

---

# GEOTECHNIKA

Jerzy Rzeźniczak

---

ul. Albańska 18, 60-123 Poznań

tel. +48 61 661 57 57

tel. kom. +48 504 119 650

e-mail: jerzy.rzezniczak@wp.pl

---

NIP 783-106-35-15

## **EKSPERTYZA INWESTORSKA**

*dotycząca dokumentacji projektowej dla zadania pn.: Budowa dróg powiatowych  
Borówiec – Koninko – Lotnisko Poznań – Krzesiny*

## **CZEŚĆ II**

### **GEOTECHNICZNY PROJEKT**

**alternatywnych sposobów wzmocnienia słabego podłoża dla  
posadowienia projektowanego nasypu drogowego  
drogi powiatowej nr 2489P Borówiec – Koninko w km 0+975 do 1+240**

*nr arch. 464/21*

Projektowali:

dr inż. Jerzy Rzeźniczak  
specjalista geotechnik  
upr. geolog. nr VII-1166  
certyfikat PKG nr 31/98

mgr inż. Witold Charoński  
upr. konst. bud. 22/89/PW

Opracowała:

mgr inż. Joanna Michalak  
certyfikat PKG nr 264

Poznań, grudzień 2021 r.

## ZAWARTOŚĆ OPRACOWANIA

### Część tekstowa

1. Wstęp
  - 1.1. Zleceniodawca
  - 1.2. Podstawa opracowania
2. Cel opracowania
3. Ogólny opis projektowanej inwestycji
4. Opis budowy geologicznej
5. Ogólna charakterystyka warunków gruntowych
6. Analiza i ocena projektowanego sposobu zabezpieczenia stateczności skarp wysokiego nasypu drogowego
  - 6.1. Ustalenia ogólne
  - 6.2. Ocena sposobu zabezpieczenia stateczności skarp podanego w „Projekcie budowlanym” wyk. przez „SMP Projektanci”
7. Opracowane i analizowane warianty sposobu wzmocnienia słabego podłoża

#### WARIANT I

8. Opis sposobu wzmocnienia podłoża w WARIANCIE I
9. Zestawienie rodzaju i ilości materiałów w WARIANCIE I
  - 9.1. Platforma robocza
  - 9.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm
  - 9.3. Geosiatka 200/200 z poliestru
  - 9.4. Zestawienie ilości i długości przemieszczeniowych kolumn betonowych Ø40 cm ze żwirową głowicą Ø60 cm WARIANT I

#### WARIANT II

10. Opis sposobu wzmocnienia podłoża w WARIANCIE II
  - 10.1. Strefa IA i IB
  - 10.2. Strefa II
  - 10.3. Strefa III
11. Zestawienie rodzaju i ilości materiałów w WARIANCIE II
  - 11.1. Platforma robocza
  - 11.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm
  - 11.3. Geosiatka
  - 11.4. Kolumny żwirowe formowane dynamicznie

#### WARIANT III

12. Opis sposobu wzmocnienia podłoża w WARIANCIE III
  - 12.1. Ustalenia ogólne
  - 12.2. Opis wykonania kolumn żwirowych w technologii łączonej (DR) + (MW)
13. Zestawienie rodzaju i ilości materiałów w WARIANCIE III
  - 13.1. Platforma robocza
  - 13.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm
  - 13.3. Geosiatka
  - 13.4. Kolumny żwirowe
14. Obliczenia osiadań projektowanego nasypu drogowego posadowionego na istniejącym podłożu bez wzmocnienia
  - 14.1. Ustalenia ogólne
  - 14.2. Obliczenia osiadań niewzmocnionego podłoża obciążonego nasypem drogowym w km 1+025 tj. strefa IB

- 14.3. Zestawienie wyników wykonanych obliczeń osiadań projektowanego nasypu drogowego na podłożu bez wzmocnienia
- 14.4. Analiza i ocena wyników wykonanych obliczeń osiadań
- 15. Obliczenia sprawdzające nośność kolumny żwirowej formowanej dynamicznie
  - 15.1. Ustalenia ogólne
  - 15.2. Obliczenia nośności kolumny
- 16. Obliczenia statyczne ustalające rodzaj geosiatki do zbrojenia nasypu zbrojonego na głowicach kolumn żwirowych
  - 16.1. Obliczenia sił występujących w geosiatkach w nasypie zbrojonym
  - 16.2. Charakterystyka geosiatki 200/200
- 17. Podsumowanie
- 18. Opis i ocena trzech rozważanych wariantów wzmocnienia podłoża
  - 18.1. Analiza i ocena sposobu wzmocnienia podłoża wg WARIANTU I
  - 18.2. Charakterystyka i ocena alternatywnego wzmocnienia słabego podłoża wg WARIANTU II
  - 18.3. Charakterystyka i ocena alternatywnego wzmocnienia słabego podłoża wg WARIANTU III
- 19. Zalecenia wykonawcze

#### **Rysunki**

- Rys. 1. Plan sytuacyjny. Lokalizacja wykonanych otworów wiertniczych i sondowań CPTU
- Rys. 2. Plan sytuacyjny. Lokalizacja i zestawienie ilości kolumn wg „Projektu budowlanego” wyk. „SMP Projektanci” WARIANT I
- Rys. 3. Przekrój podłużny. Rodzaj i zakres alternatywnych sposobów wzmocnienia słabego podłoża
- Rys. 4.1. Plan sytuacyjny. Strefa II i III. Wzmocnienie podłoża kolumnami żwirowymi formowanymi dynamicznie WARIANT II oraz III
- Rys. 4.2. Przekrój km 1+225. Konstrukcja wzmacniająca podłoże w strefie III WARIANT II oraz III
- Rys. 4.3. Przekrój km 1+100. Konstrukcja wzmacniająca podłoże w strefie II WARIANT II oraz III
- Rys. 5.1. Plan sytuacyjny. Strefa IA i IB. Wzmocnienie podłoża kolumnami żwirowymi (formowanymi dynamicznie + mikrowybuchy) WARIANT III
- Rys. 5.2. Przekrój km 0+991,06. Konstrukcja wzmacniająca podłoże w strefie IA WARIANT III
- Rys. 5.3. Przekrój km 1+025. Konstrukcja wzmacniająca podłoże w strefie IB WARIANT III

#### **Załączniki**

- Zał. 1. Specyfikacja techniczna. Wzmocnienie podłoża gruntowego kolumnami żwirowymi wykonanymi metodą wymiany dynamicznej
- Zał. 2. Uprawnienia

Poznań, dnia 31.12.2021 r.

## OŚWIADCZENIE

Na podstawie art. 20 ust. 4 ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane z późniejszymi zmianami, oświadczamy, iż niniejsze opracowanie pt.:

***„Geotechniczny projekt alternatywnych sposobów wzmocnienia słabego podłoża dla posadowienia projektowanego nasypu drogowego drogi powiatowej nr 2489P Borówiec – Koninko w km 0+975 do 1+240”***,

wykonany jako II-ga część „Ekspertyzy inwestorskiej”, został sporządzony zgodnie z przepisami oraz zasadami wiedzy technicznej i został wykonany w zakresie niezbędnym do realizacji celu, któremu ma służyć.

dr inż. Jerzy Rzeźniczak

mgr inż. Witold Charoński

mgr inż. Joanna Michalak

## **1. WSTĘP**

### **1.1. Zleceniodawca**

Zarząd Dróg Powiatowych

ul. Zielona 8

Poznań

Umowa Nr WI.262.18.2021 z dnia 17.11.2021 r.

### **1.2. Podstawa opracowania:**

- [1] Ustalenia projektowe dotyczące rozważanego odcinka projektowanej drogi powiatowej Borówiec – Koninko podane w opracowaniu: „Projekt budowlany. Projekt architektoniczno – budowlany. Tom Ib – wzmocnienie nasypu, Tom Ic – wzmocnienia podłoża, wykonany przez „SMP Projektanci”, Poznań, lipiec 2021 r.
- [2] „Opinia geotechniczna z dokumentacją badań podłoża gruntowego” wykonana przez LABGEO Środa Wlkp., maj 2021 r.
- [3] „Dokumentacja badań geotechnicznych ustalających przestrzenne zaleganie oraz parametry wytrzymałościowe i ściśliwości słabych gruntów organicznych występujących w podłożu projektowanego nasypu drogowego drogi powiatowej nr 2489P – Borówiec – Koninko w km 0+975 do 1+265”, stanowiąca I CZĘŚĆ niniejszej „Ekspertyzy”.
- [4] Literatura techniczna i naukowa dotycząca wykonywania wzmocnień słabych gruntów z zastosowaniem: kolumn żwirowych formowanych dynamicznie (dynamiczna wymiana) oraz kolumn żwirowych formowanych mikrowybuchami.
- [5] Praktyczne doświadczenia wyniesione podczas projektowania i realizacji podobnych przedsięwzięć w podobnych warunkach gruntowych.

## **2. CEL OPRACOWANIA**

Celem opracowania jest podanie alternatywnych rozwiązań dotyczących sposobu wzmocnienia słabego podłoża, występującego pod projektowanym nasypem drogowym drogi powiatowej nr 2489P Borówiec – Koninko, na odcinku od km 0+975 do 1+240.

Przedstawione tutaj nowe sposoby posadowienia rozważanego nasypu drogowego, są rozwiązaniami alternatywnymi, w odniesieniu do sposobu wzmocnienia słabego podłoża podanego w „Projekcie budowlanym” wykonanym przez „SMP Projektanci” (Poznań, lipiec 2021 r.) [1].

### **3. OGÓLNY OPIS PROJEKTOWANEJ INWESTYCJI**

Na załączonym planie sytuacyjnym (rys. 1) przedstawiono lokalizację projektowanej przebudowy drogi powiatowej nr 2489P, na trasie Borówiec – Koninko, na odcinku od km 0+975 do km 1+240.

Projektowana przebudowa obejmuje wykonanie nowego odcinka drogi (usytuowanego obok drogi istniejącej), umożliwiającego przejazd - przez projektowany wiadukt - nad torami kolejowymi. Projektowany nasyp na dojeździe do wiaduktu kolejowego przechodzi (w km 1+006) przez projektowany tu obiekt mostowy nad rzeką Kopla.

Projektowany nasyp drogowy, na rozważanym odcinku, ma znaczną wysokość (maksymalnie 11,40 m) i podstawę o szerokości do ok. 45,0 m. Bardzo istotnym uwarunkowaniem jest tu obecność w podłożu słabych i ściśliwych gruntów organicznych.

### **4. OPIS BUDOWY GEOLOGICZNEJ**

Poniżej powierzchni terenu występuje przypowierzchniowa warstwa nasypów, o grubości dochodzącej do 4,0 m.

Pod nasypami zalegają osady holoceny, wśród nich utwory organiczne, w postaci: torfów, namulów organicznych i gytii. Występujące tu grunty niespoiste to plejstoceny osady wodnolodowcowe oraz holoceny osady rzeczne.

Wśród piasków występują warstwy plejstocenich zastoiskowych mułków. W głębszym podłożu zalegają gliny: młodsze ze zlodowacenia północnopolskiego oraz starsze ze zlodowacenia środkowopolskiego.

### **5. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW GRUNTOWYCH**

Warunki gruntowe, występujące w rozważanym podłożu, przedstawione zostały w dokumentacji LABGEO [2] oraz w „Dokumentacji badań geotechnicznych” [3], stanowiącej I część niniejszej „Ekspertyzy”.

Uwzględniono tu występowanie w podłożu 6 grup gruntów, z tym, że:

- dla gruntów grup od III do VI parametry geotechniczne przyjęto tak jak ustalenia dokumentacji [2],
- dla gruntów grupy I i II wartości parametrów geotechnicznych ustalono na podstawie wykonanych dodatkowo sondowań statycznych CPTU oraz badań laboratoryjnych pobranych próbek gruntów przedstawionych w „Dokumentacji badań podłoża” [3].

**Opis warstw geotechnicznych wydzielonych na podstawie wyników wykonanych dodatkowych badań:**

**GRUPA I** – obejmuje przypowierzchniową **warstwę nasypów niekontrolowanych** (warstwa I).

**GRUPA II** – obejmuje **grunty organiczne**, wśród których wydzielono 3 warstwy geotechniczne:

**Warstwa IIA<sub>1</sub>** – to namuły organiczne piaszczyste i gliniaste, także z przewarstwieniami torfu lub cienkie warstwy torfu. Ta wydzielona warstwa IIA<sub>1</sub> zalega płytko, głównie pod nasypami.

**Warstwa IIA<sub>2</sub>** – to grunty organiczne, o podobnym składzie jak warstwa IIA<sub>1</sub>, lecz zalegające głębiej, przykryte innymi gruntami i stąd ich nieco korzystniejsze wartości parametrów geotechnicznych tej wydzielonej warstwy IIA<sub>2</sub>.

**Warstwa IIB** – to gytia, której grube warstwy (do 6,0 m), występujące do głębokości 13,90 m, rozpoznano w rejonie doliny rzeki Kopla.

## **6. ANALIZA I OCENA PROJEKTOWANEGO SPOSOBU ZABEZPIECZENIA STATECZNOŚCI SKARP WYSOKIEGO NASYPU DROGOWEGO**

### **6.1. Ustalenia ogólne**

- 1) Skarpy nasypów drogowych o wysokości do 6,0 m przyjmuje się najczęściej o stałym nachyleniu 1:1,5.
- 2) Skarpy o wysokości większej od 6,0 m wymagają specjalnego postępowania, wymagane jest też wykonanie obliczeń statycznych potwierdzających ich stateczność.
- 3) Zachowanie stateczności skarp nasypów drogowych o wysokości większej od 6,0 m można uzyskać przez zastosowanie następujących rozwiązań:
  - 1° przez wykonanie łagodniejszego nachylenia skarpy w jej dolnej części, stosując tam nachylenie np. 1:2; 1:2,5 lub 1:3,
  - 2° przez wykonanie jednej lub kilku odsadzek na skarpie, stosując odsadzki o szerokości  $1 \div 2$  m,
  - 3° przez zbrojenie skarp (geosiatkami lub geotkaninami) przy zachowaniu stałego nachylenia skarpy np. 1:1,5 lub nawet bardziej stromego.

## **6.2. Ocena sposobu zabezpieczenia stateczności skarp podanego w „Projekcie Budowlanym” wyk. przez „SMP Projektanci”**

- 1) Analiza istniejących tu uwarunkowań terenowych doprowadza do stwierdzenia, że przy projektowaniu skarpy nasypu drogowego o stałym nachyleniu 1:1,5 dolna krawędź takiego nasypu znajduje się w sytuacji uniemożliwiającej wykonanie szerszej podstawy nasypu. Szerszy nasyp wchodziłby w kolizję z istniejącą drogą oraz z wyznaczonym zasięgiem pasa drogowego.
- 2) Przy takich istniejących uwarunkowaniach, niemożliwym byłoby poszerzanie dolnej części nasypu (sposób 1°) lub wykonywanie dodatkowych odsadzek (sposób 2°), również powiększających podstawę nasypu.
- 3) Ocenia się, że **przy istniejących tu uwarunkowaniach i ograniczeniach, właściwym jest zastosowanie sposobu zabezpieczenia stateczności skarp nasypu, przyjętego w „Projekcie Budowlanym”, przewidującego:**
  - wykonanie nasypu ze skarpami o stałym nachyleniu 1:1,5, gdy wysokość nasypu jest mniejsza od 6,0 m,
  - wykonanie nasypu o wysokości większej od 6,0 m, przy zachowaniu stałego nachylenia 1:1,5, jednak ze skarpami zbrojonymi geosyntetykami.

## **7. OPRACOWANE I ANALIZOWANE WARIANTY SPOSOBU WZMOCNIENIA SŁABEGO PODŁOŻA**

**WARIANT I** – Wykonanie wzmocnienia podłoża, na całej rozważanej trasie, z zastosowaniem przemieszczeniowych kolumn betonowych, z głowicami żwirowymi, a więc tak jak to zostało przewidziane w „Projekcie Budowlanym” [1].

**WARIANT II** – Całą rozważaną trasę budowy nasypu drogowego podzielono na trzy strefy, a w nich:

- 1) **Strefa IA i IB** (od km 0+975 do 1+045) – zastosowanie przemieszczeniowych kolumn betonowych, z głowicami żwirowymi, o ilości i długości takiej jak w „Projekcie Budowlanym” [1].
- 2) **Strefa II** (od km 1+045 do 1+145) – zastosowanie żwirowych kolumn formowanych dynamicznie (tzw. wymiana dynamiczna).



- 3) **Strefa III** (od km 1+145 do 1+240) – bez wglębnego wzmocnienia podłoża, nasyp drogowy (tutaj o wysokości  $< 6,0$  m) posadowiony tylko na nasypie zbrojonym (kruszywo łamane 0/31,5 mm + geosiatka), grubości 60 cm.

**WARIANT III** – Podział na trzy strefy (jak w wariancie II), a w nich:

- 1) **Strefa IA i IB** (od km 0+975 do 1+045) – uformowanie kolumn żwirowych z zastosowaniem (łącznie) dwóch technologii:
  - górna część formowana dynamicznie,
  - dolna część formowana metodą mikrowybuchów.
- 2) **Strefa II** (od km 1+045 do 1+145) – zastosowanie żwirowych kolumn formowanych dynamicznie (tzw. wymiana dynamiczna), tj. tak jak w wariancie II.
- 3) **Strefa III** (od km 1+145 do 1+240) – bez wglębnego wzmocnienia podłoża, nasyp drogowy (tutaj o wysokości  $< 6,0$  m) posadowiony tylko na nasypie zbrojonym (kruszywo łamane 0/31,5 mm + geosiatka), grubości 60 cm, tj. tak jak w wariancie II.

# WARIANT I

wg ustaleń „Projektu Budowlanego” wyk. „SMP Projektanci”

Poznań, lipiec 2021 r.

## 8. OPIS SPOSOBU WZMOCNIENIA PODŁOŻA W WARIANCIE I

Na całym rozważanym odcinku projektowanej drogi (tj. od km 0+975 do km 1+240) przewidziano wzmocnienie podłoża przez wykonanie:

- przemieszczeniowych kolumn betonowych o średnicy 40 cm,
- żwirowych głowic tych kolumn o średnicy 60 cm i wysokości do 1,50 m,
- nasypu zbrojonego, wieńczącego głowice kolumn, nasyp o grubości 50 cm wykonany z kruszywa łamanego 0/31,5 mm i dwóch warstw geosiatki 200/200 z poliestru.

Przed wykonaniem kolumn przewidziano ułożenie – na całym wzmacnianym terenie – platformy roboczej o grubości 1,00 m. Długość kolumn odnoszono do poziomu górnej powierzchni platformy.

Wykonane ustalenia projektowe przewidują:

- wykonanie kolumn o zróżnicowanej długości, dostosowanej do głębokości zalegania gruntów uznanych jako słabe, projektowane długości kolumn mieszczą się w przedziale od 6,90 m do 13,40 m,
- rozmieszczenie kolumn w układzie kwadratów z zróżnicowanymi bokami: 1,60 x 1,60 m, 1,80 x 1,80 m i 2,0 x 2,0 m.

## 9. ZESTAWIENIE RODZAJU I ILOŚCI MATERIAŁÓW W WARIANCIE I

### 9.1. Platforma robocza (grubości 1,0 m)

TABLICA 1

Nr strefy	km	Objętość platformy [m <sup>3</sup> ]
IA	0+975÷1+002	1.254
IB	1+010 ÷1+045	1.749
Razem:		<b>3.003</b>
II	1+045÷1+145	<b>4.761</b>
III	1+145÷1+240	<b>3.640</b>
Ogółem:		<b>11.404 m<sup>3</sup></b>

**9.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm (do nasypu zbrojonego gr. 50 cm)**

TABLICA 2

Nr strefy	km	Objętość kruszywa [m <sup>3</sup> ]
IA	0+975÷1+002	413
IB	1+010 ÷1+045	702
Razem:		<b>1.115</b>
II	1+045÷1+145	<b>1.983</b>
III	1+145÷1+240	<b>1.488</b>
Ogółem:		<b>4.586 m<sup>3</sup></b>

**9.3. Geosiatka 200/200 z poliestru**

TABLICA 3

Nr strefy	km	Powierzchnia geosiatki [m <sup>2</sup> ]
IA	0+975÷1+002	2.320
IB	1+010 ÷1+045	3.675
Razem:		<b>5.995</b>
II	1+045÷1+145	<b>9.883</b>
III	1+145÷1+240	<b>7.554</b>
Ogółem:		<b>23.432 m<sup>2</sup></b>

**9.4. Zestawienie ilości i długości przemieszczeniowych kolumn betonowych Ø40 cm ze żwirową głowicą Ø60 cm WARIANT I**

TABLICA 4

Nr strefy	km	Ilość sztuk	Długość kolumn [m]			
			cz. żwirowa		cz. betonowa	
			1 kolumna	łącznie	1 kolumna	łącznie
I A	0+975 ÷ 1+002	307	1,50	460,50	11,90	3653,30
I B	1+010 ÷ 1+040	436	1,50	654,00	14,20	6191,20
	1+040 ÷ 1+045	75	1,50	112,50	11,45	858,75
Razem		<b>818</b>	-	<b>1227,00</b>	-	<b>10703,25</b>
II	1+045 ÷ 1+073	356	1,50	534,00	11,45	4076,20
	1+073 ÷ 1+103	364	1,50	546,00	8,20	2984,80
	1+103 ÷ 1+145	509	1,50	763,50	6,95	3537,55
Razem		<b>1229</b>	-	<b>1843,50</b>	-	<b>10598,55</b>
III	1+145 ÷ 1+155	138	1,50	207,00	6,95	959,10
	1+155 ÷ 1+170	186	1,50	279,00	5,45	1013,70
	1+170 ÷ 1+240	454	1,50	681,00	5,40	2451,60
Razem		<b>778</b>	-	<b>1167,00</b>	-	<b>4424,40</b>
<b>OGÓŁEM</b>		<b>2825</b>	-	<b>4237,50</b>	-	<b>25726,20</b>

# WARIANT II

## 10. OPIS SPOSOBU WZMOCNIENIA PODŁOŻA W WARIANCIE II

Plan sytuacyjny na rys. 4.1. przedstawia projektowaną trasę drogi, podzieloną na trzy strefy, wyróżniające się trzema różnymi sposobami wzmocnienia podłoża, przewidzianymi do wykonania jako alternatywny WARIANT II, który uwzględnia:

**10.1. W strefie IA i IB** (od km 0+975 do 1+045), a więc w strefie głębokiego zalegania grubej warstwy gytii, w ramach WARIANTU II przewidziano wariantowe wzmocnienie podłoża przemieszczeniowymi kolumnami betonowymi, z głowicami żwirowymi. Rozmieszczenie tych kolumn, ich długość i ilość, przyjęto tak jak w „Projekcie Budowlanym” [1].

Z ustaleń „Projektu Budowlanego” [1] przyjęto również pozostałe uwarunkowania związane z tym sposobem wzmocnienia, a więc:

- wykonanie platformy roboczej o grubości 1,0 m,
- wykonanie na głowicach kolumn nasypu zbrojonego o grubości 50 cm, utworzonego z:
  - kruszywa łamanego 0/31,5 mm
  - 2 warstw geosiatki 200/200 z poliestru.

### 10.2. Strefa II (od km 1+045 do 1+145)

- 1) Stwierdzono tu, że słabe i ściśliwe grunty zalegają zasadniczo do głębokości ok. 6,0 m, są nimi:
  - przypowierzchniowa warstwa nasypów niekontrolowanych (zróżnicowana co do składu i stanu),
  - płycej położona warstwa namulów i torfów (warstwa IIA1),
  - głębiej położona warstwa namulów i torfów (warstwa IIA2).
- 2) Występujące w głębszym podłożu zastoiskowe mułki (pyły i gliny pylaste) są w stanie twaroplastycznym i plastycznym (warstwy IIIB, IIIC i IIID). Wykazano, że nie mają one istotnego wpływu na odkształcalność (osiadania) podłoża obciążonego projektowanym nasypem drogowym. Co więcej – takie mułki mogą być wystarczająco nośnym podłożem dla stopy kolumny żwirowej o dużej średnicy (ok. 1,70 m).
- 3) Projektuje się tu wzmocnienie słabego podłoża żwirowymi kolumnami formowanymi dynamicznie. Opis wykonania oraz uwarunkowania techniczne związane z wykonaniem takich kolumn przedstawiono w „Specyfikacji”

(zał. 1.). Na rys. 4.1. przedstawiono rozmieszczenie projektowanych **196 sztuk** takich kolumn, o **średniej długości 6,0 m** i łącznej długości **1176,0 m**.

- 4) Istniejące tu nasypowe podłoże oceniono jako spełniające wymagania dla umożliwienia wykonywania takich kolumn, bez układania platformy roboczej. Po wykonaniu kolumn, na wyrównanym terenie, na poziomie głowic kolumn zaprojektowano ułożenie nasypu zbrojonego, wieńczącego głowice kolumn. Projektowany tu nasyp zbrojony ma grubość 60 cm i składa się z:
- kruszywa łamanego 0/31,5 mm,
  - dwóch warstw geosiatki 200/200 z poliestru.
- 5) W zaprojektowanej konstrukcji istotnym jest rozpoczęcie wykonywania nasypu zbrojonego od ułożenia 10 cm warstwy kruszywa łamanego, bezpośrednio na wyrównanym terenie i zagęszczenie jej (walcem wibracyjnym) razem z nasypowym podłożem i głowicami kolumn żwirowych. Praktycznie sprawdzono, że taka ok. 10 cm „nakładka” powoduje bardzo skuteczne dogęszczenie powierzchniowo rozluźnionego nasypowego podłoża.
- 6) Na tak przygotowanym podłożu wykonywany będzie nasyp zbrojony o konstrukcji podanej na rys. 4.3. (przekrój w km 1+100), przewidującej układanie jednej warstwy geosiatki w poprzek osi drogi, a drugiej wzdłuż osi.

**10.3. W strefie III** (od km 1+145 do 1+240) występują korzystniejsze warunki dla posadowienia projektowanego nasypu drogowego, albowiem:

- nasyp drogowy będzie tu niższy niż 6,0 m, a więc obciążenia przekazywane na podłoże będą mniejsze,
- warunki gruntowe w tej strefie są korzystniejsze niż w strefach IA, IB i II.

Przeprowadzonymi obliczeniami osiadań wykazano, że w strefie III nie ma potrzeby wykonywania wglębnych wzmocnień podłoża.

Wystarczającym będzie tu wykonanie – na istniejącej (wyrównanej) powierzchni terenu – nasypu zbrojonego, o grubości 60 cm, utworzonego z kruszywa łamanego 0/31,5 mm i dwóch warstw geosiatki 110/25 z poliwinylalkoholu (PVA). Tutaj również przewidziano układanie pierwszej warstwy geosiatki na 10- cio cm warstwie kruszywa łamanego (opisanej powyżej w rozdz. 10.2. poz. 5).



## 11. ZESTAWIENIE RODZAJU I ILOŚCI MATERIAŁÓW W WARIANCIE II

### 11.1. Platforma robocza

Przewidziano:

- 1) Wykonanie platformy roboczej w strefie IA i IB dla potrzeb kolumn wykonywanych wg ustaleń „Projektu Budowlanego” [1] Łączna objętość platformy **11.404 m<sup>3</sup>** (tak jak w tablicy 1 podanej w rozdz. 8.1.).
- 2) Wykonanie wzmocnień w strefie II i III bez układania platformy roboczej.

Należy jednak zwrócić uwagę, że projektowane wykonanie kolumn w strefach IA, IB i II musi być poprzedzone wykonaniem nowego koryta rzeki Kopła oraz wykonaniem wyrównujących nasypów, likwidujących lokalne zagłębienia po starym korycie rzeki.

### 11.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm (do nasypu zbrojonego: w strefie IA i iIB gr. 50 cm, w strefie II i III gr. 60 cm)

TABLICA 5

Nr strefy	km	Objętość platformy [m <sup>3</sup> ]
IA	0+975÷1+002	413
IB	1+010 ÷1+045	702
Razem:		<b>1.115</b>
II	1+045÷1+145	<b>2.380</b>
III	1+145÷1+240	<b>1.786</b>
Ogółem:		<b>5.281 m<sup>3</sup></b>

### 11.3. Geosiatki

#### 11.3.1. Zestawienie ilości geosiatek

TABLICA 6

Nr strefy	km	Geosiatka	
		Powierzchnia [m <sup>2</sup> ]	Rodzaj
IA	0+975÷1+002	2.320	200/200 PET
IB	1+010 ÷1+045	3.675	
II	1+045÷1+145	9.883	
Razem:		<b>15.878</b>	
III	1+145÷1+240	<b>7.554</b>	110/25 PVA

### 11.3.2. Charakterystyka geosiatek

#### 1) *Geosiatka 200/200*

- rodzaj materiału: poliester,
- wytrzymałość na zerwanie: 200 kN/m (w obu kierunkach),
- wydłużenie przy zerwaniu – 10% (w obu kierunkach),
- siła przenoszona przy wydłużeniu:
  - $3\% \geq 50$  kN/m (wzdłuż i w poprzek),
  - $5\% \geq 90$  kN/m (wzdłuż i w poprzek)
- szerokość pasma: 5,0 m.

#### 2) *Geosiatka 110/25*

- rodzaj materiału: poliwinylalkohol,
- wytrzymałość na zerwanie:
  - wzdłuż 110 kN/m
  - w poprzek 25 kN/m
- wydłużenie przy zerwaniu:
  - wzdłuż 6,0%
  - w poprzek 20,0%
- siła przenoszona przy wydłużeniu wzdłuż:
  - $3\% \geq 50$  kN/m
  - $5\% \geq 88$  kN/m
- szerokość pasma: 5,0 m.

### 11.4. **Kolumny żwirowe formowane dynamicznie**

Na rys. 4.1. przedstawiono projektowaną lokalizację (w strefie II) **198 szt.** kolumn żwirowych formowanych dynamicznie, o zakładanej długości ok. 6,0 m, czyli łącznie długość tych kolumn wynosi **1.176,0 m.**

# WARIANT III

## 12. OPIS SPOSOBU WZMOCNIENIA PODŁOŻA W WARIANCIE III

### 12.1. Ustalenia ogólne

Rozwiązania projektowe WARIANTU III przedstawiono na planach sytuacyjnych rys. 4.1. i rys. 5.1. oraz na przekrojach poprzecznych:

- omówionych wcześniej (przy WARIANCIE II), tj. na rys. 4.2. i rys. 4.3.
- podających nowy sposób wzmocnienia podłoża w strefach IA i IB, tj. na rys. 5.2. i rys. 5.3.

Alternatywny WARIANT III przewiduje trzy różne rozwiązania wzmocnienia podłoża na wydzielonych strefach projektowanego nasypu drogowego, przy czym:

- 1) **W strefach II i III** przewidziano zastosowanie takich samych sposobów wzmocnienia jak (opisane wcześniej – w rozdz. 9) w WARIANCIE II, a więc:
  - **w strefie II** (od km 1+045 do 1+145) zastosowanie kolumn żwirowych formowanych dynamicznie,
  - **w strefie III** (od km 1+145 do 1+240) wykonanie tylko nasypu zbrojonego, na istniejącej (wyrównanej) powierzchni terenu.
- 2) **W strefach IA i IB** (od km 0+975 do 1+045), wydzielonych ze względu na głębokie zaleganie grubych warstw gytii, przewidziano wzmocnienie słabego podłoża kolumnami żwirowymi wykonanymi w technologii łączonej, a mianowicie:
  - górna część kolumny, do głębokości ok. 6,0 m, wykonana będzie jako kolumna formowana dynamicznie, tzw. dynamiczna wymiana (DR),
  - dolna część kolumny, do głębokości 13,60 m i 15,00 m, wykonana zostanie w technologii mikrowybuchów (MW).

### 12.2. Opis wykonania kolumn żwirowych w technologii łączonej (DR) + (MW)

#### 12.2.1. Literatura do rozdz. 12.2.:

- [1] Imiołek r.: Łączenie technologii w geotechnice. Magazyn „Autostrady” Budownictwo drogowo – mostowe. X. 2008 r.
- [2] Wyroślak M., Sikora Z.: Zastosowanie metod dynamicznych wzmocnienia podłoża gruntowego pod nasyp drogowy – przypadek DK-16 Olsztyn – Barczewo. XXIV Konferencja Awarie Budowlane. Szczecin – Świnoujście 2009 r.
- [3] Dembicki E.: Zagęszczanie gruntów metodą mikrowybuchów. PWN Warszawa 2018 r.

#### 12.2.2. Ustalenie ogólne i wykonawcze:

- 1) *Wzmacnianie słabych podłoży metodą dynamicznej wymiany (DR)* jest w drogownictwie często stosowane. Efektem takich działań są kolumny żwirowe (lub kamienne) o dość dużej średnicy (około 2,0 m), nie tylko dobrze zagęszczone, ale także – dodatkowo jest zagęszczony grunt między kolumnami. Łącznie powstaje więc swoisty geokompozyt, obejmujący kolumny wraz z dogęszczonym gruntem wokół kolumny. Takie wzmocnienie słabych gruntów skutkuje utworzeniem podłoża gotowego do posadowienia np. nasypów drogowych, nawet na torfach. Wyraźnym mankamentem metody dynamicznej wymiany (DR) jest jej ograniczony skuteczny zasięg sięgający w głąb do ok. 6,0 ÷ 7,0 m, przy zastosowaniu optymalnej energii pochodzącej od ubijaka o masie ok. 12 ton, zrzuconych z wysokości ok. 12,0 ÷ 15,0 m.
- 2) *Metoda mikrowybuchów (MW)*, zastosowana do przyspieszenia konsolidacji i wzmocnienia słabych gruntów, nie jest technologią nową w polskim budownictwie [1], [2], [3]. Metoda ta jest opatentowana i była stosowana na licznych budowach w Polsce i zagranicą. W budownictwie drogowym była stosowana wielokrotnie, wciąż jednak jest mało znana. Odpalenie wydłużonych ładunków wybuchowych powoduje „napływ” zalegającego powyżej nawodnionego gruntu do - wytworzonej ciśnieniem eksplozji – kawerny, formując kolumnę o zwiększonej nośności, będącą również skutecznym drenem dla gruntu o małym współczynniku filtracji. Po odpaleniu ładunków w sąsiednich kolumnach następuje znaczne przyspieszenie konsolidacji przez odsączenie wody i wzrost zagęszczenia szkieletu gruntowego w wzmacnianym gruncie.
- 3) *Zastosowanie metody dynamicznej wymiany (DR) w połączeniu z technologią mikrowybuchów (MW)* umożliwi skuteczne wzmocnienie słabego podłoża na większej głębokości. W rozważanym przypadku przewidziano następujące działania w strefach IA i IB:
  - 1° wykonanie kolumn żwirowych metodą dynamicznej wymiany (DR) o średnicy ok. 1,70 m, z poziomu:
    - 0,6 m platformy w strefie IA,

- z istniejącego terenu w strefie IB,
- 2° wykonanie dodatkowej platformy dla potrzeb mikrowybuchów, o grubości:
  - 1,0 m w strefie IA,
  - 1,5 m w strefie IB,
- 3° wykonanie mikrowybuchów (MW), obejmujących: kolumny żwirowe (DR) o głębokości ok. 6,0 m oraz zalegające głębiej grunty mineralne, a także – warstwę gytii; doprowadzając do uzyskania kolumny żwirowej o średnicy ok. 1,70 m,
- 4° wykonanie dodatkowego uzupełnienia kraterów, (drugi raz zastosowaną) metodą dynamicznej wymiany (DR).

12.2.3. Uwagi odnośnie skuteczności łącznego zastosowania technologii dynamicznej wymiany (DR) i mikrowybuchów (MW)

- 1) Przedstawione w publikacji [2] wykonawcze połączenie obu technologii – w dość podobnych uwarunkowaniach, jak występujące w rozważanym przypadku w Koninku – okazało się tam stosunkowo tanim i skutecznym rozwiązaniem trudnego problemu geotechnicznego, a zawiązanego z występowaniem – pod nasypem drogowym – grubej warstwy gruntów organicznych na znacznej głębokości.
- 2) Wiadomo, że technologia mikrowybuchów (MW) doprowadza do bardzo korzystnej przebudowy struktury nawodnionych gruntów organicznych (tutaj gytii), co skutkuje ich większą wodoprzepuszczalnością, a więc - skróceniem czasu konsolidacji po obciążeniu nasypem drogowym. Obecnie brak danych aby możliwym było prognozowanie przebiegu konsolidacji warstwy gytii, wzmocnionej mikrowybuchami, po obciążeniu nasypem drogowym.
- 3) Zastosowanie metody mikrowybuchów wymaga opracowania „Projektu Technologicznego”, podającego wszystkie ustalenia wykonawcze i kontrolne związane z tą specjalistyczną technologią. Musi tam być także podany sposób pomiaru osiadań wzmocnionego podłoża podczas budowy nasypu oraz reakcja na mierzony przebieg konsolidacji. Taki „Projekt Technologiczny” może wykonać tylko specjalistyczna firma, posiadająca

doświadczenie uzyskane podczas wykonywania mikrowybuchów. Uwzględniając wszystkie uwarunkowania wynikające z łącznego zastosowania dwóch technologii (DR) i (MW), najwłaściwszym byłoby gdyby prace te były wykonane przez jednego wykonawcę.

### 13. ZESTAWIENIE RODZAJU I ILOŚCI MATERIAŁÓW W WARIANCIE III

#### 13.1. Platforma robocza

Projektowane w WARIANCIE III wykorzystanie technologii mikrowybuchów wymaga wykonania platformy roboczej, która „dostarczy” materiału potrzebnego do uformowania takiej kolumny.

1) **W strefie IA** (od km 0+975 do 1+002) platforma robocza będzie układana w dwóch etapach:

- najpierw – o grubości 0,60 m – dla potrzeb wejścia na teren dla wykonania pierwszej części kolumn formowanych dynamicznie,
- później – o grubości 1,00 m – dla potrzeb wykonania mikrowybuchów.

Łącznie w strefie IA potrzebne będzie wykonanie **1.253 m<sup>3</sup>** platformy roboczej.

2) **W strefie IB** (od km 1+010 do 1+045), platforma robocza (dla potrzeb samych mikrowybuchów) będzie miała grubość 1,50 m i objętość **2.625 m<sup>3</sup>**.

#### 13.2. Kruszywo łamane 0/31,5 mm

Ilość kruszywa taka sama jak w WARIANCIE II (podana w rozdz. 10.2, tablica 4), czyli ogółem **5.281 m<sup>3</sup>**.

#### 13.3. Geosiatka

Rodzaj i ilość geosiatki jak w WARIANCIE II (podane w rozdz. 10.3. tablica 5), czyli:

- geosiatka 200/200 PET – **15.878 m<sup>2</sup>**
- geosiatka 110/25 PVA – **7.554 m<sup>2</sup>**

#### 13.4. Kolumny żwirowe w technologii łączonej (DR) i (MW), o średnicy ok. 1,70 m

Na rys. 5.1. przedstawiono projektowaną lokalizację kolumn żwirowych (formowanych dynamicznie + mikrowybuchy), przewidującą wykonanie:

- 1) **w strefie IA** 64 szt. kolumn, o długości 13,60 m, czyli łącznie **870,40 m** kolumn
- 2) **w strefie IB** 78 szt. kolumn, o długości 15,00, czyli łącznie **1.170,0 m**.

Ogółem 142 szt. kolumn o długości **2.040,40 m**.

# OBLICZENIA STATYCZNE



## **14. OBLICZENIA OSIADAŃ PROJEKTOWANEGO NASYPU DROGOWEGO POSADOWIONEGO NA ISTNIEJĄCYM PODŁOŻU BEZ WZMOCNIENIA**

### **14.1. Ustalenia ogólne**

- 1) Obliczenia osiadań wykonano zgodnie z ustaleniami podanymi w normie PN-81/B-03020.
- 2) Obciążenia przekazywane przez nasyp drogowy na podłoże ustalono przyjmując:
  - ciężar własny nasypu drogowego (w przekroju poprzecznym trapez)  
 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ ,
  - obciążenie użytkowe:
    - ruch samochodowy  $25 \text{ kN/m}^2$
    - ścieżka  $5 \text{ kN/m}^2$ ,
  - wymiary nasypu w przekroju poprzecznym – jak w istniejącym projekcie drogowym.
- 3) Warunki gruntowe, tj. rodzaj gruntów i wartości modułów ścisłości  $M_o$ , ustalono na podstawie rozpoznania podanego w „Dokumentacji badań geotechnicznych”, stanowiącej część I niniejszej „Ekspertyzy”.

### **14.2. Obliczenia osiadań niewzmocnionego podłoża obciążonego nasypem drogowym w km 1+025 tj. strefa IB**

DANE:

- 1) Warunki gruntowe jak w sondowaniu CPTU nr S2 (przekrój III-III) występowanie najgrubszej warstwy gytii.
- 2) Obciążenia:

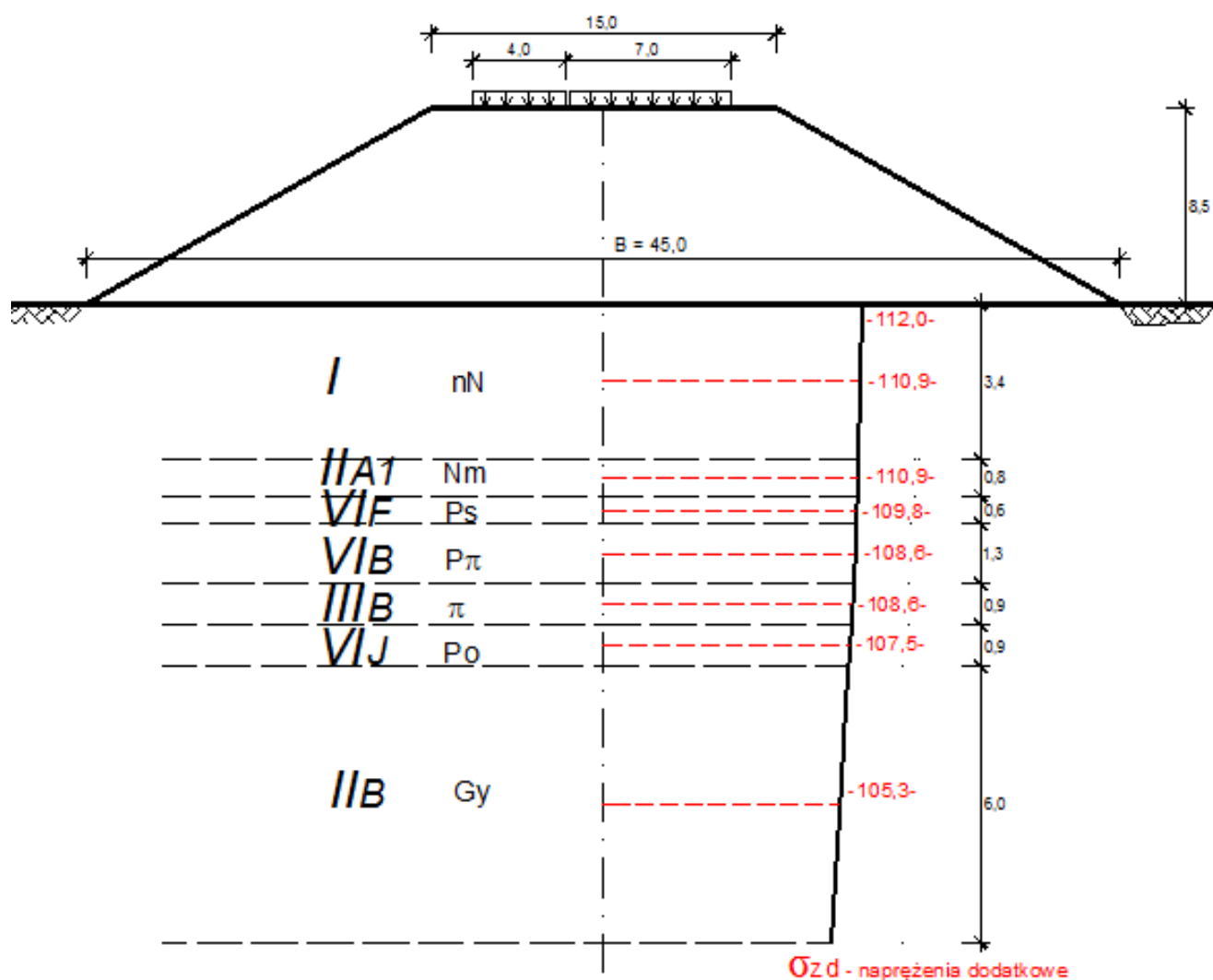
- ciężar nasypu:  $(15+45)/2 \cdot 8,5 \cdot 19 = 4845 \text{ kN/m}$
  - obc. użytkowe:
    - ruch samoch.  $25 \cdot 7,0 = 175 \text{ kN/m}$
    - ścieżka  $5 \cdot 4,0 = 20 \text{ kN/m}$
- Razem  $Q_n = 5040 \text{ kN/m}$**

obciążenie równomiernie rozłożone

$$q_n = 5040/45,0 = 112 \text{ kN/m}^2$$

# GEOTECHNICZNY PROJEKT

alternatywnych sposobów wzmocnienia słabego podłoża dla posadowienia projektowanego nasypu drogowego  
drogi powiatowej nr 2489P Borówiec – Koninko w km 0+975 do 1+240



## Obliczenie osiadań

TABLICA 7Nr warstwy	h [cm]	M <sub>o</sub> [MPa]	σ <sub>zd</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	Osiadania s <sub>i</sub> [cm]
I	340	16,7	110,9	2,26
IIA1	80	2,12	110,9	4,18
VIF	60	45,9	109,8	0,14
VIB	130	40,8	108,6	0,35
IIIB	90	9,2	108,6	1,06
VIJ	90	55,0	107,5	0,17
IIB	600	2,89	105,3	21,86
Σ				s = 30,02 cm

**14.3. Zestawienie wyników wykonanych obliczeń osiadań projektowanego nasypu drogowego na podłożu bez wzmocnienia**

TABLICA 8

Nr obliczeń	km	Przekrój geotechniczny	osiadanie [cm]
1	1+025	III-III	30,02
2	1+065	IV-IV	13,45
3	1+100	V-V	12,09
4	1+145	VI-VI	7,81
5	1+187	VII-VII	4,99

Obliczenia osiadań nr 2 ÷ 5 w egzemplarzu archiwalnym.

**14.4. Analiza i ocena wyników wykonanych obliczeń osiadań**

Projektowany nasyp drogowy ma duże zróżnicowanie wysokości, co skutkuje zróżnicowaniem wartości obciążeń przekazywanych na podłoże. Zróżnicowane są także warunki gruntowe, ze szczególnym uwzględnieniem lokalnego zalegania (w dolinie rzeki Kopa) grubej warstwy ściśliwej gytii.

Tak duże zróżnicowanie obciążeń oraz właściwości podłoża skutkuje dość dużym zróżnicowaniem obliczonych wartości osiadań, co jest widoczne w podanej wyżej tabelicy 8. Z analizy tych danych możliwym jest podanie następujących ustaleń odnośnie sposobów wzmocnienia rozważanego podłoża:

- 1) Całą rozważaną trasę należy podzielić na 3 wyraźnie zróżnicowane strefy:
  - STREFA I z podziałem na:
    - STREFĘ IA na lewym brzegu rzeki (w km od 0+975 do 1+002),
    - STREFĘ IB na prawym brzegu rzeki (w km od 1+010 do 1+045).
  - STREFA II (w km od 1+045 do 1+145).
  - STREFA III (w km od 1+145 do 1+240).
- 2) W wydzielonych strefach można zastosować różne sposoby wzmocnienia podłoża i tak:
  - **STREFA IA i IB** do znacznych głębokości występuje tu ściśliwa gytia, potrzebne więc będzie wzmocnienie podłoża z zastosowaniem, do wyboru:
    - kolumn betonowych z żwirową głowicą (WARIANT II),
    - kolumn żwirowych wykonanych w dwóch technologiach: w górnej części – jako formowane dynamicznie, tzw. dynamiczna wymiana (DR) w dolnej części – jako formowane mikrowybuchami (MW) (WARIANT III).
  - **STREFA II.** Występują tu osiadania większe od  $s_{dop} \leq 10$  cm. Za znaczną część osiadań „odpowiedzialne” są tu: przypowierzchniowa warstwa nasypów oraz warstwy namulów IIA1 i IIA2. Zastoiskowe mułki oraz warstwy piasków mają nieduży udział w obliczonych osiadaniach. W tych warunkach najwłaściwszym będzie wykonanie wzmocnienia podłoża z użyciem żwirowych kolumn formowanych dynamicznie. Wystarczającym będzie wykonanie takich kolumn o długości ok. 6,0 m, licząc od poziomu istniejącej powierzchni terenu.
  - **STREFA III.** Tutaj obliczone osiadania są mniejsze od dopuszczalnych 10 cm, wobec czego nie ma potrzeby wykonywania wgłębnych wzmocnień podłoża. Jednak istniejąca tu warstwa przypowierzchniowych niekontrolowanych nasypów charakteryzuje się dużym zróżnicowaniem, co do składu i właściwości, nie może więc stanowić odpowiedzialnego podłoża pod

projektowanym nasypem drogowym. Najwłaściwszym będzie tu pozostawienie tych nasypów i ułożenie na nich nasypu zbrojonego (kruszywo łamane + geosiatka), uzyskując likwidację dużego zróżnicowania wielkości osiadań.

## 15. OBLICZENIA SPRAWDZAJĄCE NOŚNOŚĆ KOLUMNY ŻWIROWEJ FORMOWANEJ DYNAMICZNIE

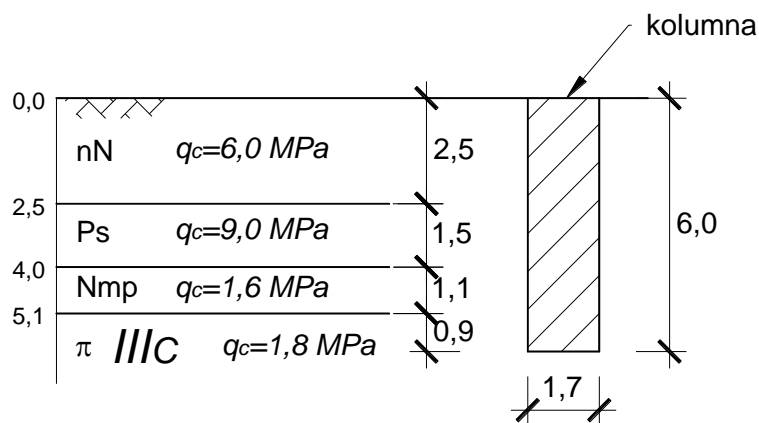
### 15.1. Ustalenia ogólne

- 1) Kolumna wykonana będzie z pospółki, o dobrym uziarnieniu ze względu na zagęszczalność i będzie zagęszczona średnio do  $I_D \geq 0,45$ .
- 2) Rozstaw kolumn w układzie trójkątów, o boku 4,50 m. Na jedną kolumnę działa obciążenie z powierzchni 15,18 m<sup>2</sup>.
- 3) Obliczenia wykonano dla najniekorzystniejszych warunków gruntowych, występujących w przekroju geotechnicznym VI-VI, gdy stopa kolumny będzie posadowiona na warstwie zastoiskowych pyłów (warstwa IIIC o  $I_L = 0,15$ ).
- 4) Obliczenia nośności kolumny wykonano z zastosowaniem metody Bustamantego, która pozwala obliczyć nośność na podstawie wyników sondowań statycznych CPTU.

### 15.2. Obliczenia nośności kolumny

#### 14.2.1. Założenia:

- 1) Średnica kolumny  $D = 1,70$  m.
- 2) Długość kolumny  $L = 6,0$  m.
- 3) Obciążenia od nasypu (w przekroju V-V)  $q_n = 90,66$  kN/m<sup>2</sup>
- 4) Warunki gruntowe (jak otwór nr 11)



#### 14.2.2. Nośność stopy i pobocznicy kolumny

Wartość charakterystyczna nośności:

$$R_c = R_b + R_s = A_b \cdot q_b + \Sigma A_s \cdot q_s$$

gdzie:

$$A_b - \text{powierzchnia stopy} = 2,27 \text{ m}^2$$

$$q_b = \psi_1 \cdot q_c = 0,5 \cdot 1,8 = 0,9 \text{ MPa} = 900 \text{ kPa}$$

$$A_s - \text{powierzchnia pobocznicy (bez nN)} = 18,69 \text{ m}^2$$

$$q_s = \bar{q}_c / \psi_2 = 4820 / 60 = 80,3 \text{ kPa}$$

$$R_c = 2,27 \cdot 900 + 18,69 \cdot 80,3 = 2.043 + 1.501 = \mathbf{3.544 \text{ kN}}$$

Obliczeniowa wartość nośności kolumny:

$$N_t = 0,9 \cdot 3.544 = \mathbf{3.190 \text{ kN}}$$

Na 1 kolumnę działa obciążenie obliczeniowe:

$$q_r = 90,66 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,2 = 108,26 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_r = 15,18 \text{ m}^2 \cdot 108,26 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1.643 \text{ kN}}$$

Warunek nośności kolumny:

$$N_t = \mathbf{3.190 \text{ kN}} > Q_r = \mathbf{1.643 \text{ kN}}$$

**jest spełniony z nadmiarem.**

## 16. OBLICZENIA STATECZNE USTALEJĄCE RODZAJ GEOSIATKI DO ZBROJENIA NASYPU ZBROJONEGO NA GŁOWICACH KOLUMN ŻWIROWYCH

### 16.1. Obliczenia sił występujących w geosiatkach w nasypie zbrojonym

#### 1) Podstawa wykonanych obliczeń

Wykorzystano opracowanie (na prawach rękopisu): dr inż. J. Sobolewski, dr inż. D. Alexiew, Huesker Synthetic, Gescher; „Road and railway embankments with basal geosynthetic reinforcement founded on rigid or semi-rigid piles and columns” („Nasypy drogowe i kolejowe ze zbrojeniem geosyntetycznym w podstawie posadowione na sztywnych i podatnych palach i kolumnach”).

#### 2) Założenia przyjęte w wykonanych obliczeniach:

- obciążenia obliczeniowe  $q_n = 103,75 \text{ kN/m}^2$ ,
- średnica głowicy kolumn  $b = 2,0 \text{ m}$  (zastępczy kwadrat),
- rozmieszczenie kolumn: w układzie trójkąta równobocznego o boku  $s = 4,50 \text{ m}$ ,

- dopuszczalny zwis liny, tj. dopuszczalne odkształcenie geosiatki  $\varepsilon_{\max} = 3\%$ ,
- czas eksploatacji – 60 lat.

3) Obliczone wartości siły rozciągającej w zbrojeniu geosyntetycznym

Przy podanych wyżej założeniach **siła rozciągająca w zbrojeniu wynosi:**

$$F_d = \frac{q(s-b)}{2b} \sqrt{1 + \frac{1}{6+\varepsilon_{\max}}}$$

$$F_d = \frac{103,75(4,5-2,0)}{2 \cdot 2,0} \sqrt{1 + \frac{1}{6+0,03}}$$

$$F_d = 64,84 \cdot 2,56 = \mathbf{166 \text{ kN/m}}$$

- 4) Wymagana wytrzymałość doraźna zbrojenia  $F_B$  (tj. wytrzymałość standardowa, czyli charakterystyczna wytrzymałość gwarantowana przez producenta geosyntetyku dla poziomu ufności 95% w oparciu o badania wytrzymałościowe)

$F_B = F_d (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_B)$ , gdzie:

$A_1 = 1,56$  – współczynnik uwzględniający pełzanie przez 60 lat,

$A_2 = 1,1$  – współczynnik uwzględniający uszkodzenia mechaniczne podczas układania geosyntetyku na kruszywie łamanym,

$A_3 = 1,0$  – współczynnik uwzględniający osłabienia na połączeniach,

$A_4 = 1,0$  – współczynnik uwzględniający pH środowiska,

$\gamma_B = 1,40$  – cząstkowy współczynnik bezpieczeństwa dla stanu eksploatacji

$$F_B = 166 \cdot (1,56 \cdot 1,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,40) = 166 \cdot 2,40 = \mathbf{398 \text{ kN/m}}$$

5) Ustalenie rodzaju zbrojenia geosyntetycznego

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że nasyp zbrojony ułożony na głowicach kolumn musi być wykonany z dwóch geosyntetyków ułożonych prostopadle do siebie, na dwóch poziomach, przy czym wytrzymałość na rozciąganie musi wynosić  $F_B = \mathbf{398 \text{ kN/m}}$ .

Powyższy warunek spełniają dwa geosyntetyki z poliestru:

- geosiatka 200/200, ułożona poprzecznie,
- geosiatka 200/200, ułożona wzdłuż.

## 16.2. Charakterystyka geosiatki 200/200

- rodzaj materiału: poliester,
- wytrzymałość na zerwanie: 200 kN/m (w obu kierunkach),
- wydłużenie przy zerwaniu – 10% (w obu kierunkach),

- siła przenoszona przy wydłużeniu:
  - $3\% \geq 50 \text{ kN/m}$  (wzdłuż i w poprzek),
  - $5\% \geq 90 \text{ kN/m}$  (wzdłuż i w poprzek)
- szerokość pasma: 5,0 m.

## 17. PODSUMOWANIE

### 17.1. Celem niniejszej „Ekspertyzy” było:

- 1) przedstawienie analizy i oceny sposobu wzmocnienia słabego podłoża – występującego pod rozważanym projektowanym nasypem drogowym – przedstawionego w „Projekcie Budowlanym” tom IC, wykonanym przez „SMP Projektanci” Poznań, lipiec 2021 r.,
- 2) podanie propozycji innych alternatywnych rozwiązań sposobu wzmocnienia rozważanego słabego podłoża uwzględniając przy tym ich techniczną poprawność oraz koszty.

### 17.2. Tak postawione zadanie zostało zrealizowane przez:

- 1) analizowanie i ocenianie rozwiązania podanego w „Projekcie Budowlanym”, traktowanego jako WARIANT I,
- 2) opracowanie dwóch innych, alternatywnych sposobów wzmocnienia, traktowanych jako WARIANT II i WARIANT III

### 17.3. Sposoby wzmocnienia słabego podłoża w tych trzech wariantach są zróżnicowane:

#### WARIANT I

Na całej rozważanej trasie zaprojektowano wzmocnienie podłoża z zastosowaniem przemieszczeniowych kolumn betonowych z głowicami żwirowymi.

#### WARIANT II

Rozważaną trasę podzielono na trzy strefy z trzema różnymi sposobami wzmocnienia:

**Strefa IA i IB** – zastosowanie przemieszczeniowych kolumn betonowych z głowicami żwirowymi, tak jak dla tej strefy przewidziano w WARIANCIE I.

**Strefa II** – zastosowanie żwirowych kolumn formowanych dynamicznie (tzw. dynamiczna wymiana - DR).

**Strefa III** – bez wglębnego wzmocnienia, nasyp drogowy posadowiony tylko na nasypie zbrojonym ułożonym na wyrównanym istniejącym terenie.



### **WARIANT III**

(Podział na strefy jak w WARIANCIE II.)

**Strefa IA i IB** – uformowanie kolumn żwirowych z zastosowaniem (łącznie) dwóch technologii:

- górna część formowana dynamicznie (DR),
- dolna część formowana metodą mikrowybuchów (MW).

Dodatkowe badania geotechniczne pozwoliły na ustalenie (dotychczas nieokreślonych) parametrów geotechnicznych zalegających w podłożu nasypów i gruntów organicznych. W tej nowej sytuacji możliwym było wprowadzenie: zmian, redukcji i uproszczeń w dotychczasowym sposobie wzmocnienia oraz zastosowanie innych – technicznie uzasadnionych – sposobów wzmocnienia, co przedstawiono jako alternatywne rozwiązania w postaci WARIANTU II i WARIANTU III.

**Strefa II** – jak w WARIANCIE II.

**Strefa III** – jak w WARIANCIE II

## **18. OPIS I OCENA TRZECH ROZWAŻANYCH WARIANTÓW WZMOCNIENIA PODŁOŻA**

### **18.1. Analiza i ocena sposobu wzmocnienia podłoża wg WARIANTU I**

Rozwiązanie podane w „Projekcie Budowlanym” nie zostały nazwane ostatecznymi. Wymagano bowiem aby realizacja robót była poprzedzona wykonaniem „Projektu Technologicznego” oraz dodatkowymi badaniami geotechnicznymi. Dopuszczono do wprowadzenia uzasadnionych obliczeniami zmian w dotychczas zaprojektowanych rozwiązaniach.

Wykonane ostatnio dodatkowe badania terenowe (sondowania CPTU) i laboratoryjne próbek gruntów organicznych – których wyniki przedstawiono w „Dokumentacji badań geotechnicznych” (I część niniejszej „Ekspertyzy”) – wykazały, że warunki gruntowe w tym podłożu są nieco korzystniejsze niż pierwotne ustalenia, dokonane na podstawie rozpoznania podłoża tylko w kilku punktach.

## **18.2. Charakterystyka i ocena alternatywnego wzmocnienia słabego podłoża wg WARIANTU II**

- 1) W rozdziale 10 i 11 podano opis alternatywnego sposobu wzmocnienia wg WARIANTU II, który w porównaniu do rozwiązania podanego w WARIANCIE I różni się:
  - likwidacją platformy roboczej na powierzchni strefy: IB, II i III,
  - likwidacją wglębnego wzmocnienia w strefie III,
  - zamianą rodzaju geosiatki w strefie III, zamiast 200/200 PET zastosowano 110/25 PVA,
  - w strefie II zastąpieniem **1229 szt.** betonowych kolumn przemieszczeniowych o łącznej długości **12442 m**, palami żwirowymi formowanymi dynamicznie w ilości **196 szt.** o łącznej długości **1178 m**.
- 2) Uwzględniając bardzo niekorzystne warunki gruntowe (gytia!) występujące na wydzielonej strefie IA i IB, w WARIANCIE II zachowano projektowane w WARIANCIE I wzmocnienie z zastosowaniem przemieszczeniowych kolumn betonowych z głowicami żwirowymi.
- 3) **WNIOSEK:** WARIANT II zmniejsza zakres kosztownych robót wzmacniających oraz redukuje kosztowne roboty zastępując je rozwiązaniami tańszymi. W III-ciej CZĘŚCI niniejszej „Ekspertyzy” wykazano, że – według szacunkowych kosztów – WARIANT II będzie oszczędniejszy o 38% w porównaniu z kosztami WARIANTU I.

## **18.3. Charakterystyka i ocena wzmocnienia słabego podłoża wg WARIANTU III**

- 1) W rozdziale 12 i 13 opisano alternatywny sposób wzmocnienia wg WARIANTU III, który:
  - w strefie II i III przewiduje zastosowanie takich samych wzmocnień jak w WARIANCIE II,
  - w strefie IA i IB przewiduje wykonanie wzmocnienia z zastosowaniem kolumn żwirowych wykonanych w technologii łączonej (kolumny formowane dynamicznie + mikrowybuchy).
- 2) W strefie IA i IB (wg WARIANTU I) zamiast: **818 szt.** betonowych kolumn przemieszczeniowych, o łącznej długości **11.930 m**, będzie (wg WARIANTU III):

**142 szt.** kolumn żwirowych wykonanych w technologii łączonej, o łącznej długości **2.040 m.**

- 3) W WARIANCIE III zastosowanie technologii mikrowybuchów wymaga wykonania wyższych platform roboczych na strefie IA i IB, gdzie zamiast: 1,0 m wysokości (jak w WARIANCIE I) będzie: 1,5 m wysokości.
- 4) **WNOSEK:** WARIANT III w strefach II i III uwzględnia (podobnie jak WARIANT II) znaczne ograniczenie kosztownych robót wmacniających, przewidzianych w WARIANCIE I.

Ponadto, w strefach: IA i IB WARIANT III przewiduje zastosowanie innego (również technicznie właściwego) sposobu wzmocnienia podłoża niż w WARIANCIE II. Zastosowanie tu łączonej technologii (dynamiczna wymiana DR + mikrowybuchy MW) powoduje, że według szacunkowych kosztów WARIANT III będzie oszczędniejszy o 45% w porównaniu z kosztami WARIANTU I, co wykazano w III-ciej CZĘŚCI niniejszej „Ekspertyzy”.

## **19. ZALECENIA WYKONAWCZE**

- 1) Z analizy dotychczasowego rozpoznania warunków gruntowych występujących w strefie IA i IB (obok rzeki Kopla) wynika, że pod wschodnią częścią tych powierzchni nie stwierdzono występowania gytii.  
  
Zaleca się więc wykonanie tam dodatkowych badań terenowych dla uściślenia i okonturowania zalegania gytii. Można to będzie osiągnąć przez wykonanie min. 4 sondowań statycznych CPTU o głębokości sięgającej 1,0 m poniżej spągu warstwy gytii lub do rzędnej 57,00 m n.p.m. dla potwierdzenia niewystępowania gytii.
- 2) W dotychczasowych ustaleniach przyjęto, że zarówno przemieszczeniowe kolumny betonowe, jak i kolumny żwirowe (wykonywane w technologii DR + MW) będą wykonywane na całych powierzchniach wydzielonych stref IA i IB. Można oczekiwać, że wykonanie dodatkowych sondowań umożliwi zmniejszenie ilości i długości rozważanych tu obu rodzajów kolumn. Stosowane zmiany (redukcje) można będzie wprowadzić w przewidzianym do wykonania „Projekcie Technologicznym”.
- 3) Przed przystąpieniem do robót Wykonawca zobowiązany jest opracować „Projekt Technologiczny”, który powinien zawierać uszczegółowienie rozwiązań opisanych w niniejszej „Ekspertyzie”. „Projekt Technologiczny” powinien uwzględnić wyniki

dodatkowych sondowań CPTU, opisanych wyżej jako poz. 1) oraz podać planowane zastosowanie sprzętu, materiałów i harmonogramu prac, itp.

Szczególnego uszczegółowienia wymaga przede wszystkim „Projekt Technologiczny”, wykonany dla zastosowania mikrowybuchów wg WARIANTU III, zważywszy, że są to roboty bardzo specjalistyczne znane tylko doświadczonym Wykonawcom. Na obecnym etapie postępowania, do Wykonawcy mikrowybuchów można podać oczekiwanie by zostały ustalone ilości materiałów wybuchowych gwarantujące uzyskanie kolumn żwirowych o średnicy min. 1,70 m.

- 4) W niniejszej „Ekspertyzie” przedstawiono i oceniono dwa alternatywne warianty (WARIANT II i WARIANT III), zastępujące dotychczasowy WARIANT I podany w „Projekcie Budowlanym”. Ostatecznie do Inwestora pozostanie wybór wariantu do realizacji. Wyboru można będzie dokonać rozważając szacunkowe koszty realizacji podane w III-ciej CZĘŚCI niniejszej „Ekspertyzy”, a także - wszystkie uwarunkowania techniczne i technologiczne różniące oba warianty.

Należy uwzględnić, że zastosowanie do wzmocnienia tańszych mikrowybuchów, będzie wymagało wyprzedzającego podania w „Projekcie Technologicznym” prognozy określającej – jak projektowane mikrowybuchy wpłyną na korzystny przebieg konsolidacji i osiadań wzmocnionej warstwy gytii.

Możliwym byłoby przyjęcie, że wzmocnienie mikrowybuchami i budowa nasypu drogowego wykonane zostałyby na początkowym etapie budowy, tak aby był wystarczający czas na praktyczne zakończenie konsolidacji filtracyjnej, zakładając, że przebieg osiadań byłby dokładnie mierzony pomiarami geodezyjnymi.

W przypadku wystąpienia braku wymaganej stabilizacji osiadań, skutecznym rozwiązaniem zabezpieczającym byłoby wykonanie odciążenia podłoża, przez ułożenie odciążającej warstwy keramzytu geotechnicznego, ułożonej w miejsce usuniętego nasypu z piasku. Wstępnie można szacować, że potrzebne byłoby tu ok. 2600 m<sup>3</sup> takiego nasypu z keramzytu.

- 5) Wysoki nasyp drogowy projektowany na dojazdach do obiektu mostowego, projektowanego nad rzeką Kopla, będzie posadowiony w bardzo złożonych warunkach, będących skutkiem: dużej niejednorodności w zaleganiu grubej warstwy gytii, sztywnego posadowienia (na palach) obiektu mostowego oraz obecnością w nasypie wysokiej powłoki obiektu mostowego. W tych warunkach – niezależnie od przyjętego

wariantu wzmocnienia podłoża – nawierzchnia projektowanej drogi, w rejonie projektowanego obiektu mostowego będzie poddawana osiadaniom zróżnicowanym co do wielkości zarówno w kierunku podłużnym, jak i poprzecznym. Wobec powyższego zaleca się wykonanie dodatkowego wzmocnienia podłoża bezpośrednio pod projektowaną nawierzchnią. Nawierzchnia nie powinna być układana na podbudowie betonowej grubości 15 cm, lecz na nasypie zbrojonym (kruszywo łamane 0/31,5 mm + 2 x geosiatka 110/25 z PVA) o grubości 50 cm. Taki nasyp zbrojony powinien być ułożony na odcinku 100,0 m, od km 0+960 do km 1+060.