



Pracownia Inżynieryjno-Geologiczna

Dr hab. inż. Maciej Kordian KUMOR

ul. Spacerowa 75, 85-386 BYDGOSZCZ

tel. +48 602 309 882/+48 602 294 777 fax. +48 52 551-16-29

(REGON 090573020) NIP 967-003-17-63

e-mail: maciej.kumor@engeo.com.pl; lukasz.kumor@engeo.com.pl

OPINIA GEOTECHNICZNA

dotycząca porównania projektów rozwiązań wzmocnienia podłoża gruntowego

w ramach zadania pod nazwą:

***Budowa obejścia miasta Nakło na Notecią na kierunku Pd/ Pn
w ciągu drogi nr DW241 na nasypie pozostałym po trasie kolejki
wąskotorowej przy Cukrowni od km 1+480 do km 1+700***

Zlecający:

Gmina Nakło nad Notecią

Ul. Ks. Skargi 7

89-100 Nakło nad Notecią

(Zlecenie nr WI/16/2014 z dnia 10 lipca 2014 roku, WI.RI.7013.0001.2013.SE)

Autorzy:	Prof. ndzw. dr hab. inż. Maciej K. Kumor <ul style="list-style-type: none">• certyfikat Polskiego Komitetu Geotechniki nr 051,• upr. CUG 070929 Dr inż. Łukasz Kumor	
-----------------	---	--

BYDGOSZCZ – lipiec 2014 r.

SPIS TREŚCI

1. CZĘŚĆ WSTĘPNA	3
1.1. Podstawy opracowania	3
1.2. Przedmiot i cel opracowania	3
1.3. Materiały wykorzystane w opracowaniu	4
2. WYNIKI BADANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO	6
2.1. Lokalizacja i opis terenu wzmocnienia podłoża	6
2.2. Wyniki wykonywanych badań geotechnicznych	6
3. ANALIZA PROJEKTÓW WZMOCNIENIA PODŁOŻA	10
3.1. Propozycje wykonawcze wzmocnienia podłoża gruntowego	10
3.2. Projekt wzmocnienia podłoża wg Menard Polska Sp. z o.o., (36)	10
3.3. Charakterystyka obliczeń projektowanego wzmocnienia	12
3.4. Wzmocnienie podłoża wg K1, Bożena Trzpis, (34)	17
4. PODSUMOWANIE ANALIZY PROJEKTÓW	22
5. WNIOSEK KOŃCOWY	24

1. CZĘŚĆ WSTĘPNA

1.1. Podstawy opracowania

- Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r., w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. (Dz. U., Warszawa, dnia 27 kwietnia 2012 r. Poz. 463).
- Bezpośrednie zlecenie na wykonanie prac geotechnicznych, Gmina Nakło nad Notecią ul. Ks. Skargi 7, 89-100 Nakło nad Notecią, Zlecenie nr WI/16/2014 z dnia 10 lipca 2014 roku, WI.RI.7013.0001.2013.SE.
- Wytyczne techniczno-projektowe i materiały archiwalne przekazane przez Zleciennodawcę.
- Projekty wykonawcze dotyczące sposobów wzmocnienia podłoża drogowego na odcinku drogi wojewódzkiej nr DW241, w 1+480 do km 1+700 obejścia miasta Nakło na Notecią na kierunku S-N.
- Wyniki polowych i laboratoryjnych badań geotechnicznych.

1.2. Przedmiot i cel opracowania

Przedmiotem opracowania jest opinia geotechniczna dotycząca wniosków z analizy dwóch Projektów wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w ramach zadania: *Budowa obejścia miasta Nakło na Notecią na kierunku S-N w ciągu drogi wojewódzkiej nr DW241 w celu umożliwienia wyboru rozwiązania projektowego wzmocnienia podłoża przy nasypie po wąskotorówce przy Cukrowni i pod budowanym obejściem na odcinku km 1+500 do km 1+750, opracowanych przez podwykonawcę: **MENARD Polska Spółka z o.o.**, i firmę: **Opracowania Nadzór Autorski Bożena Trzpis, marzec 2014 rok.***

Opracowanie składa się z części omawiającej wyniki badań parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych gruntów wmacnianego podłoża drogowego oraz podsumowanie analizy przedłożonych projektów wzmocnienia podłoża.

Wykonano analizę projektów i sformułowano wnioski podsumowujące oraz zalecenia końcowe dotyczące preferencji rozwiązania wzmocnienia podłoża drogowego z uwzględnieniem sytuacji lokalnej, tj. istniejącego od ponad 100 lat nasypu dojazdowego kolejki wąskotorowej do cukrowni.

Podstawą sporządzenia opracowania były dostarczone projekty autorskie, dokumentacje archiwalne z zakresu geotechniki, wyniki uzupełniających badań polowych, laboratoryjnych, posiadane materiały archiwalne i studia literaturowe oraz informacje techniczne dostarczone przez Zamawiającego.

Opracowanie swoim zakresem obejmuje przedstawienie:

- omówienia wyników prac i geotechnicznych badań polowych,

- geotechnicznej oceny przedłożonych rozwiązań wzmocnienia podłoża zbudowanego z organicznych gruntów zalegających w podłożu korpusu drogowego,
- uwarunkowań, preferencji i progów ograniczających możliwości zastosowań proponowanych metod,
- zaleceń i wniosków końcowych.

1.3. Materiały wykorzystane w opracowaniu

1. Rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. (Dz. U., Warszawa, dnia 27 kwietnia 2012 r. Poz. 463).
2. Biuletyn Geotechniczny GEOTECO, nr 2-2011
3. Geografia Regionalna Polski –J. Kondracki, PWN Warszawa 2000.
4. Eurokod – 7.
5. Instrukcja ITB nr 303. Ustalenie przydatności gruntów dla potrzeb budownictwa. Warszawa 1990.
6. Instrukcja ITB nr 304/91. Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy.
7. Mapa Zasadnicza dla rejonu badań w skali 1:500 – dostarczona przez Zleceniodawcę.
8. Materiały archiwalne z terenu badań,
9. PN-B-06050:1999. Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.
10. PN-B-02481:1998. Geotechnika. Terminologia Podstawowa, symbole literowe i jednostki miar.
11. PN-B-02479:1998. Geotechnika. Dokumentowanie geotechniczne. Zasady ogólne.
12. PN-88/B-04481 Grunty budowlane. Badanie próbek gruntów.
13. PN/B-04452:2002. Geotechnika. Badania polowe.
14. PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Projektowanie i obliczenia statyczne posadowień bezpośrednich.
15. PN-86/B-02480. Grunty budowlane. Określenia i symbole, podział i opis gruntów.
16. PN-B-06050:1999 Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne.
17. PN-EN ISO 14688-1:2006. Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 1: Oznaczanie i opis.
18. PN-EN ISO 14688-2:2006. Badania geotechniczne. Oznaczenia i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania.
19. PN-EN 1997-1. Projektowanie geotechniczne. Część 1: Zasady ogólne.
20. PN-EN 1997-2. Projektowanie geotechniczne. Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego
21. PN-EN 1990:2002. Podstawy projektowania Konstrukcji
22. PN-85-B-02170 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.
23. Poprawka do Polskiej Normy PN-EN 1997-1:2008/Ap2, Eurokod 7, Projektowanie geotechniczne, Część 1 : zasady ogólne,
24. Przysiański J. Wykopy fundamentowe i odwodnienia gruntu, Wyd. Politechniki Poznańskiej, Poznań 1984.
25. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski. (1992). PIG, Warszawa.
26. Wizja terenowa.
27. Wiłun Z. Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa 2000.
28. Wytyczne techniczne przekazane przez Zleceniodawcę wraz z planem sytuacyjno-wysokościowym.
29. Materiały Konferencyjne, Projektowanie Geotechniczne - Badania I Dobór Parametrów, Warszawa SGGW, 13 – 13 września 2013.
30. Projekt wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w km 1+320 do 1+420 oraz Ronda ul. Nowa MENARD POLSKA Sp. z o.o., ul. Kochanowskiego 49a, 01-864 Warszawa

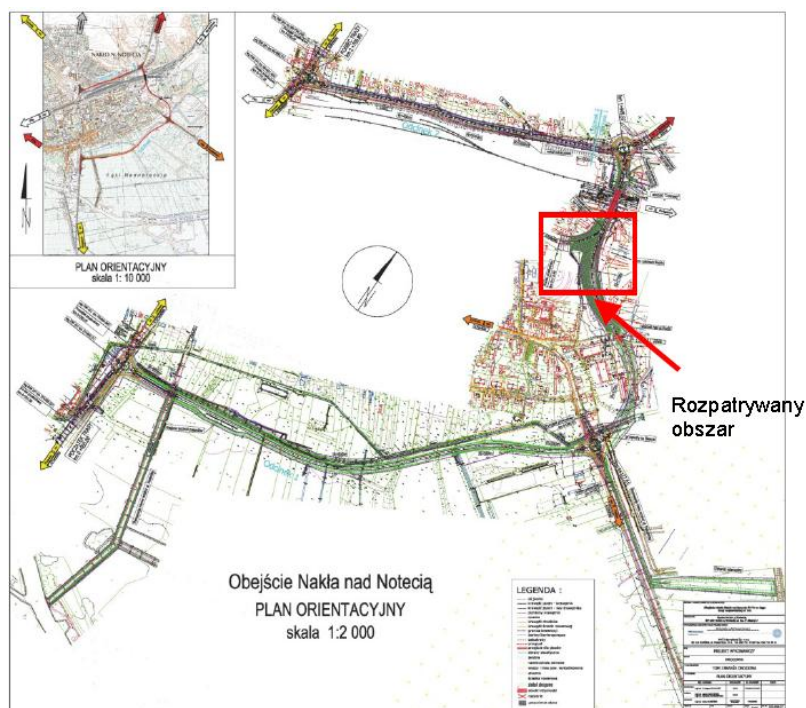
tel.: +48 22 203 18 00, fax.: +48 22 203 18 01.

- 31. OPINIA TECHNICZNA dotycząca wykonania obiektu nr 5 – muru oporowego w ciągu obejścia miasta Nakło wg projektu zamiennego, luty 2014, Gdańsk. KBP K. Żółtowski.*
- 32. Opinia geotechniczna dotycząca wykonania wzmocnienia podłoża drogi wojewódzkiej nr DW241 na odcinku 0+=50 do 1+300. L. Wysokiński, Warszawa 2013.*
- 33. Projekt budowlany i Projekt wykonawczy opublikowany na stronie:
<http://bip.gmina-naklo.pl/?app=przetargi&nid=3534&y=2013&status=3>*
- 34. Geotechnika. Projekt wzmocnienia podłoża gruntowego drogi w nasypie w km 1+480 do 1+700. K1 Projektowanie Konstrukcyjno-Budowlane, Bożena Trzpis, ul. Kasprowicza 25, 33-100 Tarnów, marzec 2014 rok.*
- 35. Wnioski z narady technicznej na obiekcie w Nakle, czerwiec 2014.*
- 36. Projekt wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC pod nasyp na dojeździe do obiektu inżynierskiego. Projekt technologiczny. MENARD POLSKA Sp. z o.o., ul. Kochanowskiego 49a, Warszawa, Binder K., Buczydło, I. Sucharzewski A. Czerwiec 2014.*

2. WYNIKI BADANIA PODŁOŻA GRUNTOWEGO

2.1. Lokalizacja i opis terenu wzmocnienia podłoża

Teren przewidziany do wzmocnienia podłoża znajduje się w strefie północno-wschodniej obejścia miasta Nakło na Notecią na kierunku S-N w ciągu drogi wojewódzkiej nr DW241 przy nasypie po wąskotorówce obok Cukrowni na odcinku km 1+500 do km 1+750, rys. 1.



Rys. 1. Lokalizacja analizowanego odcinka drogowego, wg (36).

Budowa obejścia Nakła zaczyna się na skrzyżowaniu z ul. Poznańską. Trasa biegnie po południowej stronie Strugi Śleskiej terenami użytkowanymi rolniczo, omijając od południa i wschodu zabudowę w rejonie ulic Długiej, Potulickiej i Rudki. Następnie skręca w kierunku północnym, przechodząc nad projektowanym przepustem na Strudze Śleskiej, i przekracza wiaduktem ul. Rudki. Potem biegnie po nasypie dawnej kolejki wąskotorowej, który od strony wschodniej przylega do placów składowych Cukrowni Nakło. Dalej projektowana droga, po śladzie istniejącego tzw. mostu cukrowego, przekracza nowym wiaduktem czynną linię kolejową PKP Bydgoszcz – Piła i dochodzi do ul. Nowej. Lokalizację projektowanych obiektów przedstawiono na rys. 1.

2.2. Wyniki wykonywanych badań geotechnicznych

2.2.1. Warunki gruntowe obszaru w 1+480 do km 1+700

Budowę geologiczną podłoża tworzą utwory czwartorzędowe wieku holocenińskiego i plejstocenińskiego.

Utwory holocenińskie reprezentowane są przez:

- nasypy niekontrolowane zalegające do głębokości 0,4 – 1,2 m p.p.t. zbudowane z piasków próchniczych, piasków średnich, gruzu ceglanego, kamieni i żużlu;
- torfy i namuły gliniaste oraz podrzędnie namuły piaszczyste i gytie.

Maksymalna rozpoznana głębokość zaleganie gruntów organicznych to 4,2 m p.p.t.

Utwory plejstoceńskie reprezentowane są przez:

- Piaski średnie i drobne,
- Lokalnie utwory zastoiskowe w postaci iłów piaszczystych,
- W północno wschodniej części piaski ilaste.

Wartości charakterystyczne wyprowadzonych parametrów geotechnicznych wydzielonych warstw podano w tabeli stanowiącej załącznik nr 3, wraz z charakterystyką wydzielonych warstw geotechnicznych zawartych w opracowaniu [3].

Na podstawie wyników badania z sondowań dylatometrycznych DMT i rozpoznania właściwości podłoża budowlanego do głębokości 8 m p.p.t., projektowanego obejścia miasta Nakło na Notecią na kierunku S-N w ciągu drogi wojewódzkiej nr DW241, w celu szczegółowego rozpoznania parametrów geotechnicznych gruntów przy pozostałym nasypie po wąskotorówce Cukrowni i pod budowanym obejściem drogowym na odcinku km 1+480 do km 1+750, można przyjąć, że podłoże gruntowe charakteryzuje się zróżnicowanymi warunkami geotechnicznymi zależnymi od miejsca badań i przewidzianego przeznaczenia funkcjonalnego terenu.

2.1.1. Warunki wodne

Poziom wód gruntowych w zakresie głębokości wykonanych wierceń związany jest z rzecznymi, zastoiskowymi i wodnolodowcowymi piaskami. Zwierciadło wody ma charakter swobodny lub napięty i stabilizowało się na głębokości od 1,1 do 4,3 m p.p.t., tj. na rzędnych od 66,11 do 69,92 m n.p.m. Poziom wody gruntowej zależy od stanów Noteci i opadów (36).

Należy zwrócić uwagę na występowanie napiętego zwierciadła wody gruntowej powyżej poziomu terenu mogącego stanowić poważne utrudnienie technologiczne wykonania robót ziemnych.

2.1.2. Wyniki sondowania statycznego CPTU

PARAMETRY GEOTECHNICZNE WARSTW PODŁOŻA WYZNACZONE NA PODSTAWIE CHARAKTERYSTYK PENETRACJI Z TESTU STATYCZNEGO SONDOWANIA											
Temat: Nakło n. Notecią - Obejście miasta Nakło na kierunku Pd-Pn						04.04.2014 r.					
w ciągu drogi wojewódzkiej nr 241											
NR TESTU CPTU: 1		GŁĘBOKOŚĆ WODY		- m p.p.t.		RZĘDNA:		m n.p.m.			
Przelot warstwy	Rodzaj gruntu	Domieszki	Opór stożka qt	Napężenie pionowe σ_{vo}	Parametry stanu		Parametry ścinania			Edometryczny moduł ściśl. pierwotnej M_o	Numer warstwy geotechnicznej
					I_D	I_L	Φ^*	C^*	S_u		
[m]	[-]	[-]	[MPa]	[kPa]	[-]	[-]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]
0,0-0,3	Gb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,3-1,3	Ps	-	3,5	12,0	0,53	-	35,2	-	-	17,3	-
1,3-4,0	G π//Nm	-	0,9	38,2	-	0,40	16,7	6,8	54,0	7,2	-
4,0-8,0	Nm//Pπ	-	1,0	90,0	-	0,35	15,6	9,2	53,3	3,8	-
8,0-8,3	Πp	-	1,4	125,6	-	0,31	17,2	4,2	63,4	5,2	-
8,3-11,5	Nmp	-	1,2	153,0	-	0,34	15,1	6,3	52,1	4,3	-
11,5-14,0	Nmπ	-	1,5	200,8	-	0,30	15,6	4,3	65,3	5,4	-
14,0-14,8	Nm//Πp	-	2,4	229,1	-	0,17	18,8	9,4	106,0	14,0	-

Wg materiałów własnych Pracowni Inżynieryjno-Geologicznej (2014).

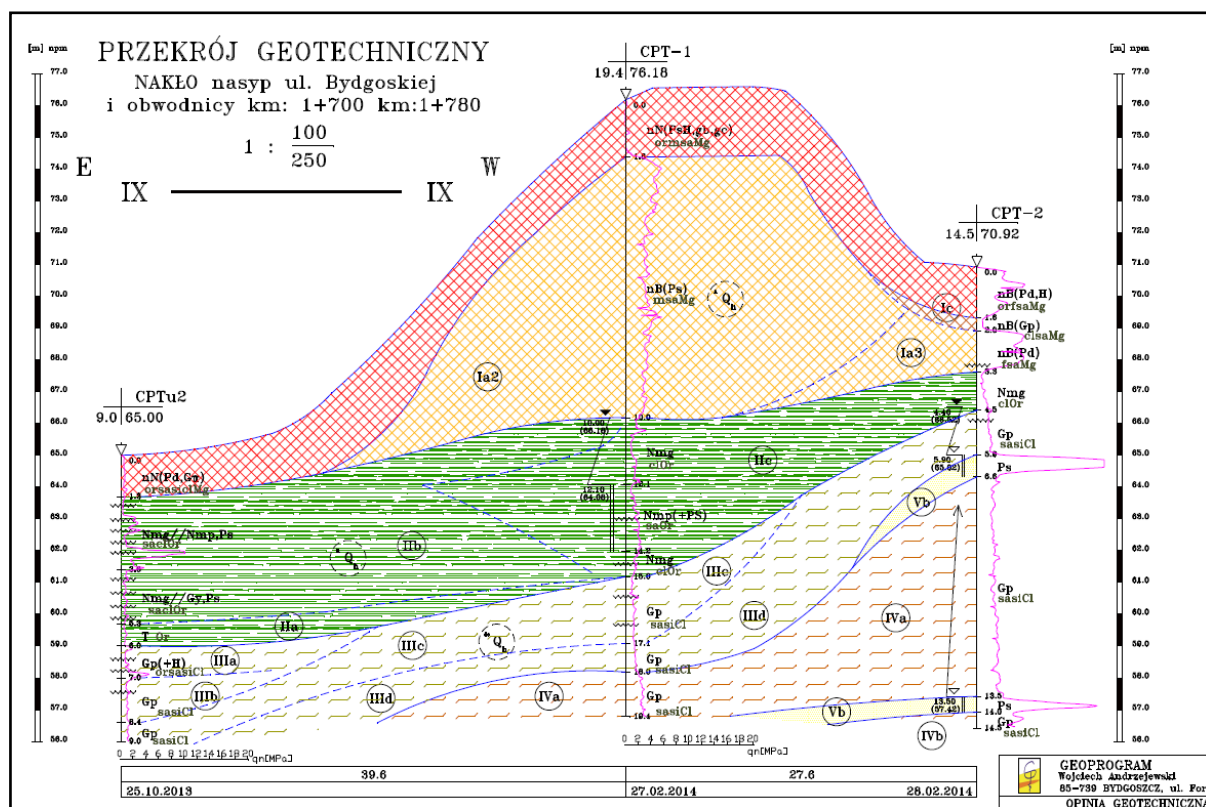
2.1.3. Podsumowanie warunków geotechnicznych podłoża

Podsumowując rozpoznane warunki geotechniczne, należy stwierdzić, że jest wyraźny (korzystny z geotechnicznego punktu widzenia) wpływ oddziaływania konsolidacyjnego wysokiego nasypu kolejki wąskotorowej na ścisłość podłoża składającego się z gruntów słabonośnych – organicznych. Grunty organiczne zalegające w podłożu gruntowym, poddane były długo okresowej konsolidacji statycznej, głównie pochodzącej od nacisku ważkiego masywu przez ponad sto lat istnienia i użytkowania nasypu kolejowego.

Biorąc pod uwagę archiwalne i uzupełniające wyniki badań parametrów odkształceniowych (DMT) i wytrzymałości na ścinanie w warunkach *in situ*, należy uznać, za zasadną z inżynierskiego punktu widzenia, potrzebę weryfikacji rozwiązania projektowego stabilizacji podłoża słabonośnego składającego się ze wstępnie skonsolidowanych gruntów organicznych.

Optymalizacja posadowienia DW241 z punktu widzenia geotechnicznego i ekonomiczna w celu doboru zasięgu i zakresu racjonalnej stabilizacji podłoża powinna uwzględnić fakt genetycznego wzmocnienia gruntów organicznych przez ponad stuletni okres użytkowania nasypu kolejowego.

Na poniższym rysunku przedstawiono przykładowy przekrój geotechniczny podłoża organicznego i nasypu kolejowego wykorzystany do analizy geotechnicznej, wg (30).



Rys. 2. Przykładowy przekrój geotechniczny, wg (30).

Z analizy zaktualizowanych badań geotechnicznych wynika, że:

- w podłożu budowlanym projektowanego nasypu drogowego obwodnicy Nakła na odcinku w km 1+480 do km 1+700 występują złożone warunki gruntowo-

- wodne (grunty niespoiste w stanie luźnym, grunty spoiste w stanie plastycznym i miękkoplastycznym oraz grunty organiczne);
- korpus istniejącego, przeznaczonego do przebudowy i nadbudowy nasypu kolejki wąskotorowej, zbudowany jest w dominującej części z gruntów spoistych w stanie twardoplastycznym i luźnych piasków,
 - w dolnej części nasypu grunty spoiste znajdują się w stanie plastycznym, grunty organiczne występują na odcinku km 1+600 do km 1+680 (licząc wzdłuż osi jezdni), ich miąższość wynosi $0,9 \div 4,4$ m;
 - na odcinku od km 1+570 do skrzyżowania z ul. Bydgoską u podnóża skarpy istniejącego nasypu rozpoznano grunty organiczne tj. ściśliwe i słabonośne torfy i namuły z domieszkami gytii, osiągają one miąższości dochodzące do 5,8 m.

W związku z powyższym, do zachowania reżimu wytycznych projektowania obejmujących wielkość dopuszczalnych osiadań jak również w celu zachowania stateczności lokalnej i ogólnej korpusu drogowego niezbędne jest wykonanie wzmocnienia podłoża w podstawie dobudowywanej części nasypu drogowego oraz wzmocnienie istniejącego nasypu kolejki wąskotorowej wraz z jego odkształcalnym podłożem (w celu zapewnienia równomiernych osiadań całości układu docelowego korpusu drogowego obwodnicy - obiektów inżynierskich).

3. ANALIZA PROJEKTÓW WZMOCNIENIA PODŁOŻA

3.1. Propozycje wykonawcze wzmocnienia podłoża gruntowego

Projektuje się budowę korpusu drogowego drogi wojewódzkiej nr DW241, biegnącej częściowo po śladzie nasypu kolejowego a częściowo zlokalizowanym na terenie niskiego tarasu Noteci od strony ogródków działkowych.

Ze względu na zaleganie w podłożu projektowanego korpusu drogowego gruntów słabonośnych i wymagania funkcjonalne drogi i placu składowego cukrowni, opracowano dwa niezależne projekty wzmocnienia podłoża gruntowego pod konstrukcją drogową. Są to następujące Projekty:

- *Projekt wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC pod nasyp na dojeździe do obiektu inżynierskiego. Projekt technologiczny. MENARD POLSKA Sp. z o.o., ul. Kochanowskiego 49a, Warszawa, Binder K., Buczydło, I. Sucharzewski A. Czerwiec 2014 rok. (36).*
- *Geotechnika. Projekt wzmocnienia podłoża gruntowego drogi w nasypie w km 1+480 do 1+700. K1 Projektowanie Konstrukcyjno-Budowlane, Bożena Trzpis, ul. Kasprowicz 25, 33-100 Tarnów, marzec 2014 rok, (34).*

3.2. Projekt wzmocnienia podłoża wg Menard Polska Sp. z o.o., (36)

Przedmiotem analizy jest Projekt Wykonawczy (36), wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii kolumn typu CMC, na potrzeby zamierzenia budowlanego: *Obejście miasta Nakło na kierunku Pd-Pn w ciągu drogi wojewódzkiej nr 241*. Cały projektowany odcinek obwodnicy z uwagi na charakter konstrukcji zaliczono do II-giej kategorii geotechnicznej.

Konstrukcja drogowa budowanej obwodnicy Nakła n/Notecią została zaprojektowana na istniejącym nasypie o przebudowanej geometrii. Projekt zakłada rozbiórkę oraz przebudowę istniejącego nasypu. Projektowany nasyp będzie wyniesiony o około 2 m powyżej istniejącego nasypu w obrębie korony, oraz o około 7 m w obrębie poszerzonej podstawy nasypu.

Od strony placów składowych cukrowni projektowana jest konstrukcja oporowa w postaci ścianek szczelnych, kotwionych w nasypie.

Projekt wzmocnienia zakłada spełnienie wymagań przedstawionych przez Zamawiającego, tzn:

- obciążenie od ruchu kołowego: 25 kN/m²
- obciążenie od ruchu kołowego na drodze dojazdowej do działek: 15 kN/m²
- obciążenie od ruchu pieszego 5 kN/m²
- Wartości osiadań resztkowych (wynikających z eksploatacji) mniejsze niż 5.0 cm;
- Wartości osiadań resztkowych (wynikających z eksploatacji) na styku z obiektem inżynierskim mniejsze niż 2.0 cm;
- Współczynnik stateczności globalnej $F_s \geq 1.500$.

Konstrukcja drogowa została zaprojektowana na nasypie o przebudowanej geometrii. W ramach wzmocnienia przewidziano:

- Rozbiórkę części istniejącego nasypu,
- Uformowanie nowych skarp z gruntu zbrojonego geosyntetycznie o nachyleniu 1:1,5 (od strony doliny) i 1:1 od strony cukrowni (lokalnie podpartego murem oporowym).
- Maksymalne wyniesienie korony nasypu wynosi ok. 1,5-2,0 m w stosunku do stanu istniejącego.
- Maksymalne dodatkowe dociążenie podłoża przewidywane jest w rejonie dolnej krawędzi istniejącego nasypu (od południa), wynosi ono ok. 3-7m gruntu zbrojonego.
- Projekt zakłada możliwe osiadania projektowanej konstrukcji na poziomie 5 cm.

3.2.1. Obciążenia

Rozkład obciążeń przedstawia się następująco:

- obciążenie od ruchu kołowego: 25 kN/m²
- obciążenie od ruchu kołowego na drodze dojazdowej do działek: 15 kN/m²
- obciążenie od ruchu pieszego 5 kN/m².

3.2.2. Dobór i opis metody wzmocnienia

Warunki gruntowe charakteryzują się zaleganiem warstw słabonośnych do maksymalnej głębokości około 10 – 12 m (poniżej nasypów niebudowlanych o dużej miąższości), oraz do głębokości 5 – 6 m.

Występujące warunki przemawiają za zastosowaniem, jako racjonalnej metody wzmocnienia podłoża, przemieszczeniowych kolumn CMC na dojeździe do obiektu mostowego. Umożliwią one bezpieczne posadowienie nasypów, co pozwoli na przeniesienie obciążeń na zalegające poniżej warstwy gruntów nośnych oraz wyraźną poprawę stateczności nasypu.

Technologia i kolejność robót związanych z wykonaniem wzmocnienia podłoża za pomocą kolumn CMC

- Pograżenie ścianki szczelnej – wg odrębnego opracowania. Pograżenie może odbywać się z korony istniejącego nasypu, przy zachowaniu warunków bezpiecznej pracy sprzętu.
- Przygotowanie terenu rozbiórka istniejącego nasypu, wyrównanie i uformowanie platformy roboczej.
- Zapewnienie odwodnienia powierzchniowego platformy roboczej, poprzez odprowadzenie wód do systemu melioracyjnego. Drożność rowów melioracyjnych musi zostać utrzymana w celu odprowadzenia wód powierzchniowych z platformy roboczej.
- Wykonanie kolumn CMC wg planu oraz harmonogramu.
- Pograżenie zbrojenia.
- Nie dopuszcza się prowadzenia jakichkolwiek prac w sposób mogący zagrażać związanym kolumnom (niszczenie głowic, przerwanie ciągłości w wyniku pęknięcia) – po czasie dłuższym niż 6 godz. od wykonania kolumn.
- Wykonanie oczepu palisady, zakotwienie ścianki szczelnej na dolnym poziomie.
- Zbrojenie podstawy nasypu.

- Pozostałe prace związane z konstrukcją nasypu oraz zakotwieniem ścianki
- szczelnej.

Wymagania dotyczące platformy roboczej

Platforma robocza powinna spełniać następujące wymagania:

- Materiał platformy roboczej: gruz, kruszywo łamane, kruszywo naturalne tj. piasek lub pospółka. Nie więcej niż 5% frakcji przechodzącej przez sito o 0.078 mm;
- Miąższość platformy roboczej 50 do 150 cm.
- Rzędna platformy roboczej min 50 cm ponad poziomem zwierciadła wody gruntowej.
- Pochylenie ramp zjazdowych dla maszyny: max 20°.
- Platforma robocza powinna być odwodniona i w każdych warunkach pogodowych stanowić stabilne podłoże dla ciężkiego sprzętu o masie do 80 ton.
- Materiał platformy roboczej musi zostać zagęszczony powierzchniowo w celu uzyskania modułu odkształcenia $E_{v2} > 30 \text{ MPa}$.

Kolumny CMC są przestrzennymi elementami wzmocnienia podłoża. Do wykonania kolumn należy stosować odpowiednią mieszankę na kruszywie naturalnym, o charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie bez zbrojenia minimum:

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa},$$

tj. dla takiej wytrzymałości charakterystycznej ekwiwalentna wytrzymałość obliczeniowa betonu na ściskanie bez zbrojenia wynosi: $f^*_{cd} = 8.9 \text{ MPa}$ (ze zbrojeniem $f_{cd} = 10.6 \text{ MPa}$).

Do obliczeń numerycznych zaimplementowano materac geosyntetyczny o następującej konstrukcji:

- Podłoże gruntowe.
- Geosiatka poliestrowa 600 x 50 kN/m – układać w kierunku prostopadłym do osi drogi.
- Piasek - 30 cm - 40,
- Geosiatka poliestrowa 200 x 50 kN/m – układać w kierunku równoległym do osi drogi.

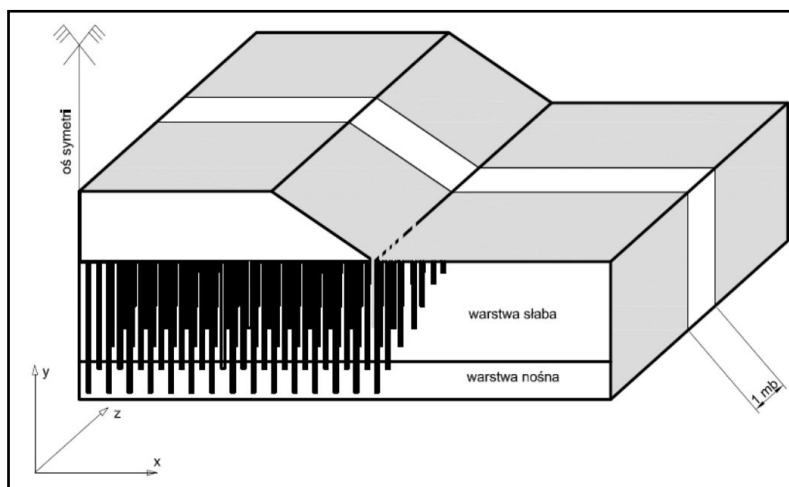
3.3. Charakterystyka obliczeń projektowanego wzmocnienia

Analiza stateczności zakładała minimalny współczynnik stateczności $F_s = 1,500$. Współczynnik stateczności oszacowany został przy pomocy elementów skończonych metodą redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntu.

Do obliczeń osiadań oraz efektywności wzmocnienia podłoża gruntowego **kolumnami typu CMC** projektowanego obiektu wykorzystano metodę elementów skończonych. Obliczenia wykonano w programie Plaxis V9. Jako reprezentatywny dla ośrodka gruntowego przyjęto model Coulomba-Mohra, który opisuje zachowanie się gruntu za pomocą następujących parametrów:

- E - moduł odkształcenia [MPa]
- ν - współczynnik Poissona [-]
- ϕ - kąt tarcia wewnętrznego [°]
- c - spójność [kPa]
- ψ - kąt dylatacji [°]

Do obliczeń w programie elementów skończonych Plaxis V9 przyjęto schemat płaskiego stanu odkształcenia.



Rys. 3. Analizowane siły wewnętrzne w skrajnych niezbrojonych kolumnach CMC, wg (36).

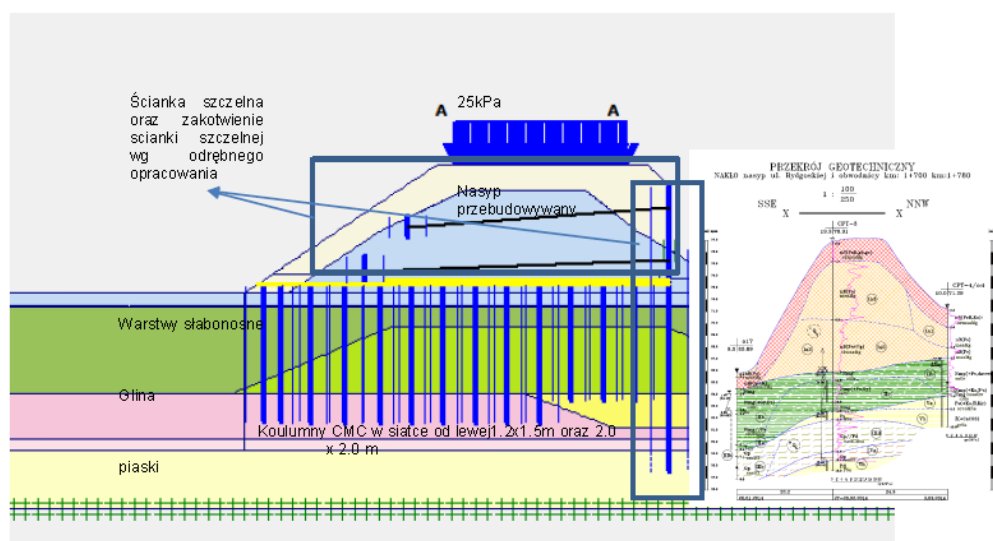
Geometria:

- Palisada wzdłuż krawędzi podstawy rozbudowywanego nasypu: 1.2 x 1.5 m wg szkicu poniżej:
- rozstaw kolumn pod korpusem przebudowywanego nasypu: 2.0 x 2.0 m
- średnica kolumn: 400 mm

Właściwości mechaniczne kolumn CMC o średnicy 400 mm

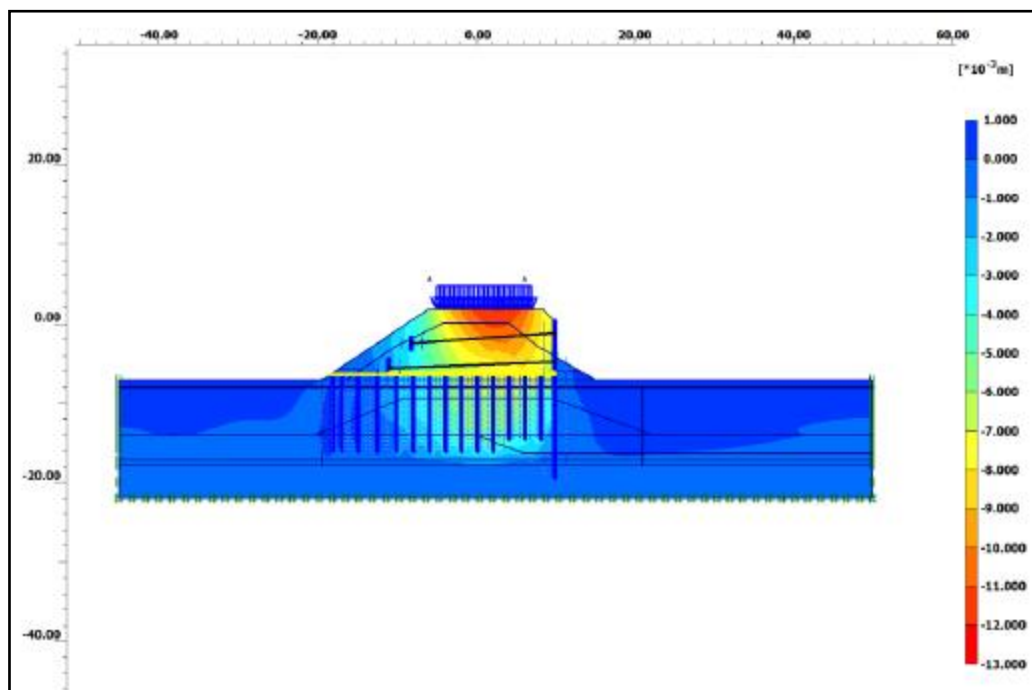
	Moduł Younga (MPa)	Średnica (m)	Rozstaw (m)	Sztywność $E_y.A.$ (kN/m)	Sztywność na zginanie $E_y.I.$ (kN.m ² /m)
CMC palisada	9 323	0,4	1,5	781077	7811
CMC			2	585807	5858

Geometria przekroju:



Rys. 3. Geometria modelu, wg (36).

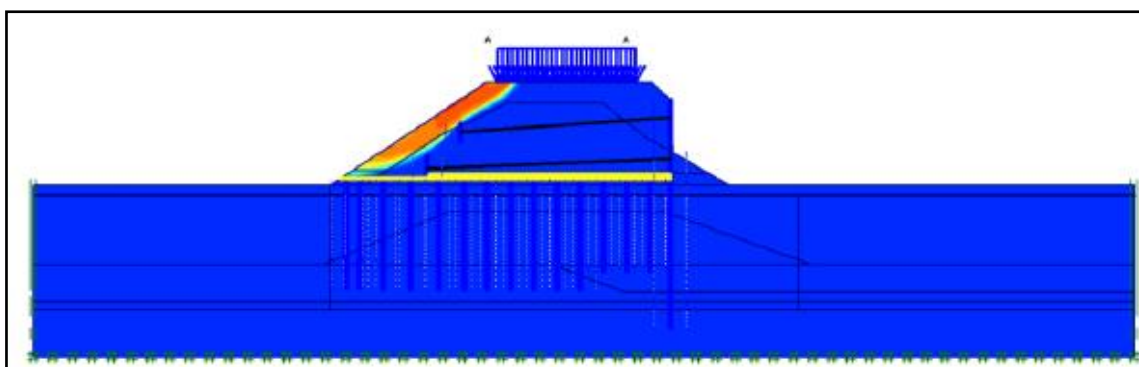
Poniżej przedstawiono wykres pokazujący przemieszczenia pionowe, rys. 4. Osiadania resztkowe, które zrealizują się podczas eksploatacji drogi na styku obiektu wynoszą około $13 \text{ mm} < 20 \text{ mm}$.



Rys. 4. Przyrost osiadań w wyniku eksploatacji – osiadania resztkowe, wg (36).

Analiza stateczności

Minimalny współczynnik stateczności wynosi: $F_s = 1.500$. Współczynnik stateczności oszacowany jest przy pomocy Metody Elementów Skończonych metodą redukcji parametrów wytrzymałościowych gruntu.



Rys. 5. Mapa przemieszczeń przy redukcji wytrzymałości gruntu na ścinanie, wg (36).

Obliczenia nośności kolumn CMC

Na potrzebę wyznaczenia nośności wykonano sondowania statyczne CPT – na podstawie danych wyjściowych obliczono średnie q_c . Uśredniony opór na stożku obliczono do głębokości 3D poniżej rzędnej podstawy kolumny.

Dla całego rozpatrywanego obszaru wybrano sondowanie pokazujące najbardziej niekorzystne warunki gruntowe. Obliczenia nośności wykonano przy wykorzystaniu wykresów z sondowań statycznych CPT, na podstawie wzoru Bustamante i Gianselli (36).

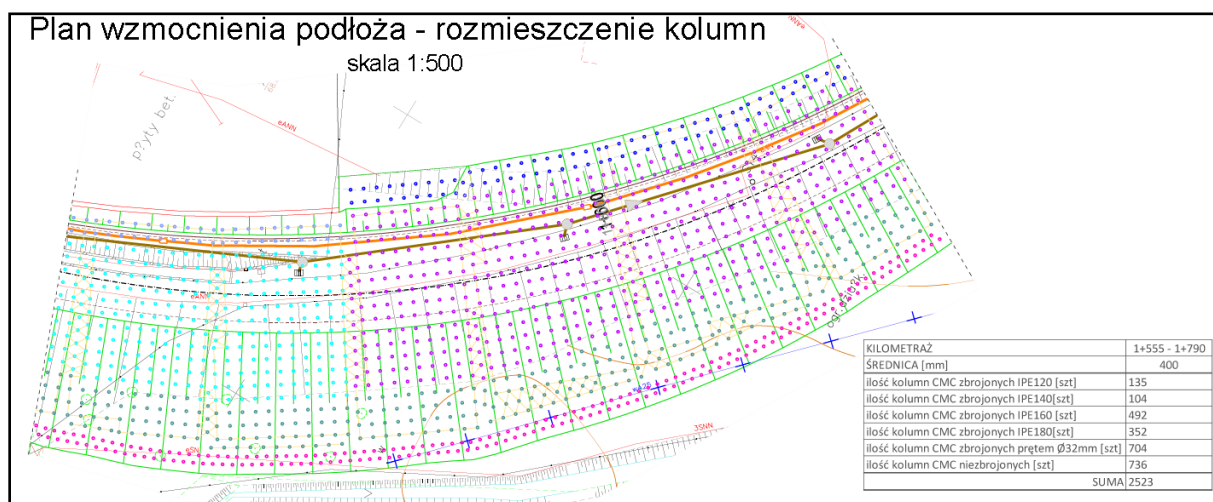
Obliczenia nośności kolumn CMC o średnicy 400 mm

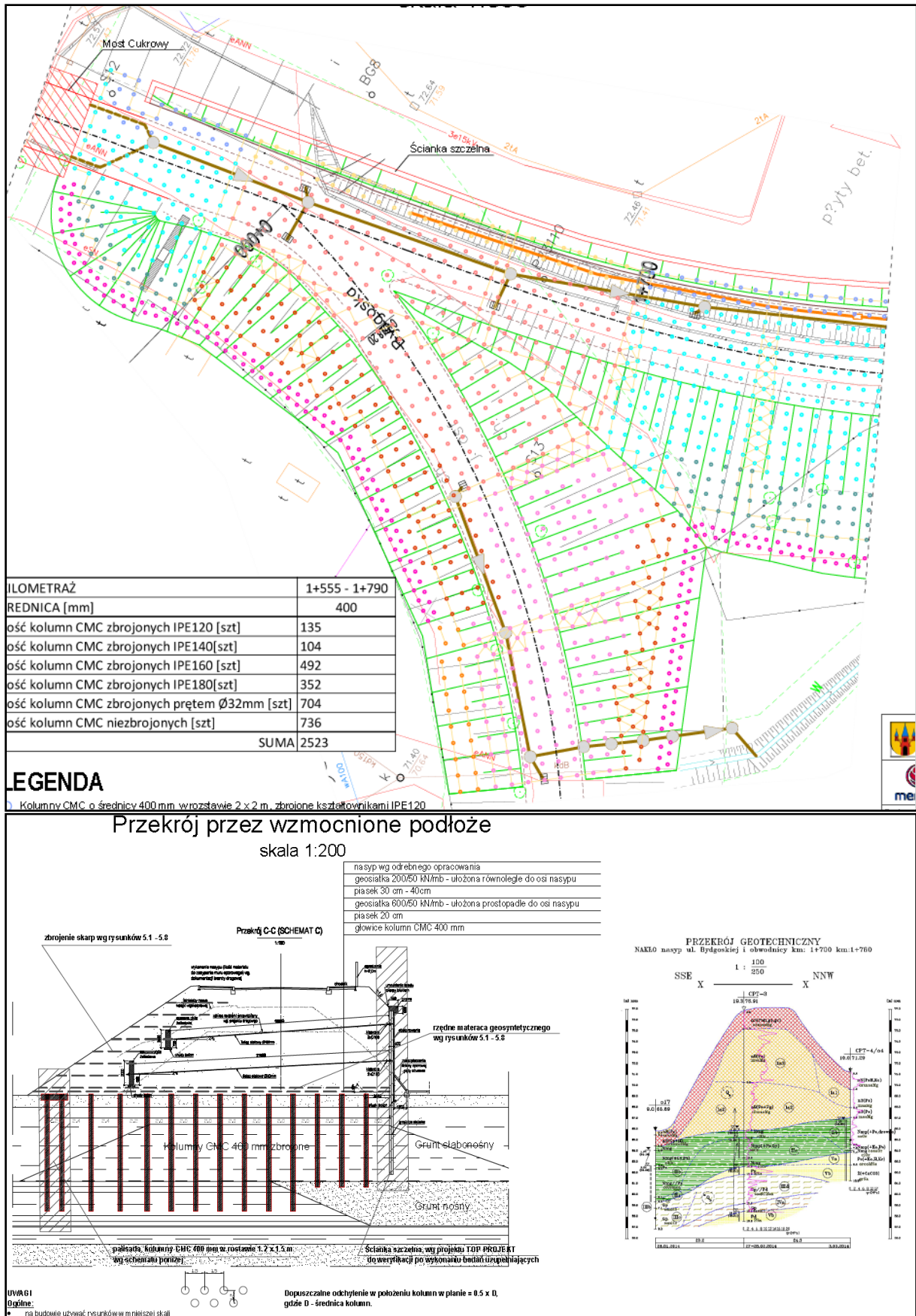
Średnica kolumny	D=	0,4 [m]								
Pole podstawy	A _b =	0,1257 [m ²]								
Wzrost boczny kolumny	A _s =	1,26 [m ² /mb]								
Długość całkowita kolumny	L _c =	12,00 [m]								
Nr warstwy	Oznaczenie warstwy	Międzyścisk warstwy	Długość kolumny	Współczynniki technologiczne		Opór pod stożkiem sondy CPT	Graniczny opór na pobocznicy	Graniczny opór pod stożkiem	Nośność pobocznicy	Nośność podstawy
symbol		h	L	Ψ ₁	Ψ ₂	q _c	q _{su}	q _{bu}	R _{su}	R _{bu}
Jednostka		[m]	[m]	[-]	[-]	[MPa]	[kPa]	[kPa]	[kN]	[kN]
1	nN	3	3	0,4	60	4,5	75,0	1800,0	282,74	0,00
2	Nmg	2,5	5,5	0,4	60	0,1	1,7	40,0	5,24	0,00
3	Nmg/T	2,5	8	0,4	60	0,5	8,3	200,0	26,18	0,00
4	Gp	2	10	0,4	60	2	33,3	800,0	83,78	0,00
5	Gp	2	12	0,4	60	3,5	58,3	1400,0	146,61	175,93
		12	12						544,54	175,93
				Obciążenie graniczne w głowicy kolumny				R _{ic} =	720 [kN]	
				Współczynnik bezpieczeństwa				m _{ic} =	0,90 [-]	
				Nośność graniczna kolumny				nN=	648,4 [kN]	
				Nośność obliczeniowa kolumny				N _t =	648,4 [kN]	

Obliczenia pokazują, że warunki stanów granicznych nośności i użytkowania zostaną spełnione.

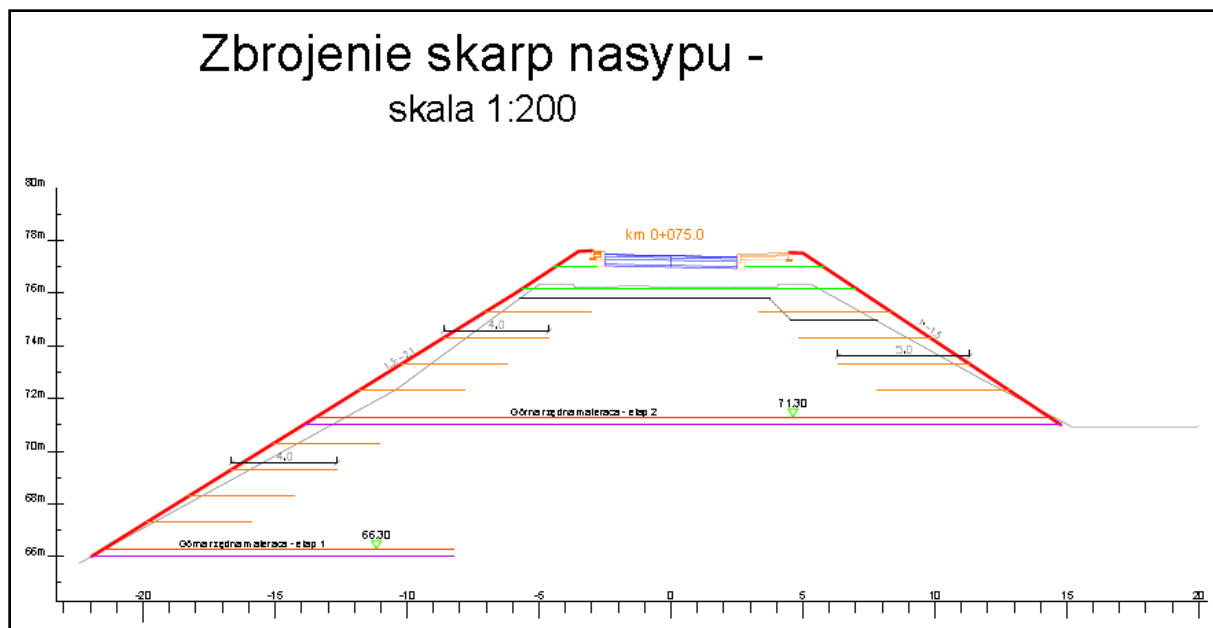
Osiadania w wyniku eksploatacji na dojeździe do obiektu będą mniejsze niż dopuszczalne 20 mm.

Na rysunku 6 przedstawiono plan wzmocnienia podłoża – rozmieszczenia kolumn na trasie zasadniczej km 1+480 do 1+700, wraz wyliczeniem liczby poszczególnych kolumn.





Rys. 6. Plan wzmocnienia podłoża gruntowego kolumnami CMC, wg (36).



Rys. 7. Zbrojenie skarp nasypu budowlanego, wg (36).

3.4. Wzmocnienie podłoża wg K1, Bożena Trzpis, (34)

3.4.1. Projektowane wzmocnienia

1. Wykonanie w podstawie projektowanego nasypu (strona lewa) konstrukcji oporowej z pali wierconych $\Phi 600$ o długości 15,0 m w rozstawie osiowym, co 1,50 m ze zwieńczeniem oczepem żelbetowym 0,80x0,80 m, ze zbrojeniem – 10 prętów $\Phi 20$ (stal RB500W), strzemiona $\Phi 8$, co 30 cm, pręty przeciwskurczowe 4 $\Phi 8$, beton C30/37.

Rozstaw dylatacji konstrukcyjnych w betonie oczepu, co 10 m. W celu zwieńczenia głowic pali górne odcinki zbrojenia należy zakotwić w belce oczepowej na długości min. 60 cm. Zbrojenie pali IPE180.

2. Wykonanie wzmocnienia podłoża w podstawie projektowanego nasypu w postaci kolumn betonowych wierconych (C20/25) $\Phi 600$ o długości 12,0 m w rozstawie 2,0m x 2,20m w km 1+540 do km 1+700, zbrojenie kolumn IPE 140 S355.

3. Wykonanie wzmocnienia istniejącego nasypu kolejki wąskotorowej w postaci kolumn betonowych wierconych $\Phi 600$ o długości 12,0÷13,0 m w rozstawie 2,20m x 2,20m oraz 2,0m x 2,20m w km 1+540 do km 1+700, zbrojenie kolumn IPE 140 i IPE 180 S355.

4. Wzmocnienie podłoża przy dojeździe do obiektu nad ul. Rudki kolumnami betonowymi wierconymi $\Phi 600$ o długości 3,0m (bez zbrojenia) i 9,0m (IPE120) w rozstawie 2,20m x 2,20m w km 1+480 do km 1+540.

5. Realizacja warstwy transmisyjnej z kruszywa 0/31,5mm w geotkaninie PES 400/50 na głowicach kolumn, grubość warstwy 50 cm. Układ warstw:

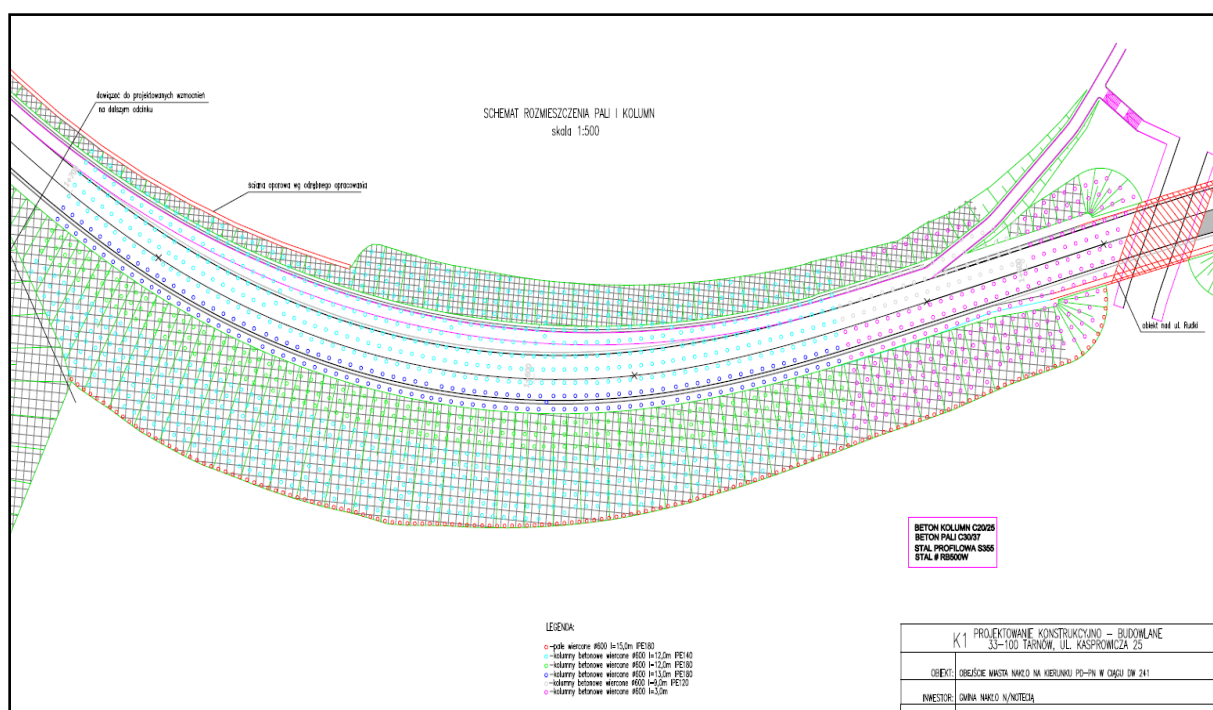
- podłoże gruntowe z warstwą wyrównującą z piasku, 20 cm;
- geotkanina PES400/50 układana prostopadle do osi drogi;
- kruszywo 0/31,5mm o wskaźniku zagęszczenia $I_{smin}=0,98$, 50 cm;
- geotkanina PES400/50 układana równolegle do osi drogi.

Wykonawca robót przed przystąpieniem do realizacji wzmocnienia przedstawi do akceptacji Projekt Technologiczny uwzględniający specyfikę terenu, warunki gruntowe, średnice i długość kolumn i pali i uwarunkowania technologiczne w odniesieniu do całości inwestycji.

W celu realizacji kolumn i pali dopuszcza się zastosowania technologii pali/kolumn wierconych dostępnych aktualnie na polskim rynku, zapewniająca w całym przekroju minimalną średnicę 60 cm (wiercenie w rurze obsadowej, technologia CMC, itp.). W przypadku zastosowania technologii CFA należy w pierwszej kolejności wykonać kolumnę próbną w rejonie zalegania gruntów organicznych i miękkoplastycznych, a po związaniu mieszanki betonowej odkopanie kolumny w celu weryfikacji stanu jej trzonu.

3.4.2. Sposób wykonania wzmocnienia podłoża

Schemat rozmieszczenia kolumn przedstawiony jest na rysunku wykonawczym, rys. 8.

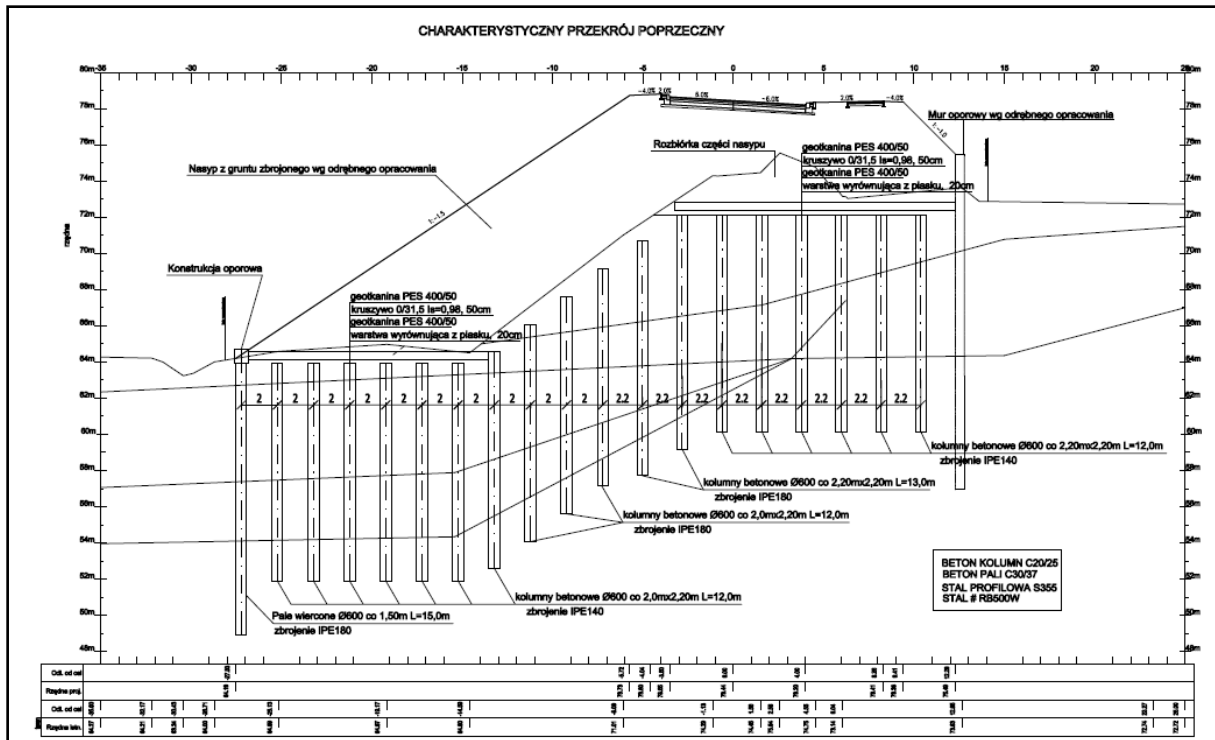


Rys. 8. Plan wzmocnienia podłoża gruntowego kolumnami, wg (34).

Sposób prowadzenia robót nie powinien naruszać interesu osób trzecich. Rozpoczęcie dalszych robót budowlanych może się rozpocząć dopiero po osiągnięciu przez beton kolumn odpowiedniej wytrzymałości.

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.

Na rysunku 9 przedstawiono charakterystyczny przekrój poprzeczny wzmocnienia podłoża kolumnami.



Rys. 9. Charakterystyczny przekrój poprzeczny wzmocnienia podłoża kolumnami, wg (34).

W trakcie wykonywania robót należy zachować wymagania BHP i ochrony środowiska. Kolumny należy wykonać o długości nie mniejszej niż podano w projekcie.

3.4.3. Wyciąg z obliczeń sprawdzających, (34)

Obliczenia przeprowadzono dla reprezentatywnego przekroju poprzecznego przez nasyp w km 1+650, rys. 10, 11.

Obciążenia na nasyp:

- ruch kołowy: 25 kN/m²
- ruch kołowego na drodze dojazdowej: 15 kN/m²
- ruch pieszy 5 kN/m².

Obliczenia z zastosowaniem metody elementów skończonych (GE05)

Globalne ustawienia obliczeń

- Rodzaj zadania : Płaski stan odkształcenia
- Rodzaj obliczeń : Naprężenie
- Konstrukcje betonowe : EN 1992-1-1 (EC2)
- Konstrukcje stalowe : EN 1993-1-1 (EC3)
- Model materiałowy : Mohr-Coulomb

Ustawienia obliczeń

Podstawowe

- Metoda : Newton - Raphson
- Zmiana macierzy sztywn. : po każdej iteracji
- Maks. liczba iteracji dla jednego kroku oblicz. : 100
- Początkowy krok obliczeniowy : 0,25
- Tolerancja błędu przemieszczenia : 0,0100
- Tolerancja błędu niezrównoważonych sił : 0,0100
- Tolerancja błędu energii : 0,0100
- Uwzględniaj granice materiałowe : nie

Newton - Raphson

Faktor relaksacyjny kroku redukcji : 2

Maksymalna liczba relaksacji kroku obliczeniowego : 2

Min. liczba relaksacji dla jednego kroku oblicz. : 1

Line search

Metoda obliczeń : nie iteruj

Line search limit - minimum : 0,100

Line search limit - maximum : 1,000

Plastyczność

Tolerancja błędu powrotu do pow. plast. : 0,00100

Maks. liczba iteracji dla jednego kroku plast. : 20

Przemieszczenia (ekstrema)

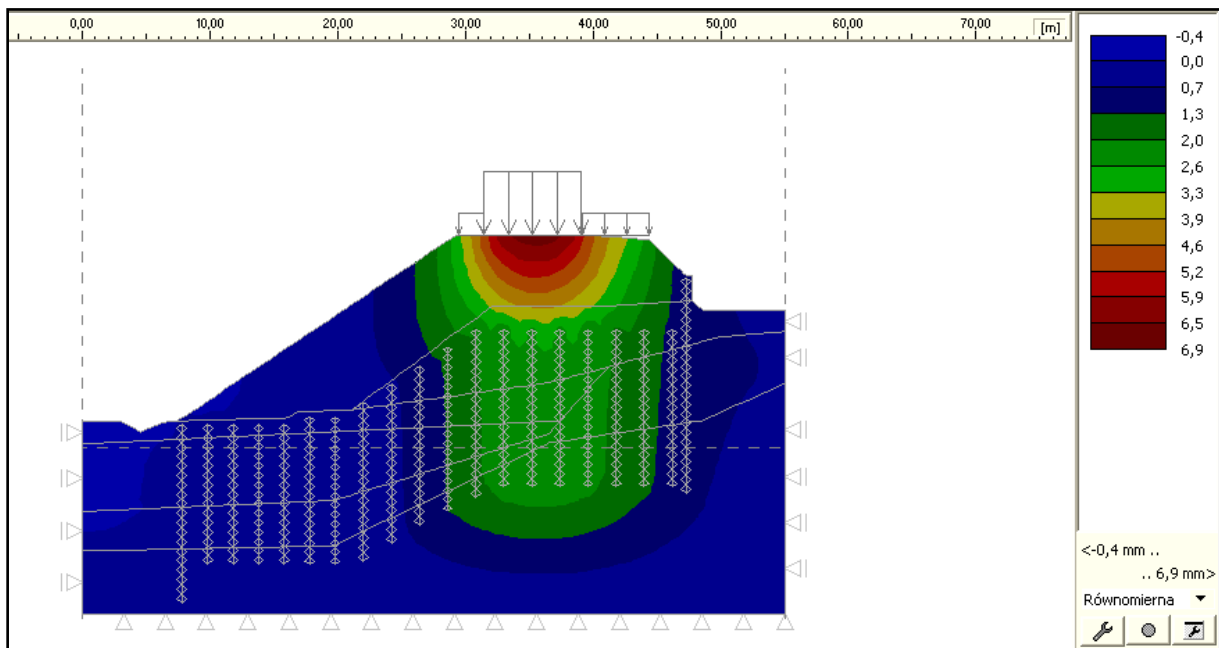
Lokalizacja Min

Lokalizacja Max

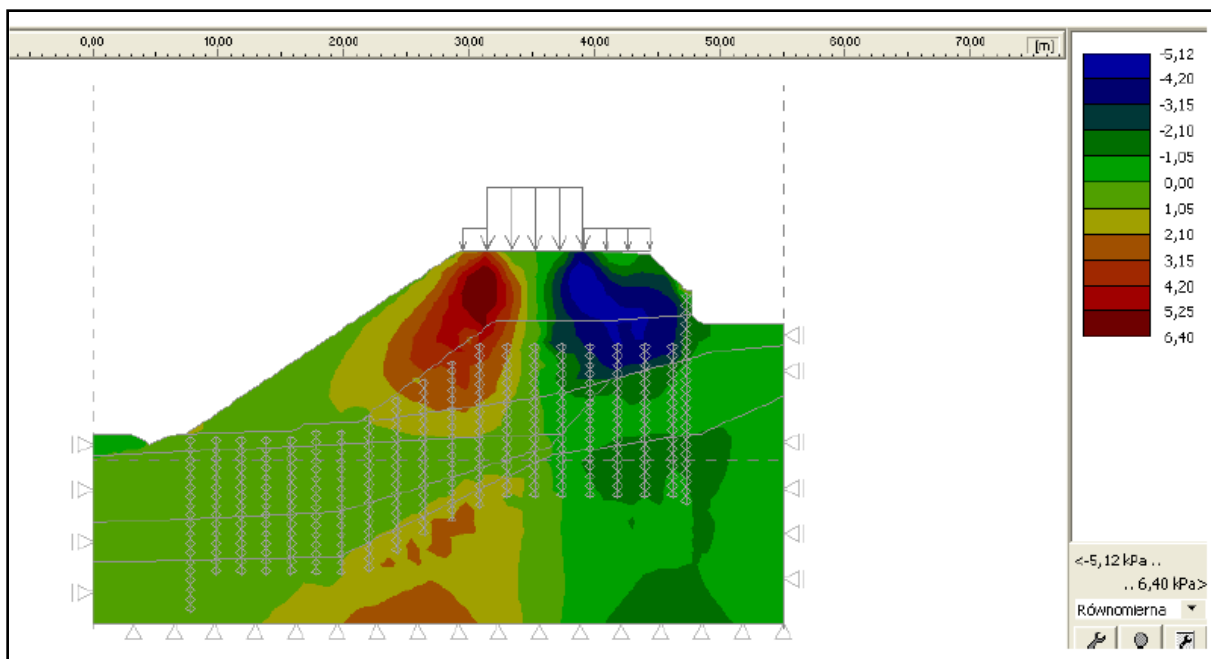
x [m] z [m] x [m] z [m]

Przemieszczenia x [mm] 44,33 9,21 -1,0 28,76 8,19 1,5

Przemieszczenia z [mm] 0,00



Rys. 10. Przemieszczenia z (mm), wg (34).



Rys. 11. Naprężenia ścinające kPa, wg (34).

Obliczenie nośności pionowej : NAVFAC DM 7.2

Obliczenia przeprowadzono stosując automatyczny wybór najbardziej niekorzystnych przypadków obciążeniowych.

Współczynnik obliczenia głębokości krytycznej $k_{dc} = 1,00$

Nośność pobocznicy $R_s = 360,71 \text{ kN}$

Nośność podstawy $R_b = 254,47 \text{ kN}$

Nośność całkowita $R_c = 615,18 \text{ kN}$

Pionowa siła obliczeniowa $V_d = 580,00 \text{ kN}$

$R_c = 615,18 \text{ kN} > 580,00 \text{ kN} = V_d$

3.4.4. Zalecenia konstrukcyjne

- przed przystąpieniem do robót należy wytyczyć punkty charakterystyczne oraz dokonać sprawdzenia przez pomiar bezpośredni;
- przed przystąpieniem do robót należy sprawdzić wszystkie urządzenia obce ujęte w planie zagospodarowania terenu;
- wszystkie materiały powinny posiadać znak CE lub deklaracje zgodności;
- przy obiekcie nad ul. Rudki należy zweryfikować położenie kolumn w odniesieniu do fundamentów obiektu;
- należy dowiązać projektowane wzmocnienia do wzmocnień przewidzianych od km 1+700 oraz w części ul. Bydgoskiej;
- z uwagi na zaleganie w podłożu bardzo słabych gruntów organicznych o dużej miąższości nie zaleca się wykorzystania technologii CFA przy realizacji kolumn betonowych (rozmycie trzonu kolumn w nawodnionych gruntach organicznych) bez wcześniejszej weryfikacji tej technologii w aktualnych warunkach gruntowych;
- podstawy kolumn należy oprzeć w gruntach warstwy IVa, IVb (twardoplastyczne gliny piaszczyste) lub V (zagęszczone piaszki), trzon kolumny wprowadzić min. 1,0 m w warstwę nośną.

4. PODSUMOWANIE ANALIZY PROJEKTÓW

Na podstawie wyników analizy projektów wzmocnienia podłoża pod konstrukcją drogi wojewódzkiej nr DW241, na odcinku występowania gruntów słabonośnych pod nasypem kolejowym w km 1+480 do 1+700, można stwierdzić, następujące fakty:

Opracowano dwa niezależne projekty wzmocnienia podłoża gruntowego pod konstrukcją drogową, porównywalne rozwiązaniem technicznym, tj.:

- „Projekt wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC pod nasyp na dojeździe do obiektu inżynierskiego. Projekt technologiczny. MENARD POLSKA Sp. z o.o., Binder K., Buczydło, I. Sucharzewski A. Czerwiec 2014 rok. (36)
 - Projekt wzmocnienia podłoża gruntowego drogi w nasypie w km 1+480 do 1+700. K1 Projektowanie Konstrukcyjno-Budowlane, Bożena Trzpis, (34).
1. Projekty wzmocnienia w obydwu przypadkach zakładają spełnienie wymagań przedstawionych przez Zamawiającego, tzn:
 - Wartości osiadań resztkowych (wynikających z eksploatacji) mniejsze niż 5.0 cm;
 - Wartości osiadań resztkowych (wynikających z eksploatacji) na styku z obiektem inżynierskim mniejsze niż 2.0 cm;
 - Współczynnik stateczności globalnej $F_s \geq 1.500$.
 2. Konstrukcja drogowa została zaprojektowana na nasypie o przebudowanej geometrii. W ramach wzmocnienia przewidziano:
 - Rozbiórkę części istniejącego nasypu,
 - Uformowanie nowych skarp z gruntu zbrojonego geosyntetycznie o nachyleniu 1:1,5 (od strony doliny) i 1:1 od strony cukrowni (lokalnie podpartego murem oporowym).
 - Maksymalne wyniesienie korony nasypu ok. 1,5-2,0 m w stosunku do stanu istniejącego.
 - Maksymalne dodatkowe dociążenie podłoża przewidywane w rejonie dolnej krawędzi istniejącego nasypu (od południa), wynosi ok. 3-7m gruntu zbrojonego.
 - Projekty zakładają możliwe osiadania projektowanej konstrukcji na poziomie 5 cm.
 3. Warunki geotechniczne przemawiają za zastosowaniem, jako racjonalnej metody wzmocnienia podłoża, przemieszczeniowych kolumn CMC na dojeździe do obiektu mostowego. Umożliwią one bezpieczne posadowienie nasypów co pozwala na przeniesienie obciążeń na zalegające poniżej warstwy gruntów nośnych oraz wyraźną poprawę stateczności nasypu.
 4. Rozwiązanie z zastosowaniem pali typu CFA do wzmocnienia podłoża z uwagi na zaleganie w podłożu bardzo słabych gruntów organicznych o dużej miąższości nie jest tak bezpieczne, gdyż może nastąpić np.: rozmycie trzonu kolumn w nawodnionych gruntach organicznych (woda naporowa) w stwierdzonych warunkach gruntowych;

5. Proponowane w innym wariancie (30) kolumny kombinowane Menarda MCC są zaawansowanym technicznie wariantem kolumn betonowo-żwirowych i polegają na utworzeniu w słabym podłożu inkluzji składającej się z trzonu betonowego (o średnicy 0.3 - 1.0 m), cechującego się dużą sztywnością i mogą być przydatne w analizowanych warunkach geotechnicznych.
6. Zastosowanie trzonu betonowego kolumn w gruntach słabych, zapewnia wyraźne ograniczenie osiadań podłoża gruntowego oraz wpływa znacząco na poprawę stateczności (wyraźne zwiększenie współczynnika stateczności). Dzięki tej technologii można uzyskać bardzo małe osiadanie resztkowe, porównywalne do wartości uzyskiwanych w przypadku posadowień na głębokich palach.
7. Przy zastosowaniu kombinacji betonowo – żwirowej nie występuje problem przeszywnienia warstwy podłoża nad głowicą kolumny, gdyż sztywny trzon betonowy występuje względnie dość głęboko od spągu materacy geosyntetycznych, co w wielu przypadkach umożliwia rezygnację bądź ich ograniczenie.
8. Obciążenie przekazywane na podłoże jest przenoszone nie tylko przez kolumny, ale także przez otaczający je grunt. Słabe podłoże przenosi zazwyczaj od 5 do 40% obciążeń całkowitych. Trzony betonowe z betonowo – żwirową głowicą pozwalają na zredukowanie osiadań podłoża od 60 do 95% (w zależności od stanu gruntu i rozstawu kolumn).

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Na podstawie wyników podsumowania i uogólnienia analizy wniosków z projektów wzmocnienia podłoża pod konstrukcją drogi wojewódzkiej nr DW241, na odcinku występowania gruntów słabonośnych pod nasypem kolejowym w km 1+480 do 1+700, można uznać, że przedstawione projekty są porównywalne w zakresie wiedzy geotechnicznej i spełnienia wymagań przedstawionych przez Zamawiającego, tzn:

- Wartości osiadań resztkowych,
- Wartości osiadań wynikających z eksploatacji na styku z obiektem inżynierskim,
- Współczynnika stateczności globalnej.

Biorąc pod uwagę złożone lokalne warunki gruntowo-wodne, zweryfikowane właściwości geotechniczne gruntów organicznych, przemawiają one za zastosowaniem, jako racjonalnej metody wzmocnienia podłoża, przemieszczeniowych kolumn CMC, wg propozycji (36).

Korzystnym do rozwiązania ostatecznego będzie, moim zdaniem, przeanalizować powtórnie możliwość częściowego zastosowania kolumn MCC, w dowiązaniu do dobrze rozpoznanych warunków geotechnicznych określających zaleganie gruntów słabonośnych. Rozwiązanie projektowe z zastosowaniem kolumn MCC wzmocnienia podłoża wg wcześniejszej propozycji (30), umożliwi racjonalizację posadowienia nasypów i pozwala na przeniesienie obciążeń na zalegające poniżej warstwy gruntów nośnych powoduje poprawę stateczności nasypu.

Przy zastosowaniu kombinacji betonowo – żwirowej nie występuje problem *przesztywnienia* podłoża nad głowicą kolumny, gdyż sztywny trzon betonowy występuje względnie głęboko pod warstwą materacy geosyntetycznych, co w wielu przypadkach umożliwia rezygnację bądź ich ograniczenie.

Jak wykazują wyniki obliczeń rozwiązanie (36) chroni podłoże w strefie podstawy poza głównym korpusem nasypu przed wyparciem. Przemawia to moim zdaniem za wzrostem bezpieczeństwa globalnego korpusu nasypu i jest prostsze.

Wnioskuje za wdrożeniem do wzmocnienia podłoża gruntowego pod konstrukcją drogi wojewódzkiej nr DW241, na odcinku występowania gruntów słabonośnych pod nasypem kolejowym w km 1+480 do 1+700, projektu: *Projekt wykonania wzmocnienia podłoża gruntowego w technologii kolumn CMC pod nasyp na dojeździe do obiektu inżynierskiego. Projekt technologiczny. MENARD POLSKA Sp. z o.o., Warszawa, autorzy; Binder K., Buczydło, I. Sucharzewski A. Czerwiec 2014 rok. (36).*

Zaleca się wykorzystanie części rozwiązań i wniosków zawartych projekcie (30) i ustaleń geotechnicznych, między innymi w zakresie: określenia podstawy kolumn, które należy oprzeć w gruntach warstwy IVa, IVb (twardoplastyczne gliny piaszczyste) lub V (zagęszczone piaszki), a trzon kolumn MCC i CMC wprowadzić na odpowiednią głębokość w warstwy nośne oraz optymalizację wymiarów warstw geomateraca, również pod względem kosztów.

BYDGOSZCZ, lipiec 2014 r.