

Jak należy porównywać efektywność zastosowania georusztów wykorzystywanych do stabilizacji ziaren kruszywa niezwiązanych chemicznie?

Część 1.

Dr inż. Jacek Kawalec

Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Budownictwa, Tensar International s.r.o., Český Těšín, Czechy
Cliff D. Hall – Consultant, Chester, Wielka Brytania

Impulsem do napisania tego artykułu było zapoznanie się z numerem 4/2014 Inżynierii Morskiej i Geotechniki, w którym był opublikowany artykuł „Badanie geosiatek dwu- i trójosiowych. Czy można porównywać między sobą geosiatki o różnych kształtach żeber i oczek?” autorstwa dr. Nigela E. Wrigley z firmy NewGrids [8]. Tematyka, jaką podnosi autor, jest na tyle ważna w celu poprawnego zrozumienia różnic pomiędzy różnymi wyrobami geosyntetycznymi, że nie powinna pozostać bez komentarza, nie ma co ukrywać, szczególnie w zakresie wniosków, bardzo krytycznego.

Jak zaznaczono, opublikowany artykuł już wcześniej był opublikowany w języku angielskim na konferencji „The Geosynthetics Middle East Conference” w Abu Dhabi w 2012 roku. Autor opublikował teksty z podobnymi propozycjami w zakresie porównywania geosiatek jeszcze w kilku miejscach na świecie w ostatnich latach, próbując przekonać do swojej idei ośrodki normalizacyjne i opiniotwórcze. Z tej perspektywy trzeba też spojrzeć na „polską” wersję publikacji.

Publikacja w Inżynierii Morskiej i Geotechnice nr 4/2014 jest tłumaczeniem anonimowego autora, co prawdopodobnie spowodowało, że dodatkowo wkradły się pewne przekłamania terminologiczne w zakresie nazewnictwa i klasyfikacji. Brak tłumaczenia autora utrudnia zwrócenie mu uwagi osobiście, dlatego też należy mieć tylko nadzieję, że zapozna się on z uwagami do terminologii stosowanej w Polsce w zakresie geosiatek i georusztów zawartej w tej publikacji.

TERMINOLOGIA – GEOSIATKA I GEORUSZT ORAZ WYMÓG KRÓTKOTERMINOWEJ WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE NA TLE HISTORII ROZWOJU GEOSYNTETYKÓW

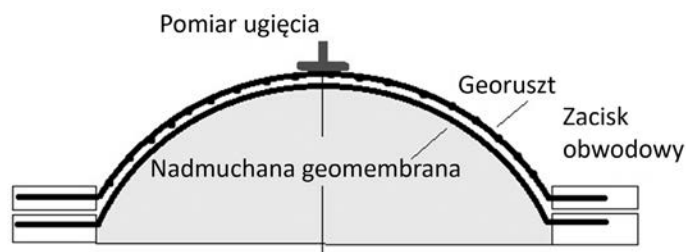
Terminu „geogrid” rzeczywiście zaczęto używać na początku lat osiemdziesiątych XX wieku do geosyntetyków produkowanych metodą „*punched and stretched*”, czyli wybijania małych otworów w sztywnej płycie polimerowej, a następnie w procesie kontrolowanego rozciągania w wysokiej temperaturze przekształcania płyty w monolityczny, ażurowy geosyntetyk jedno- lub dwuosiowy. Ze względu na sztywność w płaszczyźnie takiego produktu przy równoczesnym znacznie większym wymiarze oczka w stosunku do grubości żebra poprawnie nazwę takich monolitycznych wyrobów należy tłumaczyć jako georuszt. Na tym tle w języku angielskim występowało pojęcie „geonet”, którym były opisane ażurowe wyroby geosyntetyczne powstałe w innych procesach produkcyjnych, np. tkania, czy przepletania. Tłumaczenie „geonet” w języku polskim to geosiatka. Artykuł zamieszczony w IMiG 4/2014 dotyczy georusztów, a nie jak mylnie podaje tłumaczenie, geosiatek.

W początkowej fazie rozwoju geosyntetyków zarówno georuszty, jak i wszystkie geosiatki, były postrzegane jako wyroby pokrewne do geotekstyliów, co skutkowało narzucaniem im wymogów kontrolnych czy porównawczych identycznych do tych, jakie stawiano geowłókninom/geotkaninom. Z tego okresu wywodzi się parametr, jak np. krótkoterminowa wytrzymałość na rozciąganie georusztów dwukierunkowych. W tamtych czasach był to podstawowy parametr służący do kontroli jakości i identyfikacji rodzaju produktu opuszczającego fabrykę.

W drugiej dekadzie XXI wieku wiadomo już, że parametry geosyntetyków należy wiązać z ich funkcją w konstrukcji. I tak, dla funkcji zbrojeniowej (tutaj w zakresie georusztów praktycznie zastosowanie mają jedynie georuszty jednokierunkowe) określaną jest między innymi wytrzymałość długoterminowa z uwzględnieniem wpływu czynników zewnętrznych, w tym środowiska, pęcznienia, uszkodzeń przy instalacji itp. Od co najmniej kilkunastu lat georuszty stosowane do funkcji stabilizacji (tutaj zastosowanie mają georuszty wielokierunkowe) opisywane są innymi niż wytrzymałościami na rozciąganie parametrami [5]. Doświadczenia kilku dekad badań i doświadczeń praktycznych spowodowały, że dla tej funkcji poszukuje się parametrów powiązanych z efektywnością georusztów w konstrukcjach (tzw. performance related parameters). Z chwilą wprowadzenia na rynek georusztów trójosiowych konieczność odstąpienia od wytrzymałości na rozciąganie stała się jeszcze bardziej uzasadniona, georuszty o mniejszej wytrzymałości na rozciąganie wykazywały bowiem w badaniach zdecydowanie lepszą efektywność. Aktualnie do opisu geosyntetyku o funkcji stabilizacji za parametry związane z jego efektywnością (ale wciąż odległe od jednego idealnego parametru opisującego pracę kompozytu czyli georusztu wraz z kruszywem) uznaje się sztywność radialną przy małych odkształceniach czy współczynnik izotropii sztywności. Nie oznacza to, że w przyszłości parametry te nie ulegną zmianie. Wielu naukowców i wiele ośrodków naukowo-badawczych prowadzi równoległe badania nad dokładnym opisaniem modelu współpracy georusztu z kruszywem.

CO MA WSPÓLNEGO MEMBRANA Z EFEKTYWNOŚCIĄ GEORUSZTU?

Pomimo coraz większej liczby publikacji potwierdzających, że geosyntetyki i ich parametry powinny być związane z mechanizmem pracy w konstrukcji w ostatnich latach dr Wrigley włożył wiele wysiłku w opracowanie innego badania w powietrzu, aby ponownie umożliwić „porównanie właściwości mechanicznych przy rozciąganiu” georusztów. Poprzez „badanie w powietrzu” należy rozumieć badanie pewnego parametru mechanicznego samego geosyntetyku w laboratorium przy zu-



Rys. 1. Istotne cechy proponowanego badania

pełnym pominięciu faktu, że ten geosyntetyk, współpracując z kruszywem czy z gruntem z dużym prawdopodobieństwem, będzie zachowywał się inaczej. W procedurze badawczej opisanej przez niego po raz pierwszy w 2010 roku proponuje się przyjęcie i poszerzenie badania geomembran, tzw. „burst test” według DIN 61551 (badania na rozerwanie /próby przepuklenia) [2]. Trzy lata później, w 2013 roku, praktycznie identyczna procedura badawcza była przedstawiona przez niego amerykańskiemu Komitetowi ASTM D35 dla Geosyntetyków (Podkomitet D35.01 do Badań Mechanicznych). W skrócie, w propozycji tej zakłada się, że geomembrana pod georusztem jest nadmuchiwana, a następnie wykonuje się porównanie, zasadniczo, pomiędzy deformacją w centralnym punkcie samej geomembrany bez georusztu a deformacją przy nadmuchaniu tej samej geomembrany, lecz z ograniczającym ją od góry georusztem. W artykule opublikowanym w IMiG 4/2014 wprowadzono przy tej okazji pojęcie „strzałka wybrzuszenia” do opisu tej deformacji (rys. 1).

Proponujący badanie stawia tezę, że generalnie georuszty dwuosiove nie różnią się niczym od nowych, innych geometrycznie postaci georusztów, np. georusztów trójosiowych oraz czterosioowych i dlatego nie powinny być postrzegane jako odrębne rodzaje produktów. Tym samym autor zupełnie ignoruje wszelkie wyniki badań publikowanych w ostatnich dekadach, a wykazujących duże różnice w efektywności różnych geosyntetyków. Autor tezy zakłada, że jedno proste badanie porównawcze wykonywane przy wykorzystaniu nadmuchanej geomembrany stanie się powszechnym badaniem, którego wyniki będą na tyle interesujące dla wszystkich Inżynierów budownictwa, a w szczególności projektantów, że stanie się on podstawowym kryterium wyboru i specyfikowania georusztów stosowanych np. w warstwach niezwiązanego kruszywa stabilizowanego georusztami.

W proponowanej metodzie badawczej promuje się dalej pogląd, że właściwości mechaniczne samego georusztu przy rozciąganiu stanowią kluczowe wskaźniki jego efektywności w konstrukcji – którymi oczywiście nie są.

Przed dokładniejszą analizą samego proponowanego badania warto przeanalizować powody proponowania badania samych georusztów bez współpracy z kruszywem oraz kto byłby beneficjentem wyników badań.

KTO I KIEDY BADA GEORUSZTY ORAZ NA JAKIE POTRZEBY?

W tabl. 1 przedstawiono w pewnym porównaniu do linii czasu trzy obszary, w których wyniki badań wykonywanych na georusztach są istotne. Z perspektywy powodów badania właściwości produktu wyróżniamy trzy kluczowe etapy każdego projektu, w których wyniki badań są podstawą do podejmowania pewnych decyzji. Są to: produkcja geosyntetyku w fabryce, etap rozważań nad uzasadnieniem zastosowania georusztów współpracujących z kruszywem skutkujący opracowywaniem projektu i niezbędnej specyfikacji georusztu oraz etap realizacji konkretnego zadania inżynierskiego.

Na zakres realizowanych i wymaganych badań należy patrzeć z perspektywy tych trzech obszarów. Różne badania są wykonywane do różnych potrzeb, w okresie od produkcji wyrobu do zastosowania na budowie, inne badania wykonywane są zatem na potrzeby zarządzania jakością w fabryce, inne badania są potrzebne do opracowania Projektu/Specyfikacji, a jeszcze inne są narzucone przez Systemy Zapewniania Jakości. Każde z badań ma pewien cel, dla którego jest wykonywane, a zatem:

1. W obszarze produkcji w fabryce kierownictwo procesu produkcji zarządza jakością produktu w celu osiągnięcia celów zarządzania jakością. Badania właściwości georusztu na tym etapie mają za zadanie potwierdzić, że wyrób mieści się w granicach tolerancji zgodnie z opracowaną specyfikacją produkcji.
2. W obszarze opracowania projektu i specyfikacji projektanci odwołują się do tych właściwości wyrobów, które są związane z efektywnością georusztu w konstrukcji. Są to zupełnie inne właściwości niż te, które są istotne do kontroli produkcji, choć dotyczą tego samego produktu. Zastosowanie wyrobów spełniających parametry związane z efektywnością opisane projektem czy specyfika-

Tabl. 1. Badania właściwości georusztu na różnych etapach do różnych celów i potrzeb

Obszar	Produkcja w fabryce	Rozważanie nad rozwiązaniem technicznym	Realizacja
Potrzeba	Zarządzanie jakością	Projekt	Zapewnienie jakości
Cel	Zachowanie ciągłości parametrów wyrobu	Efektywność wykorzystania georusztu w konstrukcji	Identyfikacja produktu
Właściwości	Wytrzymałość na zerwanie	Szywność radialna przy małym odkształceniu	Wytrzymałość na rozciąganie
	Obciążenie przy odkształceniu	Efektywność węzła	Rozmiar, kształt oczka
	Wymiar oczka	Stabilność otworu	Masa wyrobu
	Masa wyrobu	Wymiary żebra, rozmiar, kształt oczka	
Dokument	Specyfikacja tolerancji w odniesieniu do produkcji wyrobu	Specyfikacja odwołująca się do parametrów efektywności – „performance specification”	Deklaracja właściwości użytkowych CE lub sprawozdanie z badań laboratoryjnych

cją gwarantuje osiągnięcie pożądanego efektu związanego z zastosowaniem georusztu, zastosowanie wyrobu, który nie spełnia właściwości opisanych w specyfikacji powoduje, że konstrukcja może być znacznie osłabiona.

3. W obszarze realizacji projektu, kiedy są wykonywane roboty budowlane i georuszt jest wbudowany, wówczas proces zapewnienia jakości budowy potrzebuje potwierdzenia, że produkt dostarczony na budowę dobrano zgodnie z wymogami projektu – zazwyczaj specyfikacją.

W tabl. 1 pokazano, jakie właściwości georusztów są istotne dla uczestników poszczególnych obszarów. Należy zwrócić uwagę, że nie ma jednego wspólnego badania właściwości, które obejmowałoby te trzy obszary. Każdy obszar ma ważne, z perspektywy swoich potrzeb i celów parametry, które muszą być w odpowiednim momencie potwierdzone badaniami. W żadnym przypadku porównanie właściwości istotnych w kontroli jakości nie może być podstawą do porównania czy oceny efektywności wyrobu.

ZASTOSOWANIE GEORUSZTÓW NA TLE AKTUALNIE OBOWIĄZUJĄCYCH WYMAGAŃ FORMALNO-PRAWNYCH

Dla inżynierów zaangażowanych w opracowanie projektu i specyfikacji najbardziej interesujący jest obszar rozważań nad rozwiązaniem technicznym, skutkujący opracowaniem projektu i spójną z nim specyfikacją techniczną. Należy tutaj podkreślić, że projekt i specyfikacja idą z sobą w parze, stanowią wzajemne uzupełnienie. Właściwości określone szczegółowo w projekcie i Specyfikacji są tymi, które – jak pokazują badania porównawcze konstrukcji z wykorzystaniem różnych georusztów – pozwalają na powiązanie ich z efektywnością podczas współpracy z kruszywem w konstrukcji. Celem Specyfikacji jest zatem wskazanie wymaganych wartości właściwości związanych z efektywnością.

Obszar zarządzania jakością kończy się na etapie zakończenia produkcji i składowania materiałów w magazynie w oczekiwaniu na zastosowanie. Parametry badane w tym obszarze nie są dla projektanta istotne, gdyż nie odnoszą się do efektywności w konstrukcji.

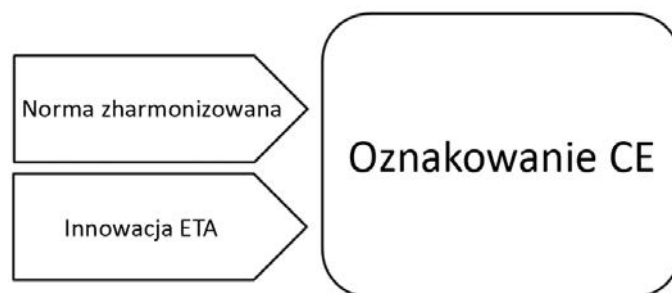
Zapewnienie jakości w obszarze realizacji budowy wiąże się z potwierdzeniem, że do instalacji jest użyty materiał określony w specyfikacji. Jakość konstrukcji będzie uzyskana, gdy zastosowany georuszt spełnia wymagania zapisane w projekcie, spełnienie innych właściwości niż podane w specyfikacji, a związane z efektywnością, wcale nie oznacza zapewnienia pożądanej jakości, a często w praktyce skutkuje jej pogorszeniem.

W projektowaniu konstrukcji obciążonych ruchem podstawą określenia właściwości georusztu powinna być specyfikacja związana z parametrami efektywności. Dlaczego? Wynika to faktu, że georuszt nie pracuje w konstrukcji niezależnie, zawsze jest elementem współpracującym z kruszywem i wszelkie rozważania o jego lepszej czy gorszej skuteczności w konstrukcji zawsze należy odnieść do właściwości całej warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem. Georuszt stabilizujący kruszywo niezwiązane tworzy wraz z nim kompozyt o nowych, lepszych cechach i wyższych parametrach (np. wzrost modułu kruszywa stabilizowanego). Porównywanie indywidualnych cech mecha-

nicznych samego wyrobu, np. rozciągania badanego w warunkach bez współpracy z kruszywem nie umożliwia porównania efektywności georusztu. Tymczasem porównanie, np. głębokości koleiny po określonej liczbie przejazdów koła w śladzie w warstwie kruszywa stabilizowanego różnymi georusztami pozwala na wnioskowanie o różnicach w efektywności georusztów [4].

Należy tutaj zauważyć, że wprowadzanie nowoczesnych wyrobów budowlanych na rynek, co obejmuje również nowoczesne georuszty, opisane właściwościami związanymi z efektywnością jest jednym z kierunków rozwoju UE. W odniesieniu do georusztów trójosiowych ma zastosowanie procedura innowacyjności w odróżnieniu od tzw. zharmonizowanego podejścia. W rozporządzeniu w zakresie Wyrobów Budowlanych (CPR) [7] opisuje się dwa równoległe podejścia do znakowania wyrobów budowlanych Zgodność ze związaną normą zharmonizowaną jest jedną ze ścieżek do oznakowania CE. Jednakże, aby zachęcać do innowacji w przemyśle, wprowadzono drugą ścieżkę, znaną jako Europejska Aprobata Techniczna (ETA). Ścieżka ta pozwala wyrobom oferującym funkcjonalność, która nie jest ujęta w którejkolwiek normie zharmonizowanej, uzyskanie oznakowania CE. Takie podejście powoduje, że możliwości innowacji nie są tłumione, a właściwości nowych wyrobów budowlanych mogą ewaluować, znajdując swoje odzwierciedlenie w dokumentach ETA. Wszystkie podlegające CPR produkty budowlane muszą mieć świadectwo zgodności określane jako „Oznakowanie CE”. Istnieją dwie ścieżki uzyskania „Oznakowania CE”, jak to pokazano na rys. 2.

W georusztach stosowanych w drogach, kolejach i innych obszarach obciążonych ruchem funkcjami zdefiniowanymi w stosownej normie zharmonizowanej są zbrojenie, separacja i filtracja. Georuszty w tych zastosowaniach były tradycyjnie postrzegane jako wzmacniające i jakoby z natury przypisywano im funkcję zbrojeniową. Jednakże wśród specjalistów zajmujących się problematyką zastosowań georusztów coraz częściej dominuje pogląd, że georuszt wbudowany w warstwę kruszywa może zdecydowanie poprawić parametry tej warstwy dzięki skrzepowaniu bocznemu ziaren kruszywa i uniemożliwieniu ich przemieszczeń. Jest to mechanizm zupełnie odmienny od mechanizmu naprężonej membrany, który to poprzez analogię do pracy geotkanin uznawano przez pewien okres za właściwy opisujący pracę georusztów. Mechanizm naciągniętej membrany wymaga, aby geosyntezy był naprężony i równocześnie zakotwiczony poza strefą obciążoną i wiąże się nieodłącznie z deformacją podłoża oraz odkształceniem geosyntetyku. Właściwości zdefiniowane w normie zharmonizowanej do funkcji zbrojenia nie mają zastosowania w mechanizmie polegającym na skrzepo-



Rys. 2. Ścieżki do oznakowania CE

waniu ziaren w warstwach poddawanych obciążeniu ruchem, czyli w tych przypadkach stosowania georusztów. Jest to szczególnie dobrze udokumentowane w odniesieniu do georusztów trójosiowych rodzaju Tensar TriAx, które okazują się być bardzo efektywne w celu poprawy parametrów warstwy ziarnistej, chociaż mają stosunkowo niskie wartości, np. wytrzymałości na rozciąganie, czyli właściwości w istniejącej normie zharmonizowanej przypisanej funkcji zbrojeniowej.

W przypadku georusztów Tensar TriAx stwierdzono, że wielkość i jednorodność sztywności w płaszczyźnie mierzone radialnie są odpowiednimi charakterystykami pozwalającymi na opis ich efektywności w konstrukcji (*performance related parameters*). Na potrzeby specyfikacji były uzupełnione o efektywność węzła i geometrię georusztu. Nie uwzględniono ich w istniejącej normie zharmonizowanej, która nie wyszła poza badania cech mechanicznych samego wyrobu i nie odwołuje się do badań warstw kruszywa skrzepowanego georusztem poddanemu obciążeniu. Kilka lat temu Tensar jako producent georusztów trójosiowych uznał potrzebę wyjścia poza normę zharmonizowaną i z powodzeniem wystąpił o Europejską Aprobata Techniczną (ETA) dla georusztów TriAx. Efektem jest zdefiniowanie nowej funkcji, którą pełnią georuszty w warstwach ziarnistych. Funkcja ta nosi nazwę **Stabilizacja**, jest opisana w Europejskim Dokumencie Oceny Technicznej (EOTA) [3] oraz wydanej na tej podstawie Europejskiej Aprobacie Technicznej ETA [6].

Dzięki sprecyzowaniu pojęcia w EOTA w miejsce dotychczasowego „chaosu” specyfikacyjnego sytuacja stała się klarowna dla wszystkich projektantów i osób przygotowujących specyfikacje zastosowań w nawierzchniach utwardzonych i nieutwardzonych:

- występuje funkcja „stabilizacji” geosyntetyków opisująca zwiększenie trwałości użytkowej warstwy kruszywa niezwiązanego, będąca korzystną konsekwencją unie-

możliwienia ruchu ziaren kruszywa w tej obciążanej warstwie.

- stabilizacja umożliwia powstanie warstwy stabilizowanej mechanicznie.
- warstwa stabilizowana mechanicznie minimalizuje powstające w nich deformacje w wyniku obciążenia ruchem, zwiększa nośność warstwy oraz wydłuża projektowany okres użytkowania warstwy kruszywa zarówno w samej konstrukcji nawierzchni, jak i pod nią.
- możliwe jest wykorzystanie konwencjonalnych empirycznych i mechanistycznych metod analizy nawierzchni uwzględniające poprawę parametrów warstwy stabilizowanej skutkującą korzyściami w analizie i pozwalającą na optymalizację konstrukcji.

Z powyższych względów opracowanie nowego badania porównującego właściwość mechaniczną, jaką jest wytrzymałość przy rozciąganiu georusztu, a to jeszcze w przypadku gdzie georuszt spoczywa na nadmuchanej geomembranie, nie wniesie niczego nowego do opisu mechanizmu skrzepowania bocznego i funkcji stabilizacji.

OMÓWIENIE CHRONOLOGII PUBLIKACJI DOTYCZĄCEJ PROPONOWANEGO BADANIA

Jak wspomniano na wstępie w ostatnich latach proponowane badanie było przez jego autora opisywane i publikowane wiele razy. Autor w większości swoich publikacji i wniosków sugeruje, że istnieje praktyczna potrzeba wprowadzenia koncepcji „naprężenia membranowego” i „quasi wieloosiowej sztywności”. W tabl. 2 pokazano w kolejności chronologicznej kiedy i gdzie publikowano kolejne wersje tego artykułu.

Tabl. 2. Opracowanie testu, jego publikowane wersje i uwagi do publikacji

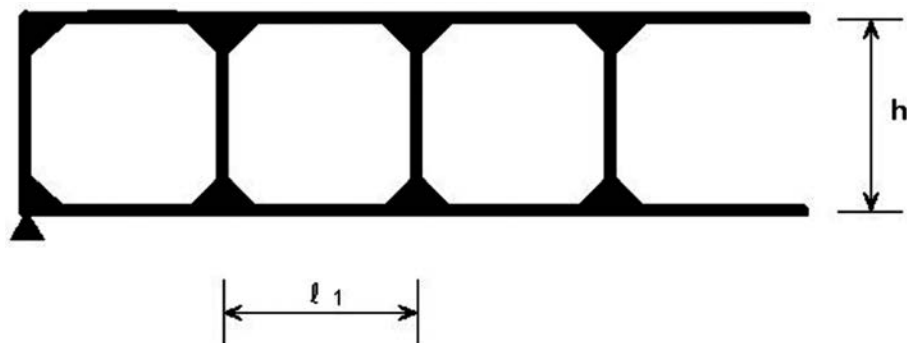
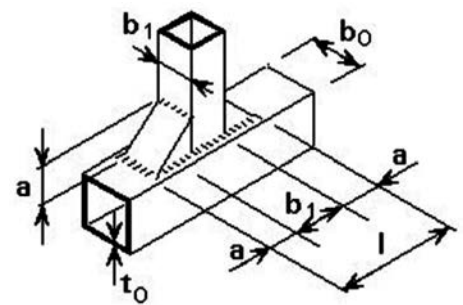
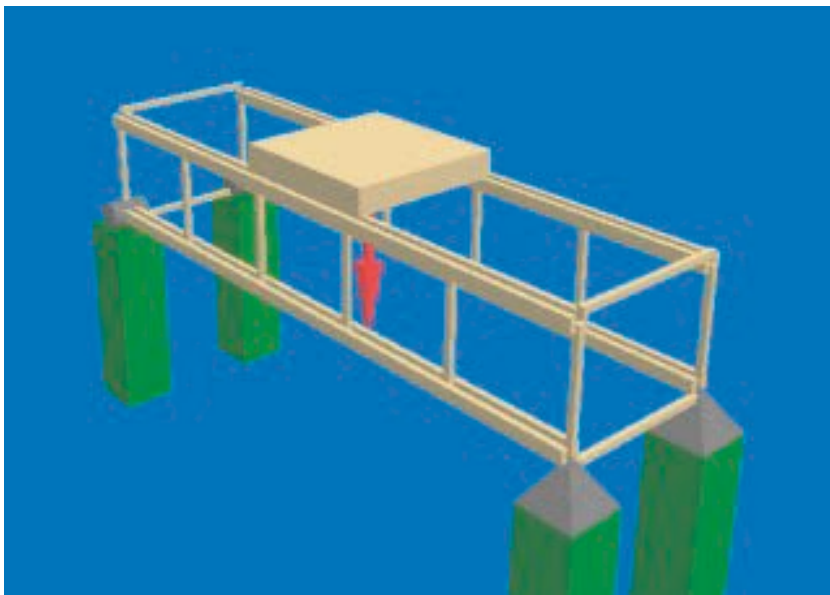
Autor	Tytuł i data	Twierdzenie lub oświadczenie	Uwagi
Wrigley i inni	Efekt skrzepowania różnych georusztów 2008, Wielka Brytania	– „Wprowadzenie innowacyjnych wyrobów na rynek spowodowało nieefektywność porównania (wartości wytrzymałości na rozciąganie)”. – Próby rozciągania w innych kierunkach niż MD i TMD również są nieefektywne, ponieważ „nie modelują skrzepowania wywołanego naciskiem koła”. – Proponowane badanie cech samego georusztu umożliwia obliczenie „potencjału skrzepowania”, czy według tłumacza „naprężenia membranowego”. – „Potencjał skrzepowania” (<i>confinement potential</i>) lub „naprężenie membranowe” przy 2% odkształcenia stanowi praktyczny parametr porównawczy.	– Wytrzymałość na rozciąganie nigdy nie była ważna do projektu i specyfikacji, gdyż najważniejsze są parametry opisujące efektywność georusztu - ale wytrzymałość na rozciąganie była powszechnie błędnie podawana jako podstawa do oceny równoważności produktów. Wynika to jednak tylko z korzyści komercyjnych, jakie można dzięki temu uzyskać. – Jest to stwierdzenie niefortunne i mylące. „Modelowe skrzepowanie” (oczywiście kruszywa) przez georuszt nigdy nie może być osiągnięte przez badania laboratoryjne na samym georuszcie. Skrzepowanie opisuje stan kruszywa. – Ważne jest, aby rozdzielić badania cech mechanicznych produktu w laboratorium od badań efektywności georusztów w konstrukcjach. Badanie georusztów w powietrzu może być przydatne do wykorzystania jedynie w obszarze badań w fabryce na potrzeby zarządzania jakością (według tabl. 1). – Wychodząc z „modelowego skrzepowania” (powyżej) celem jest zaproponowanie nowej charakterystyki „potencjału skrzepowania” lub „naprężenia membranowego” georusztu, tj. stopnia, w którym georuszt mógłby przyczynić się do skrzepowania. – Zjawisko „skrzepowania” i to, jak jest ono rozumiane w proponowanej procedurze przejścia z wyników pomiarów na wartości parametrów wymaga dalszej dyskusji – próbę takiej podjęto w drugiej części artykułu. Wnioski: 1. Propozycja jest wyraźnie ukierunkowana na badanie cech samego georusztu, chociaż znaczenie nacisku koła było wybiórczo uwzględnione w artykule. 2. „Potencjał skrzepowania” georusztu (naprężenie membranowe) i mechanizm(y) działania na warstwę kruszywa wymagają dalszych rozważań, aby zweryfikować, czy „potencjał skrzepowania” jest rzeczywisty czy urojony - szerzej omówiono to w drugiej części artykułu.

Wrigley i inni	Porównanie właściwości wskaźnikowych różnych georusztów 2009, Zjednoczone Emiraty Arabskie	Artykuł dotychczas niedostępny w żadnej bibliotece.	
Wrigley i inni	Efekt skrępowania różnych georusztów - 2 2011, Brazylia	– Zdefiniowane obciążenie skrępowania (lub naprężenie membranowe). – DIN 61551 Wytrzymałość na rozierwanie geomembrany zaadoptowana do proponowanego badania.	– Rozumiana jako oznaczająca siłę dośrodkową, którą georuszt może przenieść wokół obwodu koła o średnicy 1,0 m. Rola tej hipotetycznej siły jest omówiona później w artykule. – Interpretacja danych wynika z teoretycznej mobilizowanej siły odśrodkowej ograniczającej (kN/m), która jest mobilizowana, kiedy nadmuchana geomembrana ma utworzyć warunek jednolitego naprężenia 2% w dowolnym i we wszystkich kierunkach deformowanej powierzchni. – W artykule wywnioskowano, że dalsze prace rozwojowe są potrzebne do określenia stopnia mocowania i nadmuchiwania Wniosek 1. Jest nadal badaniem samego georusztu i nadal zakłada się, że istnieje bliski związek z hipotetyczną siłą dośrodkową działającą wokół obwodu śladu koła obciążającego podłoże.
Wrigley i inni	Efekt skrępowania różnych georusztów - 3 2011, USA	– Nadal jest opisywany jako badanie samego georusztu. – Badaniu podlegają różne rodzaje georusztów i deklarowana jest “dobra regularność” uzyskiwanych wyników a “obciążenie skrępowania” jest ważną własnością indeksową.	– Autor wciąż sugeruje, że siła skrępowania, wartość obliczana i podawana z proponowanego badania, jest siłą wytwarzaną w praktyce. Schematy przedstawiające siły i naprężenia są wątpliwe. Będą omówione w drugiej części niniejszego artykułu. – W celu zaproponowania nowych badań trzeba wykazać powtarzalność i odzwierciedlanie z badania możliwego do przeprowadzenia w różnych instytucjach. Nie wydaje się, by miało to miejsce. Dobra regularność kilku wyników nie jest jeszcze podstawą do porównywania różnych georusztów. Wniosek 1. Nie wydaje się, by proponowane badanie było poddane rygorystycznej ocenie przed zaproponowaniem go jako normy.
Wrigley i inni	Efekt skrępowania różnych georusztów - 4 2012, Zjednoczone Emiraty Arabskie	Kolejna wersja tej samej publikacji.	
Wrigley	Badanie georusztów dwuosioowych - Czy można porównać ruszty różnych postaci? 2012, Hiszpania	j. w.	
Wrigley	Badanie geosiatek dwuosioowych - Czy można porównać geosiatki o różnych kształtach żeber i oczek? 2014, IMiG 4/2014, Polska [8]	j. w. – polska wersja wprowadzająca dodatkowo trochę przekłamań w nazewnictwie wynikających z tłumaczenia	
	Definicja		
	Projekt WK 39646 Standardowa metoda badania do określania quasi wieloosiowej sztywności georusztów przy niskim odkształceniu 2013, USA [1]	Propozycja nie przyjęta przez Komitet D35 ASTM, Podkomitet D35.01.	Jest widoczne, że istnieją pewne zastrzeżenia niektórych głosujących członków ASTM wobec tej propozycji.

Znaczenie badań parametrów mechanicznych geosyntetyków (*Index tests*) w projektach i specyfikacjach w budownictwie drogowym było omawiane na tej samej konferencji w 2010 roku co opis proponowanego zmodyfikowanego badania geomembrany na rozierwanie według DIN 61551. Uznano, że badania wskaźnikowe nie powinny być używane do celów specyfikacji; to znaczy zgodnie z tabl. 1 obszar, jakim jest działanie producenta w fabryce i badania wykonywane na tym etapie, nie powinny być mylone i stosowane w obszarze projektowania i specyfikowania. Zatem próba wprowadzania nowego badania georusztu do określenia quasi wieloosiowej sztywności byłaby dalej badaniem indeksowym samego produktu i tym samym nie

ma znaczenia do parametrów istotnych z punktu widzenia specyfikacji i projektu.

Tak jak w przypadku każdej propozycji nowego badania od zgłoszenia do akceptacji przez organizacje standaryzujące droga jest długa i kręta, tak i w tym przypadku propozycji zmodyfikowanego badania geomembrany wniosek miał długą drogę do przebycia. Jednakże weryfikację przeprowadzono już w 2013 roku, kiedy to komitet D35.01 ASTM [1] głosował nad przyjęciem do ASTM zmodyfikowanego badania, to ta propozycja była odrzucona. Ponowne proponowanie tego badania poprzez publikację w IMiG 4/2014 nie wnosi niczego nowego.



Rys. 3. Spojrzenie projektantów konstrukcji na ramę Vierendeela

UWAGI KRYTYCZNE DO PROPONOWANEGO BADANIA

Jak wspomniano wcześniej proponowane badanie było przedmiotem dyskusji w branży na forach zarówno formalnych, jak i nieformalnych. W poniższych punktach podsumowane są najczęściej wyrażane w trakcie dyskusji obawy i uwagi krytyczne to tej propozycji:

1. Radialny rozkład sztywności georusztu jest powszechnie przedstawiany w postaci wykresu biegunowego, gdzie badany georuszt ogranicza niejednorodnie odkształcenia geomembrany. W efekcie nadmuchany kształt nie jest wcale powierzchnią kulistą, ale pofałdowaną, tak jak powierzchnia muszli. Georuszty musiałyby być w pełni izotropowe, aby ograniczyć efekt wpływu zmieniającej się sztywności radialnej. Profil na powierzchni jest dodatkowo zniekształcony przez wciskanie geomembrany w otwory georusztu, powodując w ten sposób oddziaływanie zbliżone do tarcia na powierzchni kontaktu. Ten wpływ wymagałby uwzględnienia w interpretacji wyników pomiarów lub też badanie powinno być ograniczone jedynie do materiałów w pełni izotropowych.
2. Jeśli proponujący chce, by to było badanie przy niskim odkształceniu z podobieństwem z poziomymi odkształceniami, które występują w rzeczywistości w georuszcie stabilizującym warstwę kruszywa pod obciążeniem, wówczas odkształcenie 0,5% byłoby zdecydowanie bardziej odpowiednie. Proponowane 2% wydaje się być poza zasięgiem wartości osiąganych w konstrukcji drogi. Przypuszczalnie wymagałoby to opracowania procedury wstępnego odkształcenia próbki.
3. Istnieje uzasadniona obawa że możliwym zamiarem, nie jest wcale wdrożenie badania wieloosiowej sztywności, lecz jedynie poprzez dyskusje nad takim badaniem. Jest to próba sugerowania, że georuszty z trójkątnymi oczkami współpracujące z kruszywem ulegają większym uszkodzeniom niż te z oczkami kwadratowymi. Takie wnioski znalazły się bowiem w artykule opublikowanym w IMiG 4/2014 [8].
4. Rozwiązania mocowania próbek w badaniu były opisane przez proponującego jako podlegające przeglądowi, a więc mogą występować problemy z powtarzalnością badania, których jeszcze nie rozwiązano.
5. Badanie wymaga deformacji georusztu, podczas gdy model analityczny nie. Model analityczny powinien być dostosowany tak, aby naśladować mechanizm zbrojenia poprzez naprężoną membranę. Badanie mogłoby być wówczas rozszerzone tak, aby objąć materiały bardziej izotropowe, takie jak geowłókniny.
6. Istnieje obawa co do znaczenia „siły skrępowania” czy „naprężenia membranowego”. W artykule proponuje się wprowadzenie pojęć, co do których są wątpliwości, czy są właściwe.

7. Nie ma wskazania rygoru badania (czułość i powtarzalność), nie przeprowadzono jakiegokolwiek badania w innym laboratorium na takim samym urządzeniu, aby potwierdzić, że uzyskuje się te same wyniki i aby tym samym wykazać, że różne instytucje badawcze mogą wykonywać badanie i uzyskiwać podobne rezultaty.

W sumie, największa obawa jest taka, że badania georusztu umieszczonego na nadmuchanej membranie wskażą nam niewiele o georuszcie jako elemencie w konstrukcji, który absorbuje i dystrybuuje siły oraz momenty zginające czy skręcające. To porównanie wynika z faktu, że projektanci konstrukcji sugerują często, że rama Vierendeela stanowi bliską analogię struktury georusztu, jak to przedstawiono na rys. 3.

Przy opracowaniu georusztów trójosiowych prowadzono analizę struktury żeber oddziaływujących jako smukłe pręty ścisane umocowane w sztywnych węzłach; analizowano wpływ zmian geometrii, wymiarów na rozkład momentów w analogii do elementów konstrukcyjnych. Wyniki tych analiz doprowadziły to wniosków, że najbardziej skuteczne będą georuszty o trójkątnych oczkach ułożonych w formach nakładających się sześciokątów.

W jaki sposób przedstawiona na rys. 3 konstrukcja zachowywałaby swoje właściwości, gdyby była rozciągnięta na powierzchni sferoidy? To nie jest realna sytuacja do rozważań.

Koniec części pierwszej

W drugiej części będzie przedstawiona dyskusja nad pojęciem „obciążenie skrępowania” – oraz będą zaprezentowane metody badań porównujących efektywność georusztów w konstrukcjach.

LITERATURA

1. ASTM WK39646 submission „Determining the Omni-Axial Tensile Performance of Geogrids at Low Strain”.
2. DIN61551:2008-01 – Geosynthetics – Determination of burst strength.
3. EOTA TR41, „Non-reinforcing hexagonal geogrid for the stabilization of unbound granular layers by way of interlock with the aggregate”. European Organization of Technical Approvals, 2012.
4. Hall C. D., Kawalec J.: Accelerated pavement testing for the performance of stabilisation geosynthetics. 1 Congreso Geosintec Iberia 2013.
5. Kawalec J.: Stabilizacja podłoża z wykorzystaniem georusztów. Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/2010.
6. KIWA Netherland B.V. 2012 European Technical Approval, ETA 12/0530, Report No Kiwa K76041.
7. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 ustalające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
8. Wrigley N.: Badanie geosiatek dwu- i trójosiowych. Czy można porównywać między sobą geosiatki o różnych kształtach żeber i oczek? Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 4/2014.