

MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA GEORUSZTÓW DLA CELÓW RACJONALIZACJI KOSZTÓW BUDOWY I UTRZYMANIA INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ

Jacek Kawalec

dr inż., Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 5, tel. +48 32 237 2873, e-mail: jacek.kawalec@polsl.pl

Streszczenie. Artykuł omawia właściwości georusztów na tle innych materiałów geosyntetycznych. Dokonano klasyfikacji geosyntetyków, omówiono mechanizm pracy w funkcji stabilizacji. Przybliżono problematykę skrzepowania bocznego kruszywa. Podano przykłady aplikacji, w których zastosowanie georusztów jest uzasadnione i może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne. Podano przykład jednej z pionierskich realizacji z wykorzystaniem georusztów w Polsce.

Słowa kluczowe: georuszt, stabilizacja, skrzepowanie kruszywa, sztywność, zbrojenie

1. Wstęp

Zastosowania georusztów w budownictwie komunikacyjnym na świecie sięgają początku lat 80-tych XX wieku. W Polsce georuszty zaczęto stosować w budownictwie drogowym z początkiem lat 90-tych XX wieku i do dnia dzisiejszego pozostają jednym z podstawowych materiałów rozważanych przez projektantów, jako pomocne do rozwiązania wielu specyficznych problemów wynikających z lokalnych warunków gruntowych. Pomimo ponad 30-letniego doświadczenia z ich wykorzystaniem w budownictwie kolejowym na świecie [6, 7] i ponad dwudziestoletnich doświadczeń w budownictwie drogowym w Polsce krajowe osiągnięcia w zakresie zastosowań do budownictwa kolejowego są zdecydowanie skromniejsze. Wpływ na to ma wiele czynników takich jak: większy konserwatyzm w projektowaniu w porównaniu do konstrukcji drogowych, występowanie branżowych instrukcji ograniczających wprowadzanie nowych technologii, zdecydowanie większe obciążenia, w tym dynamiczne, przekazywane na podłoże przez pojazdy szynowe, przywiązanie do tradycji w stosowaniu rozwiązań technicznych przez wykonawców czy też skromna ilość nakładów inwestycyjnych wydawanych na infrastrukturę kolejową w stosunku do nakładów na budownictwo drogowe w ostatnim dwudziestolecu. Wszystkie wymienione czynniki, do listy, których można by z pewnością dopisać jeszcze kilka innych, powodują, iż budownictwo kolejowe nie korzysta w pełni z możliwości jakie dają geosyntetyki, lub też w przypadku ich stosowania nie wykorzystuje skutecznie ich potencjału.

2. Georuszt na tle innych wyrobów geosyntetycznych – definicje i klasyfikacja

Pojęcie geosyntetyk w budownictwie komunikacyjnym sięga do lat 60-tych XX wieku, kiedy wprowadzano do praktyki inżynierskiej pierwsze włókniny, a w późniejszym okresie tkaniny. Ze względu na docelową formę ich zastosowania, tj. w połączeniu z gruntem, wszystkie materiały syntetyczne mają przedrostek „geo”. Stąd tekstylia stosowane w aplikacjach inżynierskich bazujących na ich kontakcie z gruntem noszą odpowiednio nazwę geowłóknin i geotkanin.

Geotekstylia, więc geotkaniny i geowłókniny są najbardziej rozpoznawalną grupą geosyntetyków, wynika to w równej mierze z bardzo szerokiej gamy funkcji, do jakich mają zastosowanie (filtracja, separacja, czasem zbrojenie, stabilizacja czy ochrona), historycznego „pierwszeństwa” na rynku wyrobów geosyntetycznych oraz dosyć powszechnego, choć zupełnie nieuzasadnionego, utożsamiania wszystkich wyrobów geosyntetycznych z tą nazwą. Nawet nazewnictwo wykorzystywane w procesie normalizacyjnym nie oparło się urokowi tej grupy wyrobów i wszystkie aktualne normy zharmonizowane noszą wspólną nazwę: „Geotekstylia i wyroby pokrewne...”.

Ze względu na ciągłą powierzchnię materiału, bez żadnych otworów, współpraca geotekstyliów z gruntem odbywa się tylko i wyłącznie dzięki mobilizacji sił tarcia pomiędzy tymi dwoma ośrodkami. Powoduje to, iż skuteczność zastosowania do funkcji zbrojeniowej czy stabilizacyjnej jest bardzo ograniczona, gdyż mobilizacja wytrzymałości materiału wymaga jego odkształcenia i to tym większego im większą część wytrzymałości nominalnej produktu chcemy wykorzystać. Z tego powodu geotekstylia w budownictwie kolejowym mogą mieć zastosowanie praktycznie tylko do funkcji separacyjnej oraz filtracyjnej.

Na tym tle kolejna, druga grupa materiałów geosyntetycznych, do której zaliczyć należy geosiatki i georuszty cechuje się zupełnie odmiennymi właściwościami. Przede wszystkim w tej grupie geosyntetyków istnieje możliwość kontaktu i przenikania warstw gruntu znajdującego się pod i nad płaszczyzną geosyntetyku. Jest to możliwe dzięki ażurowej strukturze materiału, w którego płaszczyźnie dominują otwory (oczka) umożliwiające penetrację ziaren gruntu procesie zagęszczania. W tej grupie materiałów występuje jednak silne zróżnicowanie, związane z technologią produkcji mającą swe odzwierciedlenie w skuteczności ich stosowania do poszczególnych aplikacji. I tak wyróżnić można tutaj:

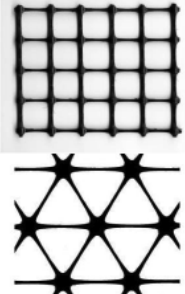
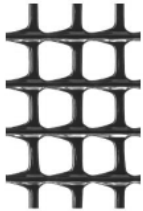
- *Geosiatki plecione*, powstające z połączenia metodami włókienniczymi prostopadle ułożonych włókien polimerowych, często dodatkowo pokrywanych ochronną warstwą innego polimeru. Kształt oczek jest kwadratowy lub prostokątny.
- *Geosiatki zgrzewane*, powstające w technologii połączenia prostopadle ułożonych płaskich taśm polimerowych, zgrzewanych w węzłach. Przy zastosowaniu odpowiedniej technologii zgrzewu można uzyskać efekt nieodkształcalności w obrębie węzła. Kształt oczek jest kwadratowy lub prostokątny.

- Geosiatki ekstrudowane, powstałe w wyniku ekstruzji prostopadle do siebie skierowanych dysz z płynnym polimerem. Proces ten umożliwia częściowe wtopienie się powstałych w ten sposób żeber w punktach węzłowych. Bezpośrednio po procesie ekstruzji może występować jeszcze proces rozciągania materiału na gorąco na gładkim bębnie. Produkt końcowy charakteryzuje się w efekcie odmiennym kształtem przekroju żeber podłużnych od poprzecznych i gładką dolną powierzchnią. Kształt oczek jest na ogół prostokątny.
- Georuszty, powstałe w wyniku wybicia siatki niewielkich otworów w monolitycznej płycie polimerowej, a następnie ich rozciągania w wysokiej temperaturze aż do momentu uzyskania docelowej wielkości otworów (oczek) oraz zorientowania struktury molekularnej materiału. Wyrób powstały w ten sposób charakteryzuje się brakiem jakichkolwiek połączeń (tzw. integralnością lub monolitycznością struktury) oraz dużą sztywnością w płaszczyźnie. Grubość węzłów jest większa od grubości żeber, a obie wymienione grubości są zdecydowanie większe od grubości geosiatek plecionych i zgrzewanych. Kształt oczek może być prostokątny, kwadratowy lub trójkątny. Wstępują dwa typy georusztów: jednokierunkowe, wykonane z polietylenu wysokiej gęstości (HDPE) oraz wielokierunkowe wykonane z polipropylenu (PP) o odrębnym przeznaczeniu. Georuszty jednokierunkowe mają zastosowanie w konstrukcjach oporowych, wielokierunkowe (wieloosiowe) przeznaczone są do stabilizacji warstw z kruszyw.

Georuszty bywają czasem w literaturze mylnie określane geosiatkami o sztywnych węzłach, co w efekcie, całkowicie niesłusznie, prowadzi do porównania ich parametrów materiałowych i analogicznymi parametrami materiałowymi geosiatek zgrzewanych.

Każda z wymienionych odmian geosyntetyków charakteryzować się może odmiennym mechanizmem współpracy z gruntem, a w konsekwencji inną efektywnością/skutecznością w konkretnym zastosowaniu. Większość wymienionych materiałów drugiej grupy występuje również w postaci geokompozytów, tj. wyrobów trwale połączonych z geowłókniną.

Tablica 1. Przykładowe rodzaje geosyntetyków drugiej grupy

Georuszty wielokierunkowe	Geosiatka zgrzewana	Geosiatka pleciona	Geosiatka ekstrudowana
			

Trzecią grupą wyrobów geosyntetycznych są tzw. niskie *geokomórki* (o wysokości 100–200 mm), zwane potocznie od nazwy jednego z produktów geowebami. Struktura geokomórek zbliżona jest do plastra miodu. W odróżnieniu od dwóch pierwszych grup nie są one produkowane w rolkach, a jedynie ich odcinki są dostarczane na paletach.

Ciągły rozwój technologiczny powoduje, iż powstają kolejne grupy geosyntetyków o jeszcze innych funkcjach i zastosowaniach. Wymienić tu można chociażby *geomembrany* (funkcja uszczelniająca i separująca), *geomaty* (funkcja przeciwoerozyjna), *maty bentonitowe* (funkcja uszczelniająca) czy *geokompozyty drenażowe* (funkcja drenażowa). Lista ta z pewnością może być uzupełniona o inne, nowe materiały.

Postęp technologiczny skutkujący powstaniem zarówno drugiej i trzeciej grupy wymienionych geosyntetyków, jak również materiałów wymienionych w poprzednim akapicie powoduje, iż zmiany ulegają również wymogi w zakresie podstawowych parametrów, jakie poszczególne wyroby muszą spełniać. Niestety w tym zakresie normalizacja nie nadąża za postępem. Np. georuszty, które są przedmiotem dalszych rozważań nie mają oddzielnej normy i wspólnie z wszystkimi geosiatkami podpadają pod pojęcie „...geotekstyli i wyroby pokrewne...”, co często skutkuje niepoprawnym określeniem ich parametrów użytkowych.

3. Podstawowe cechy i funkcje georusztów

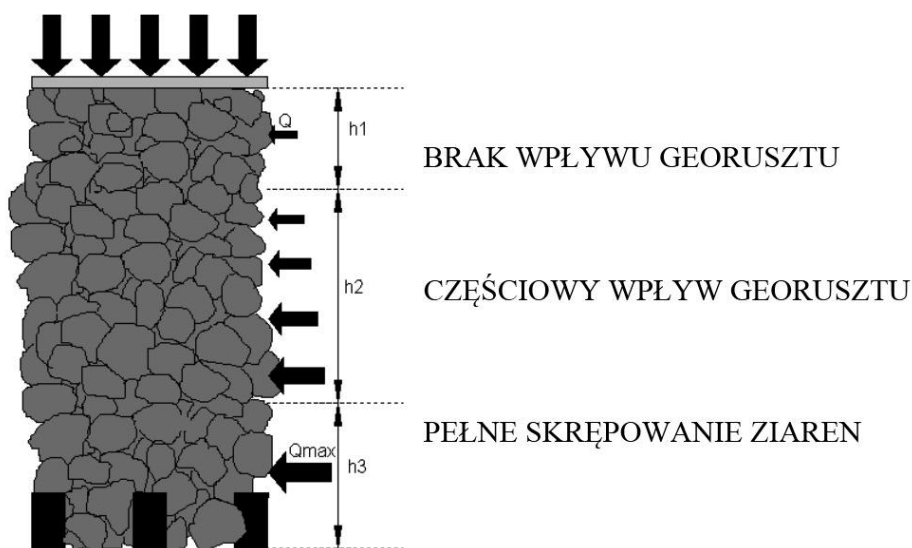
Jak wspomniano w poprzednim rozdziale przy omawianiu definicji georusztu materiały te cechuje integralność struktury duża sztywność w płaszczyźnie. Sztywność w płaszczyźnie, będąca efektem rozciągania monolitycznej płyty polimerowej wyróżnia georuszty na tle geosiatek oraz geotekstyliów. Żaden z procesów łączenia, jak np. tkanie, igłowanie, czy łączenie pojedynczych włókien polimerów w węzłach poprzez ich zgrzewanie, spawanie, wtapianie, itp., nie nadaje wyrobom cech sztywności. Sztywność ta powoduje, iż ziarna zagęszczonego kruszywa dobrane odpowiednio do wielkości oczek georusztu wykazują znacznie większą odporność na przemieszczenia względem siebie. Ta zwiększona odporność na przemieszczenia będąca wynikiem skrępowania bocznego kruszywa w oczkach jest cechą charakterystyczną dla georusztów. Literatura angielskojęzyczna opisuje to pojęcie, jako efekt zazębienia (ang. „interlocking”) kruszywa w georuszcie. Nie występuje w geotekstyliach, geosiatkach plecionych i zgrzewanych, a w ograniczonym zakresie występuje w geosiatkach ekstrudowanych (w tym przypadku ograniczenie to związane jest z nieostrokrawędzistym przekrojem żeber, których 50% ma płaski kształt).

Efekt zazębienia kruszywa w oczkach georusztu powodujący skrępowanie ziaren jest zmienny wraz z odległością od płaszczyzny geosyntetyku [3]. Wyróżnia się tutaj 3 strefy o zróżnicowanych cechach:

- Strefa pełnego skrępowania (ang. „full confinement zone”) - występująca na odcinku pomiędzy poziomem ułożenia georusztu do wysokości kilku zia-

ren powyżej tego poziomu. W tej strefie dzięki zazębieniu zagęszczonego kruszywa w oczkach przemieszczenia wzajemne ziaren są mikroskopijne, w praktyce zerowe, gdyż ziarna są względem siebie zupełnie zablokowane. Występuje tu pełna odporność ziaren na przemieszczenie Q_{\max} (ang. „maximum confining resistance”).

- Strefa pośrednia – będąca strefą stopniowego zaniku skrępowania ziaren kruszywa wywołaną wpływem zazębienia w poziomie georusztu. Zdolność ziaren do przemieszczeń względem siebie zmienia się od wartości minimalnej (u dołu strefy) do wartości maksymalnej (górną część strefy). Odporność ziaren na przemieszczenia zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości od georusztu w sposób nieliniowy.
- Strefa braku skrępowania (ang. „no confinement zone”) - do tej strefy skrępowanie ziaren nie dochodzi, opór ziaren kruszywa na przemieszczenie jest wynikiem ich naturalnego oporu tarcia wewnętrznego. Kruszywo w tej strefie nie „odczuwa” już wpływu materiału ułożonego głębiej, aby efekt ten powrócił wymagane byłoby ułożenie ponownej warstwy georusztu.



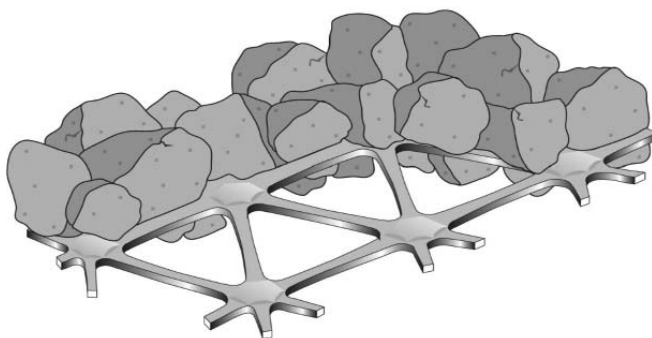
Rys. 1. Podział stref skrępowania ziaren kruszywa nad georusztem

O efektywności stabilizacji decydują grubości poszczególnych stref. Grubości tych stref nie są jednakowe. Pożądane jest, aby strefa pełnego skrępowania oraz strefa pośrednia były jak najgrubsze. Grubości poszczególnych stref są cechami indywidualnymi dla konkretnego typu georusztu oraz rodzaju i uziarnienia kruszywa. Poprawne określenie grubości obu tych stref jest decydujące dla właściwego doboru rozstawu zbrojenia w geomateracach wielowarstwowych.

Niewłaściwy dobór kruszywa, którego uziarnienie nie pozwala na właściwe zazębienie w oczkach georusztu, może zminimalizować grubość poszczególnych stref

i spowodować gwałtowny spadek skuteczności zbrojenia. Niewłaściwy dobór geosyntetyku do stabilizacji, np. zastosowanie geosiatki plecionej powoduje, iż w warstwie kruszywa ułożonej na geosyntetyku występuje tylko strefa bez skrępowania. W takim przypadku warstwa kruszywa jest podatna na deformacje niezależnie od rodzaju zastosowanej geosiatki, a sam geosyntetyk nie pracuje.

Sztywność materiału skutkująca zwiększeniem skrępowania bocznego ziaren powoduje polepszenie odporności na ścinanie warstwy kruszywa stabilizowanego georusztem i jest podstawowym mechanizmem polepszającym rozkład obciążenia przekazywanego wzmocnianemu podłożu (rys. 2).



Rys. 2. *Klinowanie się ziaren w oczkach sztywnego georusztu*

Mechanizmem, który jest charakterystyczny dla geosiatek oraz geotekstyliów jest przenoszenie obciążenia poprzez efekt naciągniętej membrany (ang. „tensioned membrane effect”). Mechanizm ten zakłada zmniejszenie wartości pionowej składowej naprężenia działającego na podłożu w miejscu przyłożenia obciążenia dzięki mobilizacji poziomej składowej naprężenia poprzez naciągnięty geosyntetyk. Mechanizm ten był przez wiele lat uznawany za podstawowy, opisujący wzmocnienie słabego podłoża. Dziś wiadomo już, iż w zastosowaniach gdzie nie dopuszczamy do powstania deformacji w podłożu nie ma on zastosowania, jest nieskuteczny [2]. Mobilizacja wytrzymałości geosiatki czy geotkaniny wymaga bowiem deformacji, co w wielu przypadkach skutkuje przekroczeniem parametrów użytkowych konstrukcji (np. kolein nawierzchni drogowej czy ugięć podkładu szyny).

Występowanie tych dwóch odmiennych mechanizmów powoduje, iż parametry stosowane do opisu i identyfikacji pożądaných cech poszczególnych rodzajów geosyntetyków są odmiennie. W przypadku geotekstyliów i większości geosiatek charakterystycznym parametrem jest wytrzymałość na rozciąganie przy określonym odkształceniu. Dla georusztów, których podstawowym mechanizmem jest zwiększenie odporności warstwy na ścinanie, dzięki skrępowaniu bocznemu ziaren, parametrem wiodącym jest sztywność w zakresie małych odkształceń.

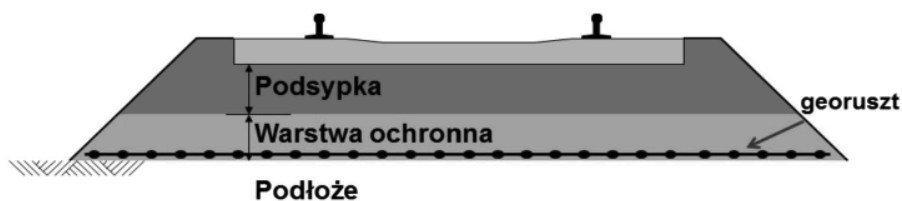
4. Wykorzystanie georusztów do stabilizacji warstw kruszywa w warstwach nawierzchni kolejowej

W przypadku zastosowań w nawierzchni kolejowej możliwe są dwa rodzaje zastosowań:

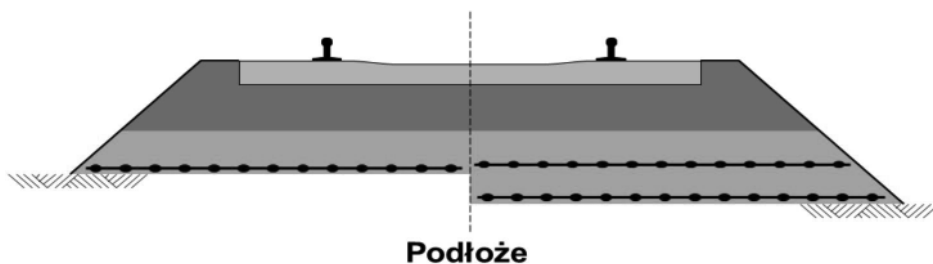
- stabilizacja warstwy ochronnej,
- stabilizacja podsypki tłuczniowej.

4.1. Stabilizacja warstwy ochronnej

Stabilizacja warstwy ochronnej związana jest z występowaniem pod nią warstwy o niekorzystnych parametrach nośności. Zastosowanie georusztu pozwala na podwyższenie nośności podłoża pod konstrukcją lub na zmniejszenie grubości kruszywa w stosunku do grubości bez georusztu, przy uzyskaniu tych samych parametrów nośności na górze warstwy ochronnej. Wspomniana redukcja grubości może sięgać do 50%, choć każdorazowo wymaga indywidualnej analizy. Częstszym zastosowaniem jest wymóg uzyskania odpowiednich parametrów nośności. Przy bardzo słabej nośności gruntów w podłożu czasem konieczne jest zastosowanie układów wielowarstwowych.



Rys. 3. Przykład zastosowania georusztu do stabilizacji warstwy ochronnej

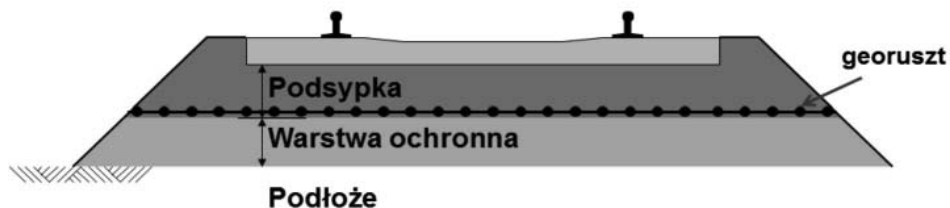


Rys. 4. Przykład układu jednowarstwowego i wielowarstwowego w warstwie ochronnej

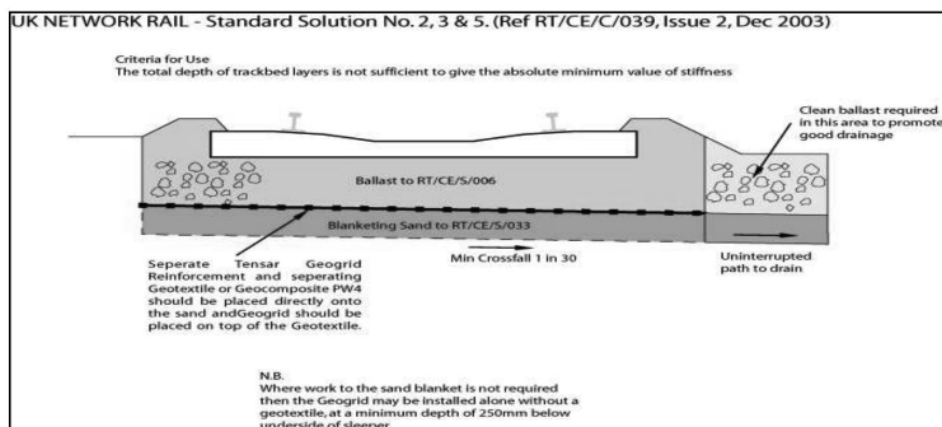
4.2. Stabilizacja podsypki tłuczniowej

Zastosowanie georusztów do stabilizacji warstwy podsypki związane jest z redukcją prędkości przyrostu deformacji (odkształcenia plastycznego) powstającej

w warstwie ochronnej w wyniku oddziaływania cyklicznych obciążeń dynamicznych. Na ogół deformacja ta objawia się nieregularnym osiadaniem toru i pogarszaniem jego geometrii w planie. Badaniami wpływu georusztu na redukcję osiadania i tym samym niezbędnych zabiegów utrzymaniowych zajmował się Uniwersytet w Nottingham (Wielka Brytania) [1]. Publikowane prace wykazują wzrost ilości cykli obciążeniowych o współczynnik 2,5 po zastosowaniu georusztu. Zastosowanie georusztu jest, np. w Wielkiej Brytanii, jednym ze standartowych rozwiązań dla racjonalizacji kosztów utrzymania linii.



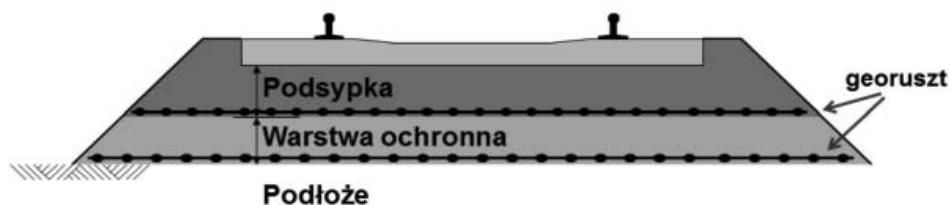
Rys. 5. Przykład zastosowania georusztu do stabilizacji podsypki tłuczniowej



Rys. 6. Przykład zastosowania georusztu po podsypką wg brytyjskiej instrukcji RT/CE/C/039

4.3. Stabilizacja warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej

Równoczesna stabilizacja warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej jest rozwiązaniem rzadko stosowanym w praktyce, choć teoretycznie jak najbardziej możliwym. Georuszt w każdej z warstw pełni bowiem odrębną rolę, pozwalając na wzrost nośności (warstwa ochronna) i wydłużenie okresów pomiędzy podbijaniami (podsypka). Oczywiście każda z warstw wymaga zastosowania innego rodzaju georusztu, o wielkości oczek dostosowanej do wielkości uziarnienia kruszywa w danej warstwie.



Rys. 7. Przykład równoległego zastosowania georusztów do stabilizacji warstwy ochronnej i podsypki tłuczniowej

Instalacja georusztu może odbywać się mechanicznie z wykorzystaniem maszyn typu AHM lub sposobem tradycyjnym związanym z rozebraniem toru.

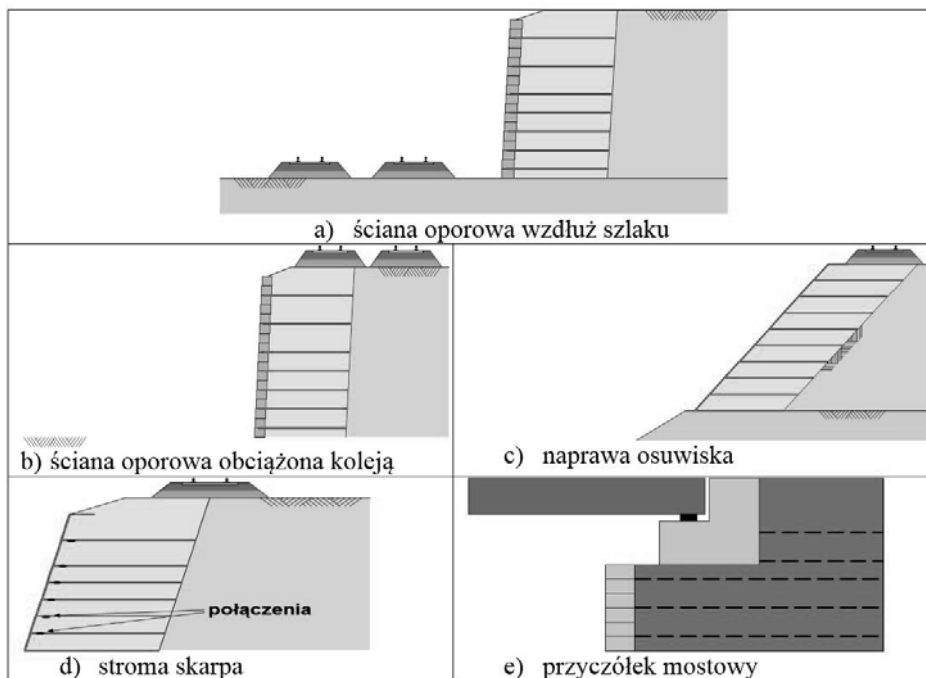
5. Wykorzystanie georusztów do konstrukcji oporowych występujących w infrastrukturze kolejowej

Innym obszarem zastosowań georusztów są wszelkie konstrukcje oporowe z gruntu zbrojonego. To dynamicznie rozwijająca się dziedzina budownictwa, która znajduje zastosowania również w budownictwie kolejowym. Wykorzystane tutaj być mogą georuszty jednokierunkowe, które mają określone parametry odkształcalności i wytrzymałości w kierunku działania obciążenia. Ponieważ aktualnie stosowane metody projektowe dla analiz konstrukcji oporowych opierają się tylko na parametrze wytrzymałości na rozciąganie, więc georuszty podobnie do innych geosyntetyków muszą charakteryzować się dobrze rozpoznanymi parametrami reologicznymi, a dla obliczeń stosuje się wytrzymałości długoterminowe uwzględniające wpływ pełzania polimeru w czasie. Badania georusztów w tym zakresie zajmują specjalne certyfikowane jednostki badawcze. W Polsce dotychczas nie ma takiego laboratorium i korzysta się na ogół z wyników badań prowadzonych w laboratoriach brytyjskich oraz niemieckich. Podkreślić należy, iż badania długoterminowe muszą trwać minimum 10.000 godzin, choć można w literaturze spotkać wyniki badań po upływie 100.000 godzin. Obecny stan wiedzy o reologii polimerów w georusztach jest już na tyle zaawansowany, że pozwala na bezpieczne określanie parametrów wytrzymałościowych w okresie 120 lat, wymaganym przez przepisy dla bardzo odpowiedzialnych konstrukcji, w tym kolejowych.

W zakresie konstrukcji oporowych można wyróżnić kilka odmiennych zastosowań:

- budowa ścian oporowych wzdłuż infrastruktury kolejowej,
- budowa ścian oporowych obciążonych ruchem kolejowym,
- budowa przyczółków mostowych,
- budowa stromych skarp wzdłuż szlaków w tym obciążonych ruchem kolejowym,
- odbudowa osuwisk.

Tablica 2. Przykładowe zastosowania georusztów w konstrukcjach oporowych w kolejach



Wszystkie wymienione zastosowania wymagają indywidualnego projektu opartego o zweryfikowane metody projektowe. W tym zakresie georuszty nie oczekiwały się indywidualnych metod projektowania. Funkcją geosyntetyku w konstrukcjach oporowych jest funkcja zbrojeniowa. Stosuje się klasyczne metody dla grunty zbrojonego oparte tylko i wyłącznie na wytrzymałości na rozciąganie samego zbrojenia [4, 5]. Tym samym nie wykorzystuje się sztywności georusztu i skrupowania ziaren i w efekcie wszystkie konstrukcje zaprojektowane klasycznymi metodami obliczeniowymi mają duży zapas bezpieczeństwa. Wyniki pomiarów odkształcenia w konstrukcjach oporowych wykorzystujących jednokierunkowe georuszty wykazują bardzo małe wartości, co świadczy o dużym konserwatyźmie metod projektowych.

W Polsce pionierem zastosowań georusztów do konstrukcji oporowych w budownictwie kolejowym był Prof. dr inż. Antoni Rosikoń, który zastosował je pod koniec lat 90-tych XX wieku na Śląsku. Likwidacja szkód górniczych i związana z nią konieczność podwyższenia toru o kilka metrów spowodowała zagrożenie dla budynku nastawni w Rudzie Śląskiej Bielszowicach. Prof. Rosikoń w wieku lat 90-ciu podjął się opracowania projektu, a następnie kierowania robotami budowlanymi. Autor niniejszego artykułu miał przyjemność współpracy z Profesorem na tej budowie pełniąc funkcję nadzoru geotechnicznego. Konstrukcja została wykonana i służy do dnia dzisiejszego spełniając funkcję do jakiej została zaprojektowana.



a) rok 1999 realizacja konstrukcji dla uratowania budynku nastawni



b) rok 2012 – budynek nastawni

Fot. 8. Budynek nastawni w Rudzie Śląskiej Bielszowicach

6. Podsumowanie

Wykorzystanie georusztów w budownictwie kolejowym wymaga indywidualnego podejścia, ale z pewnością daje możliwości na uzyskanie wymiernych korzyści, w tym ekonomicznych, w wielu obszarach działalności inwestycyjnej. Efektywna stabilizacja warstw kruszyw w konstrukcji nawierzchni związana z podwyższeniem nośności, wydłużanie okresów międzypodbijaniowych przy zastosowaniu stabilizacji podsypki czy nowoczesne, ekonomiczne konstrukcje oporowe są przykładami tych obszarów inwestycyjnych, które mogą skuteczniej wykorzystywać potencjał, jaki dają georuszty. Dotychczasowe podejście do geosyntetyków, które nie różniła właściwości poszczególnych materiałów powoduje, iż często wykorzystanie georusztów sprowadza się do zastosowania ich jako formy geotekstliów. Tym samym dominująca cecha, jaką jest ich sztywność w płaszczyźnie ma ograniczone wykorzystanie w praktyce.

Autor ma nadzieję, że przedstawione klasyfikacje, opisy funkcji poszczególnych materiałów i zróżnicowanych mechanizmów pracy pozwolą na właściwe uporządkowanie geosyntetyków pod kątem możliwości i celowości ich zastosowania.

Literatura

- [1] Brown S., Geogrid Reinforcement of Railway Ballast. Nottingham Centre for Pavement Engineering, University of Nottingham, 2006.
- [2] Giroud J., An assessment of the use of geogrids in unpaved roads and unpaved areas. Jubilee Symposium on Polymer Geogrid Reinforcement. Identifying the Direction of Future Research, ICE, London, 8th September 2009.
- [3] Kawalec J., Stabilizacja podłoża z wykorzystaniem georusztów. Inżynieria Morska i Geotechnika nr 4/2010, str. 522-530.

-
- [4] Kawalec J., Gryczmański M., Zastosowania georusztów w materacach oraz w konstrukcjach oporowych. XXIV Ogólnopolska Konferencja Warsztat Pracy Projektanta Konstrukcji, Wisła, WPPK 2009 str. 83-113.
 - [5] Koerner R., Designing with geosynthetics. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1999.
 - [6] Petrova T.M., Poltavchenko A.N., Petryaev A.V., Monitoring of trial reinforcing section of basic railway platform by geogrids. Ministry of Transport. Russian Federation, Theme No 148/2735. Saint-Petersburg State University of Transport, Saint-Petersburg 2002.
 - [7] Walls J., Newby J., Geosynthetics for railroad track for rehabilitation. Alabama, USA, ISSMFE TC9, 1987.