza ograniczenie przemieszczeń obudowy wykopu. W przypadku gęstej zabudowy nie ma możliwości wykonania wykopów ze skarpami o odpowiednim nachyleniu. Stosuje się więc zabezpieczenia ścian głębokich wykopów, najczęściej w postaci ścian szczelinowych, ścianek szczelnych, obudowy berlińskiej czy palisad. Takie rozwiązania stwarzają złożone zagadnienia i wymagają dużej odpowiedzialności od projektanta oraz staranności podczas wykonawstwa (Jarominiak, 1999; Grzegorzewicz, 2005; Siemińska-Lewandowska, 2011).

W przypadku występowania dodatkowych obciążeń od wrażliwej na osiadania zabudowy w otoczeniu wykopu oraz sprzętu budowlanego, należy w analizie statycznej przyjmować wartość parcia pomiędzy parciem czynnym, a spoczynkowym, tak zwane zwiększone parcie czynne lub parcie pośrednie (Siemińska-Lewandowska, 2006 i 2011). Wartość wypadkowej siły zwiększonego parcia czynnego wyznacza się ze wzoru:

$$E_{az} = 0,5(E_a + E_0) \quad (1)$$

lub

$$E_{az} = 0,75E_a + 0,25E_0 \quad (2)$$

gdzie: E_{az} jest wypadkową zwiększonego parcia czynnego gruntu, E_a jest wypadkową parcia czynnego, natomiast E_0 wypadkową parcia spoczynkowego.

Wzór (1) stosuje się dla obudowy wykopu, której naziom obciążony jest budynkami w bezpośrednim sąsiedztwie wykopu, natomiast wzór (2) w przypadku obciążenia naziomu jedynie sprzętem budowlanym (Siemińska-Lewandowska, 2006).

W niniejszej pracy przedstawiono analizę ekonomiczną zabezpieczenia głębokiego wykopu pod budynek handlowo-usługowy w Białymstoku. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch wariantów zabezpieczenia głębokiego wykopu w postaci ściany szczelinowej oraz obudowy mieszanej: ściany szczelinowej i ścianki szczelnej.

2. Projektowany obiekt

Projektowany budynek znajduje się w województwie podlaskim w centralnej części miasta Białegostoku. Jest to obiekt handlowo-usługowy z podziemnym parkingiem. Wymiary budynku wynoszą około 88×86 m, a powierzchnia użytkowa 19500 m². Budynek będzie wykonany w technologii szkieletowo-żelbetowej. Projektowane są dwie podziemne kondygnacje parkingowe. Ściany szczelinowe projektowanej obudowy wykopu stanowią ściany parkingu projektowanego

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.zielepuza@gmail.com

budynku.

Warunki gruntowo-wodne w miejscu projektowanego budynku określono na podstawie wyników wierceń badawczych zawartych w dokumentacji technicznej wykonanej przez firmę Uni-Geo (2013). Lokalizację punktów badawczych pokazano na rysunku 1.

W niniejszym opracowaniu poddano analizie projekt obudowy wykopu wzdłuż IV przekroju geotechnicznego (rys. 2). Stwierdzono występowanie kolejno od powierzchni terenu:

- nasypów i gleby do głębokości 0,4 – 1,3 m;
- utworów piaszczystych i piaszczysto-pylastych oraz warstewek pospółki przy stropie osadów gliniastych do głębokości około 6 – 9 m;
- utworów gliniastych (gliny zwałowe) z przewarstwieniami nawodnionych piasków drobnych miejscami pylastych do głębokości około 20 m.

W rejonie lokalizacji projektowanej inwestycji występuje również przypowierzchniowy poziom wodonośny. Wiercenia wykazały, iż w badanym podłożu występuje woda o swobodnym i napiętym zwierciadle. Głębokość zalegania swobodnego zwierciadła wynosiła od 2,2 m do 3,1 m p. p. t.. W odległości 1,5 km kierunku na NE przepływa rzeka Biała, która stanowi bazę drenażu dla wód powierzchniowych badanego terenu (Uni-Geo, 2013).

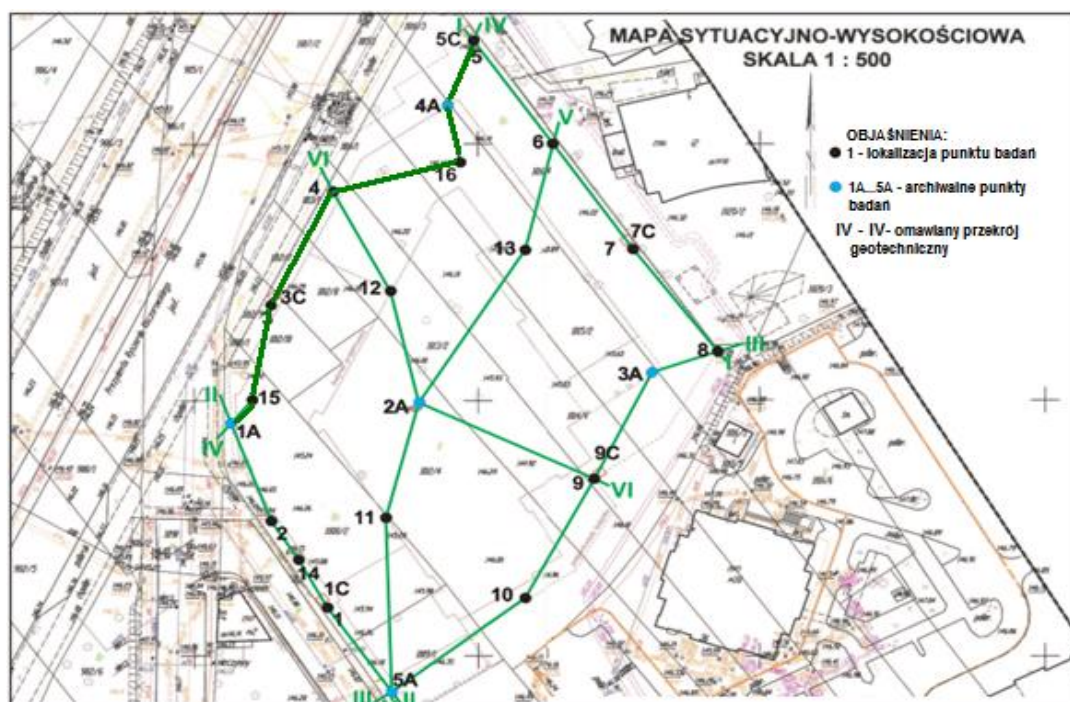
3. Projektowana konstrukcja zabezpieczenia wykopu

Obciążenie naziemu od strony IV przekroju geotechnicznego stanowi droga klasy G 2/3 o szerokości pasa ruchu 3,5 m. Jako pierwszy wariant przyjęto obudowę mieszaną, natomiast jako drugi ścianę

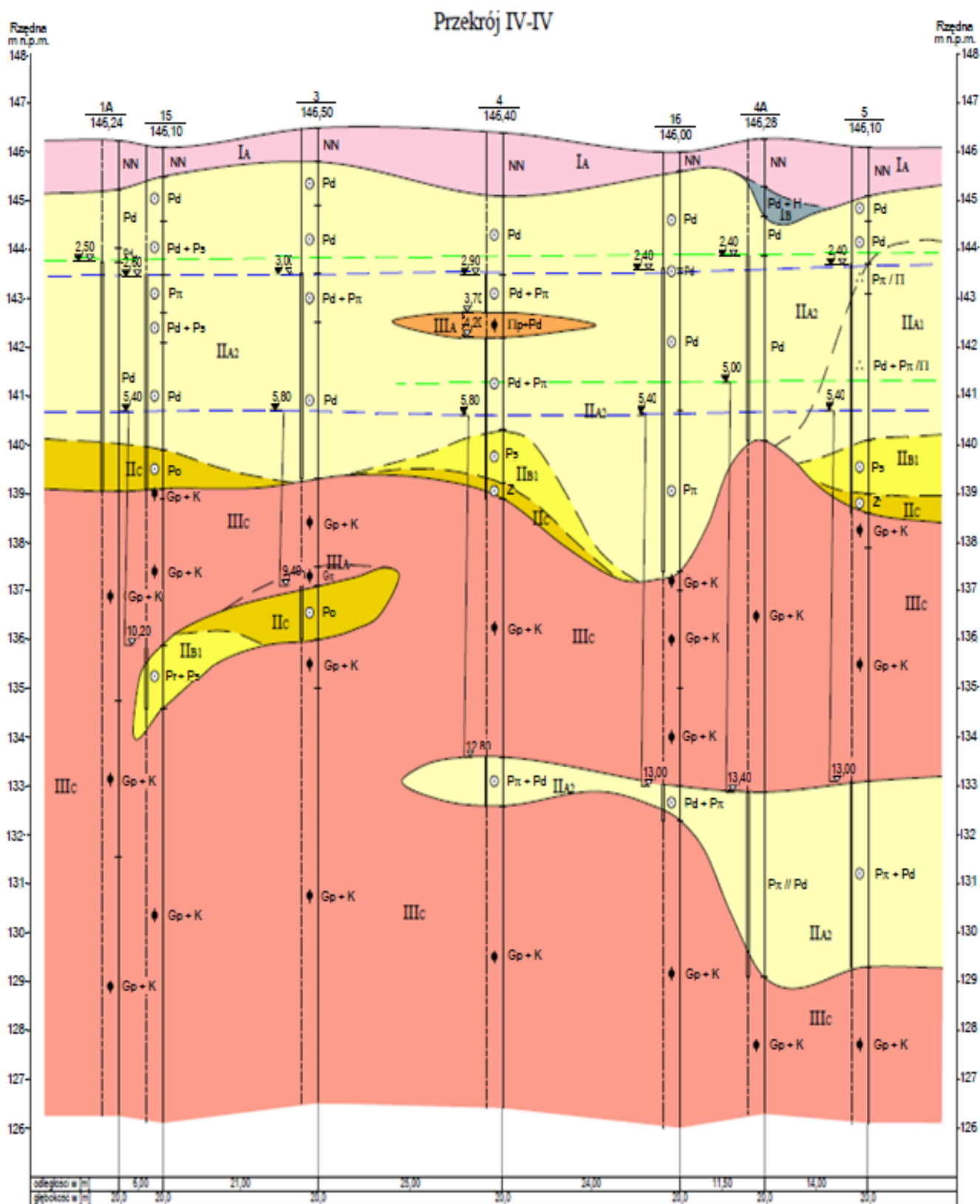
szczelinową na całej wysokości obudowy.

W celach projektowych założono, że obudowa mieszana została zaprojektowana jako ściana szczelinowa w dolnej części konstrukcji oraz ścianka szczelna w jej górnej części. Zdecydowano się na zastosowanie obudowy mieszanej, gdyż ściana szczelinowa stanowi oparcie dla stropu garażu podziemnego. W takich przypadkach często projektuje się obudowy mieszane, na przykład przy budowie stacji metra czy podziemnych parkingów (Siemińska-Lewandowska, 2011). Ściany szczelinowe nie stanowią oparcia dla ścian obiektu galerii handlowej, pełnią rolę jedynie konstrukcji ścian garażu podziemnego. Ścianę szczelinową przedłużono ścianką szczelną ze względu na wysoki poziom wody gruntowej. Z tego względu, w drugim wariantcie zaprojektowano ścianę szczelinową na całej wysokości. W obu przypadkach całkowita długość konstrukcji obudowy wynosi 90 m. Na długości 36 m zaprojektowano obudowę o wysokości 13,5 m, a na pozostałych 54 m o wysokości 12 m. W obu wariantach ściana szczelinowa jest ścianą żelbetową o grubości 80 cm. W przypadku obudowy mieszanej w jej górnej części obudową jest ścianka szczelna wykonana z grodzic typu VL 603 o stałej wysokości 3 m. Płytę denną zaprojektowano o grubości 100 cm, a grubość płyty stropowej kondygnacji podziemnej parkingu samochodowego wynosi 30 cm.

W projekcie przewidziano kotwienie obudowy w obu przypadkach jednym rzędem kotew gruntowych SAS 670/880 firmy ATH na głębokości 1,5 m p. p. t. Całkowita długość kotwy wynosi 10 m. Przyjęto długość buławy 5 m oraz część wolną 5 m. Średnica cięgna wynosi 28 mm. Rozstaw kotew dla jednej sekcji ściany szczelinowej przyjęto równy 3,00 m.



Rys. 1. Rozmieszczenie punktów badawczych (na podstawie dokumentacja badań podłoża gruntowego Uni-Geo, 2013)

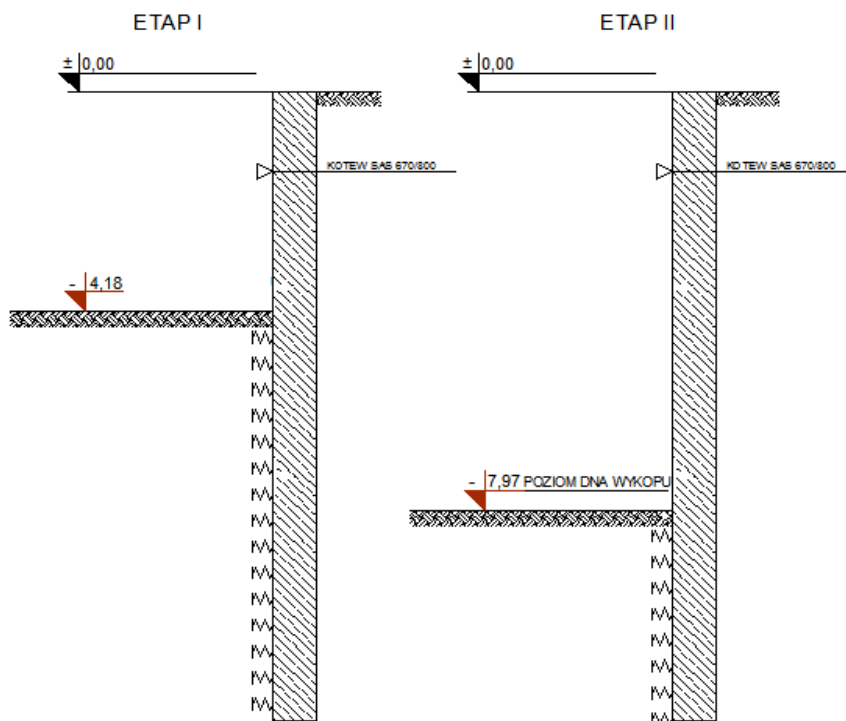


Rys. 2. Przekrój geotechniczny numer IV (na podstawie: Dokumentacja badań podłoża gruntowego Uni-Geo, 2013)

4. Obliczenia projektowe

Obliczenia przeprowadzono dla dwóch etapów wykonania konstrukcji obudowy wykopu (rys. 3). Dla pierwszego etapu obliczenia parcia gruntu wykonano dla głębokości wykopu 0,5 m poniżej poziomu pierwszego stropu. Dla drugiego etapu wyznaczono parcie gruntu przy głębokości odpowiadającej docelowej rzędnej dna wykopu. Uwzględniono również obciążenie od drogi klasy G 2/3. Obciążenia od konstrukcji nawierzchni

drogowej zestawiono w tabeli 1, zaś obciążenie zmienne od ruchu pojazdów w tabeli 2. Obliczenia wykonano zgodnie z PN-EN 1991-2:2007 *Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję. Część 2: Obciążenia ruchome mostów*, PN-EN 1997-1:2009 *Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne*, PN-EN 1997-2:2009 *Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*.



Rys. 3. Etapy wykonania obudowy wykopu

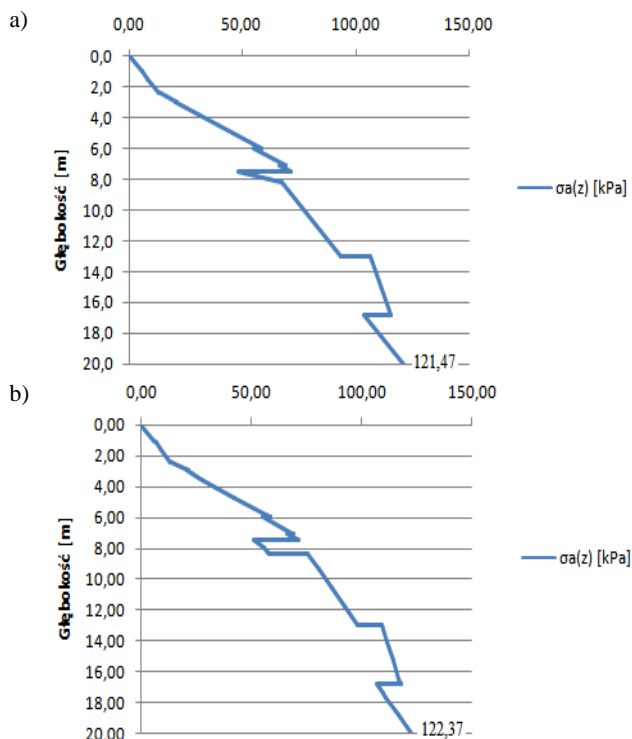
Tab. 1. Obciążenia od nawierzchni drogi na 1 metr bieżący

Rodzaj oddziaływania stałego	Wartość charakterystyczna [kN/m]	Współczynnik częściowy γ_G	Wartość obliczeniowa [kN/m]
Warstwa ścieralna asfaltowa $0,05\text{m} \cdot 23 \text{ kN/m}^2 \cdot 1\text{m} =$	1,15		1,55
Warstwa wiążąca asfaltowa $0,08\text{m} \cdot 22,5 \text{ kN/m}^2 \cdot 1\text{m} =$	1,8	1,35	2,43
Podbudowa z betonu asfaltowego $0,23\text{m} \cdot 22 \text{ kN/m}^2 \cdot 1\text{m} =$	5,06		6,83
Razem	8,01		10,81

Tab. 2. Obciążenia zmienne od naziomu na 1 m bieżący

Rodzaj oddziaływania zmiennego według PN-EN 1991-2:2007	Wartość charakterystyczna [kN/m]	Współczynnik częściowy γ_G	Wartość obliczeniowa [kN/m]
TS (q_{eqk})	90,91		125,46
UDL (q_{1k})	9,00	1,35	12,15
Wartość zredukowana obciążenia pieszymi lub ścieżek rowerowych q_{rk}	3,00		4,05
Razem	102,91		141,66

Obliczenia parcia czynnego na obudowę dla efektywnych parametrów gruntu wykonano analitycznie i z pomocą programu GEO5. Dokonano porównania uzyskanych wyników w celu weryfikacji poprawności obliczeń. Wykresy parcia pośredniego dla jednego z otworów badawczych wzdłuż IV przekroju geotechnicznego przedstawiono na rysunku 4. Wykresy parć różnią się jedynie nieznacznie, co potwierdza poprawność obliczeń.



Rys. 4. Wykres parcia pośredniego w pobliżu otworu numer 5 a) otrzymany metodą analityczną, b) otrzymany programem GEO5

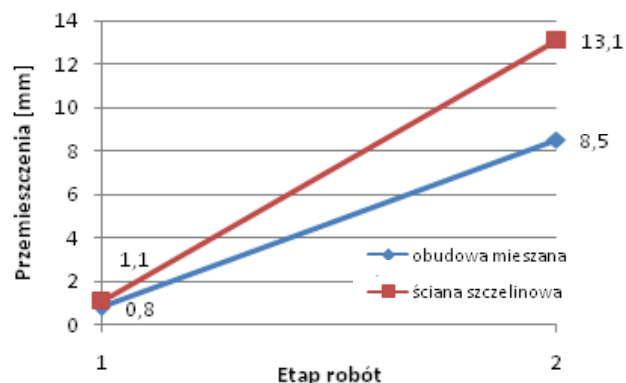
Maksymalne przemieszczenia korony ściany wywołane odkształceniem elementów konstrukcyjnych w kierunku poprzecznym obliczono, ze względu na brak procedury w Eurokodzie 7, według normy PN-83/B-03010 *Ściany oporowe. Obliczenia statyczne i projektowanie*.

$$f_3 < 0,004h \quad (3)$$

gdzie h jest całkowitą wysokością ściany i wynosi 12,0 m.

$$f_3 < 0,004 \cdot 12,0 = 0,048 \text{ [m]} = 48 \text{ [mm]} \quad (4)$$

Obliczenia przemieszczenia obudowy wykopu wykonano dla parcia pośredniego. Maksymalne przemieszczenia wyniosły dla obudowy mieszanej 8,5 mm oraz 13,1 mm dla ściany szczelinowej (rys. 5). Przemieszczenia ścian w obu wariantach są mniejsze niż 48 mm, więc warunek maksymalnych przemieszczeń został dla nich spełniony.



Rys. 5. Wykres przemieszczenia konstrukcji w pobliżu jednego z otworów wzdłuż IV przekroju geotechnicznego

Różnica przemieszczenia wynika z odmiennej sztywności obudowy wykopu w obu wariantach. Ściana szczelinowa wykazuje większe przemieszczenie niż obudowa mieszana. Wynika to z większej sztywności ściany szczelinowej, która jest mniej dociskana za pomocą kotwy gruntowej.

5. Analiza kosztów

Sporządzenie zestawienia kosztów wykonania obu zabezpieczeń wykopu ma na celu analizę ekonomiczności obu rozwiązań. Obliczenia wykonano w programie Norma PRO. Program umożliwia tworzenie kosztorysów oraz przedmiaru robót. Pozwala na określenie aktualnych cen sprzętu, materiałów oraz robocizny.

Całkowity koszt wykonania obudowy mieszanej (o długości 90 m) wyniósł 3.561.475,00 zł, natomiast cena ściany szczelinowej na tym samym odcinku to 3.882.665,00 zł (różnica kosztów wynosi ponad 300.000 zł).

Koszt wykonania ściany szczelinowej i obudowy mieszanej jako zabezpieczenia głębokiego wykopu różni się więc nieznacznie. Koszty wykonania 1 mb obudowy mieszanej wynosi 3.298 zł, natomiast ściany szczelinowej 3.595 zł, co zestawiono w tabeli 3. Niewielka różnica kosztów wynika z dużego podobieństwa zaprojektowanych zabezpieczeń, gdyż ściana szczelinowa stanowi 75% wysokości obudowy mieszanej.

Tab. 3. Porównanie kosztów obu wariantów obudowy wykopu

Rodzaj obudowy	Koszt wykonania 90,0 m obudowy [zł]	Koszt wykonania 1 mb obudowy [zł]
Obudowa mieszana	3.561.475,00	3.298,00
Ściana szczelinowa	3.882.665,00	3.595,00

6. Podsumowanie

Podsumowując przeprowadzone obliczenia należy stwierdzić, że różnica w kosztach zabezpieczenia głębokiego wykopu ścianą szczelinową i obudową mieszaną jest mniejsza niż 10%, co wynika z niewielkiej wysokości zastosowanej ścianki szczelnej w obudowie mieszanej. Ścianka szczelna jest bowiem konstrukcją tańszą niż ściana szczelinowa. W przypadku realizacji obudowy mieszanej występują dodatkowe trudności z połączeniem ściany szczelinowej i profili ścianki szczelnej. Należy także dodać, że przemieszczenia obudowy mieszanej są mniejsze niż ściany szczelinowej.

Literatura

- Grzegorzewicz (2005). Projektowanie i wykonywanie ścian szczelinowych. *Geoinżynieria, Drogi, Mosty, Tunele*, 3/2005.
- Jarominiak A. (1999). Lekkie konstrukcje oporowe. *WKiŁ*, Warszawa.

- Siemińska-Lewandowska A. (2011). Głębokie wykopy. Projektowanie i wykonawstwo. *WKŁ*, Warszawa.
- Siemińska-Lewandowska A. (2006). Projektowanie ścian głębokich wykopów – teoria i praktyka. *Geoinżynieria, Drogi, Mosty, Tunele*, 2/2006.
- Uni-Geo (2013). Dokumentacja badań podłoża gruntowego. *Uni-Geo*.

ECONOMICAL ANALYSIS OF A DEEP EXCAVATION SUPPORTING SYSTEMS

Abstract: The paper aim is to analyse the costs of support of a deep excavation. The paper presents two variants of support of a deep excavation: mixed wall and diaphragm wall, in designed building of commercial centre. Calculations of pressure for both solutions were performed by analytical method according to Eurocode 7 and means of programme GEO5. The support of excavation required two stages of designing, so calculations was divided into two phases. For both structures the economic analysis and displacement analysis were made. In was stated that mixed wall is more economical than diaphragm wall.