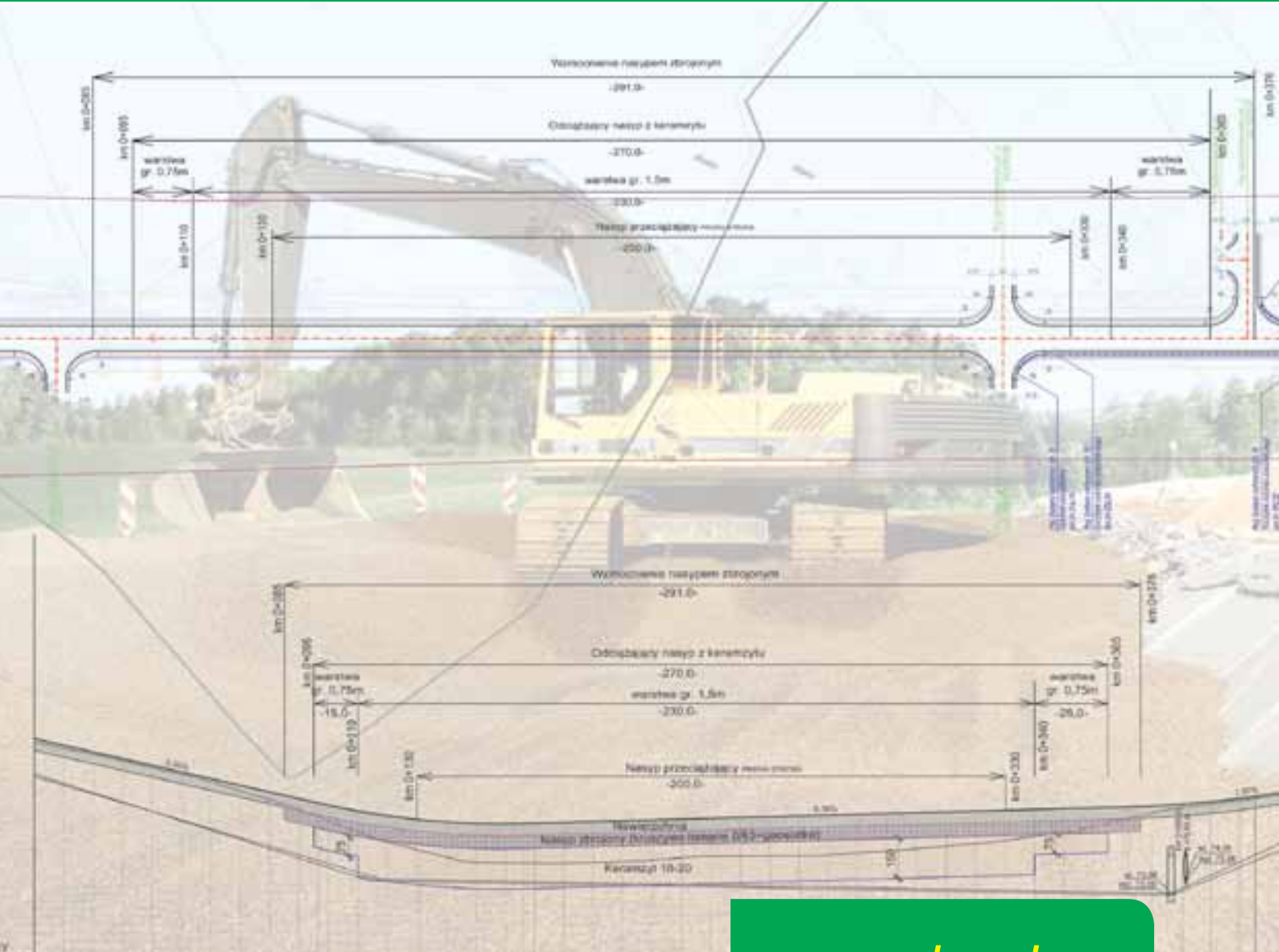


ZESZYT GEOTECHNICZNY NR 1

ANALIZA PORÓWNAWCZA - DROGA



www.leca.pl

Posadowienie drogi na gruncie organicznym, porównanie rozwiązań.
Studium przypadku.



WSTĘP

Opracowanie zawiera studium przypadku przebudowy drogi posadowionej na gruncie organicznym. W przedstawionym projekcie natrafiono na typowe problemy geotechniczne występujące podczas realizacji tego typu zadań. Dzięki temu można traktować go jako reprezentatywny przykład do analizy porównawczej technik wzmocnienia podłoża przy budowie, przebudowie, modernizacji i remoncie dróg. Opracowanie przygotowano na podstawie zrealizowanej inwestycji.

ZAKRES I CEL PROJEKTU

Analizowany przypadek dotyczy przebudowy fragmentu drogi wojewódzkiej, która polega na:

- **podwyższeniu niwelety** na odcinku występującego lokalnego zagłębienia istniejącej drogi (ok. 1,50 m),
- **poszerzeniu istniejącej drogi** do projektowanej szerokości w koronie obejmującej: jezdnię szerokości 7,0 m i dwa pobocza po 2,0 m.

Celem opracowania jest podanie optymalnego (w ocenie technicznej i ekonomicznej) sposobu wykonania wzmocnienia organicznego podłoża występującego pod 270 metrowym odcinkiem nasypu rozbudowywanej drogi wojewódzkiej.

GEOTECHNICZNA CHARAKTERYSTYKA PODŁOŻA GRUNTOWEGO

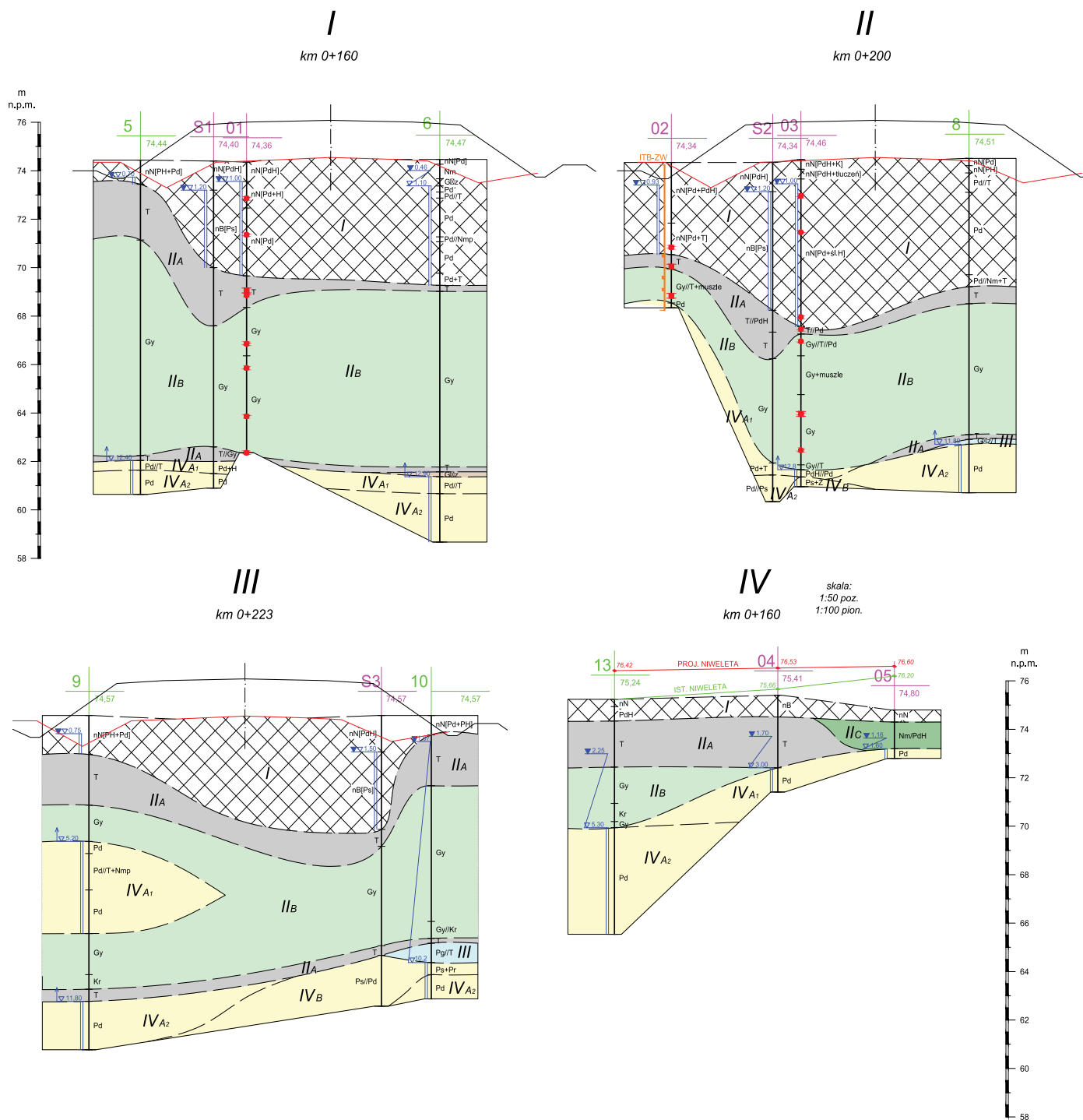
Istniejący nasyp drogowy

Nawierzchnia drogi na rozważanym odcinku jest ułożona na nasypie, który składa się w dużej części z piasków próchnicznych i jest w przewadze w stanie luźnym. W nasypie tym lokalnie występują namuły oraz torfy. Nasyp drogowy o takim składzie i w takim stanie nie spełnia wymogów stawianych przez normę PN-S/02205 „Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania”, co musi być także uwzględnione w dalszych działaniach projektowych.

Istniejący nasyp drogowy ma zróżnicowaną grubość, maksymalnie (otwór nr 03) stwierdzono grubość ok. 7,0 m (otwór nr 03). Ponad otaczający teren nasyp wyniesiony jest ok. 1,0 m, a przeważająca część nasypu zagłębiona jest w bagnie. To zagłębienie świadczy o wielkości zaistniałych znacznych osiadań tego nasypu.

Organiczne podłoże zalegające pod nasypem drogowym

Warunki gruntowo – wodne występujące w podłożu rozważanego odcinka drogi wojewódzkiej przedstawiono na poniższych przekrojach.



Przeprowadzone badania wykazały, że w rozważanym organicznym podłożu w przewadze występują: **gytie** (warstwa IIB). Zalegają tam również torfy (warstwa IIA), a lokalnie **namuły organiczne** (warstwa IIC).

Na rozważanym odcinku droga przechodzi przez dolinę wypełnioną gruntami organicznymi, które zalegają tu do znacznych głębokości, sięgających ok. 13,0 m. Należy zwrócić uwagę, że grubości warstw gruntów organicznych są tu dość zróżnicowane, a ponadto – wśród gytii lokalnie (otwór nr 9) zalega ok. 4,0-metrowa warstwa piasków (otwór nr 9).

Parametry geotechniczne gruntów

Parametr	Średnie wartości charakterystyczne	
	torf (warstwa IIA)	gytia (warstwa IIB)
Zawartość części organicznych I_{om} [%]	67,55	13,5
Wilgotność naturalna w_n [%]	359,4	101,1
Wytrzymałość na ścinanie $\tau_{r,max}$ [kPa]	42,0	52,0
Edometryczny moduł ściśliwości (w przedziale obciążeń 100-150 kPa) zbadany w edometrze M_o [kPa]	569	1106
Edometryczny moduł ściśliwości zbadany w sondowaniu CPTU M_o [kPa]	1228	1975
Kąt tarcia Φ'	13°10'	14°10'

ANALIZA SPOSOBU WZMOCNIENIA ORGANICZNEGO PODŁOŻA

Istniejące uwarunkowania:

- Istniejący obecnie nasyp drogowy jest bezpośrednio posadowiony na bardzo grubej warstwie gruntów organicznych.
- W nasypie drogowym występują luźne piaski drobne piaski próchnicze (z dużym udziałem namulców).
- Projektowana przebudowa drogi wymaga wykonania lokalnego podwyższenia niwelety oraz wykonania nowych nasypów poszerzających korpus drogowy. Taka przebudowa wiąże się z wystąpieniem dodatkowego dociążenia organicznego podłoża i powstaniem dodatkowych znacznych i zróżnicowanych osiadań sięgających 15÷30 cm.
- W tych warunkach niedopuszczalnym byłoby zwykłe ułożenie nowej nawierzchni na podwyższonym i poszerzonym nasypie drogowym. **Koniecznym będzie wykonanie odpowiedniego wzmocnienia organicznego podłoża**, tak aby nowa nawierzchnia pracowała bez szkodliwych deformacji.
- Dodatkowym utrudnieniem będzie konieczność zachowania ruchu wahadłowego na połowie jezdni z powodu trudności z wykonaniem objazdu.

Analiza możliwych technicznie sposobów wykonania wzmocnienia podłoża na rozważanym odcinku drogi.

Praktyczne doświadczenia zdobyte przy projektowaniu i realizacji podobnych zadań umożliwiły uwzględnienie i przeanalizowanie technicznie możliwych sposobów wykonania przebudowy:

- 1) **Wymiana gruntów organicznych** i wykonanie nowego nasypu drogowego na nowym mineralnym podłożu. W tych warunkach byłoby to praktycznie niewykonalne. Przeszkodą byłyby: znaczna głębokość wymiany oraz obecność wody gruntowej.

2) **Wykonanie wzmocnienia organicznego podłoża kolumnami żwirowymi** i nasypem zbrojonym ułożonym na głowicach kolumn. Z tym rozwiązaniem wiąże się jednak konieczność wykonania czasowego (kilkumiesięcznego) przeciążenia, co jest nie do przyjęcia ze względu na ograniczenia w ruchu. Takie rozwiązanie byłoby też bardzo kosztowne.

3) **Wzmocnienie organicznego podłoża kolumnami betonowymi** (np. kolumnami przemieszczeniowymi) jest w tych warunkach gruntowych niemożliwe do zastosowania. Grunty organiczne (gytia) lokalnie są bardzo słabe ($S_u = 16$ kPa – z sondowania CPTU) i przy tak głębokim ich zaleganiu (do 13,0 m) parcie hydrostatyczne świeżego betonu skutkowałoby znacznymi (niedopuszczalnymi) deformacjami kolumn betonowych.

4) **Wykonanie odciążenia podłoża lekkim nasypem z keramzytu i ułożenie pod nową nawierzchnią nasypu zbrojonego z kruszywa łamanego i geosiatki.**

W istniejących tu uwarunkowaniach takie rozwiązanie będzie najwłaściwsze.

5) **Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych**, potraktowane tu zostało jako rozwiązanie alternatywne do zastosowania odciążenia nasypem z keramzytu.

CHARAKTERYSTYKA PROJEKTÓW

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego

Analiza parametrów geotechnicznych rozważanych gruntów organicznych wykazuje, że grunty organiczne zalegające pod nasypem drogowym zostały skonsolidowane jego ciężarem i charakteryzują się nieco korzystniejszymi właściwościami niż występujące w naturalnym podłożu poza nasypem drogowym.

W tych warunkach nie występuje problem nośności organicznego podłoża obciążonego przebudowywanym nasypem drogowym. Nośność podłoża jest tu zabezpieczona.

Problemem pozostaje dalszy rozwój osiadań i deformacji nowej nawierzchni, posadowionej na takim nasypie i na takim organicznym podłożu.

Projektowany sposób wzmocnienia polegający na wykonaniu nasypu z keramzytu spowoduje:

1. częściowe odciążenie organicznego podłoża przez usunięcie części istniejącego nasypu i ułożenie w jego miejsce lekkiego nasypu z keramzytu, doprowadzając przez

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych

Posadowienie nasypów drogowych na żelbetowej konstrukcji z użyciem wbijanych pali prefabrykowanych, ma już wielokrotne praktyczne zastosowanie w sytuacji dość głębokiego zalegania słabych gruntów organicznych, w których nie można bezpiecznie wykonać pali żwirowych lub betonowych.

Przykładami takich udanych zastosowań pali prefabrykowanych do posadowienia nasypów drogowych, są [1]:

1. Nasyp kolejowy Trasy Węglowej w Kleczewie, gdzie:
 - słaba organiczna gytia zalegała do głębokości ok. 18,0 m
 - wykonano 256 szt. pali prefabrykowanych, 30 x 30 cm, o długościach od 11,0 do 24,0 m, łącznie o długości 4 546 m.
2. Nasyp autostrady A2 pod Nowym Tomysłem, gdzie:
 - słabe grunty organiczne (torf, namuł organiczny i gytia) zalegały do głębokości ok. 12,0 m

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego - cd

- to do zahamowania osiadań organicznego podłoża,
2. likwidację z bezpośredniego podłoża znacznej części słabego i luźnego nasypu niespełniającego obecnie podstawowych wymagań stawianych przez normatywy drogowe,
 3. wzmocnienie i ujednorodnienie bezpośredniego podłoża pod nawierzchnią – przez wykonanie nasypu z kruszywa łamanego zbrojonego geosiatką.

Zaprojektowano wykonanie nasypu z keramzytu o grubości 1,5 m dla którego odciążenie podłoża wyniesie:

$$\Delta\sigma = \mathbf{21,0 \text{ kN/m}^2}.$$

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych - cd

- wykonano ponad 1900 szt. pali prefabrykowanych 30 x 30 cm, o długościach od 16,0 do 26,0 m, łącznie o długości ok. 41 000 m
- rozstaw pali wynosił 2,50 x 2,50 m.

W obydwu przypadkach głowice pali zostały wieńczone żelbetowymi płytami na A2 płyta miała grubość 30 cm.

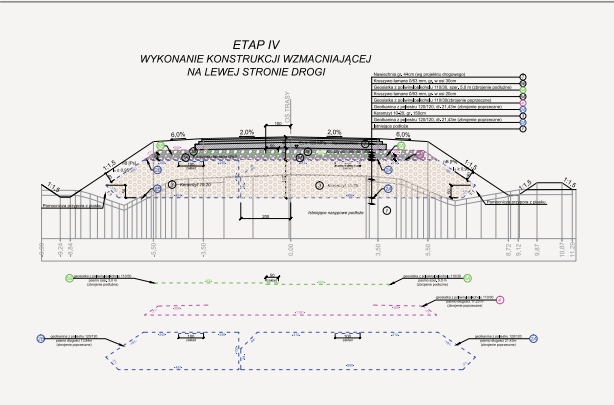
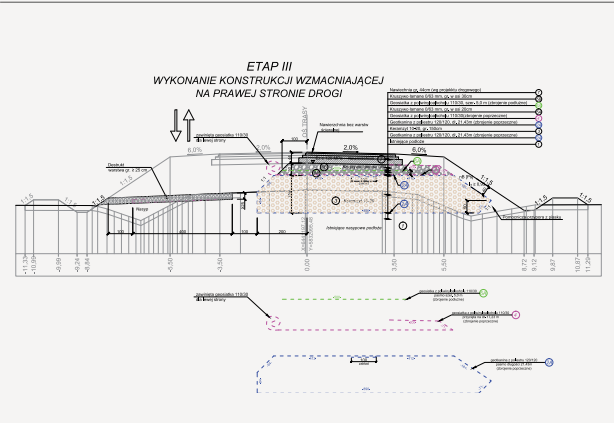
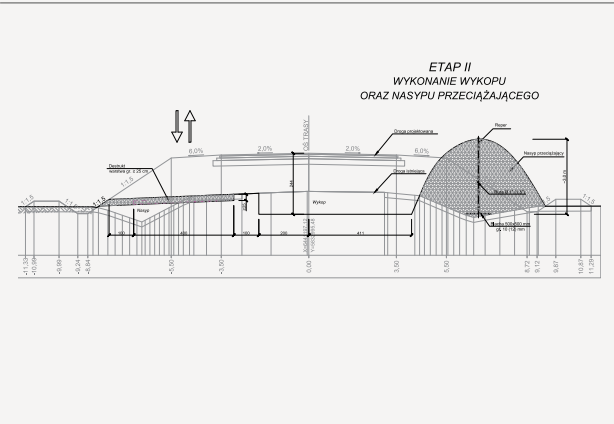
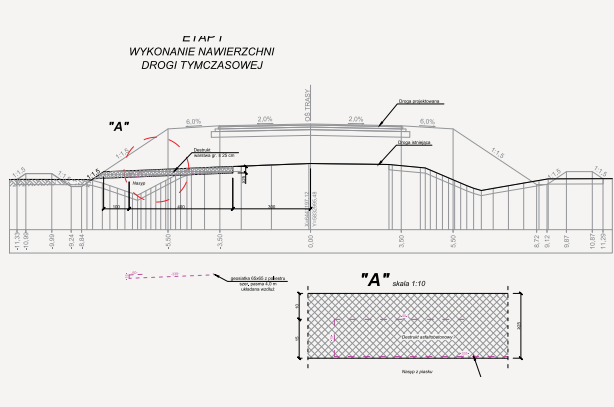
[1] Gwizdała K., Kowalski J.R.: „Prefabrykowane pale wbijane” Politechnika Gdańska, katedra geotechniki, Gdańsk 2005 r.

Zaprojektowano pale o wymiarach **30 x 30 cm** rozmieszczone w rozstawie **2,0 x 3,0 m**.

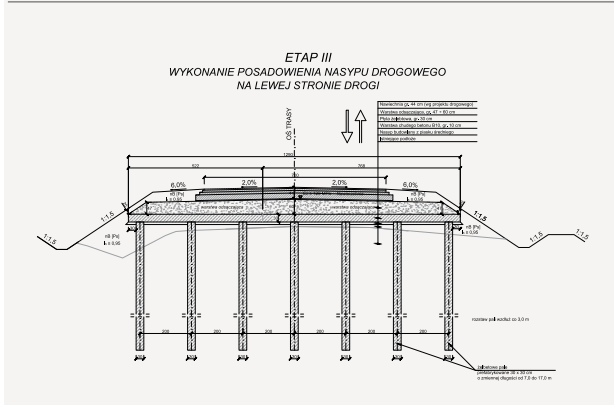
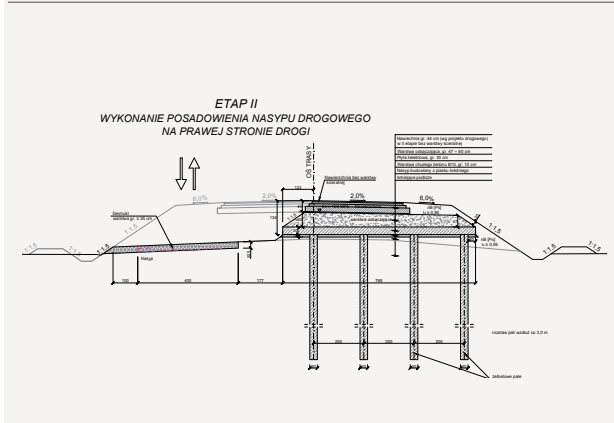
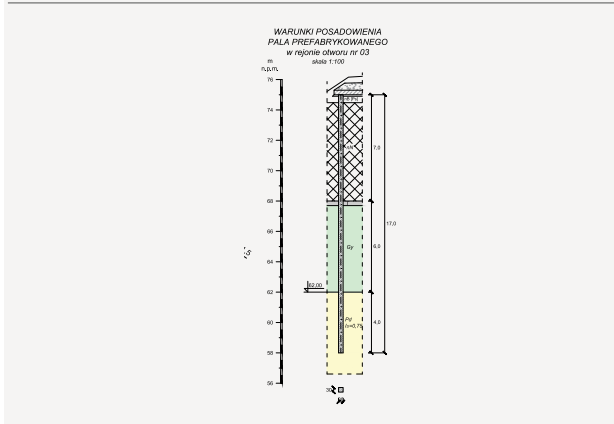
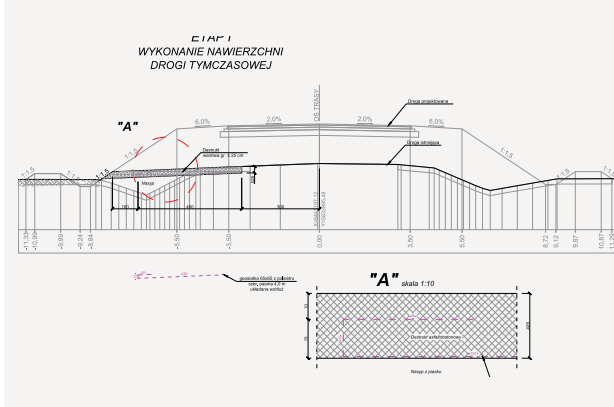
UWAGA: W wykonanych obliczeniach nośności pala przyjęto, że warstwa piasków, zalegająca pod gruntami organicznymi, występuje na całej długości pala i pod jego stopą. Jednak dotychczasowe sondowania sięgają tylko głębokości 14,0 m. Wobec powyższego przy przyjęciu projektowanego posadowienia na palach prefabrykowanych (o długości do 21,0 m) koniecznym byłoby wykonanie dodatkowych 5 sondowań statycznych CPTU do głębokości 26,0 m.

OPIS TECHNICZNY WYKONANIA PRAC

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego



Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych



Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego - cd

Podział projektowanych robót na etapy

Konieczność zachowania (podczas prowadzonych robót) ruchu wahadłowego wymusza prowadzenie prac w 4 etapach:

ETAP I – wykonanie nawierzchni drogi tymczasowej obok lewej krawędzi korpusu drogowego.

ETAP II – wykonanie przeciężenia podłoża na prawym poboczu połączone z wykonaniem wykopu (na prawej stronie) do głębokości 2,44 m licząc od poziomu niwelety.

ETAP III – wykonanie (na prawej stronie):

- nasypu z keramzytu,
- nasypu zbrojonego,
- konstrukcji nawierzchni (bez warstwy ścieralnej).

ETAP IV – wykonanie (na lewej stronie):

- wykopu (o takiej samej głębokości jak z lewej strony),
- nasypu z keramzytu,
- nasypu zbrojonego z zachowaniem ciągłości poprzecznej geosiatki 110/30,
- konstrukcji nawierzchni (bez warstwy ścieralnej, która ułożona będzie jako ostateczne wykończenie nawierzchni na całej szerokości).

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych - cd

Podział projektowanych robót na etapy

Konieczność zachowania (podczas prowadzonych robót) ruchu wahadłowego wymusza prowadzenie prac w 3 etapach:

ETAP I – wykonanie nawierzchni drogi tymczasowej obok lewej krawędzi korpusu drogowego.

ETAP II – wykonanie (na prawej stronie):

- nasypu budowlanego,
- wykucia w istniejącej nawierzchni asfaltobetonowej lokalnych wykopów,
- palowania,
- skucia głowic pali,
- warstwy wyrównawczej z betonu B-10,
- płyty żelbetowej wieńczącej głowice pali,
- warstwy odsączającej,
- konstrukcji nawierzchni (bez warstwy ścieralnej),
- nasypu na skarpach.

ETAP III – wykonanie (na lewej stronie):

- nasypu budowlanego,
- wykucia w istniejącej nawierzchni asfaltobetonowej lokalnych wykopów,
- palowania,
- skucia głowic pali,
- warstwy wyrównawczej z betonu B-10,
- płyty żelbetowej wieńczącej głowice pali,
- warstwy odsączającej,
- konstrukcji nawierzchni (bez warstwy ścieralnej, która ułożona będzie jako ostateczne wykończenie nawierzchni na całej szerokości),
- nasypu na skarpach.

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego - cd

Wykonanie wykopu

Należy usunąć istniejącą nawierzchnię, jej podbudowę oraz nasyp drogowy do głębokości mieszczącej później:

- nawierzchnię nowej konstrukcji (o grubości 44 cm),
- nasyp zbrojony (o grubości w osi 50 cm, z odpowiednimi spadkami górnej powierzchni),
- nasyp z keramzytu geotechnicznego (o grubości 1,5 m oraz 0,75m).

Wykonanie nasypu przeciążającego na prawej stronie korpusu drogowego

- Szerokość – ok. 4,5 m, początek przy krawędzi obecnego pobocza,
- wysokość przyzmy ok. 3,0 m,
- rodzaj nasypu – grunt i materiał uzyskany z sąsiedniego wykopu + dowieziony.
- geodezyjny pomiar osiadań organicznego podłoża obciążonego nasypem (3 repery),
- przewidywany czas przeciążenia – zależnie od przebiegu pomierzonych osiadań, co najmniej 2 tygodnie.

Ułożenie geotkaniny

Na wyrównanej warstwie pospółki należy ułożyć geotkaninę z poliestru 120/120 rozwijając ją w pasmach w kierunku poprzecznym.

Ułożenie keramzytu

Najczęściej keramzyt jest plantowany i zagęszczany spychaczem gąsienicowym.

Wartość modułu E_2 dla nasypu z keramzytu, badana płytą VSS, powinna wynosić $E_2=35$ MPa (w przedziale obciążeń 0,05 ÷ 0,15 MPa).

Wykonanie nasypu zbrojonego (geosiatka + kruszywo łamane 0/63 mm)

Nasyp zbrojony usytuowany na warstwie keramzytu.

- dolna geosiatka 110/30 z poliwinylalkoholu

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych - cd

Wykonanie nasypu budowlanego

Z dowiezionego piasku średniego (wskaźnik zagęszczenia $IS \geq 0,97$), dla wyrównania istniejących obniżen terenowych w zasięgu rzutu rozbudowywanej drogi.

Wykucie w istniejącej nawierzchni asfaltobetonowej lokalnych wykopów, o wymiarze 0,6 x 0,6 m i głębokości ok. 0,35 m dla wbicia części pali prefabrykowanych.

Wykonanie palowania

Rozmieszczenie pali:

- w przekroju poprzecznym 7 pali w rozstawie osiowym co 2,0 m,
- wzdłuż osi drogi – w rozstawie osiowym co 3,0 m.

Pale prefabrykowane, w przekroju o wymiarach: 30 x 30 cm,

Pale mają zróżnicowaną długość od 7,0 do 17,0 m.

Skucie głowic pali

Dla połączenia pali z żelbetową płytą, należy odstąpić zbrojenie, przez skucie głowicy na odcinku 30 cm.

Ułożenie warstwy wyrównawczej z betonu B-10

Grubość warstwy betonu 10 cm.

Wykonanie płyty żelbetowej

Płyta wieńcząca głowice pali, grubości 30 cm. Beton B-30, zbrojenie A-III-N siatka górą i dołem $\varnothing 12$ mm, 10 x 10 cm.

Wykonanie warstwy odsączającej

Na żelbetowej płycie należy ułożyć warstwę pospółki, której nośność po zagęszczeniu musi wynosić $E_2 \geq 120$ MPa.

Wykonanie dwustronnego nasypu na skarpach

Rodzaj gruntu: piasek średni, zagęszczenie: $IS \geq 0,97$.

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego - cd

lu – jako zbrojenie poprzeczne,

- kruszywo łamane 0-63 mm (o grubości 20 cm w osi drogi).
- geosiatka 110/30 z poliwinylalkoholu na 20 cm warstwie kruszywa łamanego – jako zbrojenie podłużne.

Wykonanie nasypu z kruszywa łamanego 0/63 mm

Nasyp z kruszywa łamanego 0/63 mm (o grubości 30 cm w osi drogi). Musi on po zagęszczeniu spełniać wymogi normy PN-S-02205, a wartość modułu E_{v2} (zbadana płytą VSS) musi wynosić: $E_{v2} \geq 120$ MPa (dla ruchu ciężkiego).

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych - cd

PORÓWNANIE KOSZTÓW

Kosztorysy sporządzono w oparciu o średnie ceny dla tego typu robót obowiązujące w I półroczu 2020 roku.

Zestawienia kosztów nie obejmują wykonania drogi tymczasowej, ponieważ jest to element wspólny dla obu rozwiązań.

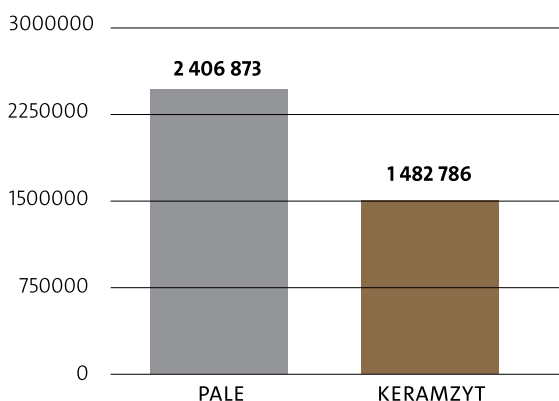
Zestawienie kosztów wykonania wzmocnienia organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego

Opis	R	M	S
Usunięcie istniejącej nawierzchni i wykonanie wykopu	3 742,28		7 504,79
Wykonanie nasypu przeciążającego na prawej stronie korpusu drogowego	14 324,28	25 668,00	18 117,87
Wykonanie nasypu keramzytowego w geotkaninie	33 169,96	97 4583,10	63 397,36
Wykonanie nasypu zbrojonego (geosiatka + kruszywo łamane 0/63 mm)	21 645,73	278 651,42	6 866,08
Wykonanie dwustronnego nasypu budowlanego na skarpach korpusu drogowego	3 687,55	25 645,25	5 782,82
Razem:	76 569,80	1 304 547,77	101 668,92
Ogółem wartość kosztorysowa robót	1 482 786,49		

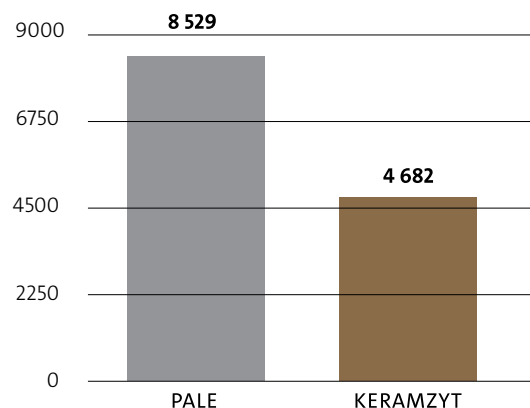
Zestawienie kosztów posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych

Opis	R	M	S
Wykonanie nasypu budowlanego	2 660,0	6 4896,00	4 6473,50
Wykucie w istniejącej nawierzchni asfaltobetonowej lokalnych wykopów	3740,39		3 611,82
Wykonanie palowania	32 533,13	1 216 950,00	373 928,17
Skucie głowic pali	8 844,52	1 356,79	
Ułożenie warstwy wyrównawczej z betonu B-10	38 771,46	73 225,62	1 072,65
Wykonanie płyty żelbetowej	20 598,46	352 096,47	15 656,09
Wykonanie warstwy odsączającej	731,43	110 097,63	7 279,47
Wykonanie dwustronnego nasypu na skarpach	2 690,69	2 5439,23	4 219,49
Razem:	110 570,08	1 844 061,74	452 241,19
Ogółem wartość kosztorysowa robót	2 406 873,01		

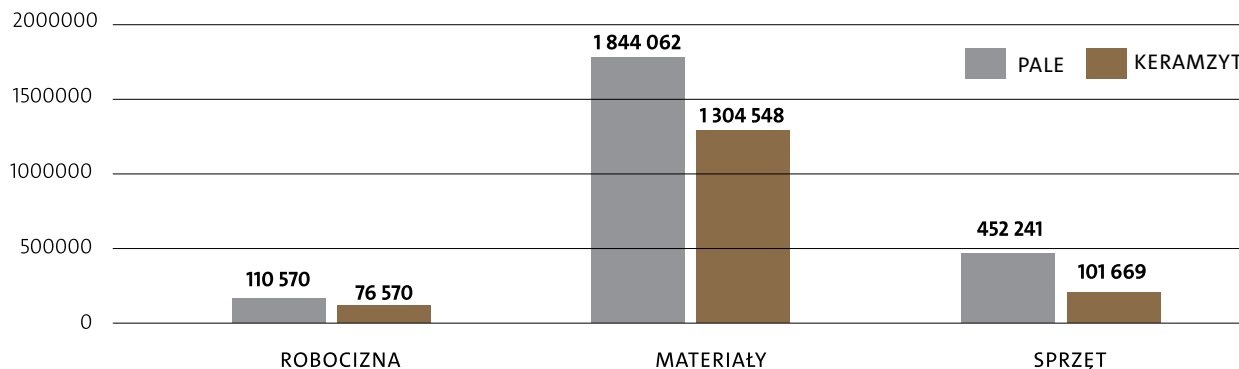
Wartość kosztorysowa robót [PLN]



Łączny czas pracy ludzi i sprzętu [r-g + m-g]



Wartości kosztorysowe R,M,S [PLN]



ZESTAWIENIE SPRZĘTU

Wzmocnienie organicznego podłoża z zastosowaniem keramzytu geotechnicznego

- Koparka gąsienicowa
- Spycharka gąsienicowa
- Ładowarka kołowa
- Samochód samowyładowczy
- Sprężarka powietrza
- Zagęszczarka wibracyjna

- Zrywarka przyczepna

Posadowienie nasypu drogowego na wbijanych palach prefabrykowanych

- Koparka gąsienicowa
- Spycharka gąsienicowa
- Koparko-ładowarka
- Samochód samowyładowczy
- Sprężarka powietrza
- Zagęszczarka wibracyjna

- Równiarka samojezdna
- Walec statyczny samojezdny
- **Kafar do wbijania pali**
- **Urządzenie do podłukiwania pali**



A Saint-Gobain brand

DORADCY TECHNICZNI
Tel. 505 172 083
505 172 082

Leca Polska sp. z o.o.
83-140 Gniew • ul. Krasickiego 9
www.leca.pl • e-mail: leca@leca.pl • tel.: 58 772 24 10