



ProKonGeo

PROJEKTOWANIE KONSTRUKCJI GEOTECHNICZNYCH

MGR INŻ. TOMASZ KOWALSKI

UL. SIKORKI 12/53, 31-589 KRAKÓW

TEL. 505-480-194

E-MAIL: BIURO@PROKONGEO.PL

REGON 122546724, NIP 836-156-28-12


PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO

**ZADANIE: BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2
WOJEWÓDZTWO POMORSKIE, POWIAT GDAŃSKI**

TYTUŁ: PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO

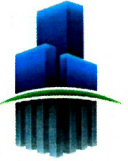
**OBIEKTY: WIADUKT WD1 NAD DROGĄ KRAJOWĄ DK 91
oraz MOSTY M1, M2 i M3 NAD KANAŁEM RADUNI**

Rodzaj opracowania:	PROJEKT WYKONAWCZY BRANŻA GEOTECHNICZNA	
Numer tomu:	II/5	
Inwestor:	Gmina Miejska Pruszcz Gdański ul. Grunwaldzka 20 83-000 Pruszcz Gdański	
Projektant:	mgr inż. Tomasz KOWALSKI Uprawnienia do projektowania bez ograniczeń w specjalności konstrukcyjno-budowlanej Nr ewid. MAP/0122/POOK/10 Specjalizacja geotechniczna MAP/0332/Sp-PBKb/19	
Wykonano:	Kraków, Listopad 2022	

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA


ZAWARTOŚĆ PROJEKTU WYKONAWCZEGO

- II/1 **BRANŻA DROGOWA**
- II/2.1 **BRANŻA MOSTOWA**
Mosty M1, M2 i M3 nad Kanałem Raduni,
- II/2.2 **BRANŻA MOSTOWA**
Przejazd pieszo rowerowy PPR-3,
- II/2.3 **BRANŻA MOSTOWA**
Wiadukt WD1 nad drogą krajową DK 91
- II/2.4 **BRANŻA MOSTOWA**
Mury oporowe
- II/3.1 **BRANŻA SANITARNA**
Sieć kanalizacji sanitarnej
- II/3.2 **BRANŻA SANITARNA**
Sieć kanalizacji deszczowej
- II/4.1 **BRANŻA ELEKTROENERGETYCZNA**
Projekt oświetlenia, usunięcia kolizji elektroenergetycznych
- II/4.2 **BRANŻA TELEKOMUNIKACYJNA**
Projekt kanału technologicznego, usunięcia kolizji telekomunikacyjnych
- II/5 Branża geotechniczna**
Projekt wzmocnienia podłoża gruntowego

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 2
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

SPIS TREŚCI.

I. OPIS TECHNICZNY	3
1 WSTĘP	3
1.1 Przedmiot opracowania	3
1.2 Cel i zakres opracowania	3
1.3 Materiały wyjściowe	4
2 PODSTAWOWE DANE TECHNICZNE	5
2.1 Założenia i ustalenia projektowe	5
2.1.1 Zakres obszaru wzmocnień podłoża gruntowego	5
2.1.2 Zachodni obszar mostów M1, M2 i M3 (PPR3)	5
2.1.3 Wschodni obszar mostów M1, M2 i M3 i zachodni obszar wiaduktu WD1 (M01-M05; M01-M03)	5
2.1.4 Wschodni obszar wiaduktu WD1 (M02-M04; M02)	5
2.2 Założenia geometryczne	6
2.3 Warunki lokalizacyjne	6
2.4 Warunki gruntowo wodne	7
3 ROZWIĄZANIE PROJEKTOWE	8
3.1 Opis rozwiązania	8
3.2 Rodzaj zastosowanych materiałów	9
3.2.1 Kruszywo naturalne	9
3.2.2 Kolumny betonowe	9
3.2.3 Zbrojenie kolumn	9
3.2.4 Materiał geosyntetyczny	10
3.3 Zalecenia wykonawcze	10
3.3.1 Roboty ziemne	10
3.3.2 Roboty wiertnicze (kolumny wzmacniające)	11
3.3.3 Warstwa transmisyjna	12
3.3.4 Zakres badań kruszywa	13
3.3.5 Etapy realizacji	13
4 SPRAWOZDANIE Z OBLICZEŃ	14
4.1 Metodologia obliczeń	14
4.2 Stan graniczny użytkowości	14
4.2.1 Obszar obliczeniowy w otoczeniu MPPR3	15
4.2.2 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M01-M05	16
4.2.3 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M01-M03	18
4.2.4 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M02-M04	21
4.2.5 Obszar obliczeniowy w zakresie ciągu konstrukcji M02	22
4.2.6 Obszar obliczeniowy w wysokiego nasypu w układzie osiowosymetrycznym	24
4.2.7 Obszar obliczeniowy w zakresie ciągu nasypu za konstrukcją M05	25
4.2.8 Podsumowanie	25
4.3 Stan graniczny nośności	26
4.4 Warstwa transmisyjna	27
5 ZAŁĄCZNIKI DO OPISU TECHNICZNEGO	28
II. CZĘŚĆ RYSUNKOWA	30
Rys. Nr 1. PLAN SYTUACYJNY	
Rys. Nr 2. PLAN WZMOCNIENIA PODŁOŻA – CZĘŚĆ A	
Rys. Nr 3. PLAN WZMOCNIENIA PODŁOŻA – CZĘŚĆ B	
Rys. Nr 4. PRZEKROJE PPR3, M01-M05, M01-M03, M02-M04	
Rys. Nr 5. PRZEKRÓJ M02	

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 3
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

I. OPIS TECHNICZNY

1 WSTĘP

1.1 PRZEDMIOT OPRACOWANIA

Inwestycja zlokalizowana jest na terenie województwa pomorskiego, w powiecie gdańskim na terenie miasta Pruszcz Gdański.

Przedmiotem opracowania jest projekt wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasypy dojazdowe dla Wiaduktu WD1 (nad drogą krajową DK 91), Mostów M1, M2 i M3 (nad kanałem Raduni) oraz wzmocnienia podłoża gruntowego pod mury oporowe z gruntu zbrojonego (MO1, MO2, MO3, MO4 i MO5), ograniczających nasyp drogowy projektowanych łącznic.

Obiekty są realizowane w ramach inwestycji polegającej na budowie ul. Strzeleckiego łączącej drogę krajową DK91 (ul. Grunwaldzka) z wykonaniem w ramach „Projektu układu drogowego Osiedla Strzeleckiego w Pruszczu Gdańskim” (Decyzja o pozwoleniu na budowę nr 1255/2008, AB.7351-139/08/MP z dn. 08.09.2008 r.) odcinkiem ul. Strzeleckiego – ETAP 1 - odcinek od km 0+000 do 0+404 (wg SIWZ 0+446,74 do km 0+813,76)

1.2 CEL I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem niniejszego opracowania jest projekt wykonawczy obejmujący wzmocnienie podłoża i ocenę warunków posadowienia.

W **zakres** opracowania wchodzi:


- Analiza obliczeniowa w celu ustalenia warunków posadowienia.
- Definicja geometryczna rozmieszczenia elementów głębokiego wzmocnienia podłoża.
- Weryfikacja projektowanego obciążenia względem warunków posadowienia i stanu granicznego nośności podłoża.
- Wytyczne dla robót ziemnych fazy wzmocnienia podłoża oraz specyfikacja materiałowa.

Niniejszy projekt swoim zakresem **nie obejmuje**:

- Projekt nie obejmuje elementów konstrukcyjnych fundamentów (obiektów konstrukcyjnych przepustu, wiaduktu, mostów)
- Projekt nie obejmuje zakresu robót ziemnych korpusu nasypów oraz analizy stateczności nasypów i murów oporowych.
- Nie ujęto wzmocnień podłoża gruntowego w obszarach o wysokości nasypu poniżej 2m, gdzie doprowadzenie do odpowiedniej grupy nośności podłoża nawierzchni (G) jest w zakresie projektu drogowego.
- Projekt nie obejmuje systemu drenażowego oraz odprowadzenia wód powierzchniowych (odwodnienia).

Projekt nie ingeruje w postanowienia branży konstrukcyjnej/mostowej jako nadrzędnych w zakresie kompleksowego projektu obiektów.

Projekt jest częścią składową dokumentacji projektowej związanej z realizacją całości inwestycji.


	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 4
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

1.3 MATERIAŁY WYJŚCIOWE

Materiałami wyjściowymi do opracowania projektu posadowienia są następujące dokumenty przekazane przez Zamawiającego:

- Opinia geotechniczna wraz z dokumentacją badań podłoża dla projektu „Budowa ul. Strzeleckiego w Pruszczu Gdańskim”; Przedsiębiorstwo Usługowe GeoTim Maja Sobocińska, ul. Zamojska 15c/2, 80-180 Gdańsk; Październik 2020 r.
- Plan Sytuacyjny (Etap 2 – Arkusz 2) – skala 1:500
- Projekt Architektoniczno Budowlany Wiaduktu WD1 nad drogą krajową DK 91; Pracownia Inżynierska Creator, Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp. k. ul. Damroki 1/F6, F7, 80-177 Gdańsk; Gdynia, sierpień 2021 r.
- Projekt Architektoniczno Budowlany Mostów M1, M2 i M3 nad kanałem Raduni; Pracownia Inżynierska Creator, Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp. k. ul. Damroki 1/F6, F7, 80-177 Gdańsk; Gdynia, sierpień 2021 r.
- Projekt Architektoniczno Budowlany Murów Oporowych; Pracownia Inżynierska Creator, Spółka z ograniczoną odpowiedzialnością Sp. k. ul. Damroki 1/F6, F7, 80-177 Gdańsk; Gdynia, sierpień 2021 r.

Przedmiotowy projekt należy rozpatrywać łącznie ze wspomnianą dokumentacją z badań geotechnicznych podłoża gruntowego oraz z pozostałymi częściami projektu architektoniczno budowlanego inwestycji, ze szczególnym uwzględnieniem opracowań dotyczących projektowanych instalacji mogących kolidować z wzmocnieniem podłoża.

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 5
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

2 PODSTAWOWE DANE TECHNICZNE

2.1 ZAŁOŻENIA I USTALENIA PROJEKTOWE

2.1.1 Zakres obszaru wzmocnień podłoża gruntowego

Niniejsze opracowanie obejmuje wzmocnienia podłoża gruntowego w związku z budową murów oporowych z gruntu zbrojonego (MO1, MO2, MO3, MO4 i MO5) ograniczających nasyp drogowy projektowanych łącznic. Ponadto wzmocnieniu podłoża podlega również nasyp drogowy znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów inżynierskich (M1, M2, M3 i WD1). W strukturę wzmacnianego podłoża nasypu zalicza się również lokalizację przepustu PPR3 co jednocześnie stanowi poprawę jego warunków posadowienia. Zaproponowano również wymianę gruntu pod nasypami drogowymi o istotnej wysokości (>2m).

Nie objęto wzmocnieniami podłoża obszarów o wysokości nasypu poniżej 2m, klasyfikując te odcinki dróg jako objęte konwencjonalnym projektowaniem konstrukcji nawierzchni w zakresie branży drogowej.

Poniżej wyróżniono obszary wzmocnień (obszary obliczeniowe) szczegółowo zaprezentowane w części rysunkowej.

2.1.2 Zachodni obszar mostów M1, M2 i M3 (PPR3)

Jest to obszar nasypu bezpośrednio przyległego do mostów M1, M2 i M3 oraz przepustu PPR3. Obszar ten ograniczony jest skarpami oraz murami oporowymi, kształtującymi skrzydła mostów M1 oraz M3. Obszar wzmocnień obejmuje również podłoże gruntowe przepustu PPR3. Ta lokalizacja na etapie analiz została objęta przekrojem obliczeniowym oznaczonym jako **PPR3**.


2.1.3 Wschodni obszar mostów M1, M2 i M3 i zachodni obszar wiaduktu WD1 (M01-M05; M01-M03)

Jest to obszar nasypu bezpośrednio przyległego do mostów M1, M2 i M3, ograniczony murami M01 i M05, wraz ze skarpami nasypu dojazdowego do Mostu M3. Mur oporowy MO1 biegnie od mostu M2 nad Kanałem Raduni do wiaduktu WD1 wzdłuż prawej krawędzi łącznicy Ł3 – początek muru w km 0+611,10, koniec 0+652,18. Natomiast mur oporowy MO5 kształtuje skrzydło mostu M1. Ta lokalizacja na etapie analiz została objęta przekrojem obliczeniowym oznaczonym jako **M01-M05**.

Ponadto przedmiotowy obszar wzmocnień zawiera też nasyp między murem oporowym M01 i MO3. Mur oporowy M03 to ukośny mur utrzymujący nasyp po stronie północnej wiaduktu WD-1, przy podporze w osi 1. Ta lokalizacja na etapie analiz została objęta przekrojem obliczeniowym oznaczonym jako **M01-M03**.

2.1.4 Wschodni obszar wiaduktu WD1 (M02-M04; M02)

Jest to obszar nasypu bezpośrednio przyległego do wiaduktu WD1 od strony wschodniej i ograniczony murami M02 i M04. W zasadniczej części obszar wzmocnień pokrywa ciąg muru oporowego M02 i przyległy nasyp drogowy. Mur oporowy MO2 biegnie od wiaduktu WD1 w kierunku drogi krajowej DK 91 wzdłuż prawej krawędzi łącznicy Ł3 - początek muru w km 0+668,53, koniec 0+774,70. Natomiast mur oporowy MO4 to ukośny mur utrzymujący nasyp po stronie północnej wiaduktu WD1, przy podporze w osi 2. Ta lokalizacja na etapie analiz została objęta przekrojami obliczeniowymi oznaczonymi jako **M02-M04** oraz **M02**.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 6
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

2.2 ZAŁOŻENIA GEOMETRYCZNE

W niniejszym Projekcie przyjęto następujące założenia względem istotnych rzędnych wysokościowych:

- a. Dla przedsięwzięcia nie określono zera budowy i rzędne wysokościowe mają wymiar bezwzględny wyrażony w „m n.p.m.”
- b. Poziomy wzmocnień są ściśle zależne od poziomu posadowienia murów oporowych. Wyróżnia się następujące rzędne poziomu posadowienia w poszczególnych obszarach wzmocnień (zgodnie z 2.1), które są tożsame z rzędnymi głowicy kolumn wzmacniających:
 - PPR3 9,80m n.p.m.
 - M01-M05 9,30m n.p.m.
 - M01-M03 7,00m n.p.m.
 - M02-M04 4,20m n.p.m. oraz 7,00m n.p.m.
 - M02 4,20m n.p.m. oraz 7,00m n.p.m. (większość zakresu)
- c. Rzędna wymiany gruntu
 - Wymiana podłoża rodzimego zachodzi w każdej z wyżej wymienionej lokalizacji obszarów podlegających głębokiemu wzmocnieniu podłoża. Ponadto zaproponowano wymianę gruntu pod nasypami jak niżej.
 - Nasyp przy obszarze PPR3 8,80m n.p.m. oraz 9,80m n.p.m.
 - Nasyp przy murze M01 10,30m n.p.m.
 - Nasyp za murem M05 9,30m n.p.m. oraz 10,30m n.p.m.

2. Platformę roboczą dla realizacji kolumn należy wykonać na warstwie stabilizowanej, 20-50cm powyżej poziomu kolumn.

Koncepcja projektową przyjęto w oparciu o dostępne założenia geometryczne zawarte w części rysunkowej konstrukcji.


Zgodnie z branżą drogową nasypy drogowe jest scharakteryzowany pochyleniem skarpy 1:1,5.

2.3 WARUNKI LOKALIZACYJNE

W stanie istniejącym w przedmiotowej lokalizacji przebiega droga krajowa DK91 zlokalizowana pomiędzy Kanałem Raduni (od zachodu) a rzeką Radunia (od wschodu). Po zachodniej stronie kanału Raduni znajduje się teren niezabudowany przeznaczony w większości pod zabudowę mieszkaniowo-usługową. W zakresie objętym niniejszym projektem nie występują istniejące obiekty inżynierskie.

Klasy ekspozycji dla poszczególnych elementów konstrukcyjnych to w wymiarze wzmocnienia podłoża:

- Pale XC2+XA1 (wg PN-EN 206-1)
- Fundamenty XC2+XA1

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 7
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

2.4 WARUNKI GRUNTOWO WODNE

W oparciu o rozpoznanie podłoża zawarte w opracowaniu opisującym geotechniczne warunki posadowienia, wyróżnia się następujące:

- Antropogeniczne nasypy niebudowlane nN

Warstwa nasypu niekontrolowanego nie jest zdefiniowana przez dostępną dokumentację i nie jest dostępna jej charakterystyka geotechniczna oraz mechaniczna. Zaleca się przeprowadzenie rozpoznania tej warstwy wraz z wyznaczeniem geotechnicznych parametrów wiodących. Na etapie sporządzania projektu przyjęto zasadnicze założenie minimalnego efektywnego kąta tarcia wewnętrznego nasypu o wartości $\varphi=25^\circ$ oraz sztywności wyrażonej zastępczym modułem Younga $E'=5$ MPa.

- Gliny piaszczyste w stanie miękkoplastycznym lub plastycznym

Są to osady zastoiskowe i deluwialne zdefiniowane najczęściej warstwą geotechniczną Ia lub Ib.

- Piaski drobne, pylaste średnie i żwiry w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym

Są to osady wodnolodowcowe zdefiniowane najczęściej warstwą geotechniczną IIIa i IIIb


- Piaski gliniaste i gliny piaszczyste oraz pyły w stanie plastycznym i twardoplastycznym

Są to osady wodnolodowcowe zdefiniowane najczęściej warstwą geotechniczną IIb i IIc

Dane geologiczne przyjęto w oparciu o materiały wymienione w punkcie 1.3 niniejszego opracowania. Uwarstwienie przyjęto w oparciu o geotechniczny profil podłużny i karty otworów.

W dokumentowanym podłożu stwierdzono występowania wód gruntowych o zwierciadle swobodnym, napiętym oraz zawieszonym z warstwami gruntów antropogenicznych oraz na warstwach gruntów spoistych. Ustabilizowany poziom wód gruntowych znajduje się na głębokościach 1,1 – 3,0m ppt.

Obliczeniowe poziomy wód gruntowych przyjęto w oparciu o zaznaczone na kartach otworów z uwzględnieniem wahań sezonowych (w zależności od pory roku oraz ilości opadów atmosferycznych).

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 8
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

3 ROZWIĄZANIE PROJEKTOWE

3.1 OPIS ROZWIĄZANIA

Dla projektowanych obszarów przyjęto dwa rozwiązania:

- Wymiana podłoża gruntowego

Dla wysokich nasypów wskazanych w części rysunkowej (>2m), projektuje się wymianę gruntu na głębokość około **1.0m** lub **2.0m**, poniżej poziomu istniejącego terenu. Rzędne przywołano w punkcie 2.2. Przewiduje się wykonanie zasypki z gruntu zagęszczonego.

Materiał wypełniający usuniętą warstwę (najczęściej nasypów antropogenicznych) stanowi kruszywo łamane, które powinno zostać poddane badaniom w celu określenia wybranych jego klas (jak wyspecyfikowano w podrozdziale 3.3.4). Materiał służący wymianie został określony w podrozdziale 3.2.1.

W obszarach, gdzie w poziomie spodu wymiany zalegają grunty spoiste, należy ułożyć **warstwę separacyjną geowłókniny**.

- Posadowienie na wzmocnionym podłożu

Dla posadowienia na wzmocnionym podłożu projektuje się zastosowanie kolumn betonowych oraz zbrojonych o średnicy **Ø400mm** i **długości 6.0m** oraz **8.0m**. Podstawa kolumn jest osadzona w warstwie rodzimej o odpowiedniej sztywności. Rozstaw kolumn jest zmienny i został przedstawiony w części rysunkowej. Najczęściej rozstaw wynosi **~1.5 x 1.5m** w układzie siatki kwadratowej.

Na kolumnach należy wykonać warstwę transmisyjną o miąższości minimum **0.5m** wraz z ułożeniem zbrojenia **dwoma** warstwami **geotkaniny**. Warstwa transmisyjna ma za zadanie zapewnić korzystną redystrybucję naprężeń z nasypu na podłożu wzmocnione systemem kolumn. Materiał służący zasypce oraz zbrojeniu został określony odpowiednio w podrozdziałach 3.2.1 i 3.2.4. Wykonanie warstwy transmisyjnej opisano w punkcie 3.3.3.


W obszarze murów oporowych z gruntu zbrojonego, przewiduje się zastosowanie stalowego zbrojenia sztywnego kolumn. Rozważne długości zbrojonej kolumn to:

- **4.0m zbrojenia** dla kolumn o długości 6.0m
- **6.0m zbrojenia** dla kolumn o długości 8.0m

W punkcie 3.2.3 zdefiniowano profil stalowy służący wykonaniu zbrojenia kolumn.

Rzędne zarówno spodu wymiany jak i górny poziom kolumn betonowych jest zmienny dla każdego obiektu, co również przedstawiono w części rysunkowej i zasygnalizowano powyżej w punkcie 2.2.

Geosystem (wzmocnienie kolumnami – materac geosyntetyczny) zapewnia istotną redukcję deformacji w obszarze najłabszych gruntów w górnej części profilu. Przede wszystkim redukuje ryzyko nierównomiernego osiadania. Redukcja osiadań jest realizowana przez przeniesienie obciążeń z nasypu w głębsze warstwy charakteryzujące się większą sztywnością. Kompozytowy system kolumn i gruntu zawartego między nimi, stanowi zasadnicze wzmocnienie podłoża. Dla prawidłowej współpracy systemu, przewiduje się wykonanie wieńczącej warstwy transmisyjnej. Warstwa ta pełni funkcję posadowienia korpusu nasypu i tym samym stanowi integralną część projektowanego nasypu. Projekt nasypu stanowi odrębne opracowania branżowe.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 9
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

3.2 RODZAJ ZASTOSOWANYCH MATERIAŁÓW

3.2.1 Kruszywo naturalne

Kruszywo gruboziarniste (naturalne) stanowiące materiał nasypu kontrolowanego (wymiany podłoża) jak i układane w warstwie transmisyjnej (pod konstrukcją fundamentu lica murów oporowych oraz w przekryciu kolumn wzmacniających) powinno spełniać następujące kryteria:

- powinny spełniać wymagania PN-EN 13242:2010
- wskaźnik zagęszczenia $I_s = 1,00$
- wielkości ziaren (kruszywo frakcji) 31.5 – 63mm
- zaleca się stosować kruszywo łamane o klasie G_c 90/20 (PN-EN 13043)
- wskaźnik różnoziarnistości C_u powinien być wyższy niż 5 (zgodnie z PN-B-04481)
- wskaźnik krzywizny uziarnienia C_c powinien być wyższy niż 1
- maksymalna zawartość cząstek przechodzących przez sito 0,063 mm, 15%
- zawartość części organicznych w gruncie do zasypek nie powinna przekraczać 2%
- współczynnik filtracji powinien wynosić $k_{10} > 5$ m/dobę
- wskaźnik piaskowy dla gruntów niespoistych > 35 (badany wg PN-EN 933-8:2001)
- kapilarność bierna $< 1,0$ m (badana wg PN-B-04493:1960)
- gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $> 1,6$ g/cm³ (badana wg PN-B-04481)
- Odczyn pH 6 do 9
- odporności na rozdrabnianie kruszywa grubego (wyznaczenie wartości współczynnika Los Angeles)
 $LA < 60$
- maksymalna nasiąkliwość kruszywa oznaczono po 24 nasączeniu wodą $< 2\%$ (WA24 2)

3.2.2 Kolumny betonowe

Dla wszystkich projektowanych kolumn zastosowano beton klasy C20/25 (B25).

Beton powinien być wykonany na kruszywie żwirowym (nie wolno używać kruszywa łamanego), dostosowany do podawania rurami „Contractor”.


Kolumny betonowe przewidziano zarówno jako niezbrojone jak i zbrojone (w lokalizacjach przyległych do lica murów oporowych).

Kolumny przyjęto jako wykonywane w technologii CFA. Dopuszcza się zastosowanie kolumn wykonywanych w innych technologiach pod warunkiem osiągnięcia odpowiednich gabarytów kolumn.

3.2.3 Zbrojenie kolumn

Zbrojenie kolumn betonowych przewidziano w postaci kształtowników walcowanych HEB 200, ze stali gatunku S355 lub innej o nie mniejszej wytrzymałości.

Zbrojenie jest umieszczane w lokalizacjach bezpośrednio przyległych licu murów oporowych, co wskazano w części rysunkowej. Półka kształtownika powinna zostać umieszczona zgodnie z płaszczyzną muru oporowego.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 10
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

3.2.4 Materiał geosyntetyczny

Warstwę transmisyjną należy zazbroić dwiema warstwami materiału geosyntetycznego (na grubości materaca 0,5m), o następującej charakterystyce:

- Jednokierunkowa geotkanina poliestrowa.
- Minimalna krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie materiału geotekstylnego 400kN/m (wzdłuż pasm).
- Materiał geotekstylny powinien charakteryzować się odkształceniem przy zerwaniu nieprzekraczającym 12%.
- Nie specyfikuje się innych właściwości (jak masa powierzchniowa).
- Dopuszcza się zmianę użytego materiału geotekstylnego po zatwierdzeniu zmiany z autorem niniejszego opracowania.

3.3 ZALECENIA WYKONAWCZE

Zaleca się by przed rozpoczęciem robót zostały ustalone, pomiędzy Kierownikiem Robót a Przedstawicielem Generalnego Wykonawcy, wymagania szczegółowe dotyczące nadzoru w czasie robót. W przypadku stwierdzenia jakichkolwiek nieprawidłowości w trakcie robót, należy niezwłocznie przerwać prace i poinformować projektanta w celu weryfikacji przyjętych założeń projektowych.

Należy zapoznać się ze stanem i rozmieszczeniem istniejącego uzbrojenia podziemnego w obszarze prowadzonych prac oraz zlecić nadzór nad prowadzonymi robotami właścicielom lub administratorom tego uzbrojenia.

Szczególne uwagę należy zwrócić na proces usunięcia zalegających fundamentów obiektów istniejących, a zwłaszcza likwidacji wszelkich pustek takich jak potencjalne kanały technologiczne lub sanitarne.


3.3.1 Roboty ziemne

Pochylenie skarp wykopów tymczasowych dla realizacji fundamentu i wymiany powinny wynosić co najmniej 1:1.5 dla zapewnienia ich lokalnej stateczności.

W odniesieniu do robót ziemnych ważność zachowują zalecenia normy PN-B-06050:1999 oraz Instrukcja ITB Nr 427/2007 (zeszyt 1: Roboty ziemne).

Zasypkę należy układać warstwami o grubości nie większej niż 25cm. Odchylenia od wilgotności optymalnej w trakcie zagęszczania zasyпки nie powinny przekraczać 2% lub od -20% do +10% jej wartości (wilgotność optymalną należy oznaczać na podstawie próby normalnej metodą I wg PN-B-04481)

Przed realizacją zadania zaleca się wyznaczenie charakterystyki mechanicznej antropogenicznych gruntów stanowiących zasadniczą miąższość rozpatrywanego profilu geotechnicznego. Zaleca się wyznaczeniem geotechnicznych parametrów wiodących a w szczególności potwierdzenie założenia projektowego zawartego w podrozdziale 2.4.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 11
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

3.3.2 Roboty wiertnicze (kolumny wzmacniające)

W projekcie pokazano schemat rozmieszczenia kolumn na rzucie sytuacyjnym. Lokalizacja kolumn powinna być wykonana pod nadzorem przedstawiciela Inwestora. Punkty wyznaczające osie kolumn muszą być oznaczone w sposób trwały na gruncie i możliwe do odtworzenia w każdej fazie robót palowych.

Kolumny przyjęto jako wykonywane w technologii CFA. Są zatem wykonywane poprzez pogrążanie świdra, z minimalnym odprowadzaniem urobku, przez co nie występuje rozluźnienie gruntu otaczającego i tym samym uzyskiwane są znacznie wyższe nośności wzdłuż pobocznic kolumny niż w kolumnach innych typów. Wiercenie odbywa się świdrem ślimakowym, w którego centralnej części znajduje się przewód umożliwiający tłoczenie betonu podczas wykonywania kolumny. Przewód niniejszy jest zamknięty podczas pogrążania świdra. W momencie osiągnięcia żądanej głębokości świdra (a tym samym projektowanej głębokości zapuszczenia kolumny) przewód centralny zostaje otwarty. Następuje powolne podciąganie świdra z równoczesnym pompowaniem betonu przez przewód rdzeniowy. Ponieważ beton pompowany jest pod ciśnieniem nie ma zjawiska rozluźnienia ścian otworu, a tym samym następuje dokładne wypełnienie odwiertu. W momencie zakończenia betonowania natychmiast wprowadza się zbrojenie. Technologia ta może być zastosowana praktycznie we wszystkich rodzajach gruntów, zarówno sypkich i spoistych.

Sposób prowadzenia robót nie powinien naruszać interesu osób trzecich.

W przypadku wystąpienia w trakcie robót wiertniczych innych warunków geotechnicznych niż to jest określone w dokumentacji, należy skontaktować się z projektantem w celu podjęcia odpowiednich kroków oraz należy bezzwłocznie skonsultować się z geologiem. W szczególności należy każdorazowo potwierdzić osadzenie podstawy kolumn w nośnym gruncie rodzimym.

Platformę roboczą dla realizacji kolumn należy wykonać na dowolnym poziomie by możliwa była optymalna realizacja zaprojektowanego zakresu. Ma to odniesienie do zmiennego poziomu posadowienia poszczególnych nowoprojektowanych sąsiadujących obiektów. Dopuszcza się wykonanie kolumn i formowanie ich górnego zwieńczenia z wyższego poziomu platformy.


Przed rozpoczęciem robót należy zlokalizować wszystkie urządzenia obce mogące kolidować z projektowanymi kolumnami. W przypadku takim należy dokonać korekty położenia kolumny. Należy zachować wymagane przepisami odległości kolumn od urządzeń obcych. Kolumny wykonane będą po uprzednim przygotowaniu terenu i dróg dojazdowych. W trakcie wykonywania robót należy zachować wymagania BHP i ochrony środowiska.

Przygotowanie platformy roboczej

Przed przystąpieniem do wykonania kolumn należy przygotować wyrównaną, stabilną i wolną od przeszkód powierzchnię roboczą, przystosowaną do ciągłej pracy ciężkiego sprzętu budowlanego w każdych warunkach pogodowych.

Wymiary wykopu mierzone na poziomie platformy roboczej powinny zapewniać swobodny dostęp wiertnicy do wszystkich kolumn. W razie potrzeby zjazdu do wykopu należy wykonać pochylnie zjazdowe o minimalnej szerokości 5 m i maksymalnym nachyleniu 1:4.

Platforma robocza powinna być wykonana na rzędnej ustalonej w porozumieniu z kierownikiem robót palowych. Wstępnie ustalono, że poziom platformy roboczej będzie się znajdował 20-50cm powyżej poziomu głowicy kolumn.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 12
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

Ścięcie kolumn

Po wykonaniu prac palowych kolumny należy ściąć do rzędnej określonej projektem. Ścięcie kolumn musi być prowadzone z zachowaniem szczególnej ostrożności, aby nie uszkodzić wykonanych kolumn.

Kolejność wykonywania kolumn

Kolumny należy wykonywać w sposób zapewniający szybki postęp robót. Projekt nie narzuca kolejności wykonywania kolumn. Kolejność realizacji pali powinna zostać dostosowana do występujących warunków na budowie (wykonanie dróg dojazdowych, wykopów wstępnych itd.). Prace muszą zostać wykonane w sposób nie zagrażający świeżo wykonanym kolumnom.

3.3.3 Warstwa transmisyjna

Materac geosyntetyczny stanowiący warstwę transmisyjną, bezpośrednio współpracującą z systemem wzmocnienia kolumnami, należy wykonać zgodnie z poniższymi zaleceniami:


- Grubość materaca geosyntetycznego (zasadniczy element warstwy transmisyjnej) to $H_m=0,5m$.
- Górna rzędna materaca stanowi podłoże dla konstruowania nasypu kontrolowanego wraz z podstawą murów oporowych.
- Dolna warstwa zbrojąca materac geosyntetyczny (wieńczącego wzmocnione podłoże), powinna zostać ułożona prostopadle do kierunku przebiegu nasypu.
- Górna warstwa zbrojąca materac geosyntetyczny, powinna zostać ułożona równolegle do kierunku przebiegu nasypu.
- Zastosowanie geotkaniny ma na celu separację gruntu rodzimego (spoisty nasyp antropogeniczny nN / glina G) i gruboziarnistego materiału nasypu kontrolowanego tworzącego warstwę transmisyjną.
- Materiał wypełniający materac geosyntetyczny to grunt gruboziarnisty (kruszywo naturalne) scharakteryzowane w punkcie 3.2.1.
- Zaleca się by materiał przekrywający materac geosyntetyczny, był wykonany jako kontrolowany nasyp z gruntu niespoistego (grubości minimum 0,5m). Jest to miąższość zawarta w korpusie nasypu, stanowiąca tym samym integralną część projektu drogowego i nie jest przedmiotem niniejszego opracowania.
- W ramach koordynacji w zakresie robót ziemnych, za zgodą projektanta, dopuszcza się zmiany dotyczące specyfikacji materiału warstwy transmisyjnej.

Dla prawidłowego uformowania warstwy transmisyjnej ważność zachowują zalecenia normy PN-B-06050:1999, PN-S-02205:1998 oraz Instrukcja ITB Nr 427/2007 (zeszyt 1: Roboty ziemne).

Formowanie warstwy transmisyjnej (materaca) powinno odbywać się w równych warstwach o maksymalnej miąższości 25cm. Należy zapewnić minimum 20cm miąższości separacyjnej kruszywa, między górną a dolną warstwą zbrojenia geosyntetycznego.

Po uformowaniu warstwy transmisyjnej (materaca) należy potwierdzić uzyskanie poniższych kryteriów:

- wtórny moduł odkształcenia powinien spełniać warunek $E_{v2} \geq 60MPa$.
- zaleca się by wskaźnik odkształcenia I_0 spełniał kryterium $I_0 < 2,5$ (wg PN-S-02205) jak dla żwirów, pospótek i piasków).
- wskaźnik CBR, co najmniej 20%

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 13
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

3.3.4 Zakres badań kruszywa


Przed wbudowaniem kruszywa w warstwę transmisyjną lub w nasyp kontrolowany wymiany, zaleca się przeprowadzić następujące badania w celu potwierdzenia specyfikacji materiałowej zawartej w punkcie 3.2.1:

- Analiza granulometryczna w celu wyznaczenia (zgodnie z PN-B-04481) następujących:
 - Wskaźnik różnoziarnistości
 - Zawartość ziaren większych od 90/63/40 mm
 - Zawartość ziaren większych od 2 mm
 - Maksymalna zawartość cząstek przechodzących przez sito 0,063
- Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego
- Wskaźnik piaskowy WP (wg PN-EN 933-8:2001)
- Kapilarność bierna (wg PN-B-04493:1960)
- Wyznaczanie (wg PN-B-04481):
 - Odczyn pH
 - Zawartość części organicznych
- Określenie klasy kruszywa w następujących kategoriach (wg PN-EN 13043):
 - Gc – uziarnienie (dla kruszyw grubych)
 - LA – odporności na rozdrabnianie kruszywa grubego (wyznaczenie wartości współczynnika Los Angeles)
 - WA24 – nasiąkliwość

3.3.5 Etapy realizacji

Realizacja zadania obejmuje między innymi:

1. Usunięcie elementów uzbrojenia terenu oraz istniejących obiektów, mogących stanowić przeszkodę dla wykonania robót ziemnych i wzmocnień;
2. Projektowy wykop do docelowej rzędnej spodu wymiany/materaca (warstwy transmisyjnej), wskazanej w części rysunkowej, z usunięciem gruntów antropogenicznych i „słabych”;
3. Wykonanie platformy roboczej dla realizacji kolumn wzmacniających (w przypadku głębokiego wzmocnienia podłoża);
4. Wykonanie kolumn wzmacniających (niezbrojonych/zbrojonych);
5. Wykonanie zasypki kontrolowanej lub ułożenie warstwy transmisyjnej (materaca) do odpowiedniej rzędnej;
6. Wykonanie nasypu drogowego oraz konstrukcji oporowej;
7. Reprofilacja terenu do oczekiwanego poziomu.

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 14
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4 SPRAWOZDANIE Z OBLICZEŃ

4.1 METODOLOGIA OBLICZEŃ

Przeprowadzono obliczenia z zastosowaniem konwencjonalnych (klasycznych) metod analizy osiadań, które ostatecznie potwierdzono z zastosowaniem numerycznych metod elementów skończonych (MES). Do identyfikacji dystrybucji naprężeń i odkształceń zastosowano model płaski z użyciem sprężysto-plastycznej definicji materiału gruntowego, z kryterium zniszczenia Coulomba-Mohra. Dodatkową weryfikację skuteczności rozwiązania wykonano w osiowosymetrycznym modelu symulującym pracę wyidealizowanej komórki jednostkowej wzmocnienia podłoża. Długoterminowe zachowanie gruntu przeprowadzono w warunkach efektywnego stanu naprężeń.

W koronie nasypu uwzględniono obciążenie od ruchu kołowego jako równomiernie rozłożone, o wartości 25kPa i na szerokości projektowej drogi.

W pewnym stopniu uwzględniono wpływ warstw konstrukcyjnych drogi na dystrybucję naprężeń w korpusie nasypu.

Z uwagi na złożoność modelu numerycznego i jednoczesną mobilizację kilku mechanizmów zniszczenia, wydłużono liczbę kroków obliczeniowych.

Poniżej przedstawiono wyniki analiz numerycznych obrazujących zachowanie się systemu wzmocnień, wraz z nadbudowaną konstrukcją w fazie eksploatacyjnej. Zawarto wybrane modele statyczne przyjęte do obliczeń i uzyskane szacunkowe wartości osiadań.

Do obliczeń przyjęto następujące parametry materiału nasypu kontrolowanego:

- ciężar objętościowy $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$
- kąt tarcia wewnętrznego $\phi' = 34.0^\circ$
- moduł sztywności $E = 60 \text{ MPa}$.

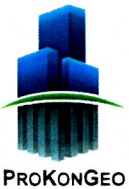
Nie jest dostępny projekt murów oporowych z gruntu zbrojonego. Na potrzeby analizy przyjęto 6m długość zbrojenia geosyntetycznego murów oporowych.

4.2 STAN GRANICZNY UŻYTKOWALNOŚCI

Osiadania są mierzone od chwili zakończenia formowania nasypu. Oznacza to, iż odkształcenia sprężyste w gruncie zrealizują się w trakcie budowy. Zakłada się, że okres formowania nasypu do chwili ułożenia warstw konstrukcyjnych drogi wyniesie minimum 2 miesiące. Rozważane odkształcenia będą zatem wynikać z konsolidacji gruntów spoistych, następujących po ułożeniu warstw konstrukcyjnych drogi, oraz obciążeń eksploatacyjnych układu drogowego. Oczekuje się że rzeczywiste odkształcenia własne korpusu drogowego, będą niższe od konserwatywnie przyjętych założeń materiału nasypu w modelu obliczeniowym.

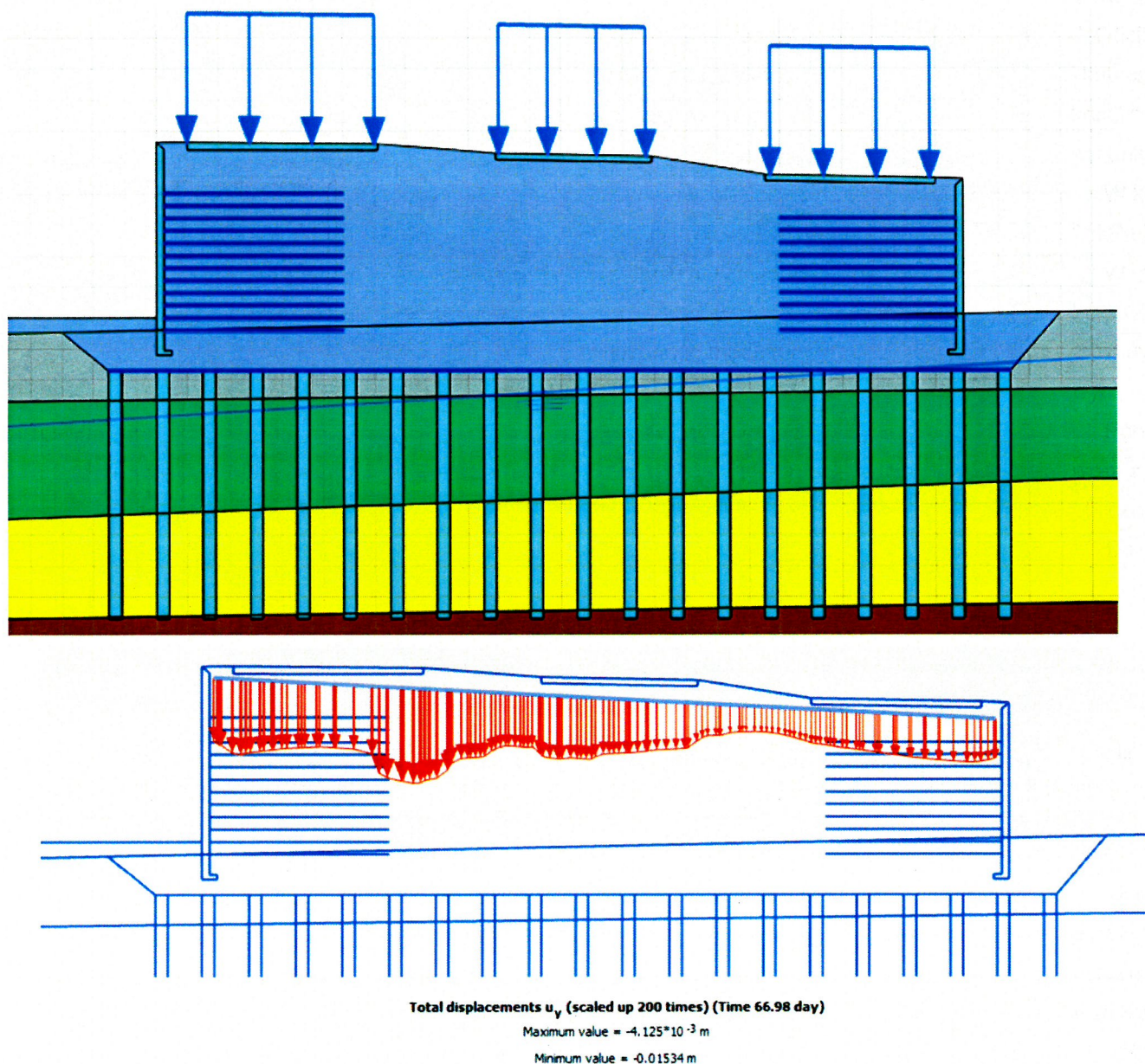
Za kryterium dopuszczalnych odkształceń nasypu bezpośrednio przyległego do konstrukcji obiektów inżynierskich, przyjęto wartość 2cm. Dla takiej charakterystyki zaprojektowano też posadowienie podbudowy lica murów oporowych.


Natomiast w obszarach nasypów, za wartość dopuszczalną osiadań, uznano 10cm w ślad za rozporządzeniami.

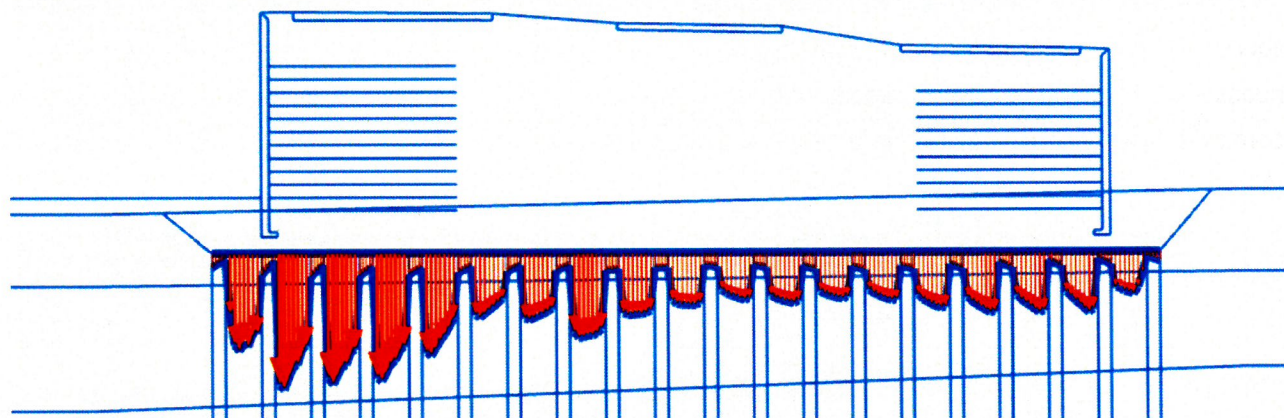
	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 15
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.2.1 Obszar obliczeniowy w otoczeniu MPPR3

Odkształcenia korony nasypu (układu drogowego) zachodzą w dopuszczalnym zakresie, na szacunkowym poziomie 0,5-1,5cm. Średnio wartość osiadań to około 1cm. W podstawie, czyli na poziomie wzmocnienia podłoża, osiadanie nie przekracza 1cm. Poniżej zaprezentowano kolejno model obliczeniowy, wyniki osiadań w koronie oraz w podłożu.



	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 16
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30



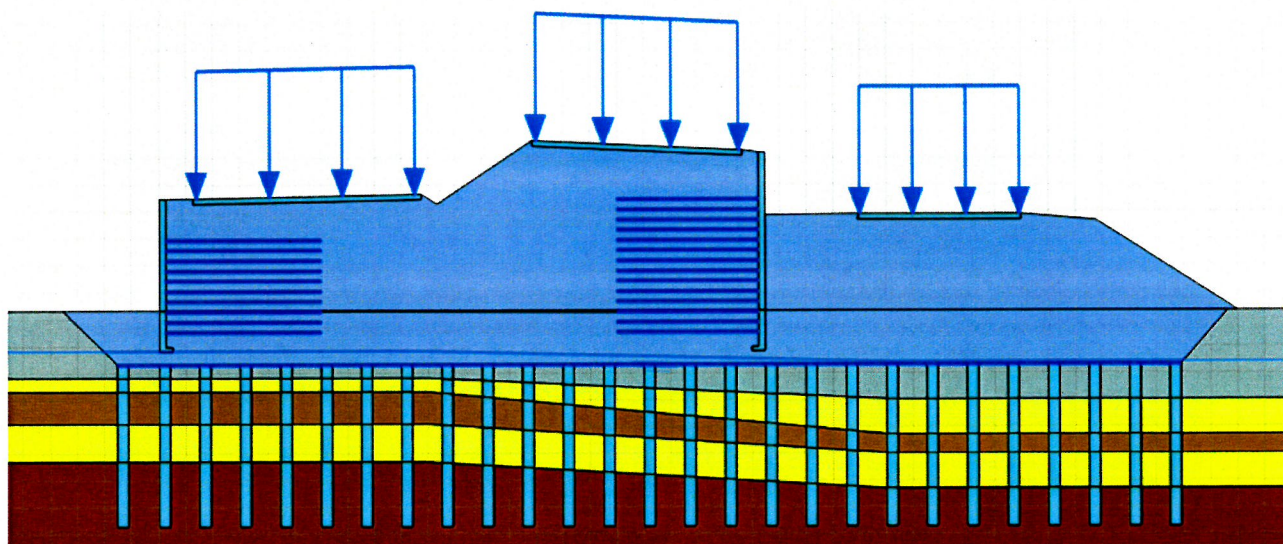
Total displacements u_y (scaled up 500 times) (Time 66.98 day)

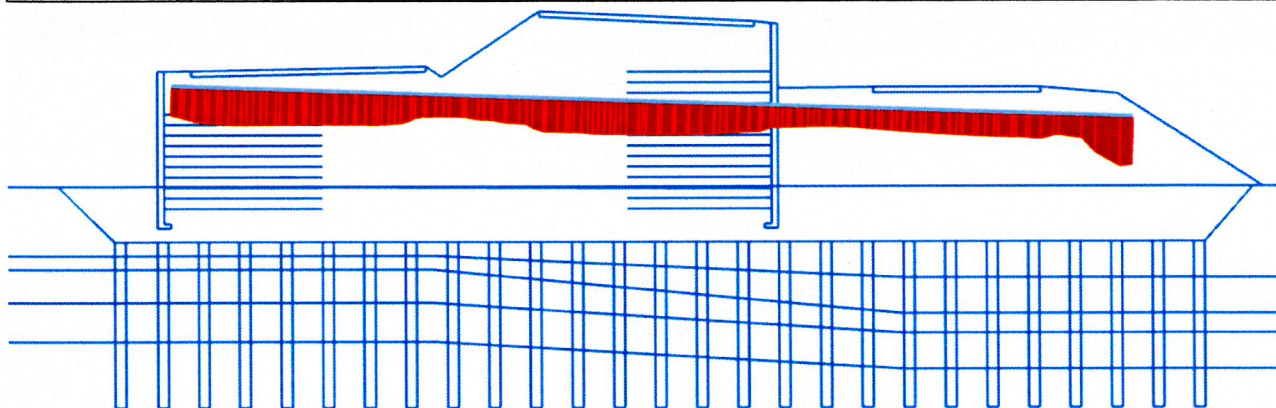
Maximum value = $-0.2932 \cdot 10^{-3}$ m (Element 377 at Node 28307)

Minimum value = $-8.330 \cdot 10^{-3}$ m (Element 325 at Node 8787)

4.2.2 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M01-M05

Odkształcenia korony nasypu (układu drogowego) jak i w jego podstawie, czyli na poziomie wzmocnienia podłoża, nie przekracza 1cm. Poniżej zaprezentowano kolejno model obliczeniowy, wyniki osiadań w koronie oraz w podłożu.

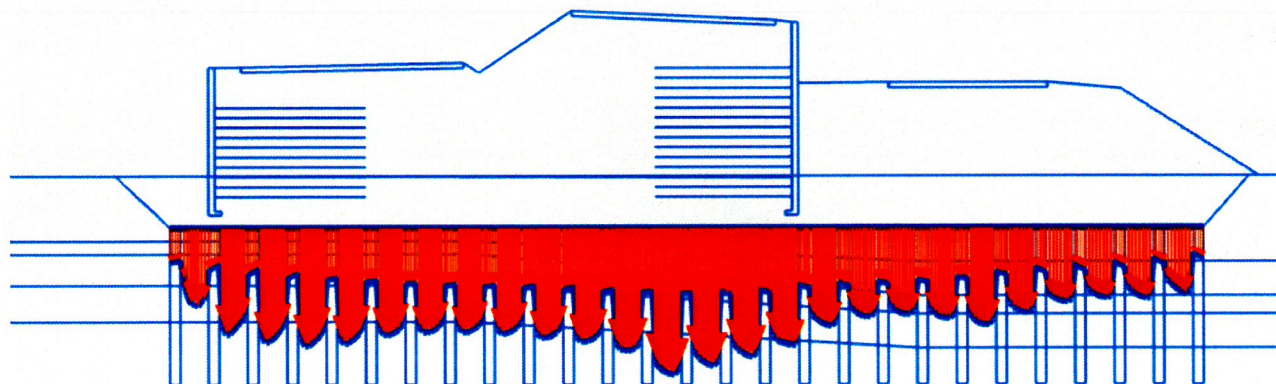




Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 82.28 day)

Maximum value = $-3.571 \cdot 10^{-3}$ m


Minimum value = $-9.143 \cdot 10^{-3}$ m



Total displacements u_y (scaled up $1.00 \cdot 10^3$ times) (Time 82.28 day)

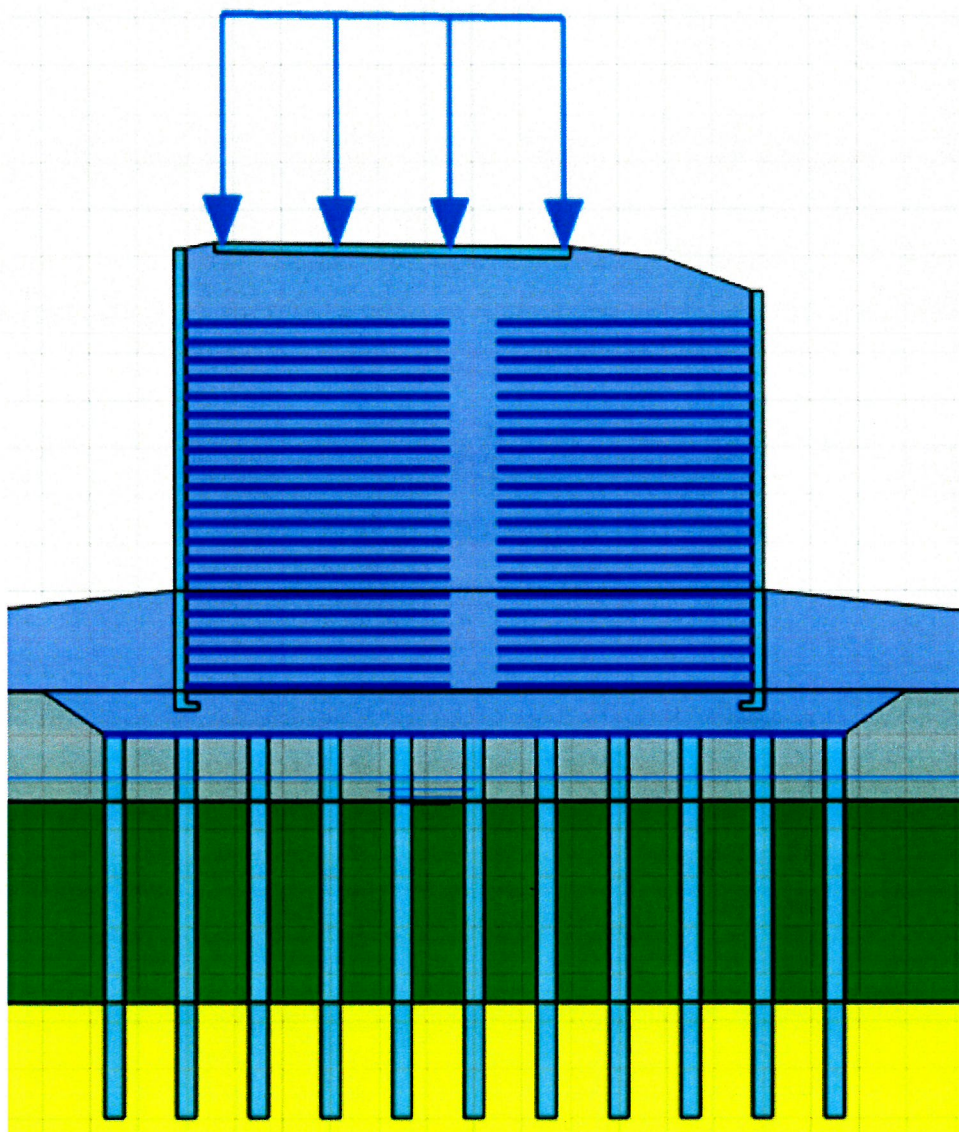
Maximum value = $-0.9841 \cdot 10^{-3}$ m (Element 399 at Node 9717)

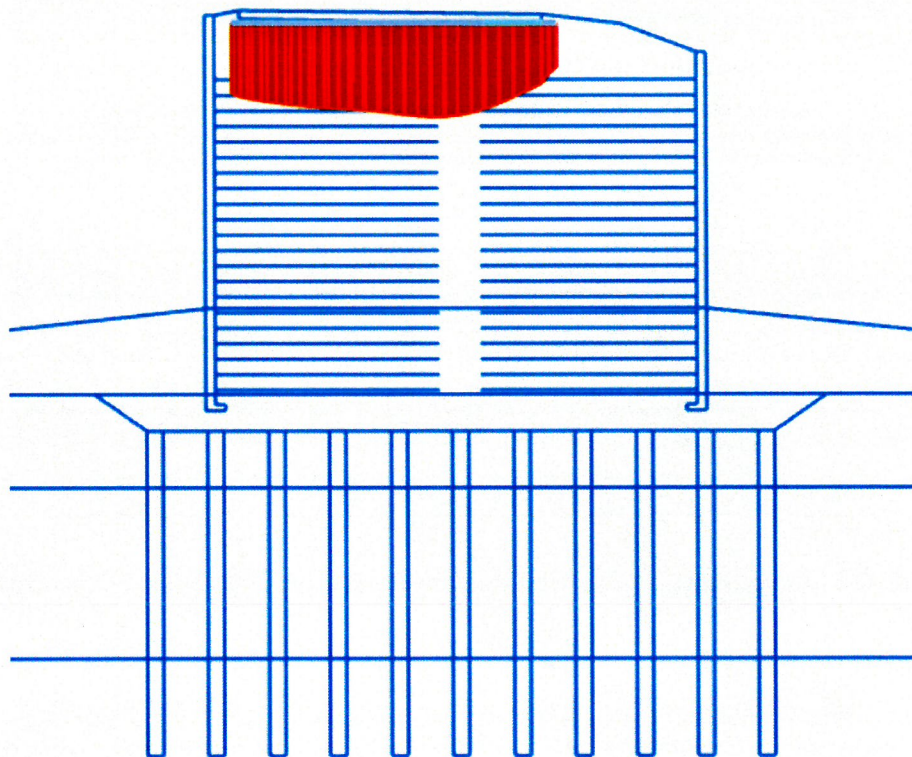
Minimum value = $-5.629 \cdot 10^{-3}$ m (Element 358 at Node 26054)

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 18
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.2.3 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M01-M03

Odkształcenia korony nasypu (układu drogowego) zachodzą w dopuszczalnym zakresie, na szacunkowym poziomie nie przekraczającym 1,5cm. W podstawie, czyli na poziomie wzmocnienia podłoża, osiadanie nie przekracza 1cm. Poniżej zaprezentowano kolejno model obliczeniowy, wyniki osiadań w koronie oraz w podłożu. Dodatkowo zaprezentowano rozkład momentów gnących w kolumnach.

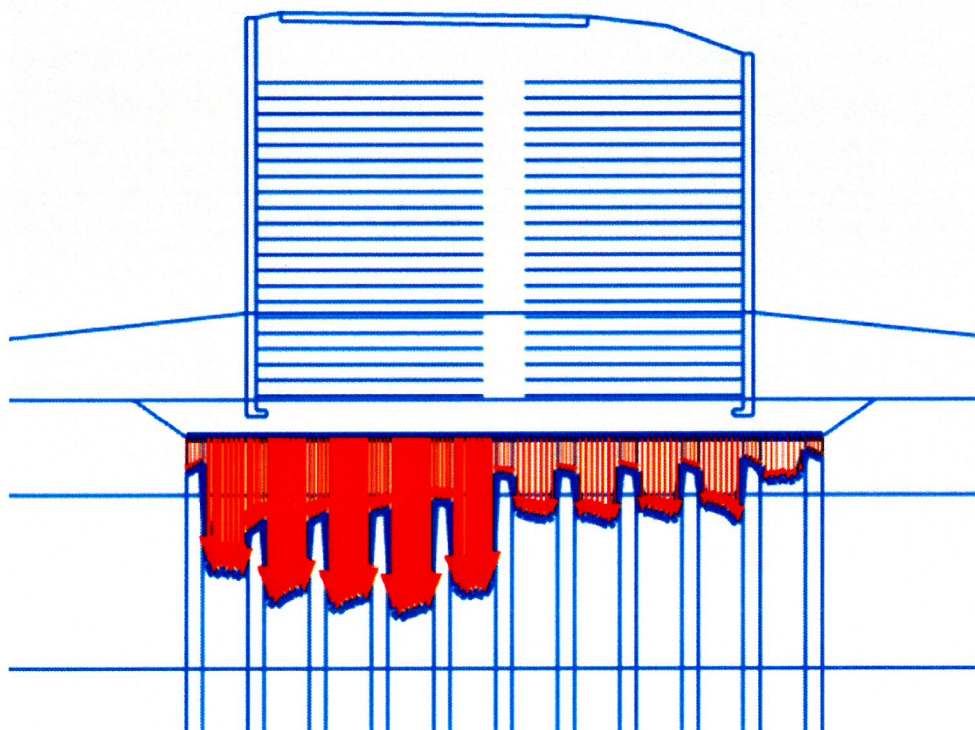




Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 64.52 day)

Maximum value = $-5.503 \cdot 10^{-3}$ m

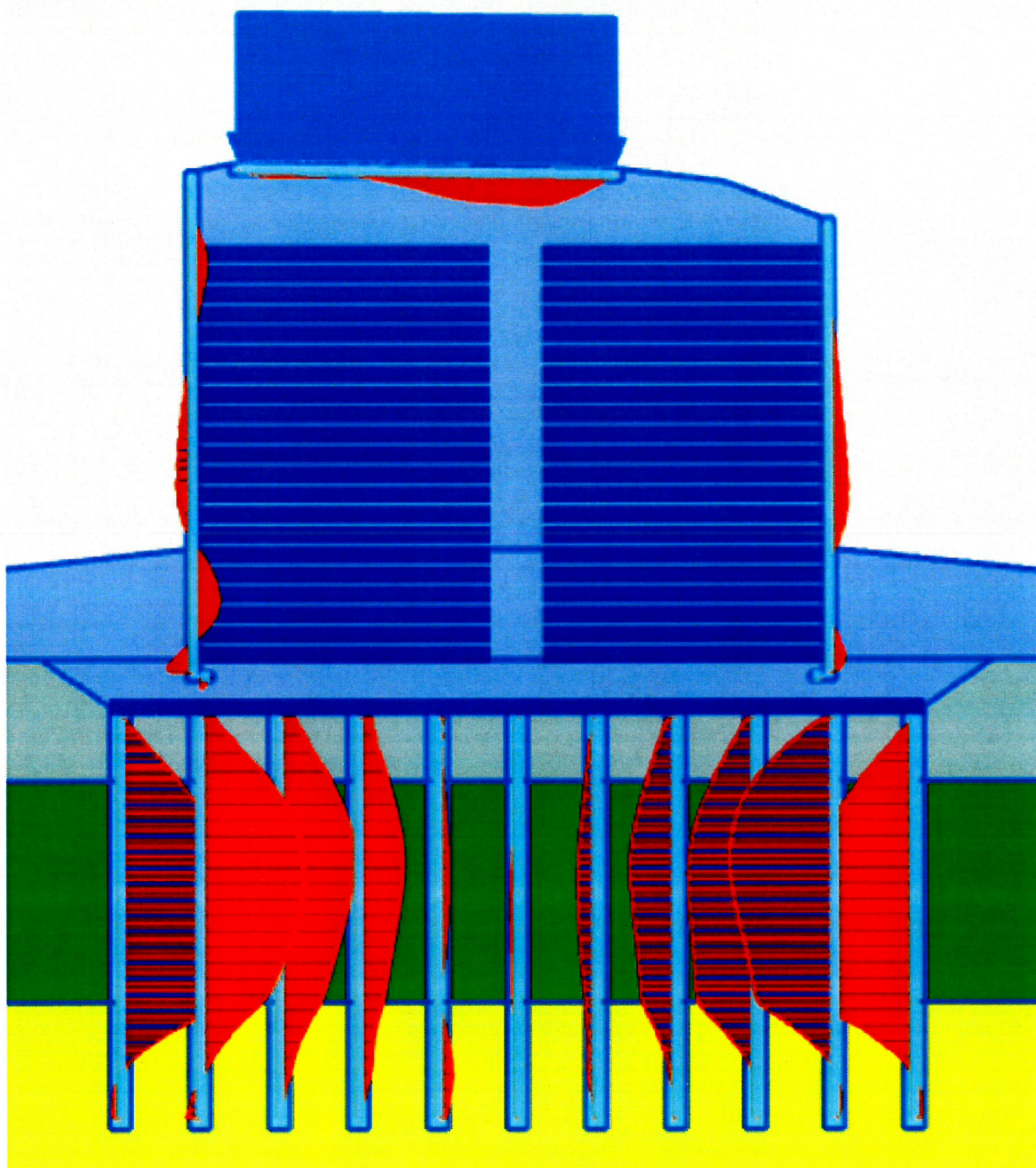
Minimum value = -0.01162 m



Total displacements u_y (scaled up $1.00 \cdot 10^3$ times) (Time 64.52 day)

Maximum value = $-0.3432 \cdot 10^{-3}$ m (Element 605 at Node 31337)


Minimum value = $-4.376 \cdot 10^{-3}$ m (Element 586 at Node 19838)



Bending moments M (scaled up 0.0500 times)

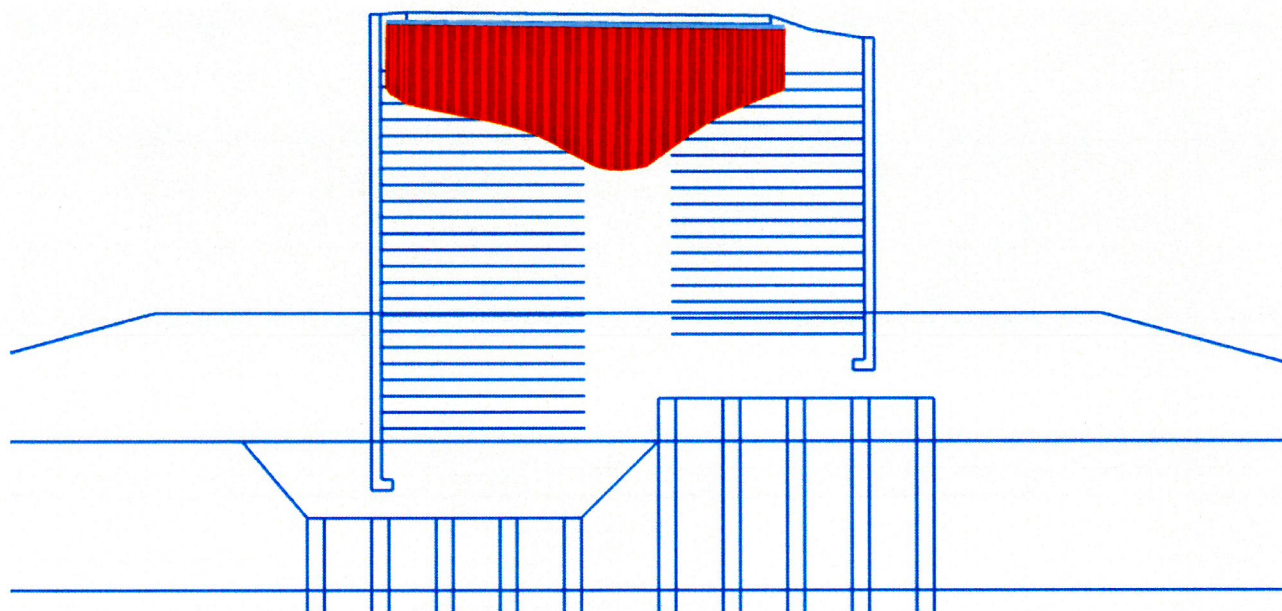
Maximum value = 44.22 kN m/m

Minimum value = -43.54 kN m/m

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 21
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.2.4 Obszar obliczeniowy w zakresie konstrukcji M02-M04

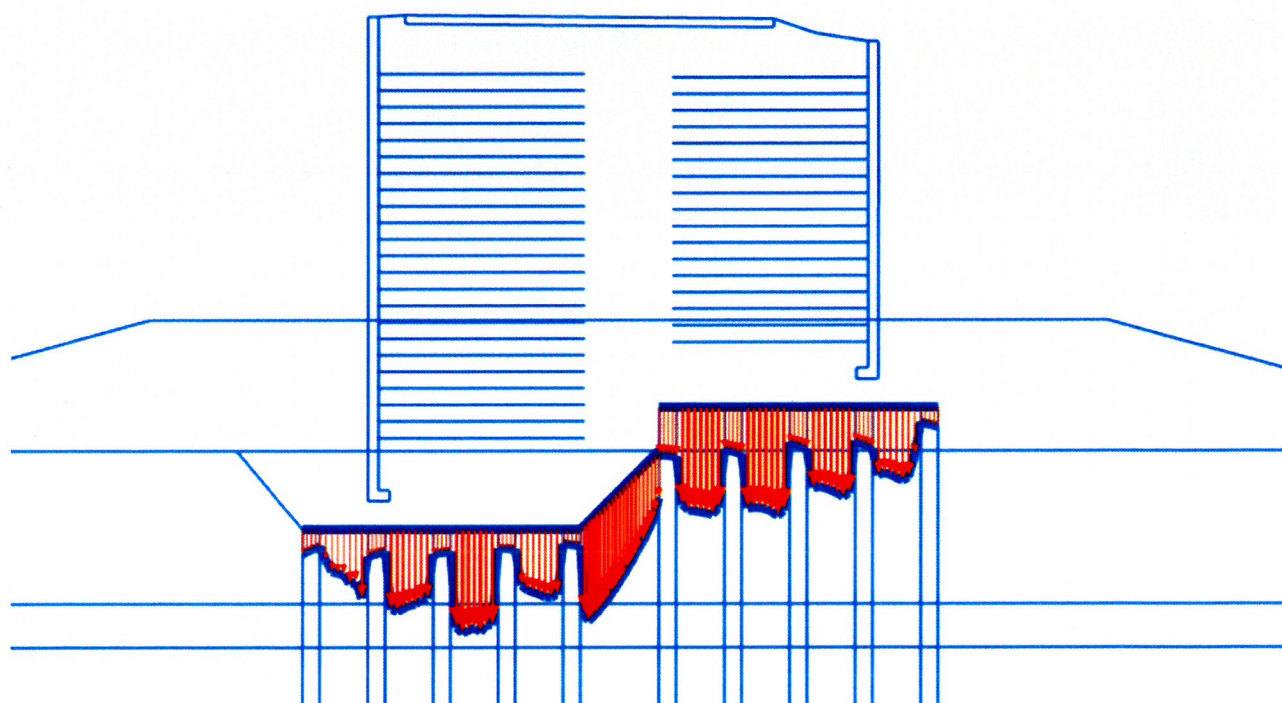
Odształcenia korony nasypu (układu drogowego) zachodzą w dopuszczalnym zakresie, na szacunkowym poziomie nie przekraczającym 2cm. W podstawie, czyli na poziomie wzmocnienia podłoża, osiadanie nie przekracza 1cm. Poniżej zaprezentowano kolejno wyniki osiadań w koronie oraz w podłożu. Dodatkowo zaprezentowano rozkład momentów gnących w kolumnach.



Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 64.70 day)

Maximum value = $-7.296 \cdot 10^{-3}$ m


Minimum value = -0.01689 m

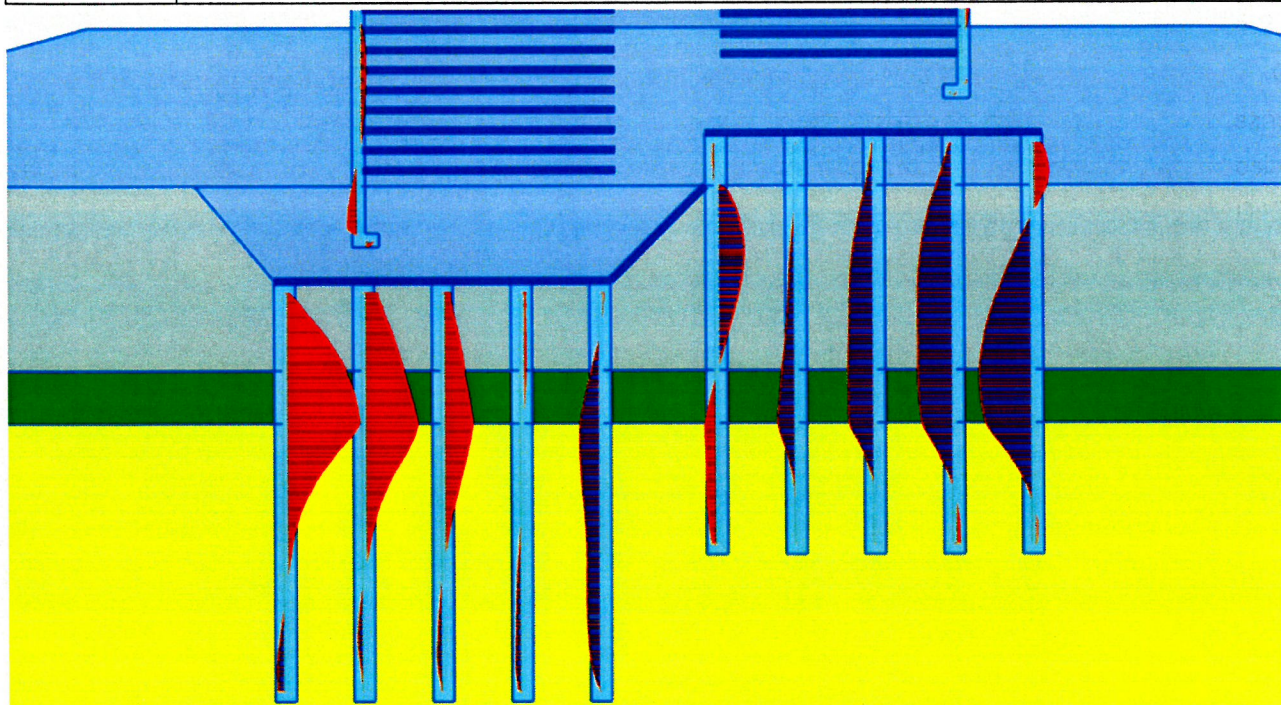


Total displacements u_y (scaled up 500 times) (Time 64.70 day)

Maximum value = $-0.6538 \cdot 10^{-3}$ m (Element 575 at Node 23657)

Minimum value = $-7.180 \cdot 10^{-3}$ m (Element 513 at Node 13123)

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 22
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30



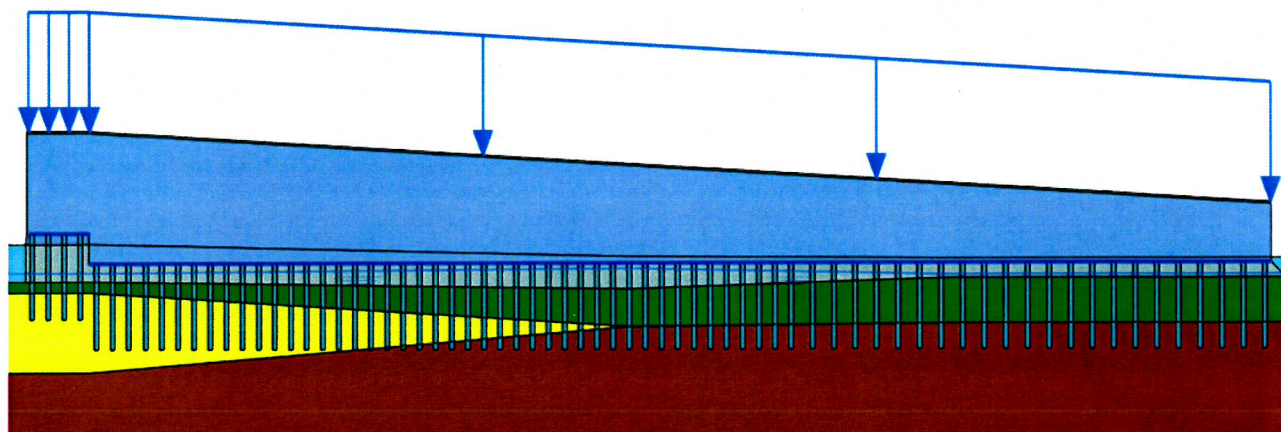
Bending moments M (scaled up 0.0200 times) (Time 62.64 day)


Maximum value = 50.80 kN m/m

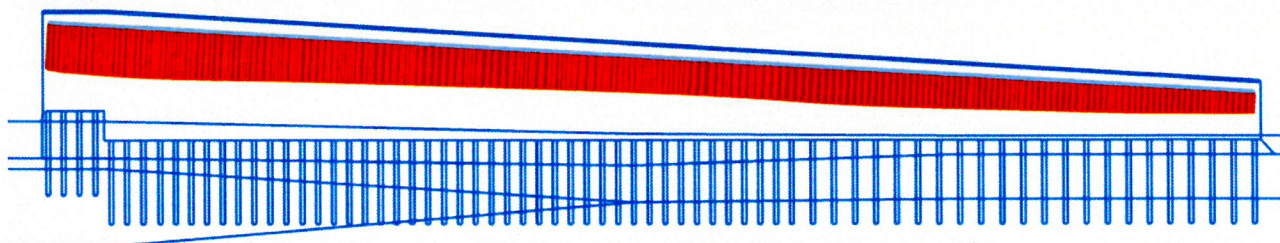
Minimum value = -70.54 kN m/m

4.2.5 Obszar obliczeniowy w zakresie ciągu konstrukcji M02

Odkształcenia korony nasypu (układu drogowego) oraz w podstawie, czyli na poziomie wzmocnienia podłoża, nie przekracza 1cm. Poniżej zaprezentowano model obliczeniowy oraz kolejno wyniki osiadań w koronie oraz w podłożu. Nie zaprezentowane tutaj wyniki analiz wskazują, iż bez wzmocnienia podłoża, osiadania mogłyby przekroczyć 5cm.



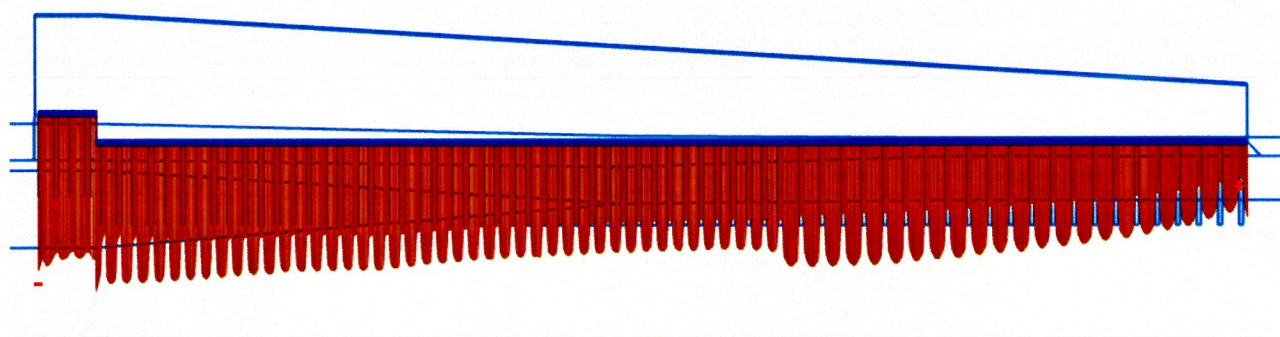
 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 23
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30



Total displacements u_y (scaled up 500 times) (Time 125.4 day)

Maximum value = $-4.157 \cdot 10^{-3}$ m


Minimum value = $-9.583 \cdot 10^{-3}$ m



Total displacements u_y (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time 125.4 day)

Maximum value = $-1.524 \cdot 10^{-3}$ m (Element 229 at Node 109621)

Minimum value = $-7.576 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1 at Node 29499)

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 24
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.2.6 Obszar obliczeniowy w wysokiego nasypu w układzie osiowosymetrycznym


Przykładowe obliczenie przeprowadzono w obszarze scharakteryzowanym przez otwór rozpoznawczy M11 i dla długości 6m kolumny. Odształcenia korony nasypu (układu drogowego) oraz jego podstawy, nie przekracza 1.5cm. Poniżej zaprezentowano model obliczeniowy zawierający mapę odkształceń pionowych



Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 60.49 day)

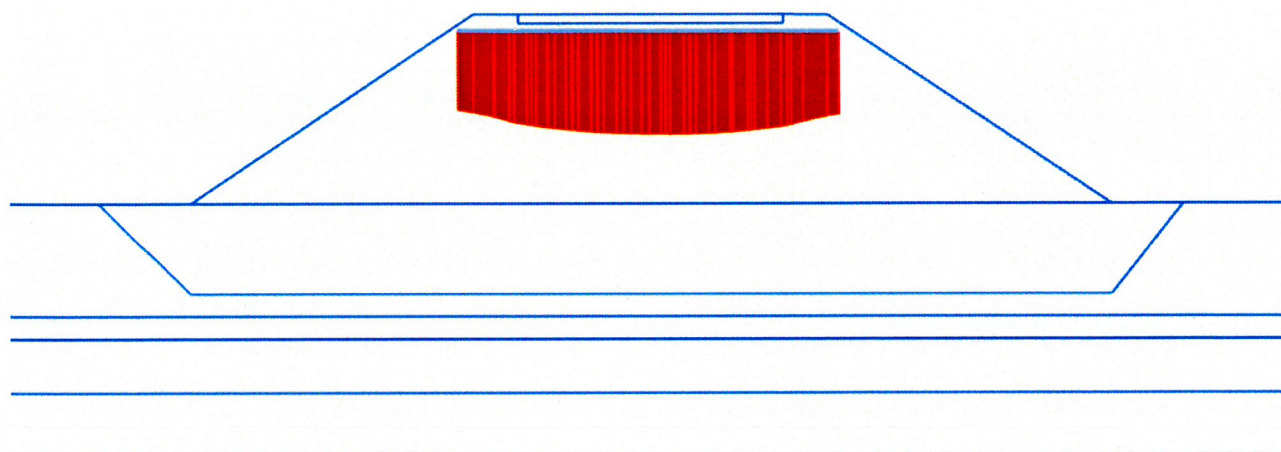
Maximum value = 0.000 m (Element 206 at Node 2375)

Minimum value = -0.01196 m (Element 5 at Node 42)

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 25
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.2.7 Obszar obliczeniowy w zakresie ciągu nasypu za konstrukcją M05

Odkształcenia korony nasypu (układu drogowego) oraz w jego podstawie, nie przekracza 5cm. Poniżej zaprezentowano wynik osiadań w koronie przykładowego nasypu.



Total displacements u_y (scaled up 200 times) (Time 69.51 day)

Maximum value = $-8.846 \cdot 10^{-3}$ m

Minimum value = -0.01147 m

4.2.8 Podsumowanie


Ocena profilu osiadań została przeprowadzona konwencjonalnymi metodami analitycznymi jak i z zastosowaniem programów numeryczny MES.

Analizy numeryczne potwierdziły efektywność systemu wzmocnień. Przedstawione profile odkształceń w gruncie, potwierdziły bowiem właściwą pracę systemu wzmocnienia podłoża. Odkształcenia mobilizują się wzdłuż pobocznic prowadząc do efektywnego zaangażowania gruntu zawartego między kolumnami. Jest to mechanizm, który zapewnia pracę układu grunt-kolumny, jako kompozyt stanowiący wzmocnienie podłoża.

Poniżej zaprezentowano przede wszystkim wyniki dla obszarów bezpośrednio przyległych do obiektów inżynierskich. Podano szacunkowe wyniki osiadań w podstawie oraz koronie nasypu. Wyniki są tożsame dla stanu eksploatacyjnego.

Tabela 1 Zestawienie uzyskanych wyników osiadań w obszarach obliczeniowych

obszary obliczeniowe	odkształcenie w podstawie	odkształcenie w koronie
MPPR3	<1cm	<1.5cm
M01-M05	<1cm	<1cm
M01-M03	<1cm	<1.5cm
M02-M04	<1cm	<2cm
M02	<1cm	<1cm
Osiowosymetryczny	<1cm	<1.5cm
M05 nasyp	<5cm	<5cm

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 26
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

4.3 STAN GRANICZNY NOŚNOŚCI

Przeprowadzono obliczenie z zastosowaniem konwencjonalnych (klasycznych) metod analizy nośności podłoża w świetle procedury zawartej w normie Eurokod 7 - PN-EN 1997-1 – Projektowanie geotechniczne.

Do analiz numerycznych Metodą Elementów Skończonych MES, przyjęto kryterium zniszczenia Coulomba-Mohra. Dodatkowo wykonane analizy numeryczne pozwoliły na inspekcję ewentualnych lokalnych stref uplastycznień modelu (nośność lokalna).

Analiza numeryczna nasypów i murów oporowych na wzmocnionym podłożu potwierdziła efektywność systemu wzmocnień, równowagę statyczną oraz oczekiwany rozkład naprężeń i odkształceń w elementach wzmocnienia. Dodatkowo, analizy numeryczne MES potwierdziły minimalny zakres stref uplastycznień (zagrożeń co do lokalnych utrat nośności). Przedstawione profile odkształceń w gruncie, potwierdziły właściwą pracę systemu wzmocnienia podłoża. Odkształcenia mobilizują się wzdłuż pobocznic prowadząc do efektywnego zaangażowania gruntu zawartego między kolumnami. Jest to mechanizm, który zapewnia pracę układu grunt-kolumny jako kompozyt stanowiący wzmocnienie podłoża.

Poniżej zaprezentowano przede wszystkim wyniki dla obszarów bezpośrednio przyległych do obiektów inżynierskich. Zawarto wyniki sił wewnętrznych w kolumnach oraz geosyntetyku zbrojącym warstwę transmisyjną. Siły/naprężenia wewnętrzne w elementach wzmocnienia są tożsame dla stanu eksploatacyjnego.

Tabela 2 Zestawienie uzyskanych wyników sił wewnętrznych w elementach wzmocnienia

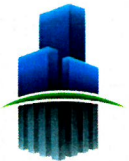
obszary obliczeniowe	siła w geosyntetyku	siła osiowa w kolumnie	Moment gnący w kolumnie
MPPR3	27 kN/m	249 kN	33 kNm
M01-M05	15 kN/m	248 kN	26 kNm
M01-M03	45 kN/m	360 kN	45 kNm
M02-M04	67 kN/m	390 kN	71 kNm
M02	31 kN/m	432 kN	50 kNm
Osiowosymetryczny	46 kN/m	430 kN	-
M05 nasyp	-	-	-

Oczekiwany zakres nośności pojedynczej kolumny, by system pracował prawidłowo, to obliczeniowa nośność pała z uwzględnieniem wpływu grupy (wg PN) wynosząca:

- $N_t = 310$ kN dla kolumn 6m (kolumny obszarów obliczeniowych MPPR3 i M01-M05)
- $N_t = 465$ kN dla kolumn 8m (kolumny obszarów obliczeniowych M01-M03, M02-M04 i M02)

Powyższe wartości mają charakter umowny ponieważ zasadniczą charakterystyką kolumn jest ich podatność, a nie kryterium nośności.

Z analiz uzyskano zróżnicowane wyężenia materiału geosyntetycznego. Oszacowanie siły w geosyntetyku wg EBGeo to około 40 kN/m dla odkształcenia 2%, zbliżonego stanu granicznemu. Analizy numeryczne dostarczyły wynik o maksymalnej wartości 67 kN/m. Natomiast obliczenie siły w geosyntetyku

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 27
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

wg BS 6008 to około $T_p = 80 \text{ kN/m}$. Dla takiej też siły rozciągającej w geosyntetyku, dobrano materiał o odpowiedniej długoterminowej wytrzymałości.

Dodatkowo wyznaczono współczynniki stateczności globalnej, który w świetle prowadzonych obliczeń numerycznych, nie stanowi miarodajnej weryfikacji stateczności. Zmobilizowany krytyczny mechanizm zniszczenia nie zawsze jest bowiem powiązany z wzmacnianym podłożem, a może dotyczyć statyki samej konstrukcji (nasypu lub muru oporowego). Często wiodącym mechanizmem jest bowiem globalna stateczność muru oporowego z gruntu zbrojonego lub korpusu nasypu, co nie stanowi przedmiotu niniejszego opracowania. Poniżej przedstawiono wyniki analizy numerycznej w zakresie utraty stateczności układu.

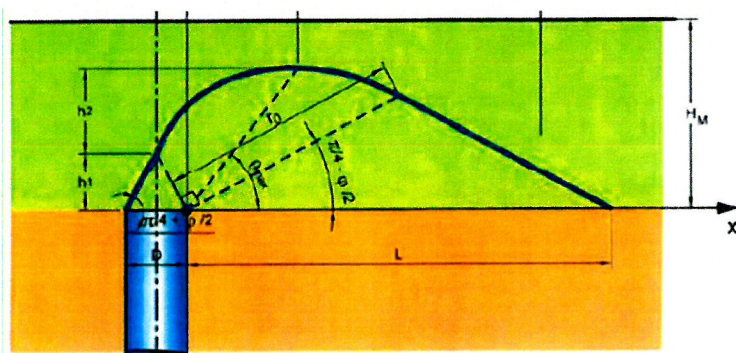
Tabela 3 Zestawienie uzyskanych wyników współczynnika stateczności

obszary obliczeniowe	Współczynnik stateczności uzyskany w analizie MES
MPPR3	1.82
M01-M05	1.55
M01-M03	1.62
M02-M04	1.56
M05 nasyp	1.51


Uzyskane wartości należy uznać za satysfakcjonujące i świadczące o zapasie nośności wzmacnionego podłoża.

4.4 WARSTWA TRANSMISYJNA

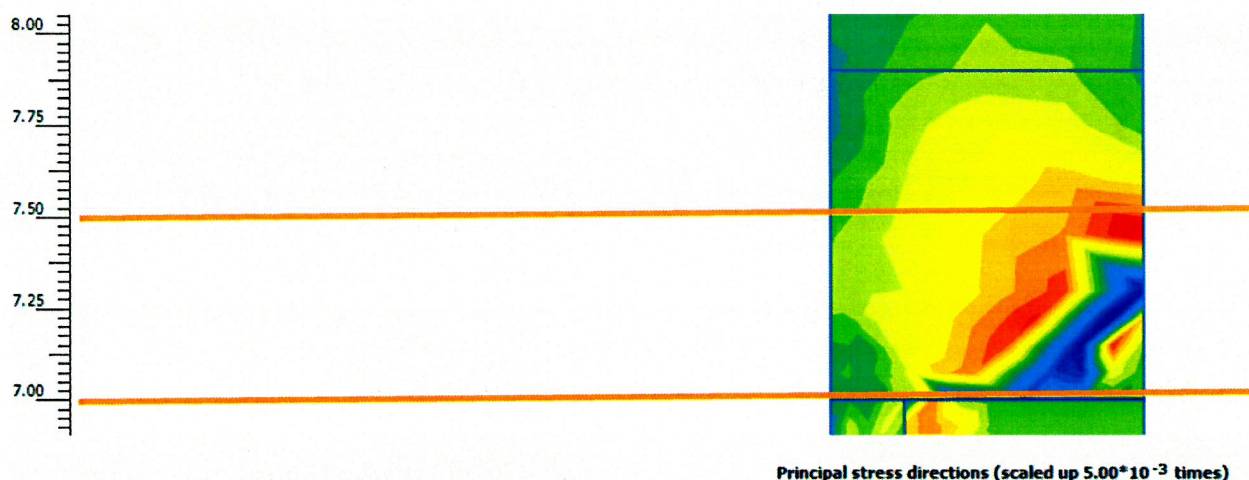
Z uwagi na zastosowanie kolumn w celu wzmacnienia podłoża, przeprowadzono weryfikację wpływu koncentracji naprężeń w ich głowicy na pracę systemu. Bazując na rozwiązaniach wg. EBGeo 2004 (Niemcy) lub wg. BS 8006-1 2010 (Anglia), przyjmuje się że zbrojenie geosyntetyczne będzie współpracować w dystrybucji naprężeń między kolumnami. Niemniej szczegółowe wyznaczenie minimalnej grubości warstwy transmisyjnej przeprowadzono wstępnie w oparciu o rozwiązanie analityczne wg. Prandtla zgodnie z opracowaniem ASIRI (Francja).



$$\begin{aligned}
 h_1 + h_2 &\leq H_m \\
 h_1 &= \frac{D}{2} \cdot \lg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right) \\
 h_2 &= r_0 \cdot e^{-\lg 10 \left(\left| \theta_{\max} - \frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right| \right)} \cdot \sin(\theta_{\max} - h_1) \\
 r_0 &= \frac{D \cdot e^{\lg(\phi') \cdot \frac{\pi}{2}}}{2 \cdot \cos \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2} \right)} \\
 \theta_{\max} &= \lg^{-1} \left(\frac{1}{\lg \phi'} \right)
 \end{aligned}$$

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 28
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

Obliczono wymaganą grubość warstwy transmisyjnej wynoszącą 89cm dla przypadku braku geosyntetycznych warstw zbrojących. Jest to miąższość pozwalająca w pełni na rozwinięcie się powierzchni ścinania między kolumnami. Z uwagi na fakt, że miąższość materaca to 0,5m, należy uznać że kolumny mogą współpracować efektywnie, ale konieczne jest zaangażowanie materiału geosyntetycznego. Przykładowy rozkład naprężeń głównych w układzie wzmocnienia podłoża pokazano poniżej w oparciu o analizy numeryczne. Potwierdzono efektywność przesklepienia naprężeń nad głowicami kolumn i efektywność systemu, co jest wyrażone przez nachylenie wektorów naprężeń głównych. Przesklepienie naprężeń realizuje się na miąższości około 0.5m, czyli w zakresie zaprojektowanej warstwy transmisyjnej.



5 ZAŁĄCZNIKI DO OPISU TECHNICZNEGO

Do niniejszego Opisu Technicznego załączono następujące załączniki:

Załącznik nr 1. METRYKA KOLUMNY


Załącznik nr 2. UPRAWNIENIA PROJEKTANTA

Załącznik nr 2.a. Uprawnienia Projektanta

Załącznik nr 2.b. Zaświadczenie Projektanta o przynależności do Izby

Kraków, Listopad 2021 r.

Opracował - mgr inż. Tomasz KOWALSKI

 PROKONGEO	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 29
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

ZAŁ. NR 1

METRYKA KOLUMNY

METODA:

BUDOWA: PRZEBUDOWA I ROZBUDOWA OCZYSZCZALNI ŚCIEKÓW ŁĘGI I SPYRKÓWKA W ZAKOPANEM

WYKONAWCA:

DATA:.....

Nr kolumny										
Średnica [mm]										
Rzędna góry [m n.p.m.]										
Długość kolumny [m]										
Ilość wbudowanego betonu [m³]										
Klasa betonu										

Nr kolumny										
Średnica [mm]										
Rzędna góry [m n.p.m.]										
Długość kolumny [m]										
Ilość wbudowanego betonu [m³]										
Klasa betonu										

Uwagi:

.....

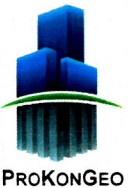
.....

.....

.....

.....

.....

	BUDOWA ULICY STRZELECKIEGO W PRUSZCZU GDAŃSKIM – ETAP 2	STRONA: 30
	PROJEKT WZMOCNIENIA PODŁOŻA	STRON: 30

II. CZĘŚĆ RYSUNKOWA