

Stabilizacja mineralnych warstw nośnych przy pomocy geosiatki komórkowej

■ **dr inż. Ansgar Emersleben**, Institute of Geotechnical Engineering, Clausthal University of Technology; UnderYourFeet, Geotechnical Engineering Office

■ **prof. uniw. dr inż. Norbert Meyer**, Institute of Geotechnical Engineering, Clausthal University of Technology

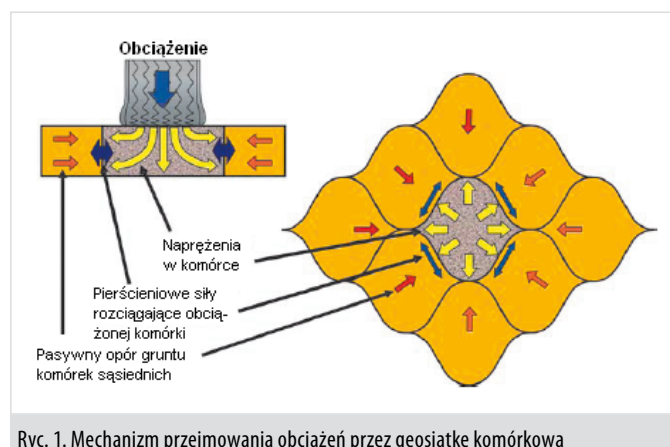
Geosiatki komórkowe są trójwymiarowymi komórkami z polimerowych tworzyw sztucznych, które – łączone ze sobą przez zgrzewanie, klejenie albo inne technologie – tworzą spójną siatkę. Są rozkładane w miejscu zastosowania, a następnie uzupełniane materiałem wypełniającym i zagęszczane. Ścianki komórek zapobiegają przy tym ruchowi bocznemu wypełniającego gruntu oraz zwiększają jego sztywność i nośność.

Zastosowanie geosiatki komórkowej koncentruje się przeważnie na zbrojeniu warstw nośnych na miękkim podłożu pod silnie obciążonymi jezdniami i liniami kolejowymi, gdzie prowadzi do zwiększenia nośności, zmniejszenia występującego osiadania i do redukcji niezbędnych warstw nośnych. W coraz większym stopniu geosiatka jest stosowana również przy budowie zbrojonych konstrukcji oporowych, np. ciężkich ścian oporowych. Istotnymi dziedzinami zastosowania geosiatki komórkowej są: stabilizacja warstw nośnych w budownictwie drogowym, ochrona przed erozją, w szczególności skarp, wykładanie kanałów i dróg wodnych, zbrojenie powierzchni posadowienia tam oraz stabilizacja i naprawa poboczy drogowych.

1. Mechanizm łączenia się gruntu i geosiatki komórkowej

Właściwy efekt zbrojenia przez geosiatkę komórkową polega na tym, że ścianki komórek utrzymują zamknięty w nich grunt w kierunku poziomym i w ten sposób zapobiegają jego bocznemu odkształceniu pod wpływem obciążenia, co polepsza stosunek siły do odkształcenia gruntu.

Przy obciążaniu gruntu zbrojonego geosiatką rozpięty boczny zbrojonego materiału jest powstrzymywany przez uaktywniane pierścieniowe siły rozciągające w ściankach komórek i mobilizowany pasywny opór gruntu w komórkach przyległych (ryc. 1).



Ryc. 1. Mechanizm przejmowania obciążeń przez geosiatkę komórkową

Mechanizm łączenia się gruntu i geosiatki ma następujące oddziaływanie: nośność gruntu ulega zwiększeniu, odkształcenia gruntu są mniejsze, zmienia się rozkład naprężeń w gruncie.

Pozytywne funkcjonowanie systemu zbrojonego geosiatką komórkową w porównaniu z systemem niezbrojonym po-

lega przede wszystkim na znaczącym zwiększeniu nośności i zmniejszeniu występujących odkształceń.

Zwiększenie nośności przy równoczesnym zmniejszeniu występujących odkształceń udowodniono zarówno w drodze prób modelowych, jak też w zrealizowanych projektach budowlanych.

2. Wpływ zbrojenia geosiatką komórkową na nośność gruntu

W celu określenia wpływu zbrojenia geosiatką komórkową na nośność gruntu przeprowadzono statyczne i dynamiczne próby obciążeniowe w wielkowymiarowym urządzeniu testowym Instytutu Geotechniki i Miernictwa Górniczego (IGMC) Uniwersytetu Technicznego Clausthal (ryc. 2).



Ryc. 2. Urządzenie testowe Clausthal University of Technology

Stanowisko testowe o szerokości 2 m, wysokości 2 m i długości 2 m umożliwia symulację różnych podłoży i układów warstw. Dla opisanych prób umieszczono w skrzyni i zagęszczono homogeniczną warstwę piasku. W celu przeprowadzenia prób po stabilizacji wbudowano geosiatkę o wysokości 20 cm, z perforowanymi komórkami z HDPE o powierzchni 255 cm² i wytrzymałości zgrzein 2,3 kN.

Dane o rozkładzie naprężeń poniżej geosiatki uzyskano z ośmiu czujników naporu gruntu o maksymalnym nacisku nominalnym 500 kN/m², wbudowanych na głębokości 35 cm poniżej powierzchni piasku. Czujniki naporu gruntu nadają się zarówno do pomiarów statycznych, jak i do pomiarów dy-



Ryc. 3. Instalacja urządzenia obciążającego z przetwornikami przemieszczenia (l) i wbudowanie czujników naporu gruntu (r)

namicznych, a dzięki swojej małej średnicy wynoszącej 5 cm są tylko niewielkim czynnikiem zakłócającym w strukturze gruntu (ryc. 3).

W celu określenia odkształceń wynikających z obciążeń w obrębie płyty naciskowej i powierzchni gruntu zainstalowano pięć indukcyjnych przetworników przemieszczenia (ryc. 3).

Statyczne i dynamiczne wywieranie obciążenia następuje za pomocą stempla hydraulicznego do obciążenia maksymalnego 150 kN. Przenoszenie obciążenia na grunt odbywa się przy użyciu płyty obciążającej o średnicy 30 cm. Wynikająca stąd powierzchnia obciążenia wynosząca 0,07 m² odpowiada w przybliżeniu ustalonej w DIN 1072 powierzchni przylegania koła ciężkiego samochodu ciężarowego SLW 30.

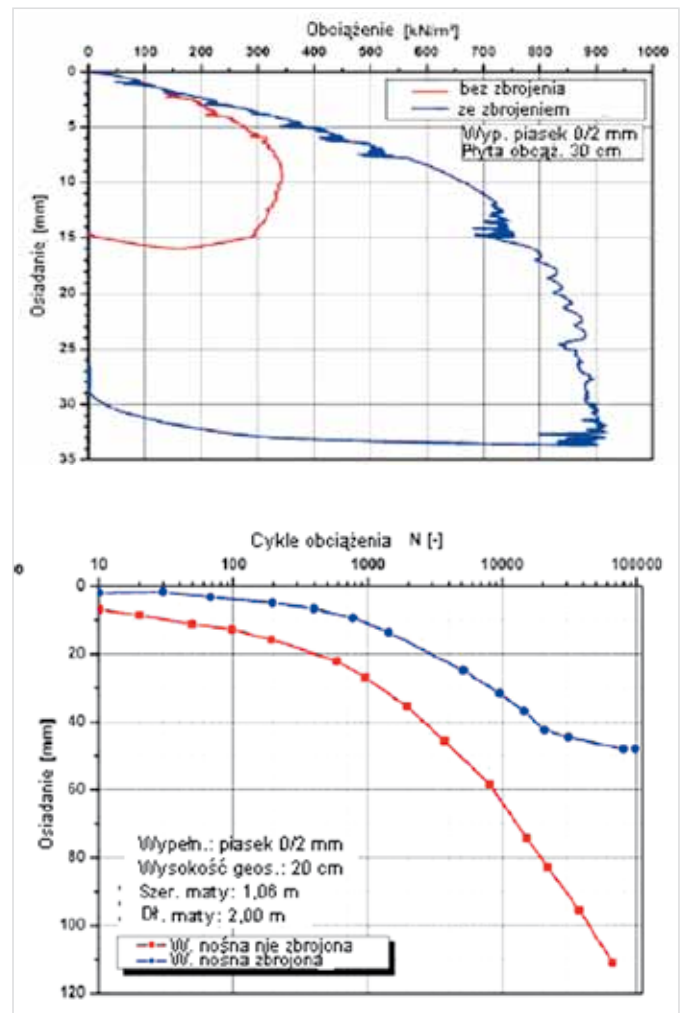
2.1. Wpływ zbrojenia geosiatką komórkową na nośność i odkształcenia gruntu

W trakcie prób statycznych obciążano grunt stabilizowany geosiatką komórkową obciążeniem maksymalnie do 900 kN/m². Natomiast grunt niezbrojony można było obciążać tylko do wielkości 350 kN/m² (ryc. 3I). Dla gruntu niezbrojonego została przy tym poziomie obciążenia przekroczona maksymalna nośność gruntu i doszło do powstawania jego pęknięć. Określone w trakcie prób na gruncie niezbrojonym obciążenie maksymalne 350 kN/m² odpowiada obliczeniowemu obciążeniu niszczącemu gruntu.

Porównanie obciążeń maksymalnych gruntu niezbrojonego i gruntu zbrojonego geosiatką przy takim samym osiadaniu wykazuje, że zbrojenie geosiatką komórkową ok. dwukrotnie polepsza stosunek obciążenia do odkształcenia i ponad dwupięćkrotnie zwiększa nośność maksymalną.

Podobne co do tendencji wyniki uzyskano również dla innych wysokości geosiatki wynoszących 100 i 150 mm i innych jej typów. Przy próbach z użyciem żwiru względnie tłuczniaka jako materiału wypełniającego uzyskano odpowiednio wyższe nośności i mniejsze odkształcenia [1].

Podobne wyniki uzyskano również przy przeprowadzaniu dynamicznych prób obciążeniowych. Próby te wykazały, że zarówno osiadanie, jak i naprężenia na powierzchni granicznej między warstwą nośną i podłożem można znacznie zmniejszyć przy pomocy maty geosiatki komórkowej. Mata geosiatki o grubości 20 cm zmniejszała odkształcenia o połowę (ryc. 4r).

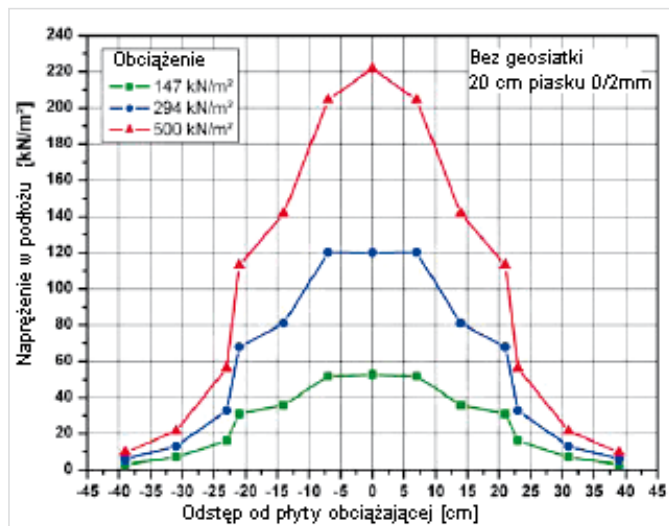


Ryc. 4. Badania nośności pod obciążeniami statycznymi (l) i dynamicznymi (r)

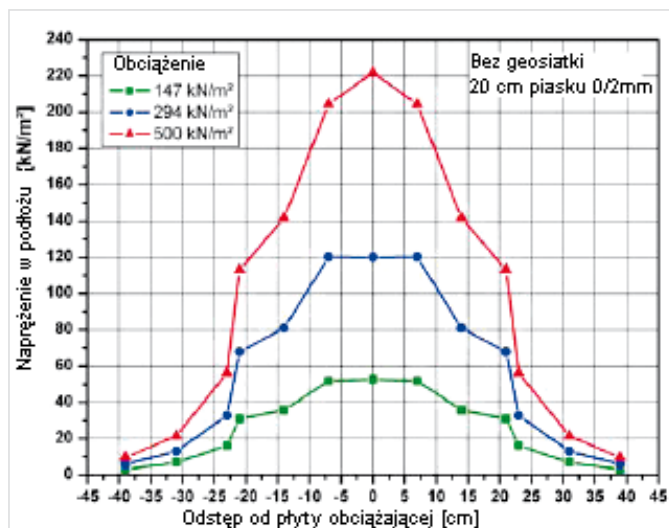
2.2. Wpływ zbrojenia geosiatką komórkową na rozkład naprężeń w gruncie

Działanie nośne geosiatki komórkowej wpływa również na rozkład naprężeń w podłożu. Dzięki zbrojeniu geosiatką wywierane obciążenia są rozkładane na większej powierzchni, a naprężenia na powierzchni styku między warstwą nośną i podłożem są zmniejszane.

W trakcie przeprowadzonych prób obciążeniowych mierzono naprężenia na głębokości w różnych odstępach od obciążanej powierzchni z i bez zbrojenia geosiatką. Naprężenia w niezbrojonej warstwie nośnej koncentrują się przeważnie w obrębie poniżej środka obciążonej powierzchni (ryc. 5a). Natomiast w przypadku warstwy nośnej zbrojonej geosiatką naprężenia poniżej warstwy geosiatki są rozłożone bardziej równomiernie i są istotnie mniejsze (ryc. 5b).



Ryc. 5a. Rozkład naprężeń poniżej warstwy niezbrojonej



Ryc. 5b. Rozkład naprężeń poniżej warstwy zbrojonej

Te obserwacje dowodzą, że mata geosiatki komórkowej ze względu na większą sztywność powoduje rozkład obciążenia na większej powierzchni i znacznie zmniejsza naprężenia na powierzchni styku warstwa nośna – podłoże. Dzięki ukształtowaniu systemu połączenia między gruntem i geosiatką zwiększa się redukcja naprężeń przy rosnącym obciążeniu.

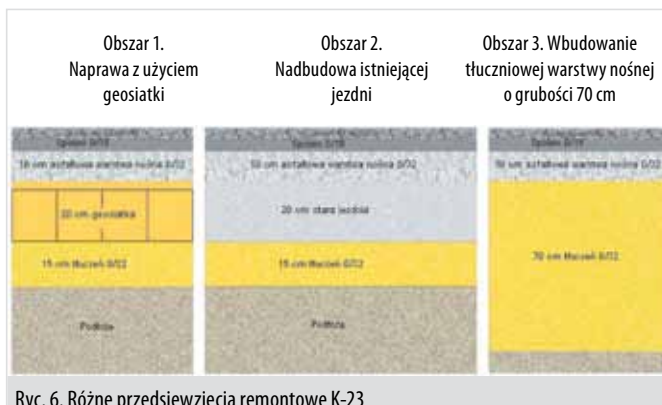
3. Geosiatka komórkowa do stabilizacji mineralnych warstw nośnych

Stosunkowo nową dziedziną zastosowania geosiatki komórkowej jest stabilizacja mineralnych warstw nośnych przy budowie dróg bitumicznych. Geosiatka jest przy tym wbudowywana w tłuczniowej warstwie nośnej bezpośrednio pod warstwą nośną asfaltową. W szczególności w obszarach gruntów o niewystarczającej nośności na powierzchni wyrównanej do profilu metoda ta jest alternatywą dla zwykłych technologii, np. wymiany gruntu, gdyż można zrezygnować ze wzmocnienia tłuczniowej

warstwy nośnej, a zamiast tego w warstwie tej zainstalować geosiatkę. Przy remontach dróg można w ten sposób zaoszczędzić na kosztach budowy.

3.1. Remont drogi powiatowej K-23

Droga powiatowa K-23 w powiecie Peine musiała zostać poddana naprawie z powodu dużych odkształceń korpusu i wykruszeń obrzeża jezdni. Przyczyną odkształceń było przeważnie niewystarczające podparcie boczne obszarów brzegowych drogi. Dlatego obszary te miały zostać wzmocnione. Nowa budowa przewidywała mineralną warstwę nośną o grubości 70 cm i warstwę asfaltową o grubości łącznej 17,5 cm, co dawało grubość łączną 87,5 cm. Środkowy obszar drogi (o szerokości ok. 1 m) miał zostać pozostawiony, a następnie przykryty nową warstwą asfaltu o grubości 17,5 cm (ryc. 6).



Ryc. 6. Różne przedsięwzięcia remontowe K-23

Na części drogi alternatywnie do 70 cm mineralnej warstwy nośnej, na długości ok. 500 m, wbudowano geosiatkę komórkową pod warstwą asfaltową. Postąpiono przy tym następująco. Po usunięciu starej warstwy asfaltowej o grubości ok. 20 cm wybrano aż do podłoża leżącą pod nią mineralną warstwę nośną o grubości ok. 40 cm. Po zagęszczeniu podłoża, które składało się z mulistego piasku, ułożono tłuczniową warstwę nośną 0/22 mm o grubości ok. 15 cm, a następnie zagęszczono. Na to położono mechanicznie wzmocnioną włókninę GRK 4, na której rozpięto geosiatkę komórkową, wypełniono tłuczniem 0/22 mm i zagęszczono (ryc. 7).



Ryc. 7. Wbudowanie geosiatki komórkowej do mineralnej warstwy nośnej drogi

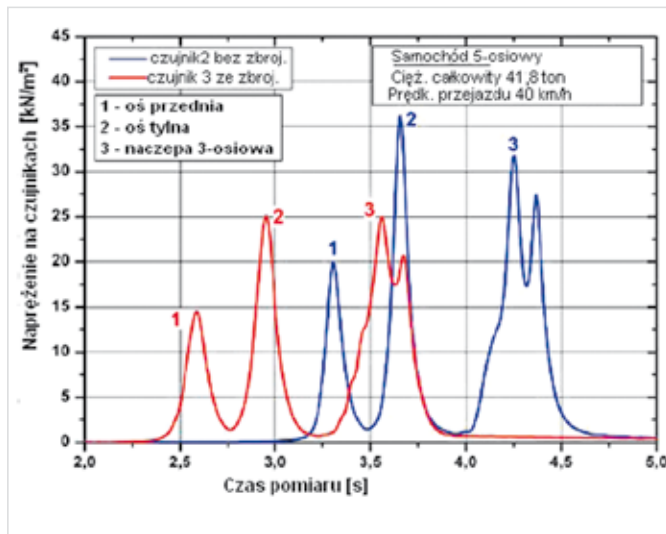
Zastosowano geosiatkę perforowaną z HDPE o wysokości 20 cm i średnicy ok. 23 cm. Geosiatka została zasypana tłuczniem do ok. 5 cm do górnej krawędzi mineralnej warstwy nośnej, na wysokość równą starej jezdni asfaltowej w obrębie środka

drogi. Następnie wykonano nową warstwę asfaltową. Całkowita wysokość struktury wyniosła tutaj ok. 57,5 cm.

Na tym odcinku droga była nadzorowana przy użyciu techniki pomiarowej. W tym celu bezpośrednio na powierzchni podłoża i pod geosiatką wbudowano dynamiczne czujniki naporu o średnicy $d = 23$ cm. Dla porównania, na odcinku niezbrojonym również wbudowano w mineralnej warstwie nośnej czujniki naporu na takiej samej głębokości.

Po położeniu warstwy asfaltowej zostały przeprowadzone próby przejeżdżania załadowanym samochodem ciężarowym o ciężarze całkowitym 41,8 t.

Rycina 8 pokazuje zmierzone naprężenia pionowe podczas przejazdu samochodu z prędkością 40 km/h. Podwójne wychylenia przy pomiarze naprężeń wynikają z dwóch osi. Dzięki geosiatkom pomiary wykazały zmniejszenie naprężeń o ok. 30–35%.



Ryc. 8. Wyniki prób obciążeniowych na drodze powiatowej K 23

Ponieważ dzięki tej redukcji naprężeń w podłożu występują również znacznie mniejsze naprężenia, można przy tych samych odkształceniach zmniejszyć grubość mineralnej warstwy nośnej. Zostaje przy tym zachowana wystarczająca odporność na mróz. Nośność omawianej drogi powiatowej K-23 odpowiada równowartości mineralnej warstwy nośnej o grubości 70 cm i zbrojonej geosiatką warstwy nośnej o grubości ok. 35 cm.

W kolejnym przedsięwzięciu budowlanym, w powiecie Wolfenbüttel, w przypadku geosiatek, w mineralnej warstwie nośnej również udowodniono zmniejszenia naprężeń od 25 do 30% w stosunku do odcinków, na których nie zastosowano zbrojenia.

W przypadku porównywalnych przedsięwzięć remontowych można przez wbudowanie geosiatki w istniejącą mineralną warstwę nośną znacznie zmniejszyć naprężenia na powierzchni podłoża, co prowadzi do mniejszych odkształceń. W rezultacie można ewentualnie zwiększyć klasę budowlaną drogi.

4. Podsumowanie

Geosiatki komórkowe składają się z komórek trójwymiarowych, które połączone ze sobą tworzą siatkę. Są one układane w miejscu zastosowania i wypełniane gruntem, konstruując w ten sposób wielkopowierzchniową strukturę plastra miodu.

Przeprowadzone badania, jak też wyniki badań znane z literatury wykazały, że geosiatka komórkowa może zwiększyć nośność gruntu ponad dwukrotnie, zależnie od różnych warunków otoczenia.

Istotny efekt zbrojenia polega na tym, że ścianki komórek całkowicie obejmują materiał wypełniający i przez to zapobiegają jego ruchowi bocznemu przy obciążeniu pionowym. Ponadto w komórkach sąsiednich jest mobilizowany pasywny opór gruntu, który dodatkowo ogranicza odpływ materiału wypełniającego.

Wielkość zwiększenia nośności jest zależna od wielu czynników. Istotny wpływ ma sztywność materiału komórek, wytrzymałość zgrzein i stosunek geometryczny wysokości siatki do średnicy komórek. Inne czynniki, jak np. sztywność podłoża, zagęszczenie materiału wypełniającego itd. również mogą mieć wpływ na nośność gruntu zbrojonego geosiatką.

Geosiatki komórkowe są dobrą alternatywą dla zwykłych technologii, w szczególności zbrojenia warstw nośnych i obrzeży dróg. Zbrojenie warstwy nośnej geosiatką komórkową może w wyniku zmniejszenia naprężeń pozwolić na znaczne zmniejszenie grubości warstwy nośnej przy takich samych odkształceniach.

Literatura

- [1] Emersleben A. (2010): *Lastabtragsverhalten von Geozellen zur Stabilisierung mineralischer Tragschichten unter statischen und zyklischen Belastungen*. Dissertation an der Technischen Universität Clausthal, Schriftenreihe des Institutes für Geotechnik und Markscheidewesen, Heft 19
- [2] Emersleben A.; Meyer M. (2010): *Verification of load transfer mechanism of geocell reinforced soil in large scale model tests and in-situ test fields*. GeoFlorida 2010: Advances in analysis, modeling and design "Geotechnical Special Publications", No. 199, Vol. 2/4, pp. 1670–1680.
- [3] Meyer N., Emersleben A. (2005): *Mechanisches Verhalten von bewehrten Böden mit Geozellen*. In 9. Informations- und Vortragstagung über „Geokunststoffe in der Geotechnik“, München, Februar 2005, Sonderheft der Geotechnik, 2005, s. 49–55.
- [4] Meyer N., Emersleben A. (2005): *Mechanisches Verhalten von bewehrten Böden mit Geozellen*. Symposium Geotechnik – Verkehrswegebau und Tiefgründungen, Universität Kassel, September 2005, Schriftenreihe Geotechnik, Heft 18, s. 93 – 112.
- [5] Meyer N., Emersleben A. (2005): *Einsatz von Geozellen im Verkehrswegebau. Tiefbau – Ingenieurbau – Straßenbau (TIS)*, November 2005, Heft 11, s. 32–37.
- [6] Meyer N., Emersleben A. (2006): *Bodenstabilisierung mit Geozellen im Straßenbau, 21. Christian Veder Kolloquium (CVK) – Neue Entwicklungen der Baugrundverbesserung*, Technische Universität Graz (TUG), 20-21. April 2006, Heft 28, s. 85-101.



GEO GLOBE POLSKA Sp. z o.o. S.K.A.

– EUROPEJSKI LIDER W PRODUKCJI GEOSIATKI KOMÓRKOWEJ

ul. Dzieńdziela 30, 43-190 Mikołów

tel.: 32 226 07 96, wew. 139

e-mail: sekretariat@geoglobe.pl

www.geoglobe.pl