



stabilizujemy niestabilny świat

**KONCEPCJA WZMOCNIENIA GEOSIATKĄ KOMÓRKOWĄ
NEOWEB®-NEOLOY podłoża ulicy Miodowej i parkingu w
Bezzeczu**

Opracował

prof.dr hab. inż. Lesław Zabuski
konsultant firmy Rozenblat Sp. z o.o. oraz Rozenblat Sp. z o.o. Sp. k.

Gdańsk, maj 2012



Dystrybutor geosiatki komórkowej

Rozenblat Sp. z o.o. Sp. k.
ul. Stęszewska 9, Krosinko, 62-050 Mosina
tel. 061 819 21 21, 819 21 18, 898 10 45, faks 061 819 74 88
e-mail: info@rozenblat.pl
www.rozenblat.pl

NIP: 7773098677
Regon: 30103927, KRS 0000321700,
Sąd Rejonowy Poznań – Nowe Miasto i Wilda w Poznaniu,
VII Wydział Gospodarczy
Krajowego Rejestru Sądowego

Wstęp

Celem opracowania jest przedstawienie i sprawdzenie – poprzez analizę numeryczną - skuteczności wzmocnienia geosiatką komórkową NEOWEB-NEOLOY podłoża pod nawierzchnią ulicy Miodowej oraz przyległego parkingu w Bezzreczu (gm. Dobra Szczecińska).

Dla wykonania analizy autorowi dostarczone przekrój geologiczny, sporządzony na podstawie profili trzech otworów badawczych, schematy projektowanej konstrukcji oraz opracowanie pt. *Dokumentacja geotechnicznych warunków posadowienia do projektu budowlanego kanalizacji deszczowej dla parkingu przy ul. Górnej w Bezzreczu, gm. Dobra Szczecińska, pow. Police, woj. zachodniopomorskie*. Powyższe materiały, uzupełnione danymi nt. parametrów niektórych gruntów podłoża (z norm, literatury) i materiałów konstrukcyjnych (z norm i doświadczeń własnych) umożliwiły opracowanie modeli obliczeniowych i przeprowadzenie analizy.

Dla wzmocnienia podłoża zaproponowano zastosowanie materaca z geosiatki komórkowej **NEOWEB-NEOLOY**, oraz geotkaniny **Terralys LF 17**.

Analizę wykonano dla dwóch modeli obliczeniowych, opracowanych na podstawie profili podłoża w otworach badawczych nr 3 (SSE) i nr 1 (NNW). W pierwszym przypadku podłoże zbudowane jest z gruntów o stosunkowo dobrych właściwościach geotechnicznych, dlatego zaproponowano jego **wzmocnienie geosiatką o niewielkiej wysokości komórek, tj. 75 mm¹**. Przy niejednorodnym nasypie niebudowlanym w warstwie przypowierzchniowej zadaniem geosiatki – poza wzmocnieniem - jest zniwelowanie wpływu tej niejednorodności. Podłoże w rejonie otworu nr 1 zbudowane jest z gruntów o bardzo niskich parametrach geotechnicznych (torf, namuł), które ponadto zalicza się do gruntów wysadzinowych. **Dlatego w tym przypadku zaproponowano wzmocnienie podłoża geosiatką o wysokości komórek 200 mm²**. Dla uniknięcia zjawiska wysadzinowości wskazane jest zagłębienie wykopu poniżej strefy przemarzania i jego wypełnienie gruntem niewysadzinowym, np. kruszywem. Trzeba jednak podkreślić, iż nie jest to konieczne z punktu widzenia statyki konstrukcji, gdyż wzmocnienie geosiatką komórkową projektuje się tak, by było ono wystarczające dla zapewnienia nośności.

Analizowano odkształcalność ulicy i miejsc parkingowych obciążonych pojazdami wywierającymi nacisk 115 kN/oś pojazdu. W miejscu składowania śniegu (w rejonie otworu nr 1) przyjęto obciążenie równomiernie rozłożone, równe 20 kN/m². Odpowiada to pryzmie śniegu o wysokości 2 m.

Metoda analizy

Warunki odkształcalności i nośności analizowano poprzez obliczenia numeryczne programem komputerowym *FLAC2D*, opartym na metodzie różnic skończonych (*MRS*). Program oblicza rozkład naprężenia i deformacji (przemieszczenia), w układzie płaskim (2D), dla modelu sprężystego i/lub sprężysto-plastycznego ośrodka.

Modele geomechaniczne i numeryczne zbudowano w oparciu o informacje o geometrii i właściwościach geotechnicznych ośrodka gruntowego i konstrukcji. Modelując obiekty

¹ Proponowany materiał oznaczony jest symbolami **Neoweb-Neoloy-356-75-X-P-C-C**, gdzie **356** oznacza dystans w milimetrach między „spawami” komórki o wymiarach 260x224 mm, **75** – wysokość geosiatki w milimetrach, **X** – ilość pasków w sekcji geosiatki (do ustalenia z zamawiającym, w zależności od wymiarów sekcji), **P** – taśma perforowana, **C** – czarna, **C** – kategoria geosiatki, przeznaczona do permanentnego wzmocnienia podłoża.

² **Neoweb-Neoloy- 356-200-X-P-C-C**

stabilizujemy niestabilny świat

podzielono je na „elementy”, tzw. strefy różnic skończonych (RS, rys.1 i 7, odpowiednio dla modelu podłoża w rejonie otworu nr 3 i nr 1)³. Program FLAC oblicza naprężenie, przemieszczenie, określa stan (sprężysty, zniszczony), rodzaj zniszczenia (ścięcie, rozerwanie) itp., w każdej strefie RS bądź w punkcie węzłowym siatki.

Modele obliczeniowe i procedura analizy

Parametry geotechniczne warstw podłoża i elementów konstrukcji oraz wzmocnienia przyjęte w modelach zestawiono w tablicy 1. Wartości parametrów gruntów przyjęto na podstawie danych zawartych wymienionej dokumentacji oraz w normie PN-81-B-03020 i literaturze (patrz: Z. Wiłun – „Zarys geotechniki”). Parametry dla materiałów konstrukcji i wzmocnienia określono korzystając z doświadczeń własnych i literatury.

W modelach pominięto chodniki, gdyż wywierane na nie obciążenia są bardzo małe (zwłaszcza w porównaniu z obciążeniem jezdni), dlatego nie odgrywają niemal żadnej roli w zachowaniu się układu konstrukcyjnego.

Rozwiązywane zadanie polega na sprawdzeniu, jak zachowywać się będzie układ *podłoże+nawierzchnia* przy założonym wzmocnieniu geosiatką komórkową Neoweb. Kryterium rozwiązania „optymalnego”, stanowi zapewnienie nośności przy małych osiadaniach, z uwzględnieniem długotrwałych procesów osłabiających konstrukcję.

Tablica 1. Geotechniczne parametry gruntów i materiałów konstrukcyjnych

Grunt, materiał	Ciężar objętościowy γ [kN/m ³]	Moduł sprężystości postaciowej G [kPa]	Moduł sprężystości objętościowej K [kPa]	Spójność c [kPa]	Kąt tarcia ϕ [°]	Wytrż. na rozciąganie R _r [kPa]
Nasyp niebudowlany	18.0	3077	6667	8	9	0
Namuł	15.0	1154	2500	7	5	0
Torf	16.0	577	1250	8	6	0
Piasek drobny (warstwa I)	17.1	15209	32953	0	27.25	0
Piasek drobny (warstwa II)	19.0	23635	51210	0	28.35	0
Gлина (warstwa III)	18.0	3508	7601	7.08	8.42	0
Gлина (warstwa IV)	19.8	6997	15161	11.0	13.2	0
Kruszywo łamane: pod/nad geosiatką,	19.5	153846	333333	0	32	0
Geosiatka komórkowa Neoweb z wypełnieniem	19.0	1092233	797872	100	45	50
Podsypka cementowo-piaskowa	20.0	192308	416667	50	35	5
Kostka betonowa	21.0	2000000	3333333	Model sprężysty		

Obliczenia numeryczne przeprowadzono w czterech etapach⁴:

- 1) Określenie naturalnego stanu naprężenia (przed rozpoczęciem prac); w tym etapie generowane jest pole naprężenia i przemieszczenia, a „na wejściu” do drugiego etapu przemieszczenie jest „zerowane”, gdyż w rzeczywistości przemieszczenie to nie zachodzi obecnie, jest zatem niewidoczne.

³ Ten i kolejne rysunki zamieszczono na końcu opracowania, po części tekstowej.

⁴ Program komputerowy FLAC posiada „pamięć”, zatem stany naprężenia i deformacji w danym etapie są zapamiętywane i stanowią stany początkowe („na wejściu”) w kolejnym etapie. Pozwala to modelować sekwencję zdarzeń, czyli proces wykonania i następnie obciążenia konstrukcji.

stabilizujemy niestabilny świat

- 2) Wykonanie wykopu pod warstwy wzmocnienia i konstrukcji; pole naprężenia ulega redystrybucji, występuje również przemieszczenie wynikające z odciążenia (unoszenie); także tutaj przemieszczenie jest „zerowane”.
- 3) Wykonanie wzmocnienia i nawierzchni; pole naprężenia ulega kolejnej redystrybucji wskutek dociążenia warstwami wzmacniającymi; obliczone przemieszczenie (osiadanie) zachodzące w czasie budowy i zagęszczania warstw jest ponownie zerowane, gdyż nie jest ono „widoczne” po zakończeniu budowy.
- 4) Obciążenie nawierzchni siłami, wynikającymi z nacisków, wywoływanych przez pojazdy - przyjęto obciążenie 115 kN/oś pojazdu. Średnie naprężenie pod jednym kołem przy założonej powierzchni obciążenia 0.3 m² wynosi 191.7 kPa. Ze względu na potrzebę sprawdzenia „zapasu bezpieczeństwa” (nośności) wykonano również obliczenia dla obciążenia o 50% większego od powyższego, tj. przy ciśnieniu od koła, równym 287.55 kPa. W miejscach składowania śniegu przyjęto obciążenie równomiernie rozłożone, równe odpowiednio 20 kN/m² i 30 kN/m². Obliczone jest pole naprężenia oraz przemieszczenie od obciążenia ruchem kołowym i śniegiem – przemieszczenie to brane jest pod uwagę przy ostatecznej ocenie odkształcalności nawierzchni.

Głębokość zwierciadła wody przyjęto według danych zawartych w dokumentacji. Układy warstw w trzecim i czwartym etapie obliczeń przedstawiono na rysunkach 2 i 8.

Wyniki obliczeń – przedstawienie i analiza

Wyniki obliczeń przedstawiono w postaci wektorów przemieszczenia całkowitego, rozkładów przemieszczenia pionowego oraz krzywych obrazujących osiadania na poziomie nawierzchni. Prezentacja w postaci przemieszczeń wynika z faktu, iż wielkość ta jest najbardziej „czytelna” i widoczną miarą zachowania się konstrukcji. Wykresy przedstawiono na rysunkach 3-6 i 9-12, odpowiednio dla modelu podłoża w rejonie otworu nr 3 i nr 1. Na podstawie rozkładów i wielkości przemieszczenia sformułowano następujące wnioski:

- Przemieszczenia maksymalne w modelu podłoża w rejonie otworu nr 3, zarówno przy obciążeniu „normowym” (115 kN/oś) jak i zwiększonym o 50% (dla współczynnika bezpieczeństwa $F = 1.5$) są małe i wynoszą odpowiednio ok. 4.8 mm i 8.7 mm (rys.3a i b).
- Przemieszczenia maksymalne w modelu podłoża w rejonie otworu nr 1 są względnie duże i wynoszą ok. 32 mm i 52.5 mm, odpowiednio dla obciążenia „normowego” (115 kN/oś) i zwiększonego o 50%. Układ stabilizuje się jednak w procesie obliczeniowym, co oznacza, że nośność konstrukcji jest zapewniona. Nie pojawia się wypiętrzanie gruntu. Krzywe przemieszczenia pionowego nawierzchni wskazują na niejednorodność osiadania, jednak nie jest ona duża (rys.11 i 12) i wynosi kilka milimetrów na szerokości nawierzchni 1.5-2.0 m.
- Z porównań wynika, że w obydwu modelach 50-procentowy przyrost obciążenia powoduje w przybliżeniu 50-procentowy przyrost przemieszczenia. Zatem w podłożu nie zachodzą procesy uplastycznienia gruntu.
- Nie występuje wypieranie gruntu na boki, tj. poza profil ulicy i parkingu.
- Krzywe osiadania nawierzchni wskazują na brak kolein (rys.5 i 11).

Wskazówki praktyczne, podsumowanie

Układ i grubości warstw konstrukcji (od góry) określono na podstawie wyników obliczeń oraz ustaleń projektowych w sposób przedstawiony w tablicy 2.

Tablica 2. Układ warstw wzmocnienia i nawierzchni ulicy

Opis warstwy (od góry)	Grubość warstwy [cm] otwór nr 3 /otwór nr 1
Kostka betonowa	8
Podsypka cementowo-piaskowa	5
Podbudowa pomocnicza (kruszywo): <u>rejon otworu nr 3 i nr 1</u>	25 ⁵ / 10
Geosiatka komórkowa perforowana Neoweb ⁶ -Neoloy, o wysokości komórek 75 mm oraz 200 mm, rozstaw zgrzewów 356 mm, wymiar oczka 224 x 260 mm wypełniona kruszywem (np. pospółką lub tłuczniem) frakcji 0/31.5 mm; wskaźnik zagęszczenia wg Proctora $I_s \geq 1.0$ (z uwagi na zagęszczanie zaleca się nadsypanie 2-3 cm materiału ponad górną krawędź geosiatki): <u>rejon otworu nr 3 i nr 1</u>	7.5 / 20
Warstwa wzmacniająca i filtracyjno-separacyjna z kruszywa (jak wyżej), frakcji 0/31.5 mm, stabilizowanego mechanicznie; wskaźnik zagęszczenia $I_s \geq 0.95$ <u>rejon otworu nr 3 i nr 1</u>	10 / 30
Geowłóknina Terralys LF 17	---
Łączna grubość: <u>rejon otworu nr 3 i nr 1</u>	55.5/73⁷

Po wykonaniu wykopu (odpowiada etapowi 2 w obliczeniach) o odpowiedniej głębokości i szerokości (większej o 50 cm od szerokości ulicy i parkingu po obydwu stronach – por. rys.2 i 8) teren należy w miarę potrzeb odwodnić, a następnie wyrównać, oraz możliwie dobrze zagęścić dno wykopu.

Geotkaninę Terralys układa się na dnie na wymaganej szerokości, poprzecznie do dłuższego wymiaru obiektu. Szerokość geotkaniny po obydwu stronach jest o 50 cm w stosunku do szerokości nawierzchni. Po nasypaniu na geotkaninę warstwy kruszywa o grubości podanej w tablicy 2, zagęszcza się je do uzyskania wymaganego wskaźnika zagęszczenia Proctora (> 0.95)⁸. Geotkaninę zawija się następnie na brzegach do góry tak, aby szerokość pasma na górnej powierzchni warstwy kruszywa wynosiła min. 30÷40 cm i kotwi ją szpilekami „U” o długości min. 50 cm, w rozstawie 100 cm.

Na tak przygotowanej podbudowie układa się geosiatkę komórkową na szerokość identyczną jak szerokość geotkaniny (por.rys.2 i 8). Sąsiednie sekcje łączy się opaskami samozaciskowymi (Type Approval Certificate as per Bureau Veritas Classification Rules no. 13190/B1 BV, 16 May 2008) lub metalowymi zszywkami, zaś co dwie komórki kotwi się je przy pomocy szpilek typu „J” o długości min.40 cm i średnicy 8 mm. Wzdłuż krawędzi geosiatki kotwi się wszystkie komórki.

Na geosiatkę nasypuje się i rozprowadza równomiernie warstwę kruszywa o grubości większej o 2-3 cm od wysokości komórek geosiatki. Tak utworzoną warstwę zagęszcza się ($I_s = 1.0$), po czym nasypuje się i zagęszcza warstwę podbudowy pomocniczej (kruszywo), następnie układa się warstwy nawierzchni (zgodnie z projektem).

Podsumowując wyniki analizy należy stwierdzić, że zaproponowane wzmocnienie podłoża pod nawierzchnią ulicy geosiatką komórkową Neoweb-Neoloy spełnia

⁵ Z punktu widzenia statyki konstrukcji możliwe jest zmniejszenie tej grubości do 10 cm

⁶ Perforacja geosiatki ułatwia odpływ wody podziemnej poza obiekt

⁷ Miąższości wynikają także z konieczności wymiany gruntów wysadzinowych

⁸ Jeśli wystąpią trudności zagęszczenia można zagęszczać łącznie warstwy kruszywa pod geosiatką i geosiatki



stabilizujemy niestabilny świat

wymagania dotyczące nośności i odkształcalności (osiadania) podłoża. Dlatego proponuje się zastosowanie tego rozwiązania.

Trzeba zaznaczyć, że obliczenia wykonano uwzględniając parametry geosiatki Neoweb-Neoloy o określonych w opracowaniu parametrach. Zastosowanie produktu (geosiatki, geomaty) innego rodzaju, np. z innego materiału lub z inną perforacją, unieważnia wyniki powyższych obliczeń.

W przypadku wątpliwości firma Rozenblat służy konsultacjami i pomocą.

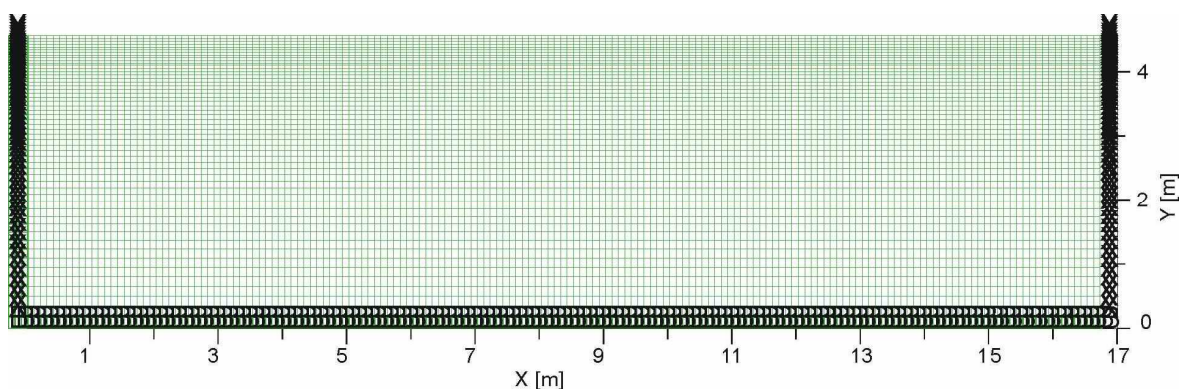
Opracował: prof. dr hab. inż. Lesław Zabuski



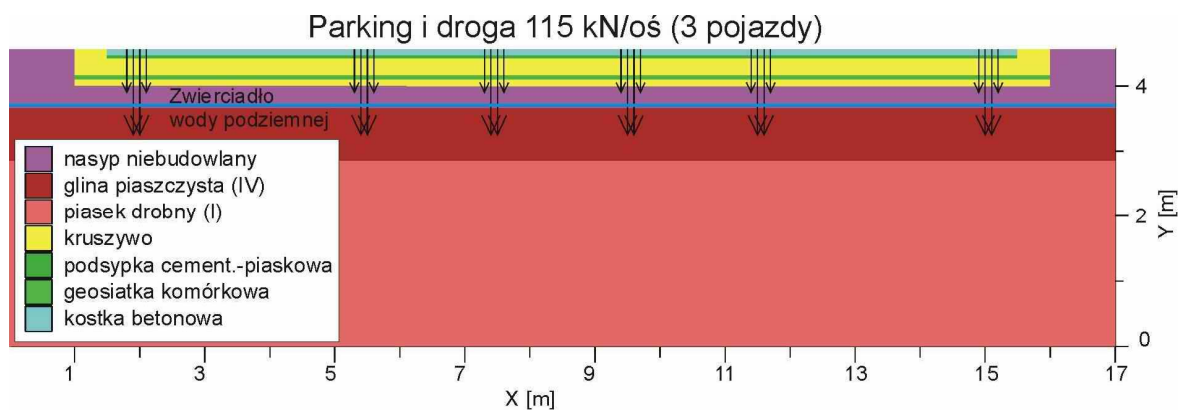
stabilizujemy niestabilny świat

RYSUNKI

MODEL GEOTECHNICZNY OPARTY NA PROFILU OTWORU NR 3
(część południowa - SSE - obiektu)

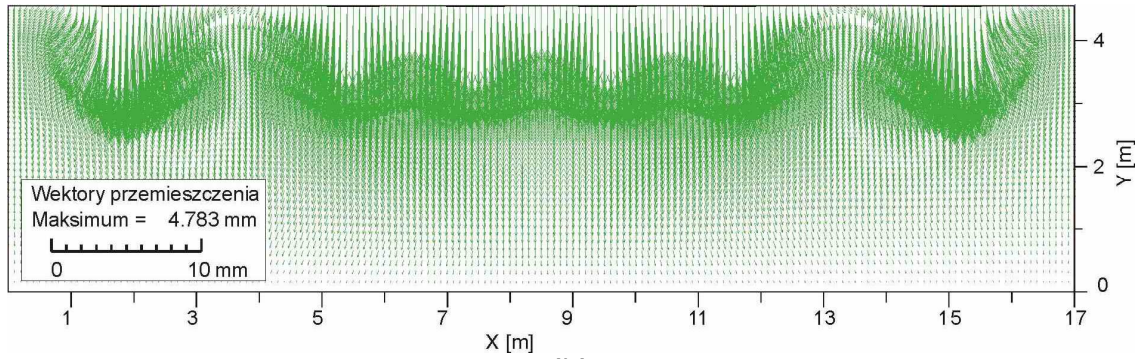


Rys.1. Siatka różnic skończonych

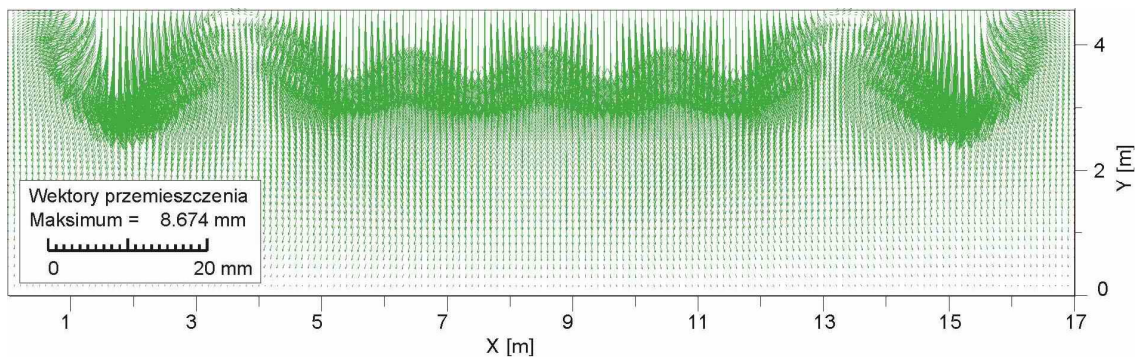


Rys.2. Podział modelu obliczeniowego na warstwy geotechniczne

(a)

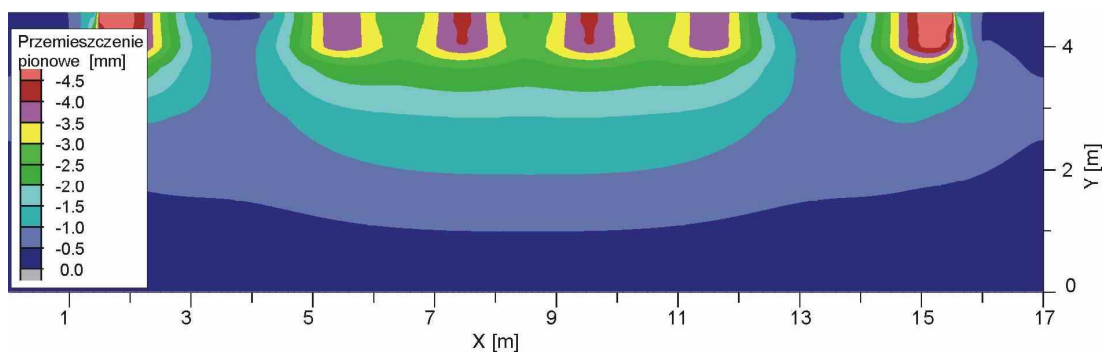


(b)



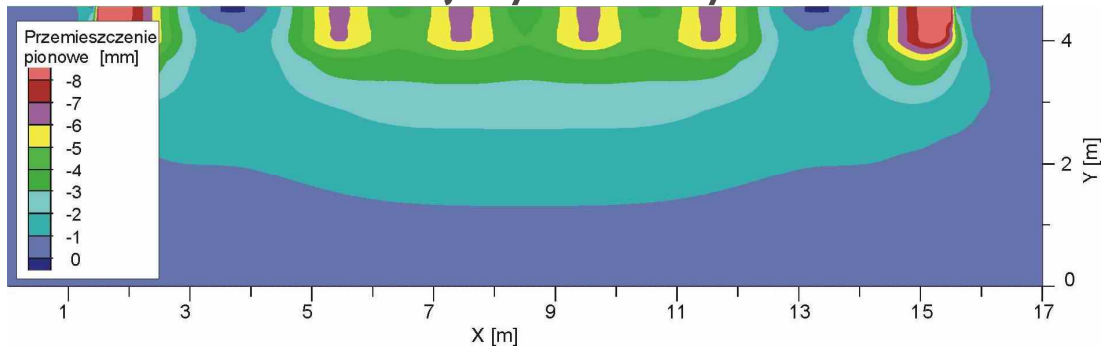
Rys.3. Pole wektorów przemieszczenia całkowitego; (a) przy obciążeniu normowym; (b) przy obciążeniu zwiększonym o 50% ($F = 1.5$)

(a)

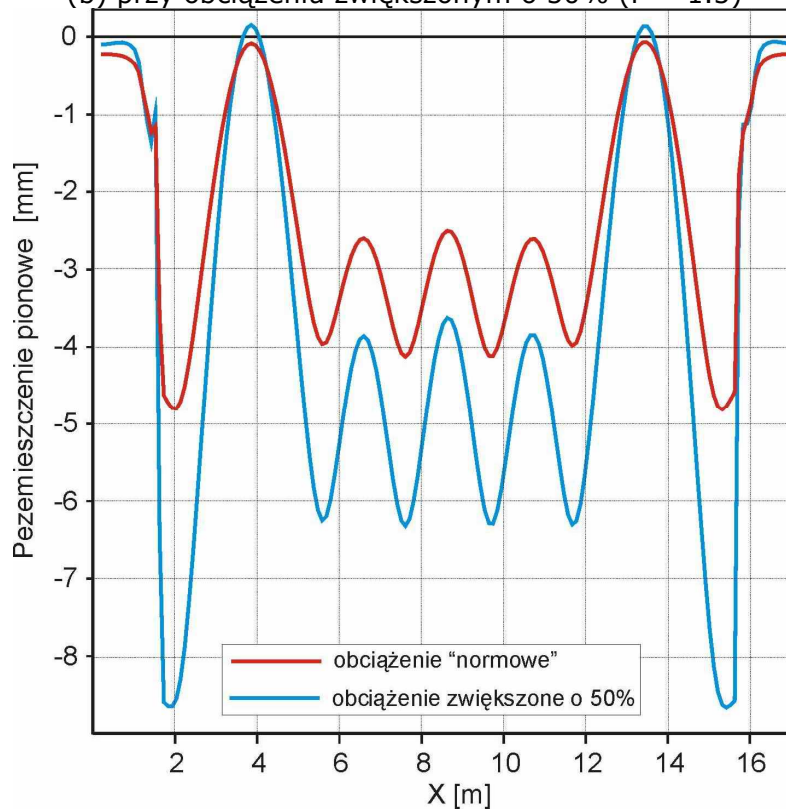


(b)

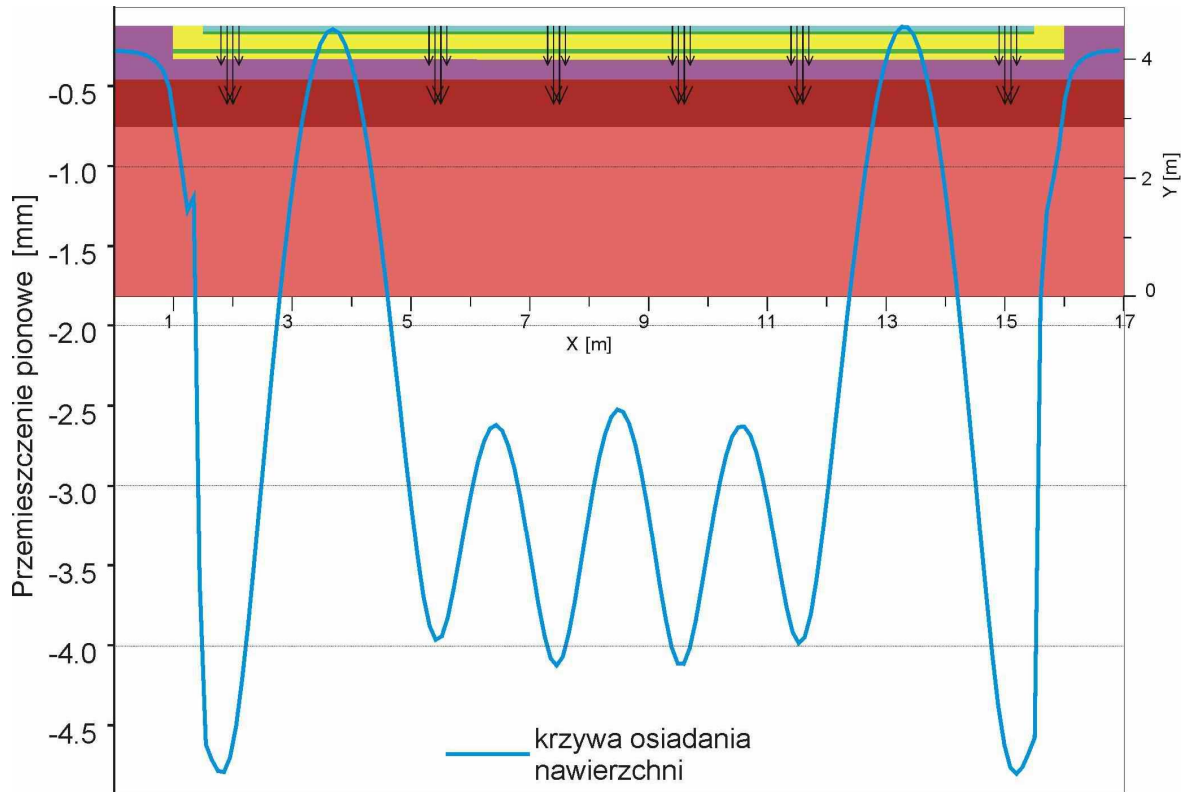
stabilizujemy niestabilny świat



Rys.4. Rozkład przemieszczenia pionowego; (a) przy obciążeniu normowym; (b) przy obciążeniu zwiększonym o 50% ($F = 1.5$)

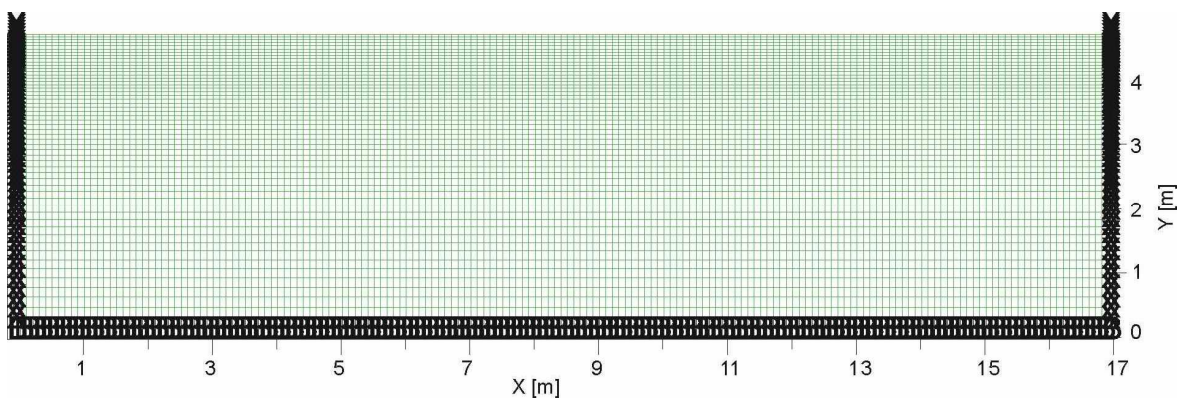


Rys.5. Krzywe przemieszczenia pionowego nawierzchni

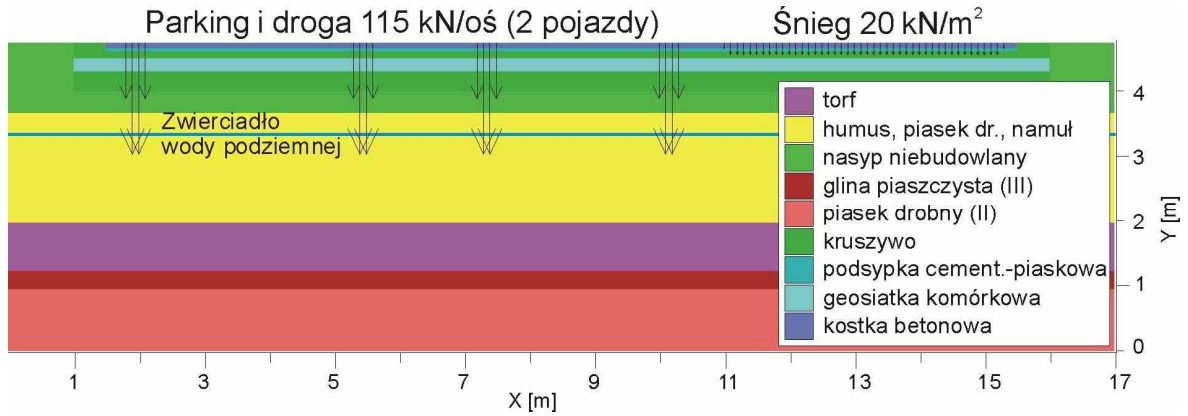


Rys.6. Krzywa przemieszczenia pionowego nawierzchni (przy obciążeniu normowym) na tle układu warstw konstrukcji i obciążeń zewnętrznych

MODEL GEOTECHNICZNY OPARTY NA PROFILU OTWORU NR 1 (część północna - NNW - obiektu)

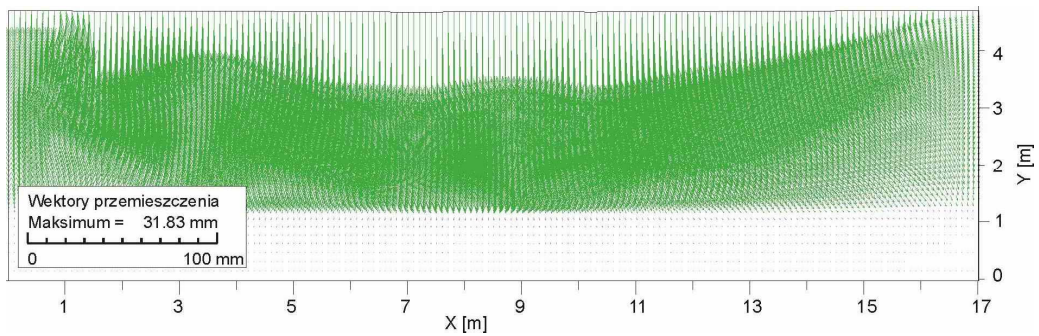


Rys.7. Siatka różnic skończonych

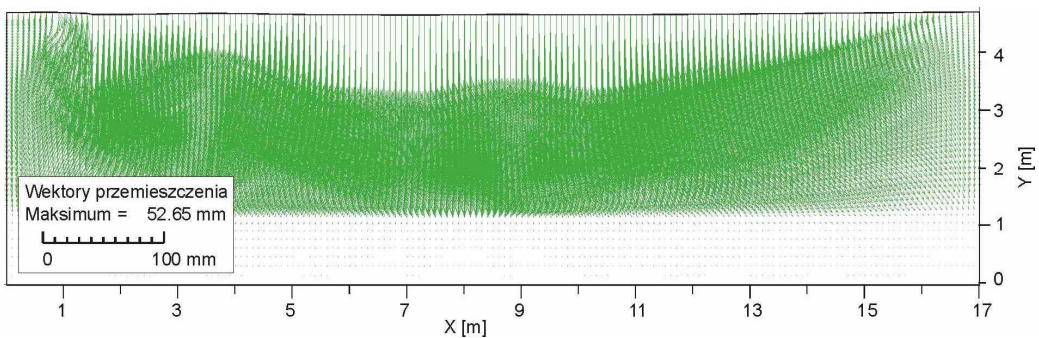


Rys.8. Podział modelu obliczeniowego na warstwy geotechniczne

(a)

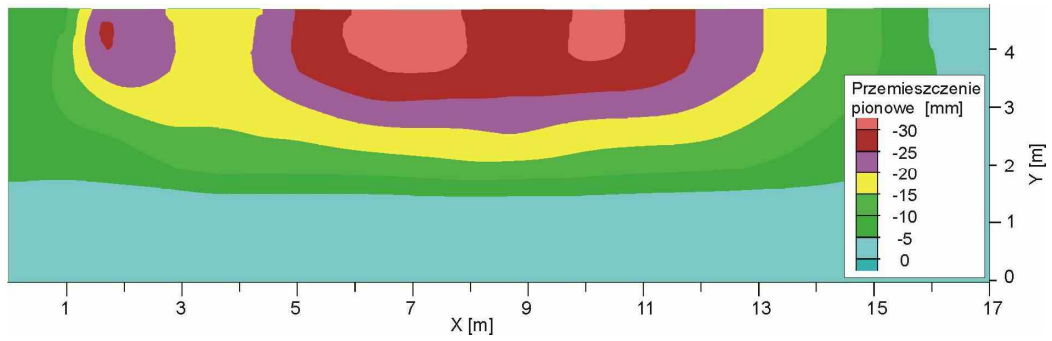


(b)

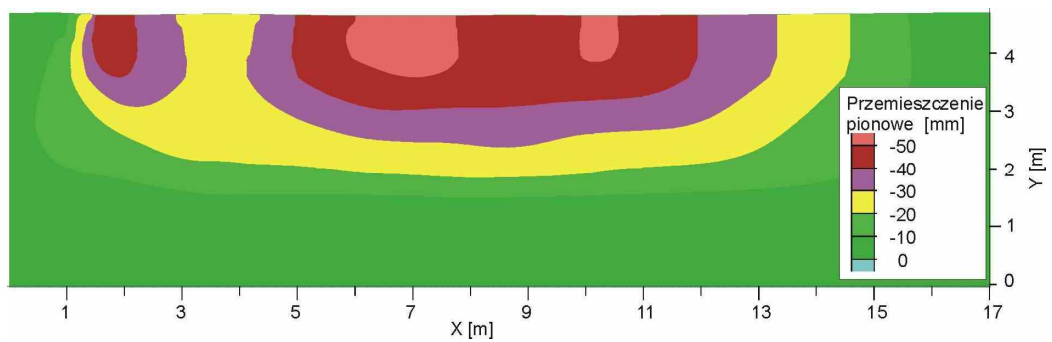


Rys.9. Pole wektorów przemieszczenia całkowitego; (a) przy obciążeniu normowym; (b) przy obciążeniu zwiększonym o 50% ($F = 1.5$)

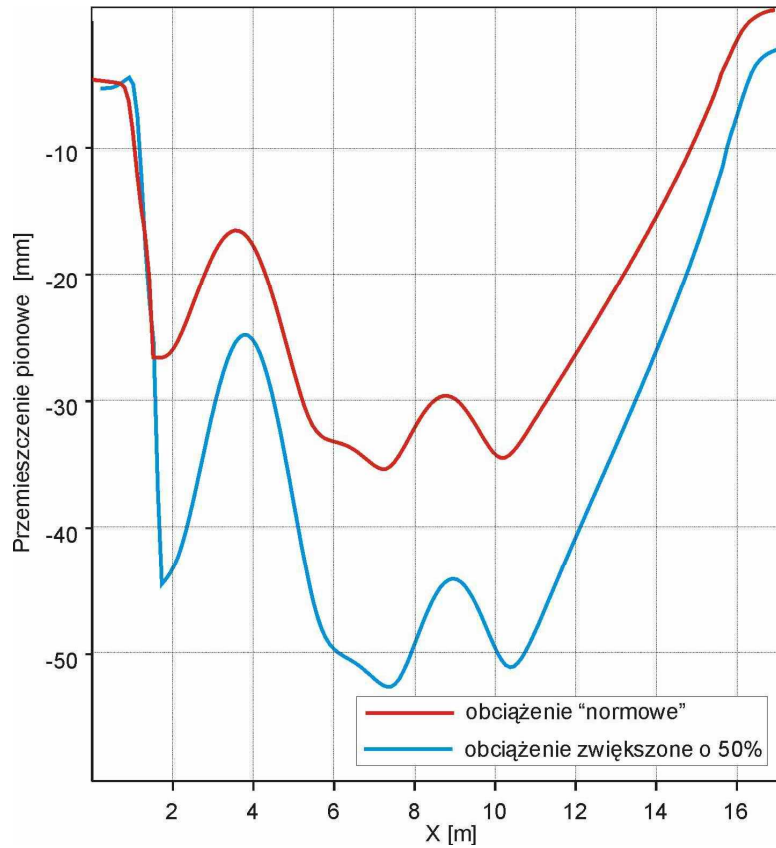
(a)



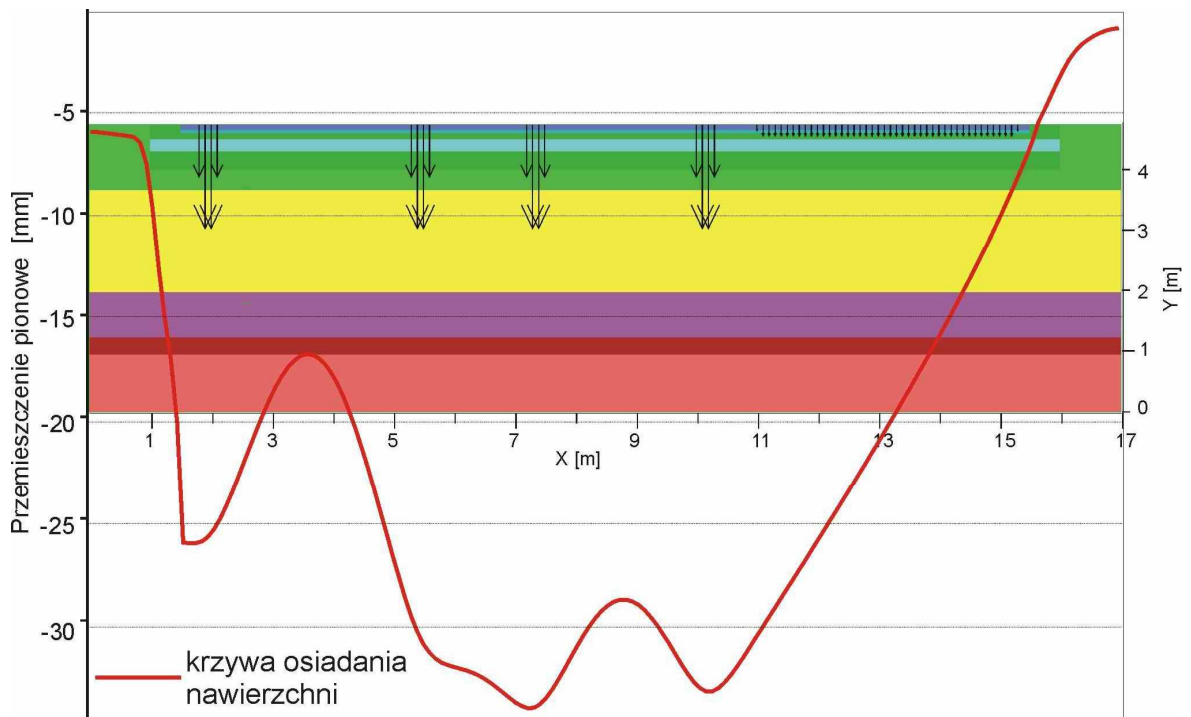
(b)



Rys.10. Rozkład przemieszczenia pionowego; (a) przy obciążeniu normowym; (b) przy obciążeniu zwiększonym o 50% ($F = 1.5$)



Rys.11. Krzywe przemieszczenia pionowego nawierzchni



Rys.12. Krzywa przemieszczenia pionowego nawierzchni (przy obciążeniu normowym) na tle układu warstw konstrukcji i obciążeń zewnętrznych