



GEOTEKO Projekty i Konsultacje Geotechniczne Spółka z o.o.

ul. Wałbrzyska 3/5, 02-739 Warszawa, tel./ faks (22) 218 93 70, (22) 218 93 71,
www.geoteko.com.pl, e-mail: info@geoteko.com.pl,
NIP 113-00-07-283, REGON 012558187,
KRS 0000204617 Sąd Rejonowy dla M.St. Warszawy w Warszawie XIII Wydział Gospodarczy
Wysokość Kapitału Zakładowego 50000.00 zł

***PROPOZYCJA DORAŻNEGO I DOCELOWEGO
ZABEZPIECZENIA WRAZ Z OCENĄ DOTYCZĄCĄ
OSIADANIA NASYPU DROGOWEGO ORAZ DEGRADACJI
SKARP I POBOCZY OBWODNICZY SIEDLEC
W CIĄGU DK2 W km 568+000 DO km 568+340***

***Zleceniodawca: GDDKiA Oddział w Warszawie
ul. Mińska 25, 03-808 Warszawa***

Umowa nr: 12/2013 (nr GEOTEKO 250/3594/13)

Opracowanie:

dr inż. Józef Mirecki
upr. geol. VI-0351

mgr inż. Piotr Paprocki
upr. geol. VI-0363, V-1527

mgr Adrian Gańko
upr. geol. XI-048

Vice-Prezes GEOTEKO

dr inż. Tadeusz Barański

Warszawa, październik 2013

- Laboratorium Geotechniczne GEOTEKO - akredytacja PCA AB 962 (wg PN-EN ISO/IEC 17025)
 - Sporządzanie dokumentacji geotechnicznych i geologicznych objęte systemem zarządzania wg ISO 9001:2008
- Firma jest członkiem Izby Projektowania Budowlanego nr rej 237



Nr 237

20 lat doświadczenia

SPIS TREŚCI

1. WSTĘP	1
1.1. Podstawa opracowania	1
1.2. Przedmiot i zakres opracowania.....	1
1.3. Wykorzystane materiały:.....	2
2. WIZUALNA OCENA NASYPU	2
2.1. Stan nasypu wg informacji od Zamawiającego	2
2.2. Wyniki wizji terenowej.....	3
3. ZAKRES METODYKA I WYNIKI WYKONANYCH BADAŃ GEOTECHNICZNYCH	5
3.1. Wprowadzenie	5
3.2. Wiercenia badawcze	6
3.3. Sondowania statyczne CPT.....	6
3.4. Badania Dylatometrem Marchettiego DMT.....	8
3.5. Badania laboratoryjne.....	9
3.6. Pomiary geodezyjne	9
4. WARUNKI GRUNTOWO-WODNE.....	10
4.1. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne	10
4.2. Ocena warunków geotechnicznych	10
5. ANALIZA STATECZNOŚCI NASYPU.....	12
6. PRZYCZYNY DEGRADACJI NASYPU DROGOWEGO	16
7. PROPOZYCJE ZABIEGÓW ZABEZPIECZAJĄCYCH NASYP	17
7.1. Doraźne zabezpieczenie nasypu	17
7.2. Docelowe zabezpieczenie nasypu.....	18
8. WNIOSKI	20

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik 1	Lokalizacja terenu badań (skala 1:10 000)
Załącznik 2	Wycinek Mapy Geologicznej Polski, arkusze Siedlce Południe i Skórzec (skala 1:50 000)
Załącznik 3	Mapa dokumentacyjna (skala 1:500)
Załącznik 4	Karty dokumentacyjne otworów badawczych
Załącznik 5	Wyniki sondowań statycznych CPT
Załącznik 6	Wyniki badań Dylatometrem Marchettiego DMT
Załącznik 7	Wyniki badań laboratoryjnych
Załącznik 8	Przekroje geotechniczne (skala 1:100 i 1:500)
Załącznik 9	Wyniki obliczeń stateczności nasypu
Załącznik 10	Schematy docelowego zabezpieczenia nasypu
Załącznik 11	Dokumentacja fotograficzna

1. WSTĘP

1.1. Podstawa opracowania

Niniejsze opracowanie zostało wykonane przez GEOTEKO Projekty i Konsultacje Geotechniczne Sp. z o.o. (ul Wałbrzyska 3/5, 02-739 Warszawa) na zlecenie: GDDKiA Oddział w Warszawie (ul. Mińska 25, 03-808 Warszawa) na podstawie umowy nr 12/2013 z dnia 07.10.2013r. (nr tematu Geoteko 250/3594/13).

Opracowanie wykonano w oparciu o wyniki badań terenowych nasypu drogowego i jego podłoża w ciągu drogi krajowej nr 2 na odcinku km 568+000 – km 568+340 (obwodnica Siedlec). Dodatkowe dane pozyskiwano z materiałów archiwalnych dotyczących budowy nasypu drogowego i późniejszej przebudowy drogi na tym odcinku jak również z informacji przekazanych przez Zleceniodawcę.

1.2. Przedmiot i zakres opracowania

Przedmiotem umowy jest opracowanie ekspertyzy geotechnicznej odcinka nasypu drogowego w ciągu drogi krajowej nr 2 w km 568+000 do km 568+340 (obwodnica Siedlec) dotyczącej jego stanu technicznego wraz z propozycjami doraźnych i docelowych działań w celu poprawy stanu tego nasypu. Szczegółowo cel opracowania został zapisany w opisie przedmiotu zamówienia i obejmuje:

- wykonanie badań terenowych i laboratoryjnych wraz z oceną warunków gruntowo-wodnych na analizowanym odcinku nasypu drogowego (badania z korony nasypu i u jego podstawy),
- określenie przyczyn powstawania uszkodzeń poboczy i skarp badanego odcinka,
- wskazanie koniecznych działań doraźnych zabezpieczających nasyp przed dalszą degradacją,
- przedstawienie propozycji docelowych działań w celu poprawy stanu nasypu drogowego.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Strona: 1

1.3. Wykorzystane materiały:

- Mapa sytuacyjno-wysokościowa rejonu analizowanego odcinka nasypu drogowego 1:500.
- Projekt techniczny przebudowy drogi międzyregionalnej Warszawa-Terespol odcinek Obejście Siedlec od km 83+700 do km 94+650. Branża drogowa. Część opisowa. Centralne Biuro Studiów i Projektów Dróg i Mostów, 1980.
- Projekt techniczny przebudowy drogi międzyregionalnej Warszawa-Terespol odcinek Obejście Siedlec od km 83+700 do km 94+650. Branża mostowa. Opis i obliczenia. Centralne Biuro Studiów i Projektów Dróg i Mostów, 1980.
- Ocena stateczności skarp i zboczy. Zasady wyboru zabezpieczeń. Instrukcja. Instytut Techniki Budowlanej, 2011.
- Sprawozdanie z badań związanych z osiadaniem nasypu oraz degradacją nawierzchni obwodnicy Siedlec w ciągu DK 2 w km 568+150 – 568+340 S.P. GDDKiA Oddział w Warszawie. Wydział Technologii, 2013.
- Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski. Arkusze: Skórzec i Siedlce Południe. Państwowy Instytut Geologiczny, 2002; 2003.

2. WIZUALNA OCENA NASYPU

2.1. Stan nasypu wg informacji od Zamawiającego

Obwodnica Siedlec została oddana do użytku w 1983 r. Nasyp na omawianym odcinku został wykonany częściowo w trakcie budowy wiaduktu nad ul. Sosnową, a następnie poszerzony do projektowanej szerokości. W trakcie eksploatacji na nawierzchni jezdni wystąpiły podłużne spękania, zlokalizowane głównie po lewej stronie jezdni. Jednocześnie na skutek osiadania nasypu, następowało obniżanie się jezdni na pasie między jej krawędzią, a spękaniem. Sądzone, że prawdopodobnym powodem osiadania nasypu, czego efektem było pęknięcie nawierzchni przy krawędzi, była nieprawidłowa technologia poszerzenia nasypu (bez wykonywania stopni na tzw. szwach roboczych).

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013
	Strona: 2

Wykonana w latach 90-tych XX wieku przebudowa drogi krajowej nr 2 oraz regularnie prowadzone roboty utrzymaniowe nie zapewniają stabilności nasypu, w związku z czym następuje ciągła degradacja nawierzchni jezdni i pobocza drogi.

Uszkodzenia w postaci podłużnych pęknięć nawierzchni drogi stwierdzono na odcinku od km 568+000 do km 568+340 obwodnicy Siedlec w ciągu drogi krajowej nr 2 (między mostem na rzece Muchówce, a wiaduktem nad ul. Sosnową). W 2011 r. stwierdzono również nieznaczne osunięcia górnych krawędzi skarp nasypu, zabezpieczono je powierzchniowo płótkami z faszyny. Wiosną br. zaobserwowano dalsze osiadanie nasypu oraz propagację pęknięć nawierzchni.

W czerwcu br. Wydział Technologii Oddziału GDDKiA w Warszawie przeprowadził badania na odcinku objętym uszkodzeniami. W wyniku tych badań stwierdzono, że stan warstw konstrukcyjnych, zarówno podbudowy jak i warstw bitumicznych, jest prawidłowy, a spękania nawierzchni spowodowane są osiadaniami podłoża pod nasypem bądź ruchami osuwiskowymi.

2.2. Wyniki wizji terenowej

W dniu 7 października 2013 r. dokonano wizji terenowej analizowanego odcinka nasypu drogowego. W trakcie wizji zinwentaryzowano uszkodzenia nawierzchni jezdni i skarp nasypu. Wyniki inwentaryzacji zestawiono w Tab. 1 oraz zilustrowano na mapie dokumentacyjnej (Zał. 3). Dokumentację fotograficzną badanego odcinka nasypu drogowego zawiera Zał.11.

Tab.1 Inwentaryzacja uszkodzeń nasypu drogowego w ciągu DK 2 na odcinku km 568+000 – 568+340 – stan na dzień 07.10.2013 r.

Kilometraż	Opis uszkodzenia	Nr fotografii w Zał. 11
568+070	Spękana krawędź nawierzchni asfaltowej na odcinku 4 m po południowej stronie nasypu drogowego	5
568+082	Spękanie poprzeczne nawierzchni asfaltowej	6
568+170	Spękanie poprzeczne nawierzchni asfaltowej	7
568+178 ÷ 568+189	Silnie spękana krawędź nawierzchni asfaltowej na odcinku 11m po południowej stronie nasypu drogowego	8
568+170 ÷ 568+340	Uszkodzenie pobocza wzmocnionego warstwą asfaltową oraz miejscowo faszyną po południowej stronie nasypu drogowego	8, 9, 11, 14, 15, 17 i 18

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Kilometraż	Opis uszkodzenia	Nr fotografii w Zał. 11
568+199 ÷ 568+208	Silnie spękana krawędź nawierzchni asfaltowej na odcinku 9m po południowej stronie nasypu drogowego	9
568+200; 568+240; 568+274; 568+320	Niedrożne koryta odprowadzające wody opadowe z jezdni na skarpie południowej nasypu drogowego	15 i 19
568+210 ÷ 568+236	Spękana krawędź nawierzchni asfaltowej na odcinku 26m po południowej stronie nasypu drogowego	11
568+230	Wybrzuszenie skarpy u podstawy nasypu drogowego na odcinku 14 m po jego południowej stronie	12
568+245	Spękanie poprzeczne nawierzchni asfaltowej	13
568+260 ÷ 568+340	Wyraźne osiadanie linowej bariery ochronnej po południowej stronie nasypu drogowego	14, 17 i 18
568+260 ÷ 568+310	Uszkodzenie pobocza wzmocnionego warstwą asfaltową oraz miejscowo faszyną po północnej stronie nasypu drogowego	21
568+264	Uszkodzenie zabezpieczone blokiem betonowym na nasypie drogowym po jego południowej stronie	14
568+297	Spękanie poprzeczne nawierzchni asfaltowej	16
568+305 ÷ 568+314	Osunięcie pobocza wzmocnionego asfaltem na odcinku 9m, po południowej stronie nasypu drogowego	17, 18, 19 i 20
568+320	Osunięcie gruntu u podstawy nasypu drogowego po jego północnej stronie	21 i 22

Na podstawie wizji ustalono, że odcinek nasypu drogowego w ciągu drogi krajowej nr 2 od km 568+000 do km 568+340 wykazuje cechy świadczące o jego niestabilności, szczególnie na odcinku km 568+170 – 568+320. Na ww. odcinku stwierdzono:

- poprzeczne pęknięcia nawierzchni drogowej,
- podłużne pęknięcia nawierzchni drogowej zlokalizowane po prawej stronie jezdni (południowa część nasypu) wzdłuż jej krawędzi,
- osunięcie pobocza w km 568+308 na południowej skarpie nasypu,
- wybrzuszenia skarpy świadczące o „starych” osunięciach skarpy
- odchylenia od pionu słupków barier ochronnych.

W trakcie wizji ustalono również miejsca wykonania badań geotechnicznych. Propozycję rozmieszczenia punktów badawczych przedstawiono Zamawiającemu (GDDKiA Oddział w

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Warszawie Rejon Siedlce). W oparciu o przedstawioną propozycję rozmieszczenia punktów badawczych na koronie nasypu Zamawiający opracował Projekt organizacji ruchu na czas realizacji geotechnicznych badań terenowych na koronie nasypu.

3. ZAKRES METODYKA I WYNIKI WYKONANYCH BADAŃ GEOTECHNICZNYCH

3.1. Wprowadzenie

Metody badań geotechnicznych zostały ustalone przez Zamawiającego w Opisie Przedmiotu Zamówienia. Lokalizacja punktów badawczych została ustalona na podstawie wizji terenowej i przedstawiono ją do akceptacji Zamawiającemu. Lokalizację miejsc badań pokazano na mapie dokumentacyjnej w Zał. 3.

Głębokość badań została ustalona na ok.15 m (dla badań z korony nasypu) i ok. 8 m (dla badań zlokalizowanych poza nasypem drogowym).

Prace na koronie nasypu (w pasie drogowym) prowadzono z uwzględnieniem wytycznych w zakresie wygradzenia i oznakowania miejsc badań zawartych w „Projekcie czasowej organizacji ruchu”.

Badania rozmieszczono w 7-miu przekrojach badawczych zlokalizowanych (orientacyjnie) według poniższego kilometrażu w miejscach wskazujących na potencjalną niestabilność nasypu:

- przekrój I-I, km 568+320
- przekrój II-II, km 568+308
- przekrój III-III, km 568+300
- przekrój IV-IV, km 568+240
- przekrój V-V, km 568+202
- przekrój VI-VI, km 568+170
- przekrój VII-VII, km 568+066

Prace terenowe wykonano w dniach 10, 11, 14 i 15 października.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013
	Strona: 5

3.2. Wiercenia badawcze

Prace wiertnicze zostały wykonane przy użyciu wiertnicy firmy WAMET model H25S, techniką okrężno-udarową. Wiercenia prowadzone były marszami dostosowanymi do napotykaných warunków geologicznych, nie dłuższymi niż 1m, świdrem ślimakowym o średnicy 125mm. Wiercenia były prowadzone pod ciągłym dozorem uprawnionego geologa. W ramach prac terenowych wykonano 13 otworów badawczych do głębokości w zakresie 8÷15m – łącznie wykonano 154 mb wierceń.

Lokalizację otworów badawczych pokazano na mapie dokumentacyjnej (Załącznik 3), a ich karty dokumentacyjne przedstawiono w Załączniku 4.

Bezpośrednio po każdym wydobyciu próbki z otworu określano makroskopowo: rodzaj, stan i barwę nawierzonego gruntu według PN-88/B-04481. *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.*

Pomiary i obserwacje poziomów wody gruntowej w otworach przeprowadzano zgodnie z normą PN-74/B-04452, po ustabilizowaniu się zwierciadła wody.

Próbki do badań cech fizycznych (NU oraz NW) pobierano z każdej napotkanej warstwy gruntu różniącej się stanem, wilgotnością, barwą lub w przypadku występowania gruntów jednorodnych co 2m. Dla części z nich (15 sztuk) wykonano badania laboratoryjne. Próbki wytypowane do badań laboratoryjnych zaznaczono na kartach dokumentacyjnych otworów (Załącznik 4) i zestawiono tabelarycznie w Załączniku 7. Sposób pobrania, przechowywanie i transport próbek wykonano zgodnie z wymaganiami określonymi w normie PN-B-04452:2002. *Geotechnika. Badania polowe.*

Po zakończeniu badań wszystkie otwory zlikwidowano poprzez zasypanie urobkiem. Otwory wykonywane w koronie nasypu w części górnej (podbudowa, nawierzchnia) zlikwidowano przy użyciu zaprawy cementowej i masy bitumicznej.

3.3. Sondowania statyczne CPT

Wykonano 14 sondowań statycznych CPT do głębokości w zakresie 8÷16 m – łącznie 158.5 mb sondowań.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013
	Strona: 6

Sondowania wykonano przy wykorzystaniu 2 urządzeń hydraulicznych firmy Pagani (model tg 73_200 i model tg 63_150) z zastosowaniem stożka elektrycznego z bezprzewodowym systemem rejestracji danych firmy GEOTECH AB. Interpretacje wyników badań przeprowadzono przy wykorzystaniu oprogramowania firmy GEOSOFT z Wrocławia – CPT-pro.

Interpretacja profilu gruntowego polegała na podziale gruntów na spoiste i niespoiste (zgodnie z nomogramem Robertsona 1990), a następnie przypisanie rodzaju gruntu zgodnie z sąsiednimi otworami wiertnicznymi.

Interpretacja sondowań obejmowała ocenę:

- **Stopnia plastyczności I_L** (formuła Geoteko) – dla gruntów spoistych:

$$I_L = A - 0.5 \cdot \log(q_c - \sigma'_{vo})$$

gdzie:

q_t – opór na stożku netto, gdzie $q_t = q_c + u_2(1-a)$

q_c – pomierzony opór na stożku,

u_2 – pomierzone ciśnienie porowe,

a – geometryczny współczynnik stożka,

σ'_{vo} – pionowe efektywne naprężenie geostatyczne,

A – współczynnik zależny od rodzaju gruntu, przyjęto 0.35

- **Stopnia zagęszczenia I_D** (formuła Baldi, 1986) – dla gruntów niespoistych:

$$I_D = 0.42 \cdot \ln(q_c / (248 \cdot \sigma'_{vo})^{0.55})$$

- **Wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu S_u** (Schmertmann 1978) –

dla gruntów spoistych: $S_u = (q_c - \sigma_{vo}) / N_{kt}$, przyjęto: $N_{kt} = 4 \cdot q_c + 8$ (wg. Geoteko).

Wartość współczynnika N_{kt} zależy głównie od genezy i stanu gruntu. Formuła przedstawiona powyżej powstała w oparciu o wieloletnie doświadczenia GEOTEKO tj. korelacje pomiędzy wynikami badań laboratoryjnych i terenowych.

- **Kąta tarcia wewnętrznego ϕ'** (Schmertmann 1978):

$$\phi' = 0.125 \cdot I_D + 28 \text{ (dla piasków średnich)}$$

Wyniki sondowań statycznych CPTu wraz z interpretacją przedstawiono w Zał. 5, a lokalizację badań przedstawiono na mapie dokumentacyjnej w Zał.3.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

3.4. Badania Dylatometrem Marchettiego DMT

Badania Dylatometrem Marchettiego wykonano przy wykorzystaniu urządzenia hydraulicznego firmy Pagani model tg 63_150. W ramach opracowania wykonano 3 badania DMT do głębokości 8 m, łącznie 24 m.

Metodyka badania Dylatometrem Marchettiego i interpretacji wyników pomiarów opracowana została przez Marchettiego (1980). Pomierzone wartości ciśnienia p_0 i p_1 oraz obliczone wartości efektywnego naprężenia pionowego σ'_{vo} i hydrostatycznego ciśnienia wody w porach u_0 , wykorzystywane są do wyznaczenia następujących wskaźników dylatometru:

- współczynnika materiałowego:

$$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$$

- współczynnika naprężenia poziomego:

$$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{vo}$$

- modułu dylatometrycznego:

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0)$$

Współczynnik materiałowy I_D pozwala na ogólne określenie rodzaju gruntu wg warunku:

- $I_D < 1.8$ - grunty spoiste,
- $I_D > 1.8$ - grunty niespoiste i mało spoiste.

W celu dokładniejszej oceny rodzaju gruntu, jego stanu oraz ciężaru objętościowego, wykorzystano nomogram opracowany przez Marchettiego (1980). Należy jednak pamiętać, że przyjęta klasyfikacja gruntów i ich stanów nie jest zgodna z Polską Normą. Wykorzystywano ją jedynie do wstępnego wydzielenia w podłożu gruntów spoistych i niespoistych.

Współczynnik naprężenia poziomego (K_D) jest bezpośrednio wykorzystywany do wyznaczenia wytrzymałości na ścinanie w warunkach bez odpływu C_u (oznaczenie z wyników badań DMT) oraz oceny wartości współczynnika parcia bocznego w spoczynku K_0 .

Korelacja pomiędzy wynikami badań przeprowadzonych połową sondą obrotową PSO-1 i przy użyciu aparatu trójosiowego, a wartością K_D z dylatometru, była podstawą do opracowania zależności dla gruntów o $I_D < 1.2$:

$$C_u = 0.22 * \sigma'_{vo} (0.5 K_D)^{1.25}$$

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013
	Strona: 8

Moduł dylatometryczny (E_D) charakteryzuje zależność pomiędzy naprężeniem działającym na membranę przy jej 1.1 milimetrowym przemieszczeniu w kierunku gruntu i odzwierciedla sztywność gruntu. W łąkach i pyłach pomierzona dylatometrem sztywność gruntu odpowiada warunkom bez odpływu, a w piaskach otrzymaną miarę sztywności należy odnieść do warunków pełnego drenażu.

Parametrem geotechnicznym opisującym sztywność gruntu, a jednocześnie najlepiej korelującym z modułem dylatometrycznym E_D , jest moduł ściśliwości M , którego wartość wyznaczono z zależności:

$M = R_M \times E_D$, gdzie:

$R_M = 0.12 + 1.8 \log K_D$ - dla gytii i namulów,

$R_M = 0.5 + 2 \log K_D$ - dla $I_D > 3$,

$R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ - dla $0.6 < I_D < 3$,

$R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$ - dla $I_D < 0.6$,

$P_{M0} = 0.14 + 0.15 \cdot (I_D - 0.6)$.

W przypadku: $R_M < 0.85$, przyjmowano: $R_M = 0.85$.

Wyniki badań Dylatometrem Marchettiego zamieszczono w Zał. 6, a lokalizację badań przedstawiono na mapie dokumentacyjnej w Zał.3.

3.5. Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne wytypowanych próbek gruntu przeprowadzono w Laboratorium Geotechnicznym GEOTEKO. Wyniki badań właściwości fizycznych próbek gruntu zamieszczono w Sprawozdaniu z badań laboratoryjnych – Zał. 7.

3.6. Pomiary geodezyjne

Prace geodezyjne obejmowały: wytyczenie miejsc punktów badawczych (otwory wiertnicze, sondowania) oraz zaniwelowanie wyrobisk w państwowym układzie geodezyjnym. Po korekcie lokalizacji profili badawczych przeprowadzona została geodezyjna inwentaryzacja

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

powykonawcza. Na potrzeby niniejszego opracowania geodezyjnie zinwentaryzowano także zaobserwowane w trakcie wizji lokalnej uszkodzenia nasypu drogowego.

4. WARUNKI GRUNTOWO-WODNE

4.1. Budowa geologiczna i warunki hydrogeologiczne

Badany odcinek drogi krajowej nr 2 zlokalizowany jest w dolinie rzeki Muchawki, położonej w obrębie płaskiej, staroglacjalnej, wysoczyzny morenowej. Dolinę rzeki stanowi równina torfowa. Występujący od powierzchni terenu torf zalega do głębokości ok. 3.5 m p.p.t. Poniżej torfu do głębokości rozpoznania występują piaski rzeczne (facji korytowej i tarasów nadzalewowych) wykształcone w postaci piasków średnich i drobnych miejscami przewarstwione madami o niewielkiej miąższości. Nasyp drogowy zbudowany jest z piasków różnoziarnistych z przewarstwieniami gliniastymi.

Wody podziemne występują w obrębie piasków rzecznych. Zwierciadło wody napinane przez warstwę torfu stabilizuje się na głębokości w zakresie od 0.2 m p.p.t. w osi doliny, do 2.0 m p.p.t. na jej obrzeżach (stan na 14.10.2013r). Wahania położenia zwierciadła wody są zależne od wielkości przepływu wód w rzece Muchawce.

4.2. Ocena warunków geotechnicznych

Przeprowadzone badania terenowe (wiercenia badawcze, sondowania CPT i badania Dylatometrem Marchettiego DMT) miały na celu określenie warunków gruntowo-wodnych i stanu gruntów w korpusie oraz w podłożu nasypu drogowego na przedmiotowym odcinku. Jak ustalono na podstawie materiałów archiwalnych rozpoznanie warunków gruntowych, na etapie projektowania nasypu drogowego, wskazywało na występowanie w dolinie rzeki Muchawki nienośnych gruntów organicznych. Projekt techniczny budowy nasypu zakładał wydobycie tych gruntów spod podstawy nasypu i zastąpienie ich nośnym gruntem piaszczystym. Z ustnych informacji przekazanych przez Przedstawiciela Zleceniodawcy wynikało, że wymiana przeprowadzona została pod środkową częścią nasypu odpowiadającą szerokości korony; pod

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

pozostałą częścią podstawy nasypu (pod skarpami) wymiana gruntu nie była wykonana, lub została wykonana w ograniczonym zakresie. Te informacje znalazły potwierdzenie w wynikach badań terenowych, z tą różnicą, że praktycznie we wszystkich punktach badawczych wykonywanych z korony nasypu stwierdzono występowanie w podłożu warstwy gruntów organicznych (torfu) o miąższości od 0.5 do 1.0 m.

Charakteryzując warunki gruntowo-wodne badanego terenu należy wyróżnić trzy zasadnicze warstwy geotechniczne, tj. nasyp drogowy (budowlany), warstwę gruntów organicznych (torfy, namuły) oraz grunty niespoiste podłoża naturalnego, zalegające poniżej utworów organicznych, wykształcone głównie w postaci piasków średnich i drobnych lokalnie z domieszką części pylastych.

Nasyp drogowy (budowlany) o wysokości na badanym odcinku od 3.5 (km 568+066) do ok. 5.5 – 6.0 m (km 568+240 – 568+340) i szerokości w koronie 13.5 – 14.0 m oraz u podstawy 27 – 30 m, cechuje zróżnicowane zagęszczenie (stan) i rodzaj wbudowanego gruntu. Miąższość gruntów wbudowanych pod koroną nasypu jest powiększona o strefę wymiany gruntu, gdzie pierwotnie zalegający słabonośny grunt organiczny został wymieniony w trakcie budowy nasypu. Należy przyjmować, że strefa wymiany gruntu zawiera się pomiędzy rzędnymi 146 – 143 m n.p.m. Nasyp, pod względem stabilności konstrukcji, można podzielić na dwa odcinki:

- km 568 +000 – km 568+240, zbudowany w przewadze z gruntów niespoistych z dobrze zagęszczoną warstwą przypowierzchniową (do gł. ok. 3,0 m poniżej korony) i strefą wymiany gruntu charakteryzującą się oporami wciskania stożka sondy CPT większymi od 5 MPa
- km 568+240 - km 568+340 zbudowany z gruntów spoistych i niespoistych (w stosunku 50/50) o niedostatecznym stanie zagęszczenia znacznych partii nasypu i strefą wymiany gruntu charakteryzującą się stosunkowo niskimi oporami wciskania stożka sondy CPT w granicach od 2 do 5 MPa. W przypadku tej części badanego nasypu metoda docelowego zabezpieczenia powinna uwzględniać konieczność poprawy stanu zagęszczenia nasypu.

Warstwa gruntów organicznych zalegająca na badanym obszarze od powierzchni terenu (poza nasypem drogowym) do rzędnej ok. 142 m n.p.m. Pod koroną nasypu miąższość warstwy gruntów organicznych wynosi od 0,5 do 1,0 m, u podnóża nasypu miąższość torfu wynosi od

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

2.5 do 3.5 m. Należy zakładać, że w okresie dotychczasowej, blisko 30 letniej eksploatacji nasypu, warstwa gruntów organicznych zalegająca pod nasypem poddana obciążeniu została skonsolidowana. O stopniu skonsolidowania pozostawionych gruntów organicznych w podłożu nasypu (pod koroną) świadczy blisko dwukrotny wzrost wartości wytrzymałości na ścinanie S_u tych gruntów (profile sondowań CPT-20 i CPT-22) w porównaniu z wartościami wytrzymałości S_u dla gruntów organicznych nie obciążonych nasypem (np. CPT-15, CPT-16, CPT-18). Parametry odkształceniowe (moduły ścisłości) dla warstwy gruntów organicznych zalegających poza nasypem zostały określone na podstawie badań Dylatometrem Marchettiego DMT i wynoszą 2 MPa.

Naturalne podłoże mineralne budują nawodnione średnio zagęszczone, lokalnie zagęszczone piaski średnie i drobne z niewielkim przewarstwieniami pylastymi. Strop warstwy zalega na rzędnych 143 – 142 m n.p.m. co odpowiada głębokości ok. 8 m poniżej korony nasypu (3.0 – 3.5 m p.p.t. na terenie poza obrębem nasypu drogowego). Woda gruntowa związana z warstwą utworów piaszczystych, napinana przez zalegającą powyżej warstwę gruntów organicznych, stabilizuje się w przedziale rzędnych 143.8 – 145.5 m n.p.m., w zależności od odległości od koryta rzeki Muchawki stanowiącej oś doliny.

Warunki geotechniczne zostały zilustrowane na przekrojach geotechnicznych w Zał.8.

5. ANALIZA STATECZNOŚCI NASYPU

Analizę stateczności skarpy nasypu drogowego w ciągu drogi krajowej nr 2 w przekroju obliczeniowym A-A, zlokalizowanym w km 568+297, przeprowadzono przy wykorzystaniu programu komputerowego SLOPE_W kanadyjskiej firmy Geoslope. Do obliczeń zastosowano metodę numeryczną GLE (General Limit Equilibrium) stanowiącą ściśle rozwiązanie równania równowagi.

Metoda GLE została sformułowana przez Fredlunda (Fredlund i Krahn 1977). Metoda ta zawiera w sobie kluczowe elementy większości klasycznych metod stosowanych przy analizie stateczności.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Współczynnik stateczności F w metodzie GLE obliczany jest na podstawie następujących wzorów:

Równanie momentów:

$$F_m = \frac{\sum (c' \beta R + (N - u \beta) R \tan \phi')}{\sum W_x - \sum N f \pm \sum D d} \quad [1]$$

Równanie sił:

$$F_f = \frac{\sum (c' \beta \cos \alpha + (N - u \beta) \tan \phi' \cos \alpha)}{\sum N \sin \alpha - \sum D \cos \omega} \quad [2]$$

gdzie:

c' – efektywna wartość spójności

ϕ' – efektywna wartość kąta tarcia wewnętrznego

u – wartość ciśnienia wody w porach

N – siła normalna do podstawy paska

W – ciężar paska

D – obciążenie

$\beta, R, x, f, d, \omega$

α – nachylenie podstawy paska

Siły międzypaskowe są obliczane ze wzoru:

$$X = E \lambda f(x) \quad [3]$$

gdzie:

E – międzypaskowa siła ścinająca,

λ – wartość procentowa wykorzystania funkcji,

$f(x)$ – funkcja,

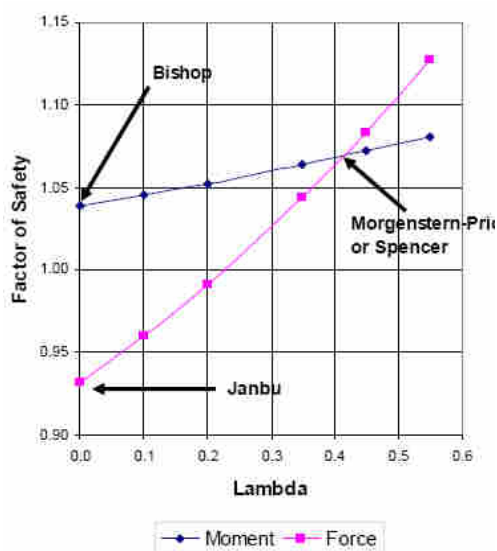
X – międzypaskowa siła normalna

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Jedną z podstawowych zmiennych powyższych równań jest N – wartość siły normalnej do podstawy paska. Jest ona wyrażona następującym równaniem:

$$N = \frac{W + (X_R - X_L) - \frac{(c' \beta \sin \alpha + u \beta \sin \alpha \tan \phi')}{F}}{\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi'}{F}} \quad [4]$$

W metodzie GLE współczynnik stateczności F jest obliczany z równania momentów [1] i równania sił [2] dla całego zakresu współczynnika λ . Obliczone wartości są zestawiane w sposób pokazany na poniższym Rys. 1 tak, aby F_m i F_f były sobie równe.



Rys. 1 Wyznaczania współczynnika λ w metodzie GLE

Celem obliczeń statycznych analizowanej skarpy nasypu drogowego było wyznaczenie współczynnika stateczności F dla obecnego jej ukształtowania oraz dla warunków uwzględniających wprowadzenie działań zabezpieczających skarpe (wymiana lub wzmocnienie gruntu u podstawy nasypu).

Dla poszczególnych warstw geotechnicznych zestawiono wartości parametrów gruntowych przyjętych do obliczeń stateczności- Tab. 2. Zostały one opracowane na podstawie wykonanych sondowań statycznych CPT oraz bazy danych GEOTEKO.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Tab.2. Wartości parametrów gruntowych użytych w obliczeniach stateczności

Wydzielenia geotechniczne		Parametry na podstawie sondowań CPT i badań arch.		
Numer warstwy	Opis	γ [kN/m ³]	Kąt tarcia wewnętrznego ϕ' [°]	Spójność c' [kPa]
I	Nasyp drogowy	20,0	31	2
II	Grunty organiczne (torf) poza nasypem	13,0	0	15
	Grunty organiczne (torf) skonsolidowane pod nasypem	14,0	0	25
III	Podłoże mineralne (Pd/Ps)	19,0	32	0

Objaśnienia:

I_L – stopień plastyczności

I_D – stopień zagęszczenia

γ - ciężar objętościowy gruntu,

Zestawione w Tabeli 2 parametry dobrano dla potrzeb numerycznych obliczeń stateczności, przyjmując możliwie najniższe wartości dla obecnego stanu naprężeń.

W obliczeniach przyjęto obciążenie statyczne od ruchu drogowego o wartości 25 kPa.

Obliczenia przeprowadzono dla następujących wariantów:

- wariant I – stan obecny ukształtowania skarpy nasypu drogowego,
- wariant II – stan ukształtowania skarpy nasypu drogowego z wykonaną wymianą gruntu u podstawy nasypu;

Geometrię skarpy określono na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej przekazanej przez Zleceniodawcę i dodatkowych pomiarów geodezyjnych wykonanych w ramach sporządzania niniejszego opracowania. Do obliczeń wytypowano przekrój nasypu odpowiadający geometrii nasypu w km 568+297 i najbardziej niekorzystnym warunkom gruntowym ustalonym w oparciu o przeprowadzone badania. Średnia wysokość nasypu w przekroju obliczeniowy (liczona jako różnica rzędnych krawędzi korony i podstawy skarpy) wynosi 5.5 m, nachylenie skarpy południowej ok.1:1.5 .Są to najbardziej niekorzystne warunki do analizy stateczności na rozpatrywanym odcinku nasypu.

Graficzną ilustrację wyników analizy stateczności zamieszczono w Zał. 9.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

Otrzymane wyniki obliczeń wskazują na zagrożenie stateczności południowej skarpy nasypu drogowego w stanie obecnym (wariant obliczeniowy I - współczynnik stateczności $F=1.17$), szczególnie w przypadku braku kompleksowych rozwiązań w zakresie zabezpieczenia nasypu i dalszej erozji spowodowanej spływającymi po skarpie wodami. Wg Instrukcji ITB z 2011 r. wystąpienie osuwiska należy uznać za prawdopodobne gdy spełniony jest warunek $1,0 < F < 1,3$.

W wariantcie obliczeniowym II, zakładającym wykonanie wymiany (bądź wzmocnienia gruntu) w strefie u podstawy nasypu otrzymany współczynnik stateczności jest wyższy i wynosi $F=1,35$, a przebieg krzywej poślizgu zmienia charakter w stosunku do stanu bez wykonania zabezpieczenia (wariant I) i dotyczy stateczności lokalnej (skarpy), a nie stateczności ogólnej (podłoża). Rozwiązania techniczne dotyczące docelowego zabezpieczenia nasypu powinny mieć na względzie zapewnienie takiego schematu statycznego, w którym analizowane krzywe poślizgu nie przechodzą przez podłoże gruntowe, a wymagany współczynnik stateczności w warunkach eksploatacji nasypu nie powinien być niższy niż $F=1.5$.

6. PRZYCZYNY DEGRADACJI NASYPU DROGOWEGO

Na podstawie wykonanych badań terenowych oraz przeprowadzonej wizji lokalnej należy stwierdzić, że do przyczyn obecnego złego stanu nasypu drogowego na analizowanym odcinku należy zaliczyć:

- niedokładną wymianę i pozostawienie (na etapie budowy), w podłożu nasypu gruntów organicznych oraz związane z tym osiadania w pierwszym okresie eksploatacji; miąższość pozostawionych gruntów organicznych jest zmienna, zostały one wybrane częściowo pod środkową częścią nasypu, a pozostawione pod skarpami,
- doraźne naprawy nawierzchni jezdni i korpusu nasypu, które skutkowały zwiększeniem ciężaru nasypu; np. w profilu badawczym OW-9 (km 568+300) miąższość warstwy bitumicznej i podbudowy z zaprawy cementowej wnosi 1,0 m;
- poszerzenie jezdni, które skutkowało przesunięciem obciążeń dynamicznych (od ruchu pojazdów) do krawędzi nasypu co pogarsza warunki stateczności skarpy,

Posadowienie znacznej części nasypu na gruntach organicznych o niskiej wytrzymałości na ścinanie i dużej odkształcalności, powoduje wypieranie z podłoża nasypu tych gruntów i stwarza

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

zagrożenie dla stateczności skarp, szczególnie skarpy południowej. Parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe gruntów organicznych w porównaniu do gruntów mineralnych są bardzo niskie. Dodatkowo są jeszcze zróżnicowane w strefie podłoża pod nasypem. Dlatego też uszkodzenia obserwowane na koronie nasypu są skutkami nierównomiernych osiadań podłoża i lokalnych (miejscowych) osuwisk będących wynikiem utraty stateczności.

Uszkodzenia nasypu stwierdzono głównie na południowej skarpie na odcinku od km 568+240 do km 568+340. Jest to odcinek gdzie nasyp osiąga wysokości ok. 5,5 – 6,0 m p.p.t, a nachylenie jego skarp wynosi ok. 1:1.5. Południowa strefa krawędziowa korony na ww. odcinku jest najbardziej narażona na potencjalne ruchy osuwiskowe. Pozostałe części badanego nasypu nie wykazują cech zniszczenia wskazujących na zagrożenie jego stabilności. Jako minimalny zakres robót zabezpieczających należy przyjąć działania zapewniające poprawę warunków stateczności ogólnej południowej skarpy nasypu na odcinku o długości ok. 100 m od km 568+240 do km 568+340.

7. PROPOZYCJE ZABIEGÓW ZABEZPIECZAJĄCYCH NASYP

7.1. Doraźne zabezpieczenie nasypu

Doraźne zabezpieczenie nasypu drogowego, do czasu realizacji zabezpieczenia docelowego, powinno:

- zabezpieczyć koronę nasypu (nawierzchnia jezdni i pobocza) przed wsiąkaniem wód opadowych w korpus nasypu,
- zapewnić szybkie odprowadzenie z korony nasypu wód pochodzących z opadów atmosferycznych,
- zmniejszyć (ograniczyć) drgania od ruchu pojazdów w podbudowie jezdni i w górnych warstwach nasypu.

W tym celu zaleca się:

- a) wyłączenie z ruchu południowej części pasa jezdni, począwszy od jej krawędzi do ok. 1,0m poza widoczne w nawierzchni podłużne szczeliny, wraz z poboczem,

Zlecniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

- b) ograniczenie prędkości ruchu pojazdów na zagrożonym odcinku do 50 km/h,
- c) zalać płynnym asfaltem wszystkie szczeliny widoczne w jezdni i na poboczach,
- d) uformować spadek korony nasypu (jezdni i pobocza) w kierunku do krawędzi nasypu tak, aby spływ wód opadowych odbywał się szybko i bez przeszkód,
- e) zapewnić szybki i kontrolowany spływ wód opadowych po skarpach nasypu (udrożnić i wyremontować korytka spływowe na skarpach, ewentualnie wykonać dodatkowe).

7.2. Docelowe zabezpieczenie nasypu

Docelowe zabezpieczenia (remont) nasypu na dalszy okres jego eksploatacji powinny zapewnić:

- warunek stateczności ogólnej, tj. osiągnięcie $F \geq 1,5$,
- wymagane zagęszczenie korpusu, szczególnie w strefie ok. 1,5m poniżej korony,
- wymagane zagęszczenie strefy nasypu przy skarpach, tak aby nie występowały odkształcenia tych skarp i ich erozja.

Warunek stateczności ogólnej zostanie spełniony po wykonaniu wymiany lub wzmocnienia słabego gruntu organicznego podłoża w pasie pod skarpami i w bezpośrednim sąsiedztwie podstawy nasypu.

Wymiana gruntu może być wykonana w dwóch wariantach:

- bezpośrednio, (schemat w Zał. 10.1),
- za pomocą kolumn żwirowych, tzw. wibrowymiana (schemat w Zał. 10.2).

Wzmocnienie gruntu u podstawy nasypu (częściowo pod nasypem) można wykonać za pomocą kolumn betonowych ze stopą żwirową (schemat w Zał. 10.3)

W przypadku wymiany bezpośredniej (Zał. 10.1), poza zwiększeniem współczynnika stateczności ogólnej (dotyczącej podłoża), można wzmocnić także boczną strefę nasypu o

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

znacznej miąższości, co wpłynie znacząco na zwiększenie współczynnika stateczności lokalnej (skarpy).

Przy wymianie bezpośredniej zakres robót może obejmować:

- rozebranie bocznej części nasypu, górą o szerokości ok. 2,0m i z nachyleniem skarpy ok. 1:1,
- wykonanie wykopu w strefach gruntu organicznego podłoża,
- zasypanie wykopu pospółką, warstwami z zagęszczeniem,
- odbudowę bocznej części nasypu, warstwami z zastosowaniem zbrojenia gruntu geowłókniną lub geosiatką.

Wykop wykonany w podłożu w celu wymiany gruntu powinien być odwodniony. Odwodnienie w znacznej części może być realizowane grawitacyjnie, jeśli roboty będą realizowane od wiaduktu i rowu w kierunku do rzeki, lub można zastosować pompowanie wody z wykopu.

W przypadku wibrowymiany (kolumny żwirowe – Zał. 10.2) i kolumn betonowych (Zał.10.3) roboty będą wykonywane na terenie przy podstawie skarpy nasypu i pod dolną częścią skarpy.

Średnice i rozstawa kolumn żwirowych oraz kolumn betonowych ze stopą żwirową powinny wynikać z geotechnicznych obliczeń projektowych. Wstępnie można przyjąć, że średnice kolumn żwirowych nie będą mniejsze niż 1,0m, a ich rozstawa 2,0m w siatce trójkątów. Rozstawa kolumn betonowych nie powinna być większa niż 2,0 m.

Uzasadnieniem potrzeby wymiany gruntów organicznych w podłożu u podstawy nasypu są obliczenia stateczności (Zał.9), które wskazują na konieczność poprawy warunków stateczności ogólnej (skarpy i podłoża).

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

8. WNIOSKI

- Charakteryzując warunki gruntowo-wodne badanego terenu należy wyróżnić trzy zasadnicze warstwy geotechniczne, tj. nasyp drogowy (budowlany), warstwę gruntów organicznych (torfy, namuły) oraz grunty niespoiste podłoża naturalnego, zalegające poniżej utworów organicznych. Nasyp drogowy został posadowiony na gruntach organicznych, wymienionych częściowo pod koroną nasypu. Szczegółowo warunki geotechniczne opisano w rozdz. 4 niniejszego opracowania.
- Wynik analizy stateczności nasypu drogowego wykonanej dla przekroju obliczeniowego (km 568+297) wskazuje na zagrożenie stateczności południowej skarpy tego nasypu, szczególnie na odcinku km 568+240 - km 568+340 (współczynnik stateczności $F=1.17$).
- Główną przyczyną uszkodzeń korony nasypu drogowego był niedostateczny zakres wymiany gruntów podczas budowy i pozostawienie w podstawie nasypu gruntów organicznych o niskiej wytrzymałości na ścinanie i dużej odkształcalności. Spowodowało to nadmierne i zróżnicowane osiadania nasypu i związane z tym odkształcenia i uszkodzenia nawierzchni, a także wypieranie z podłoża nasypu gruntów organicznych zagrażające stateczności skarp. Biorąc pod uwagę fakt, że nasyp jest eksploatowany od 30 lat należy sądzić, że znaczące osiadania wystąpiły w początkowym okresie eksploatacji. Obecnie stabilność nasypu zależy głównie od zapewnienia stateczności skarp.
- Największe uszkodzenia nasypu stwierdzono na południowej skarpie na odcinku od km 568+240 do km 568+340. Jest to odcinek gdzie nasyp osiąga wysokości ok. 5,5 – 6,0 m p.p.t, a nachylenie skarp nasypu wynosi ok 1:1.5. Południowa strefa krawędziowa korony na ww. odcinku jest najbardziej narażona na potencjalne ruchy osuwiskowe. Pozostałe części badanego nasypu nie wykazują cech zniszczenia wskazujących na zagrożenie jego stabilności. Jako minimalny zakres robót zabezpieczających należy

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013

przyjąć działania zapewniające poprawę warunków stateczności ogólnej południowej skarpy nasypu na odcinku od km 568+240 do km 568+340 oraz wzmocnienie strefy bocznej nasypu co poprawi warunki stateczności lokalnej.

- Propozycje doraźnych i docelowych zbiegów poprawiających stan nasypu przedstawiono w rozdziale 7. Propozycje doraźne ograniczają się do zapewnienia odsunięcia ruchu od południowej krawędzi nasypu do momentu wykonania zabezpieczenia docelowego oraz działań regulujących kontrolowany spływ wód opadowych z korony nasypu. Przedstawione propozycje działań docelowych (wymiana gruntów organicznych u podstawy i częściowo pod skarpy nasypu połączona z remontem bocznej części nasypu lub wzmocnienie podłoża u podstawy nasypu kolumnami żwirowymi lub betonowymi) mają zapewnić poprawę warunków stateczności, kluczowych dla stabilności nasypu.
- Orientacyjne koszty remontu nasypu wg technologii proponowanych w rozdz. 7.2 mogą wynosić od 300 000,00 do 700 000,00 zł (dla odcinka 100m nasypu przy wzmocnieniu południowej skarpy nasypu). Rzeczywiste koszty można realnie ocenić po ostatecznym wyborze technologii i zakresu prac naprawczych. Należy przewidywać, że prace remontowe mogą trwać od 3 do 6 miesięcy.

Zleceniodawca: GDDKiA Warszawa	Propozycja doraźnego i docelowego zabezpieczenia wraz z oceną dotyczącą osiadania nasypu drogowego oraz degradacji skarp i poboczy obwodnicy Siedlec w ciągu DK2 w km 568+000 do km 568+340
Wykonawca: GEOTEKO Sp. z o.o.	Umowa nr: 12/2013 (nr Geoteko 250/3594/13) data: październik 2013