

Zastosowanie geosyntetyków w platformach roboczych i drogach tymczasowych

W artykule przedstawiono zagadnienie projektowania i budowy platform roboczych i dróg tymczasowych. Zaprezentowano aktualne podejście projektowe oraz nową metodę obliczeniową uwzględniającą wykorzystanie georusztów do stabilizacji warstw kruszywa niezwiązanego.

Platformy robocze i drogi tymczasowe to nieodzowne konstrukcje na terenach prowadzenia robót z wykorzystaniem: wiertni, palownic, kafarów, żurawi samojezdnych lub innego rodzaju ciężkiego sprzętu budowlanego. Ze względu na ich znaczenie dla bezpieczeństwa pracy sprzętu i ludzi ich projektowanie i wykonawstwo powinno być realizowane szczególnie starannie. Wg definicji zaproponowanej przez Porozumienie dla Bezpieczeństwa w Budownictwie [6] platforma robocza to konstrukcja ziemna, tymczasowa lub stała, wykonana na rodzimym podłożu gruntowym z kruszyw gruboziarnistych lub stabilizowanych, stanowiąca nawierzchnię do ustawienia ciężkiego sprzętu budowlanego oraz pracy w sposób bezpieczny, maszyn i urządzeń w każdych warunkach pogodowych.

Dotychczasowe podejście projektowe

Inżynierowie nieustannie stają przed wyzwaniem zbudowania platform roboczych na gruntach słabonośnych, mając na celu zapewnienie bezpieczeństwa bez ponoszenia nadmiernych kosztów. Ogólne zalecenia dotyczące projektowania bezpiecznych i ekonomicznych platform roboczych zostały opublikowane w roku 2004 w Wielkiej Brytanii. Przewodnik projektowy BR470 [1] opracowany przez Building Research Establishment Ltd na zlecenie Federation of Piling Specialist (Zrzeszenie Wykonawców Robót Palowych) zawiera zalecenia dotyczące dobrych praktyk przy projektowaniu platform roboczych i związanych z nimi dróg tymczasowych dla sprzętu poruszającego się na gąsienicach. Zawarte w tej publikacji wytyczne kładą nacisk przede wszystkim na bezpieczeństwo konstrukcji i jej trwałość. Zastosowanie geosyntetyków w konstrukcji platform roboczych zostało wymienione w raporcie BR470

jako element wpływający na zwiększenie bezpieczeństwa oraz optymalizację kosztów.

W projektowaniu konstrukcyjnego wzmocnienia geosyntetycznego, z wykorzystaniem mechanizmu ścięcia przy przebieciu (zgodnie z BR470 [1]), uwzględnia się warstwę zbrojącą, w której geosyntetyk przenosi siły rozciągające. Wytrzymałość obliczeniową na rozciąganie zbrojenia (T_d) określa się na podstawie wartości wytrzymałości krótkoterminowej zbrojenia podzielonej przez odpowiedni współczynnik zmniejszający.

W Polsce brak jednoznacznej metody projektowania platform roboczych i dróg tymczasowych oraz bazowanie na ogólnych zaleceniach powodują, że ich konstrukcje wykazują niekiedy mankamenty skutkujące niebezpiecznymi zdarzeniami przy udziale poruszającego się po nich sprzętu (fot. 1). Wspomniane wyżej Zrzeszenie Wykonawców Robót Palowych w swoim raporcie wskazuje, że problemy z platformą roboczą są przyczyną blisko 33% wypadków z udziałem ciężkiego sprzętu w trakcie pracy lub przejazdu na sąsiednie stanowisko. Polskie Zrzeszenie Wykonawców Fundamentów Specjalnych w opracowanej przez siebie specyfikacji technicznej [7] wskazuje na geosyntetyki jako materiały, które mogą być używane do separacji platformy od podłoża gruntowego lub/i wzmocnienia konstrukcji platformy z materiału ziarnistego.

Zaprojektowanie platformy roboczej, która będzie spełniać wszystkie wymagania, jest przedsięwzięciem niełatwym i bardzo odpowiedzialnym. Duszyńska [2] wskazuje, że o ile odpowiednio dobrany rodzaj kruszywa oraz właściwie obliczona grubość warstw nośnych mogą zapewnić bezpieczeństwo konstrukcji w typowych przypadkach, o tyle wykorzystanie geosyntetyków jest kluczowe wszędzie tam, gdzie warunki gruntowe i wodne ►

▷ są bardziej niekorzystne, oraz tam, gdzie oczekiwane jest ograniczenie kosztów poprzez zmniejszenie grubości warstw kruszywa i skrócenie czasu wykonania platformy roboczej.

Georuszty w funkcji stabilizacji

Intensywny rozwój w zakresie stosowania geosyntetyków w budownictwie, zwłaszcza w obszarze konstrukcji geotechnicznych, oparty na badaniach prowadzonych w ośrodkach naukowych i laboratoriach badawczych na całym świecie oraz na licznych doświadczeniach z realizacji, zaowocował opracowaniem wyrobów, które umożliwiają wykonywanie bezpiecznych i bardziej ekonomicznych konstrukcji platform roboczych i dróg tymczasowych.

Guido i in. [3] wykazali, że poprzez zastosowanie kilku warstw sztywnych georusztów w warstwie kruszywa nośność stabilizowanej warstwy pod obciążeniem może wzrosnąć 2,5-krotnie w stosunku do warstwy samego kruszywa o takiej samej grubości. Również wyniki badań laboratoryjnych w dużej skali, przeprowadzone przez Watta i Jennera [9] w celu oceny wydajności platformy roboczej wykonanej z kruszywa stabilizowanego georusztem, wykazały, że zastosowanie dwóch warstw georusztu znacząco zwiększa nośność platform roboczych. Badania potwierdziły, że georuszt trójosiowy o równomiernej sztywności radialnej znacząco przewyższał skutecznością georuszt dwuosiowy i spowodował dwukrotne zwiększenie nośności platformy w stosunku do sekcji bez stabilizacji. Zastosowanie jednej lub kilku warstw georusztu w połączeniu z kruszywem tworzy warstwę kompozytową, której właściwości i efektywność są lepsze od parametrów, jakie oferują poszczególne materiały wchodzące w skład kompozytu.

Mechanizm klinowania ziaren kruszywa w trójkątnych oczkach georusztu heksagonalnego, pokazany na rys. 1,



Fot. 1. Wyrócenie maszyny spowodowane awarią platformy roboczej

który ogranicza przemieszczenia ziaren kruszywa, nazywany jest efektem stabilizacji, której skutkiem jest także skrępowanie boczne. Dzięki mechanizmowi blokowania ziaren w oczkach georusztu oraz występującego w jego efekcie skrępowania bocznego, warstwa kruszywa stabilizowanego nie doznaje nadmiernego odkształcania na powierzchni. Warstwa kompozytu georusztu trójosiowego i kruszywa nazywana jest w literaturze „warstwą stabilizowaną mechanicznie” (MSL – ang. *mechanically stabilised layer*). Dyskusję na temat koncepcji i mechanizmu działania MSL można znaleźć u Rakowskiego i Kawalca [8].

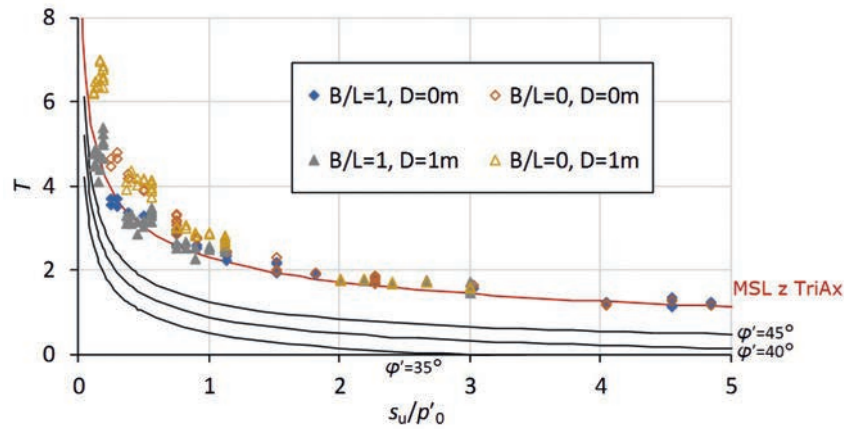
Metoda projektowa T-Value

Istotną funkcją, jaką pełnią geosyntetyki w projektowaniu i budowie bezpiecznych platform roboczych i dróg tymczasowych, posadowionych na gruntach słabonośnych, skłoniła firmę Tensar do przeprowadzenia szeroko zakrojonego programu badawczego, obejmującego badania w skali modelowej, rzeczywistej oraz analizy numeryczne. W ich rezultacie zaproponowano metodę



Rys. 1. Klinowanie ziaren kruszywa w georuszcie o równomiernej sztywności radialnej





Rys. 2. Wartość T dla różnych kątów tarcia wewnętrznego kruszywa dla przypadku bez georusztu i z nim (s_u – wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu, p'_0 – efektywne naprężenie pionowe w spągu warstwy kruszywa)

obliczeniową T-Value, opisaną przez Leesa [4], w której powiązano bezwymiarowy współczynnik nośności podłoża (q_u/q_s) z zależnością geometryczną (H/B). Wartości współczynnika efektywności przenoszenia obciążeń przez warstwy kruszywa T opisują zależności liniowe przedstawione na rys. 2.

$$\frac{q_u}{q_s} = 1 + T \frac{H}{B} \quad (1)$$

gdzie:

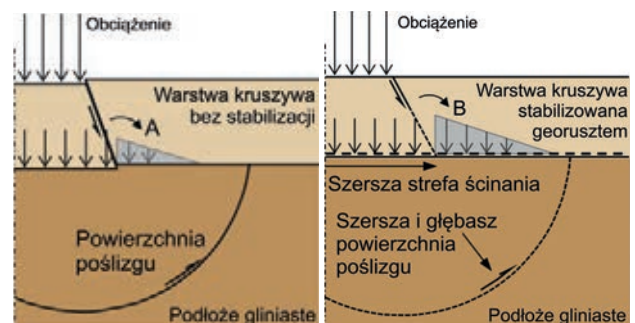
- q_u – nośność warstw kruszywa,
- q_s – nośność podłoża słabonośnego,
- H – miąższość warstw kruszywa,
- B – szerokość, na której przyłożone jest obciążenie,
- T – współczynnik efektywności przenoszenia obciążeń przez warstwy kruszywa.

Powszechnie wykorzystywane modele obliczeniowe bazują w większości na założeniach empirycznych, co w niektórych przypadkach może prowadzić do uzyskiwania przeszacowanych wartości współczynników bezpieczeństwa. Tym, co odróżnia metodę T-Value od dotychczas stosowanych metod obliczeniowych, jest możliwość analizy wpływu kompozytu, na który składają się georuszt trójosiowy oraz kruszywo, na właściwości wytrzymałościowe projektowanej platformy roboczej lub drogi tymczasowej. Obliczenia wykonane metodą T-Value umożliwiają projektantowi bezpośrednie porównanie wydajności konstrukcji, w której zastosowano georuszty w funkcji stabilizacji z konstrukcjami, w których użyte geosyntetyki pełnią funkcję zbrojenia. Analiza wsteczna wyników badań obciążenia płytą VSS warstw kruszywa zastosowanego do wykonania platform roboczych na podłożu słabonośnym, opisana przez Lees [5], wykazała, że stabilizacja kruszywa georusztem o równomiernej sztywności radialnej zwiększa efektywność przenoszenia obciążenia T, co zobrazowano na rys. 3.

Kalkulator stworzony w oparciu o metodę T-Value umożliwia zaprojektowanie konstrukcji platformy roboczej z wykorzystaniem georusztów oraz porównanie wyników z rezultatami obliczeń wykonanych dla warstw kruszywa bez stabilizacji. W rezultacie obliczeń uzyskuje się informacje o wymaganych parametrach georusztu stabilizującego, wymaganej miąższości warstw kruszywa niezwiązanego oraz oszacowanie oszczędności kosztów i redukcji emisji dwutlenku węgla do atmosfery. Zastosowanie georusztów do stabilizacji kruszywa może wpłynąć na zmniejszenie grubość platformy i poprawę jej nośności, obniżając koszty budowy nawet o 30% i zmniejszając ślad węglowy platformy nawet o 40%.

Geomaterac komórkowy

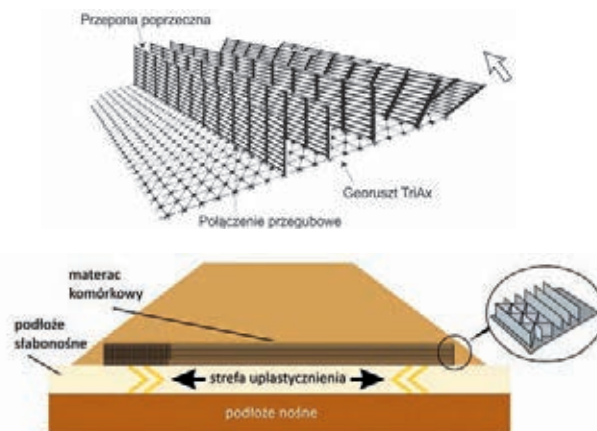
Jeżeli w miejscu lokalizacji platform roboczych zalegają w podłożu grunty spoiste o niskiej wytrzymałości na ścinanie i znacznej miąższości, konieczne może być zastosowanie bardziej zaawansowanych rozwiązań celem odpowiedniego przygotowanie terenu, umożliwiającego konstruowanie bezpiecznych platform roboczych i dróg tymczasowych. W takich sytuacjach zastosowanie znajduje



Rys. 3. Zwiększenie nośności podłoża na skutek zastosowania georusztu w funkcji stabilizacji (A – reakcja na obciążenie naziemu w warstwie niestabilizowanej, B – zwiększony zakres reakcji na obciążenie naziemu w warstwie stabilizowanej georusztem)



Fot. 2. Konstrukcja geomateraca



Rys. 4. Schemat montażu geomateraca komórkowego

► system geomateracy komórkowych (fot. 2). Taki materac ma zwykle grubość 1 m i składa się z szeregu zazębiających się komórek utworzonych z georusztów polimerowych, wypełnianych kruszywem. Taka konstrukcja tworzy materac o dużej sztywności, na którym możliwe jest wykonanie bezpiecznej platformy roboczej. Jenner i in. [10] dokonali analizy powierzchni poślizgu do oceny poprawy nośności słabego podłoża pod materacem komórkowym zainstalowanym w podstawie nasypu. W rezultacie zaproponowali prostą metodę analityczną do wyznaczenia wielkości naprężeń poziomych w georusztach tworzących materac komórkowy. Istotną zaletą konstrukcji materaca komórkowego jest brak konieczności kotwienia i naprężania geosyntetyków poza strefą wzmocnienia, podczas gdy zastosowanie do zbrojenia podłoża geosiatek lub geotkanin wymaga zapewnienia odpowiedniej długości zakotwienia w celu mobilizacji ich wytrzymałości.

Istotną zaletą geomateraca komórkowego jest nieskomplikowany proces jego budowy, niewymagający zaangażowania specjalistycznego sprzętu ani wysoko wykwalifikowanych robotników. W etapie pierwszym należy stworzyć przestrzenny system komórek, które powstają poprzez połączenie ułożonego na podłożu georusztu trójosiowego z pionowo montowanymi pasmami georusztów jednokierunkowych (rys. 4), tworzących trójkątne, zazębiające się komórki o wysokości 1 m. W etapie drugim należy wypełnić powstały materac kruszywem. W zależności od dostępnego materiału możliwe jest użycie w tym celu: żwiru, piasku, tłucznia, kruszonej skały, a nawet materiałów antropogenicznych w postaci przepalonych łupków kopalnianych lub kruszyw pochodzących z recyklingu (np. przekrusz betonowy).

Podsumowanie

W przypadku występowania w podłożu gruntów słabonośnych konstrukcja platformy roboczej lub drogi tymczasowej musi spełniać szczególne wymagania. Uzyskanie

odpowiedniej nośności przy zachowaniu wymaganych współczynników bezpieczeństwa jest priorytetem.

Przedstawione w artykule nowe podejście obliczeniowe do projektowania platform roboczych i dróg tymczasowych, opracowane przez firmę Tensar, dzięki wykorzystaniu georusztów w funkcji stabilizacyjnej umożliwia projektowanie konstrukcji spełniających wymagania w zakresie nośności, a więc bezpieczeństwa pracy ludzi i sprzętu, jak również oferujących ograniczenie kosztów budowy, skrócenie czasu realizacji oraz znaczące ograniczenie emisji dwutlenku węgla do atmosfery. □

Piśmiennictwo

1. BRE Report 470: *Working platforms for tracked plant: good practice guide to the design, installation, maintenance and repair of ground-supported working platforms (BR 470)*. 2004.
2. Duszyńska A.: *Poprawa nośności platform roboczych*. „Magazyn Autostrady”, 3/2015.
3. Guido V.A., Kneuppel J.D., Sweeney M.A.: *Plate loading tests on geogrid-reinforced earth slabs*. „Proc. Geosynthetic '87 Conf.”, New Orleans, USA, Vol. 1 (1987), s. 216-225.
4. Lees A.: *Simulation of geogrid stabilization by finite element analysis*. „Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering”, Seoul, 18-22nd September 2017, s. 1377-1380.
5. Lees A.: *Bearing capacity of a stabilized granular layer on clay subgrade*. Proceedings of the 10th International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields (eds. Loizos et al), 28-30th June 2017b, s. 1135-1142.
6. Porozumienie dla Bezpieczeństwa w Budownictwie: *Platforma Robocza - Wykonanie i Eksploatacja*.
7. PZWTS: *Specyfikacja Techniczna: Platformy robocze dla ciężkiego sprzętu budowlanego w ramach realizacji robót geotechnicznych*. 2014.
8. Rakowski Z., Kawalec J.: *Mechanically stabilized layers in road construction*. Proc. 27th Int. Baltic Road Conf, Latvia 2009.
9. Watts K., Jenner C.G.: *Large-scale laboratory assessment of geogrids to reinforce granular working platforms*. Proc. Euro. Geo. 4 Conf., UK, 2008.
10. Jenner C.G., Bassett R.H., Bush D.I.: *The use of slip line fields to assess improvement in bearing capacity of soft ground by a cellular foundation mattress installed at the base of an embankment*. „Proc. Intl. Geotech. Symp. on Theory and Practice of Earth Reinforcement”, Japan 1988, s. 209-214.