

Dobór geotekstyliów i wyrobów pokrewnych

pełniących funkcję zbrojenia w budownictwie komunikacyjnym – wybrane problemy inżynierskie

Z uwagi na odpowiedzialność uczestników procesu budowlanego za realizowane inwestycje komunikacyjne w coraz dłuższym horyzoncie czasowym, celowe wydaje się zwrócenie uwagi na zagadnienia związane z obserwowanymi niestety nadal problemami dotyczącymi umiejętności odróżniania poszczególnych rodzajów geosyntetyków oraz weryfikacji wymaganych w projekcie tzw. technicznych parametrów istotnych (np. wytrzymałość długoterminowa w przypadku wyrobów pełniących funkcję zbrojenia).

Powszechne stosowanie geosyntetyków w budownictwie komunikacyjnym wymaga adekwatnej wiedzy od wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego. Na etapie projektowania powinny być szczegółowo określone wymagania dotyczące poszczególnych zastosowań i funkcji geosyntetyków w projekcie. Niestety w Polsce brak jest norm krajowych dotyczących projektowania konstrukcji ziemnych z zastosowaniem geosyntetyków, dlatego też polscy projektanci posilają się zaleceniami zagranicznymi. Najczęściej w naszym kraju stosowane są obecnie niemieckie wytyczne EBGEO 2010 [4] oraz norma brytyjska 8006:2010 [1]. Opracowania te zostały stworzone w oparciu o Eurokod 7 oraz odpowiednie normy krajowe DIN i PD.

Na etapie realizacji ważna jest umiejętność odróżniania poszczególnych rodzajów geosyntetyków oraz weryfikacji parametrów wymaganych w projekcie czy specyfikacji technicznej. Nadzór (jak również Zamawiający) powinien mieć wystarczającą wiedzę w tym zakresie.

Nierzadką sytuacją jest przedstawianie do akceptacji Inżyniera (i niestety w wielu przypadkach dopuszczanie do wbudowania) geosyntetyków o wątpliwych parametrach technicznych lub niezgodnych z dokumentacją projektową w zakresie rodzaju materiału. Decyzji w takich przypadkach nie ułatwiają zapisy normalizacyjne, nieobejmujące wszystkich oferowanych na rynku geosyntetyków, jak i niedefiniujące jednoznacznie metod projektowania czy stosowanych współczynników.

Rodzaje i identyfikacja geosyntetyków

Szczegółowy opis wszystkich rodzajów geosyntetyków dostępnych na polskim rynku i ich funkcji w budowach ziemnych zamieszczono m.in. w [2 i 4]. W niniejszym artykule skupiono się głównie na doborze wyrobów geosyntetycznych do pełnienia w konstrukcji funkcji zbrojącej.

Zgodnie z normą terminologiczną PN-EN ISO 10318 [7] pod pojęciem „geosyntetyk” kryje się wyrób, którego przynajmniej jeden składnik wytworzony został z polimeru, mający postać arkusza, paska lub formy przestrzennej, stosowany w kontakcie z gruntem.

Najczęściej obecnie stosowanymi polimerami do produkcji geosyntetyków są: polietylen wysokiej gęstości (HDPE), polipropylen (PP) i poliester (głównie politereftalan etylenu, PET). Stosuje się również poliamid (PA) oraz specjalne materiały o odpowiednio wysokich parametrach, m.in. o dużej sztywności na rozciąganie,

Selection of geotextiles and related reinforcement products in transportation engineering – selected engineering issues

The paper addresses the use of geotextiles and related products in road earth structures. Product identification and design procedures for geosynthetic reinforcement have been described.

Keywords:
geotextiles, reinforcement, engineering problems

Summary

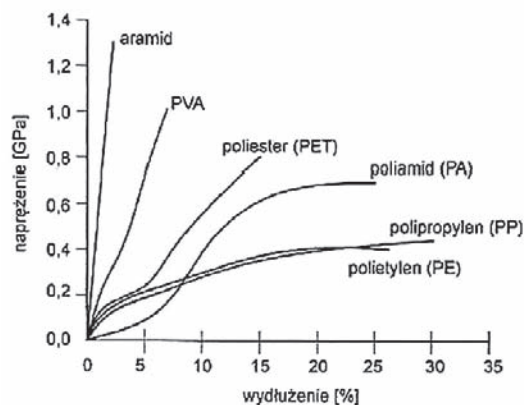
odporności na oddziaływania chemiczne oraz charakteryzujące się małym pełzaniem, takie jak poliwinylalkohol (PVA) i aramid (A). Na rys. 1 zamieszczono wykres przedstawiający zależność naprężenie – wydłużenie dla różnych rodzajów włókien polimerowych.

Należy zauważyć, że z szerokiej gamy wyrobów geosyntetycznych tylko niektóre są odpowiednie do pełnienia funkcji zbrojenia gruntu. Są to przede wszystkim geotkaniny, geosiatki i geotaśmy.

Klasyfikacja geosyntetyków wg normy PN-EN ISO 10318

Poniżej przedstawiono definicje wybranych wyrobów podane w normie terminologicznej PN-EN ISO 10318:2015 [7].

Geotekstylia (*geotextile*, GTX) – płaski, przepuszczalny, polimerowy (sztuczny lub naturalny) wyrób tekstylny, tkany, nietka-



Rys. 1. Zależność naprężenie – wydłużenie dla różnych rodzajów włókien polimerowych [12]

ny lub dziany, stosowany w kontakcie z gruntem w geotechnice i budownictwie. Do geotekstyliów zalicza się wyroby o następujących definicjach:

- **Geowłóknina** (*nonwoven geotextile*, GTX-N) – nietkany wyrób tekstylny złożony z kierunkowo lub losowo ułożonych włókien lub innych elementów połączonych mechanicznie, termicznie lub chemicznie.
- **Geodżianina** (*knitted geotextile*, GTX-K) – wyrób tekstylny powstały w procesie dziania jednej lub wielu nitek przędzy, włókien ciągłych lub innych elementów.
- **Geotkanina** (*woven geotextile*, GTX-W) – wyrób tekstylny powstały poprzez przeplatanie, zazwyczaj pod kątem prostym, dwu lub więcej układów przędz, włókien ciągłych, taśm lub innych elementów.

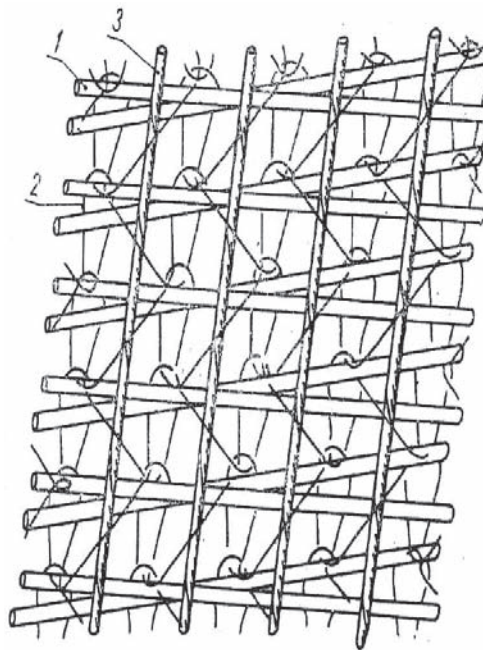
Geotekstylny wyrób pokrewny (GTP) – płaski, przepuszczalny, polimerowy (syntetyczny lub naturalny) wyrób do stosowania w kontakcie z gruntem lub innym materiałem w rozwiązaniach geotechnicznych i budownictwa, który nie odpowiada definicji wyrobu geotekstynowego. Do geotekstynowych wyrobów pokrewnych zalicza się materiały o następujących definicjach:

- **Geosiatka (georuszt)** (GGR) – płaski wyrób polimerowy stanowiący regularny układ o otwartej strukturze, z trwale połączonych elementów rozciąganych, które mogą być łączone w procesie wytłaczania, spajania lub przeplatania, w którym otwory są większe od elementów nośnych (tzw. żeber).
- **Geotaśma** (GST) – polimerowy wyrób w formie paska o szerokości nie większej niż 200 mm, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie.
- **Geosyntetyk komórkowy** (GCE) – polimerowy (syntetyczny lub naturalny) wyrób o przestrzennej, przepuszczalnej strukturze w formie plastra miodu lub podobnej strukturze komórkowej, wytworzony z połączonych ze sobą taśm geosyntetyków.
- **Geokompozyt** (GCO) – wyrób łączony w zakładzie produkcyjnym, którego przynajmniej jeden składnik stanowi wyrób geosyntetyczny.

Geosyntetyki niemieszczące się w klasyfikacji normy [7]

W ostatnich latach wprowadzone zostały na rynek geosyntetyki niemieszczące się w klasyfikacji opisanej w normie [7]. Najczęściej są to materiały nazywane (przez producentów i/lub dostawców) geotkaninami lub geosiatkami, przy czym w rzeczywistości nie spełniają one wymogów definicji tych rodzajów geosyntetyków. Nie odnosząc się do przydatności tego rodzaju materiałów w budownictwie, należy zwrócić uwagę na to, aby deklarowany rodzaj geosyntetyku był zgodny ze stanem faktycznym. Jeżeli Projektant uzna, że taki materiał spełnia wymagania projektowe (projekt i specyfikacje), nie ma przeszkód, aby był on zastosowany. W przeciwnym razie jednak zastosowanie takiego materiału jako geotkaniny czy geosiatki będzie niezgodne z wymaganiami projektowymi.

Najczęściej spotykany materiał – nazywany geotkaniną, chociaż nie spełnia jej podstawowej definicji (brak przeplotu) – stanowi układ włókien w dwóch prostopadłych kierunkach ułożonych na sobie bez jakiegokolwiek przeplotu, z dodatkową nicią przyszywającą włókna dolne i górne (fot. 8 i 9). Pod względem techniki tkackiej wyrób taki spełnia definicję przędziny [11] (rys. 2), jednak brak takiej definicji w normie [7].



Rys. 2. Przędzina: 1 – wątek; 2 – osnowa wiążąca; 3 – osnowa wypełniająca [11]

Inny rodzaj materiału – nazywany geosiatką, chociaż nie spełnia jej podstawowej definicji (brak trwałego połączenia elementów rozciąganych) – stanowi układ włókien w dwóch prostopadłych kierunkach ułożonych bez przeplotu z dodatkową nicią przyszywającą włókna dolne i górne oraz wolną przestrzenią porównywalną z zakresem włókien (fot. 10 i 11). Pod względem techniki tkackiej jest to przędzina [11].

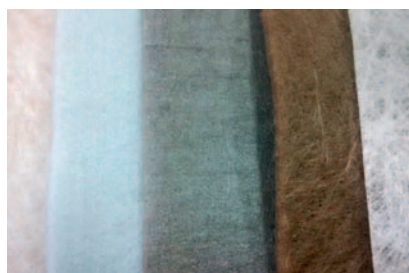
Wyznaczanie wartości wytrzymałości geosyntetyku

Wytyczne EBGEO 2010 [5]

Określenie „odporność strukturalna geosyntetyku” odnosi się do jego wytrzymałości na rozciąganie $R_{B,d}$. Wyznaczana jest ona na podstawie krzywej obciążenie – odkształcenie na podstawie badania geosyntetyku na rozciąganie. Wytrzymałość krótkoterminowa $R_{B,k0}$ określana jest na podstawie maksymalnej siły rozciągającej (w odniesieniu do 1 m szerokości) osiągniętej w badaniu rozciągania danego wyrobu. Określając charakterystyczną wartość wytrzymałości na rozciąganie $R_{B,k0}$, uwzględnia się 5-proc. tolerancję (95-proc. poziom ufności). Wytrzymałość długoterminową $R_{B,k}$ uzyskuje się przez podzielenie wytrzymałości krótkoterminowej $R_{B,k0}$ przez współczynniki redukujące A_1 – A_5 . Współczynniki te uwzględniają wpływy: pełzania (A_1), uszkodzeń podczas transportu i wbudowywania (A_2), szwów i połączeń (A_3), środowiska, m.in. starzenia się w warunkach atmosferycznych, chemizmu gruntu i mikroorganizmów, (A_4) oraz oddziaływań dynamicznych (A_5).

$$R_{B,k} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5}$$

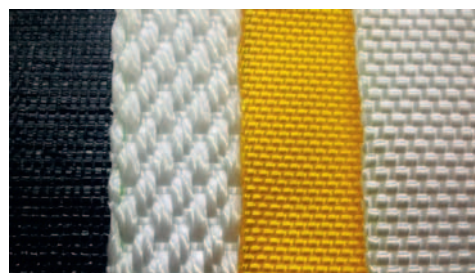
Obliczeniową wartość wytrzymałości długoterminowej $R_{B,d}$ oblicza się, dzieląc wartość charakterystyczną wytrzymałości długoterminowej $R_{B,k}$ przez częściowy współczynnik bezpieczeństwa materiałowego γ_M



Fot. 1. Geowłókniny



Fot. 2. Geodzianina



Fot. 3. Geotkaniny

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k}}{\gamma_M}$$

Wymagane parametry wyrobu i współczynniki redukcyjne powinny być podane przez producenta na podstawie raportów z badań (udostępnianych na żądanie) przeprowadzonych w niezależnych instytutach z wyspecjalizowaną kadrą i specjalistycznym sprzętem do badań. W przypadku braku takich danych można zastosować zachowawcze wartości współczynników redukcyjnych podane w zaleceniach EBGeo [5].

Norma BS 8006 [1]

Podstawowa wytrzymałość zbrojenia T_B powinna być zgodna z poniższymi zaleceniami:

- a) Dla stanu granicznego nośności podstawową wytrzymałością jest T_{CR} , czyli wytrzymałość na zerwanie w wyniku pełzania w określonym czasie oraz temperaturze.

$$T_B = T_{CR} = \frac{T_{char}}{RF_{CR}}$$

gdzie:

T_{char} - charakterystyczna krótkoterminowa wytrzymałość,
 RF_{CR} - współczynnik redukcyjny uwzględniający pełzanie.

Projektową wytrzymałość dla stanu granicznego nośności oblicza się ze wzoru:

$$T_D = \frac{T_{CR}}{f_m}$$

- b) Dla stanu granicznego użyteczności podstawową wytrzymałością jest T_{CS} , która powoduje ograniczenie odkształceń w zbrojeniu dla różnych konstrukcji.

Obliczeniową wartość wytrzymałości dla stanu granicznego użyteczności wyznacza się ze wzoru:

$$T_D = \frac{T_{CS}}{f_m}$$

Podczas wyznaczania obliczeniowej wartości wytrzymałości długoterminowej geosyntezy należy uwzględnić materiałowy współczynnik bezpieczeństwa:

$$f_m = RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH} \cdot f_s$$

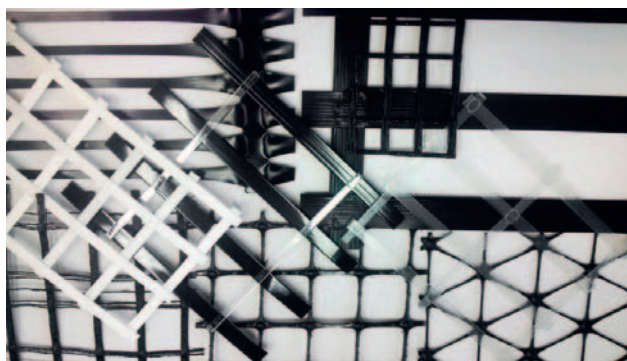
gdzie:

RF_{ID} - współczynnik redukcyjny uwzględniający uszkodzenia podczas wbudowywania,

RF_W - współczynnik redukcyjny uwzględniający starzenie się w warunkach atmosferycznych,

RF_{CH} - współczynnik redukcyjny uwzględniający wpływ oddziaływań chemicznych/środowiskowych,

f_s - współczynnik bezpieczeństwa uwzględniający ekstrapolację danych.



Fot. 4. Geosiatki

Wszystkie cząstkowe współczynniki redukcyjne oraz globalny współczynnik bezpieczeństwa powinny być określone zgodnie z metodami przedstawionymi w PD ISO/TR 20432 [6].

Wybrane problemy

W pracach [2, 3 i 4] zwrócono szczególną uwagę na różnice w mechanizmie pracy zbrojenia geosyntezy w różnych zastosowaniach oraz zagadnienia związane z trwałością i wykorzystaniem wyników badań w projektowaniu.

Wyroby geosyntezy poddają się osłonięciu gruntowym, tak więc konstruowanie obiektów budowlanych z ich zastosowaniem wymaga wiedzy zarówno z inżynierii materiałowej, jak i klasycznej geotechniki oraz mechaniki stosowanej. Oznacza to potrzebę znajomości cech poszczególnych materiałów, a także zjawisk występujących w samych materiałach i ich kontakcie oraz problemów pracy całych obiektów z uwzględnieniem ich stateczności wewnętrznej i zewnętrznej.

Konstrukcje z gruntu zbrojonego geosyntezy poddawane są stałemu obciążeniu w okresie użytkowania budowli. W przypadku gdy wymagane jest utrzymywanie stałej siły w zbrojeniu przez długi okres, na wybór zbrojenia istotny wpływ ma charakterystyka pełzania materiału zbrojącego, która zależy przede wszystkim od rodzaju zastosowanego polimeru. W projektowaniu należy uwzględnić również możliwość uszkodzeń geosyntezy podczas wbudowywania oraz negatywne oddziaływania środowiskowe (przede wszystkim promieniowanie UV, utlenianie i agresywność chemiczną).

Wpływ poszczególnych współczynników częściowych powiązanych z ww. oddziaływaniami na wartość wytrzymałości projektowej jest bezpośredni i może spowodować, że dwa różne geosyntezy o takiej samej deklarowanej przez producenta krótkoterminowej wytrzymałości na rozciąganie mogą różnić się kilkukrotnie wartością obliczeniową wytrzymałości długoterminowej.

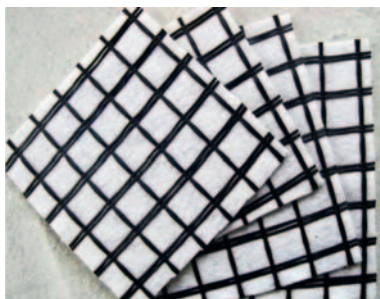
Przyjmowane w projekcie geosyntezy zbrojące powinny mieć określoną wymaganą wytrzymałość długoterminową na rozciąganie, dopuszczalne wydłużenie przy wymaganej sile, określony ro-



Fot. 5. Geotaśmy



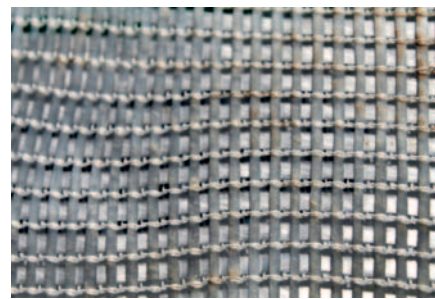
Fot. 6. Geosyntetyk komórkowy



Fot. 7. Geokompozyt



Fot. 8. Przędzina deklarowana jako geotkanina (awers i rewers)



dziej polimeru oraz wymagany czas użytkowania. Wskazane jest również podanie w dokumentacji projektowej sposobu określania wytrzymałości długoterminowej na rozciąganie w zależności od przyjętej metody projektowania. W specyfikacji technicznej powinny być określone wymagania dotyczące geosyntetyków w zakresie certyfikatów wystawionych przez jednostki notyfikowane w adekwatnym zakresie (lista jednostek notyfikowanych w UE dostępna jest pod adresem: <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/nando/index.cfm?fuseaction=country.main>), potwierdzających wymagane parametry oraz zakres i częstotliwość badań kontrolnych materiałów dostarczanych na budowę.

Jednym z podstawowych problemów przy doborze materiału na budowę jest brak określenia w dokumentacji projektowej rodzaju wymaganej wytrzymałości geosyntetyku zbrojącego na rozciąganie (np. „wytrzymałość na rozciąganie” – ale jaka?). W takiej sytuacji interpretowana jest ona zazwyczaj jako wytrzymałość krótkoterminowa, co oznacza, że wbudowywane materiały mają trochę lub znacznie niższą wytrzymałość od zakładanej w projekcie, zależnie od tego, czy Projektant podał faktycznie wytrzymałość krótkoterminową, czy miał na myśli wartość długoterminową. Niestety konsekwencje takich sytuacji pojawić się mogą ze znacznym opóźnieniem, kiedy parametry geosyntetyku wraz z upływem czasu spadną poniżej wartości wymaganych. Niewłaściwe jest również stosowanie w dokumentacji projektowanej, a więc w projekcie budowlanym, wykonawczym czy też specyfikacjach technicznych, pojęć nieprecyzyjnych i wręcz wprowadzających w błąd (np. „wytrzymałość handlowa” – co to takiego?).

Problemem często spotykanym na etapie realizacji jest niewłaściwa identyfikacja produktu: rodzaju geosyntetyku, szczególnie gdy do zatwierdzenia przedstawiany jest produkt, którego deklarowany rodzaj nie odpowiada faktycznemu. Z tego względu wskazane jest, aby do wystąpienia o zatwierdzenie materiału geosyntetycznego dołączana była próbka tego konkretnego materiału, co umożliwiłoby jego podstawową weryfikację. Materiały niemieszczące się

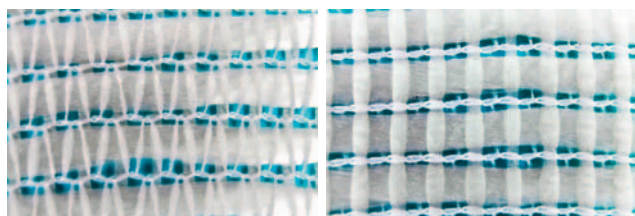
w klasyfikacji normy [7], będące w klasyfikacji tkackiej przędzina, bywają stosowane na wielu dużych inwestycjach pod nazwą „geotkaniny” lub „geosiatki”. Nie zawsze dzieje się to ze świadomością opisanych wyżej różnic. Materiały takie nie mogą być traktowane jako równoważne (tkaninie, czy tym bardziej geosiatce) bez jednoznacznej akceptacji Projektanta.

Tak jak wspomniano wcześniej, tylko niektóre wyroby geosyntetyczne są odpowiednie do pełnienia funkcji zbrojenia gruntu (zagadnienie to szeroko omówiono w [2]). Są to przede wszystkim geotkaniny i geosiatki. Grupę tę uzupełniają: geotaśmy, niektóre geokompozyty i w specyficznych zastosowaniach geosyntetyki komórkowe. Geowłókniny w budowlach ziemnych stosowane są najczęściej w funkcji separacyjnej, filtracyjnej, drenażowej i ochronnej.

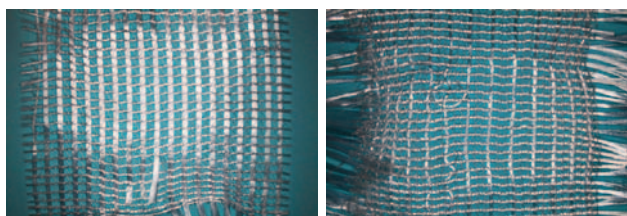
Ważnym problemem na budowie jest potwierdzenie wymaganych dokumentacją projektową parametrów geosyntetyków. Parametry takie jak: wytrzymałość krótkoterminowa, odkształcalność (wydłużenie), współczynniki redukcyjne odpowiadające pełzaniu, uszkodzeniom w procesie wbudowywania, odporności biologicznej i chemicznej, maksymalny czas wbudowania, powinny być potwierdzone odpowiednimi deklaracjami ZKP (Zakładowej Kontroli Produkcji) oraz certyfikatami jednostki notyfikowanej.

Dokumenty potwierdzające wymagane parametry powinny być weryfikowane pod względem zgodności z wymaganiami dokumentacji projektowej (szczególnie specyfikacji technicznej). Jeżeli są wymagane raporty z badań, to powinny one stanowić kompletne, czytelne i autentyczne (niektóre jednostki badawcze umożliwiają szybką weryfikację *on-line* autentyczności raportu z badań) opracowania, wykonane lub potwierdzone przez jednostki notyfikowane.

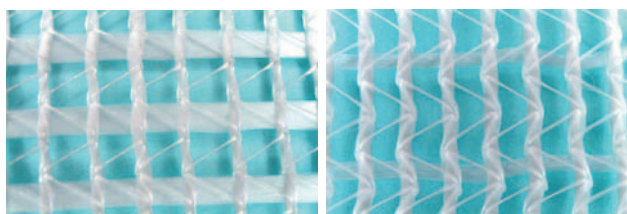
Zakres badań kontrolnych wymaganych w trakcie budowy powinien być określony w dokumentacji projektowej (ST). W przypadku wątpliwości możliwym rozwiązaniem jest wykonanie badań dodatkowych. Badania takie mogą dotyczyć przykładowo współczynnika uwzględniającego uszkodzenia powstające w trakcie wbudowywania konkretnego kruszywa, kiedy przedstawiane wyniki badań do- ▶



Fot. 9. Przędzina deklarowana jako geotkanina (awers i rewers) – powiększenie



Fot. 10. Przędzina deklarowana jako geosiatka



Fot. 11. Przędzina deklarowana jako geosiatka – powiększenie

► tyczą kruszywa o zupełnie innym uziarnieniu, a podawane wartości współczynnika redukcyjnego wynikają z dość swobodnego uśredniania (np. wartość współczynnika dla gruntu drobnoziarnistego jest taka sama lub wyższa od odpowiedniej wartości dla kruszywa gruboziarnistego, o podobnej charakterystyce obtoczenia ziaren).

Istotnym zagadnieniem jest również jakość układania/wbudowywania geosyntetyków na budowie. W ostatnich latach świadomość wykonawców dotycząca tego problemu znacząco wzrosła, co przekłada się na coraz bardziej staranną realizację. W dalszym ciągu jednak nierzadkim zjawiskiem jest nierówne i niestaranne rozkładanie geosyntetyków, poruszanie się pojazdami bezpośrednio po nich, ich niszczenie – czasami znaczne – w trakcie układania czy niewłaściwe przechowywanie na budowie. Z zagadnieniem wbudowania wiąże się również maksymalny czas od rozpakowania geosyntetyku na budowie do wbudowania i przykrycia gruntem. Czas ten powinien być określony przez producenta w dokumentach. Zdarza się, że czas ten podany w certyfikacie czy dokumencie ZKP wynosi 24 godziny, co ze względów praktycznych jest zwykle niemożliwe do spełnienia. W takiej sytuacji możliwym rozwiązaniem jest zwiększenie wartości współczynnika redukcyjnego przy określaniu wartości wytrzymałości długoterminowej na rozciąganie.

W celu poprawnej identyfikacji wyrobów geosyntetycznych w 2016 roku Polskie Stowarzyszenie Geosyntetyczne (PSG-IGS) opracowało wytyczne do oceny zgodności geosyntetyków stosowanych w budownictwie infrastrukturalnym [10]. Zawierają one opis procedur wymaganych do zatwierdzenia i kontroli zgodności wyrobów z wymaganiami specyfikacji przez poszczególnych uczestników procesu inwestycyjnego; przypisują im zakres czynności niezbędnych w celu poprawnej oceny oraz podają minimalne wymogi, jakie muszą być przedmiotem kontroli. Wytyczne nie ograniczają kontroli ani nie zastępują możliwości jej rozszerzenia.

W wytycznych [10] podano:

- jakie dokumenty geosyntetyków Wykonawca powinien przedstawić do zatwierdzenia przed ich zakupem,
- omówienie sprawdzenia zgodności na etapie dostawy geosyntetyków (dokumenty na etapie dostawy, kontrola własna z ramienia Wykonawcy),
- zewnętrzne badania zgodności z ramienia Zamawiającego (procedura, koszty),
- ocenę wyników badań (Partię wyrobu dopuszcza się do zabudowania tylko wówczas, gdy wyniki badania wszystkich próbek pobranych z danej partii są pozytywne. Jeżeli przynajmniej jedna z pobranych próbek laboratoryjnych jest niezgodna z deklarowanymi właściwościami, całą partię wyrobu należy wstrzymać do wyjaśnienia).

W Załącznikach do wytycznych [10] zestawiono:

- zalecane procedury i zakres badań własnych Wykonawcy,
- zalecany zakres badań zgodności geosyntetyków w zależności od funkcji.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule wybrane zagadnienia dotyczą dużych inwestycji, w których skala zastosowań geosyntetyków jest bardzo znacząca. Oczywisty cel ekonomiczny, jakim jest obniżenie kosztów materiałów i robocizny dotyczących geosyntetyków, nie powinien przesłaniać celu nadrzędnego, który stanowi prawidłowe, bezpieczne i trwałe wykonanie budowli. Wydaje się konieczne znalezienie rozwiązania optymalnego łączącego oba te cele.

Przedstawione w artykule wybrane zagadnienia powinny ułatwić lepsze zrozumienie występujących problemów i podejmowanie bardziej optymalnych decyzji. Przedstawione fotografie geosyntetyków stanowią jedynie przykładową ilustrację i nie należy wiązać ich z konkretnymi producentami. Nie jest również celem artykułu dyskredytowanie jakiegokolwiek materiału geosyntetycznego, a jedynie zwiększenie czytelności i przejrzystości w doborze geosyntetyków na budowie. □

Piśmiennictwo

1. BS 8006:2010 Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.
2. Duszyńska A.: *Co warto wiedzieć o geosyntetykach*. „Inżynieria Morska i Geotechnika”, 2/2010.
3. Duszyńska A.: *Wykorzystanie badań geotekstyliów w projektowaniu budowli ziemnych*. „Inżynieria Morska i Geotechnika”, 4/2012.
4. Duszyńska A., Sikora Z.: *Dobór wyrobów geosyntetycznych do zbrojenia gruntu*. „Inżynieria Morska i Geotechnika”, 5/2014.
5. *Recommendations for Design and Analysis of Earth Structures Using Geosynthetic Reinforcements*. EBGeo, 2011.
6. PD ISO/TR 20432: 2007 Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement.
7. PN-EN-ISO 10318-1:2015 Geosyntetyki. Część 1: Terminy i definicje.
8. PN-EN-ISO 13431:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne. Wyznaczanie pełzania podczas rozciągania i zniszczenia przy pełzaniu.
9. PN-EN-ISO 10722:2009 Geosyntetyki. Procedura badania wskaźnikowego do oceny uszkodzenia mechanicznego pod wpływem obciążeń poratarzalnych. Uszkodzenie spowodowane materiałem ziarnistym.
10. Wytyczne do oceny zgodności geosyntetyków stosowanych w budownictwie infrastrukturalnym. PSG-IGS, 2016 (online: <http://psg-igs.pl/wp-content/uploads/2016/09/wytyczne1.pdf>).
11. Szalkowski Z.: *Technologia włókien*. Warszawa 1971.
12. Wysokiński L., Kotlicki W.: *Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami*. Seria Instrukcje, Wytyczne, Poradniki ITB, nr 429/2007.