

# AUTOSTRADY

mgr inż. Jacek Ajdukiewicz

## Projektowanie z geosyntetykami

– możliwe zagrożenia dla projektantów – cz. I

Publikacja zawiera zarówno omówienie podstawowych zasad obliczania parametrów wytrzymałościowych geosyntetyków przewidzianych do zabudowy w konstrukcjach z gruntów zbrojonych, jak i typowe błędy w projektowaniu, zakupach i aplikacjach tych wyrobów.

Jednym z podstawowych problemów we wprowadzaniu GEOSYNTETYKÓW – GEOSIATEK I GEOTKANIN – do procesu projektowania [1] i do następującej po nim fizycznej realizacji ich aplikacji (pracujących w wyniku tego przez okres wielu dziesiątków lat w reżimie wytrzymałościowym) jest dość powszechne niezrozumienie faktu, iż po ich zabudowaniu w dany obiekt oraz po poddaniu obciążeniu statycznemu (a bardzo często i dynamicznemu) wyroby te PRACUJĄ i podlegają bez przerwy oddziaływaniu tych obciążeń. Powstającą sytuację można zatem porównać np. do pracy liny stalowej, podtrzymującej konstrukcję inżynierską.

Stosunkowo duża liczba osób, z którymi mam okazję spotykać się i rozmawiać na temat geosyntetyków, nie odróżnia pojęć wytrzymałości indeksowej (normatywnej, chwilowej, doraźnej – badanej i określanej

w momencie produkcji danego wyrobu geosyntetycznego) i wytrzymałości długoterminowej, jak też znaczenia parametrów wydłużenia (moduł sztywności na rozciąganie w zależności od charakteru i historii obciążenia) przy zerwaniu pasma geosyntetyku na trwałość i foremność konstrukcji obiektu, np. komunikacyjnego. Tę doraźną, inaczej chwilową, wytrzymałość na zrywanie określa się jako UTS (*Ultimate Tensile Strength*) i jako taka wartość ta definiuje jedynie wytrzymałość (poziom ufności 95%) na zerwanie pasma o szerokości 20 cm ciągniętego z prędkością wydłużenia 20%/min (PN-EN ISO 10319), lecz w żaden sposób nie świadczy o tzw. długookresowej wytrzymałości na poddanie pasma geosyntetyku stałemu obciążeniu – np.: w podstawie nasypu – przeciwko jego rozpełzywaniu się; nad palami, względnie kolumnami – na oddziaływanie masy nasypu i zarówno statycznych, jak i dynamicznych składowych obciążenia nawierzchni na nasypie ruchem drogowym etc., etc.

A zatem – nie jest ona (UTS) miernikiem zmian reologicznych, zachodzących na ogół przez wiele dziesiątków lat w materiale konstrukcyjnym, z których wykonany został zastosowany w danym projekcie geosyntetyk.

Dla zobrazowania zainteresowanym znaczenia właściwego doboru materiałów geosyntetycznych do zaprojektowania konstrukcji inżynierskiej (a takimi konstrukcjami są wszelkiego typu wzmocnienia poziome pod podbudowami i nasypami, jak również konstrukcje z tzw. gruntów zbrojonych) – proponuję zapoznanie się z zamieszczonymi poniżej kilkoma rysunkami.

Dwutysięczny czwarty rok to czas dużych zmian związanych z naszą akcesją do Unii Europejskiej. Zmiany te powoli zaczynają być również w sferze inwestycji drogowych. Dotyczy to zarówno sposobu przeprowadzania przetargów, jak i samej realizacji inwestycji. Procedury przetargowe związane z inwestycjami współfinansowanymi przez UE i Bank Światowy wymuszają jakość, jednakże w pozostałych przypadkach bywa różnie. O jakości wykonywanych robót pisaliśmy już sporo na łamach „Magazynu Autostrady” i – jak sądzimy – temat ten szybko się nie wyczerpie.

Powodzenie całego procesu inwestycyjnego zależy, podobnie jak w przypadku samych dróg, od jakości jego najsłabszego ogniwa. Błędy mogą zostać popełnione praktycznie na każdym etapie realizacji – począwszy od projektu, który może opierać się na niedostatecznie sprawdzonych i niepełnych badaniach lub – co gorsza – może zawierać usterki wynikające z fałszywie pojętej oszczędności.

Z względu na nasze inklinacje do popadania w tzw. „zespół lekarza specjalisty” zwykle diagnoza danej choroby oscyluje wokół reprezentowanej specjalizacji (u kardiologa najczęściej dowiadujemy się, że mamy chore serce, choć przyczyna może tkwić zupełnie gdzie indziej). Dlatego też realizacja tak skomplikowanego obiektu, jakim jest droga, pracująca często przez cały swój żywot pod ogromnymi obciążeniami, wymaga interdyscyplinarnej wiedzy popartej dużym doświadczeniem. Zachowując właściwy dystans wobec różnych opinii, postanowiliśmy zająć stanowisko, które stoi na straży kanonów inżynierii drogowej. Wiedza ta – odpowiednio wykorzystana, uzupełniana o najnowsze badania i technologie – powoduje, że efekty pracy wielu specjalistów w połączeniu z solidnym wykonawstwem opierają się skutecznie zębowi czasu.

Oto jeden z głosów – poparty ogromnym doświadczeniem – w sprawie poprawy jakości wykonania obiektów drogowych. Zapraszamy do dyskusji.

(Red.)



Rys. 1. Wydłużenie przy pełzaniu np. geosyntetyków, w zależności od użytych do ich produkcji polimerów. [2]

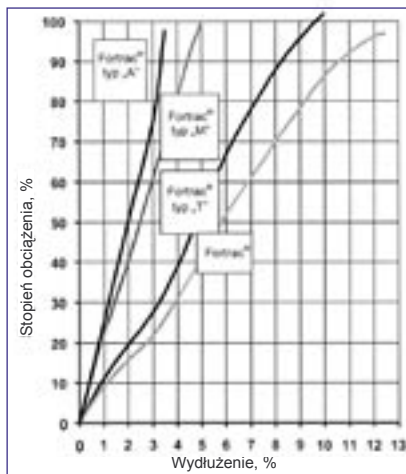
Rysunek 1 przedstawia sposób zachowania się poszczególnych polimerów, stosowanych do produkcji/konstrukcji wytrzymałościowych geosyntetyków (geosiatek i/lub geotkanin) w układzie współrzędnych: wielkość bezwzględnego wydłużenia (%) v/v czas (w naniesionej skali logarytmicznej) dla danego stopnia wytrzymałości UTS. Na uwagę zasługuje zarówno zróżnicowana wielkość wydłużenia dla poszczególnych przedstawionych na tym wykresie polimerów, jak też, co w praktyce inżynierskiej jest niezmiernie ważne – fakt nadmiernego „płynięcia” wyrobów wytrzymałościowych, wykonanych z surowców takich, jak: polipropylen (PP) oraz polietylen o wysokiej gęstości (HDPE) już dla stopnia wykorzystania na poziomie 30-36%! Proszę zauważyć, że polimery takie, jak: PA, PET, PVA czy Aramid, wykazują bardzo małe pełzanie, pomimo dwa razy większego stopnia wykorzystania zbrojenia (50-67%).

Zatem, w odniesieniu np. do konstrukcji oporowych i nasypów zbrojonych, szczególnie na podłożach słabonośnych, należałoby wyroby wykonane z PP i PEHD wykluczać.

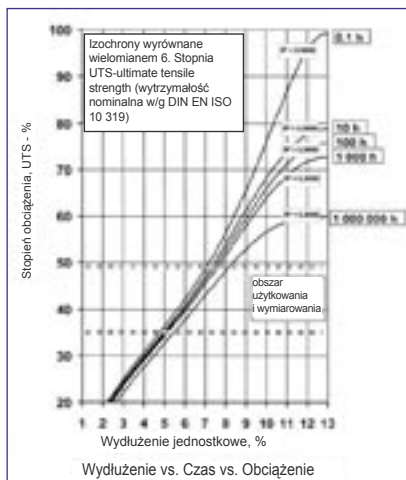
Rysunek 2 obrazuje zachowanie się GEOSIATEK KWALIFIKOWANYCH typu FORTRAC®, lecz ich odmian wyprodukowanych z różnych polimerów i w dodatku z zastosowaniem określonych, patentowanych sposobów tworzenia (komponowania) w procesie produkcyjnym zarówno pasm włókien, jak i wzajemnych wiązań i spleceń tych pasm ze sobą. W sposób wyraźny i przekonywujący wynika z niego, w jaki sposób konstruktor obiektu inżynierskiego może zapewnić, obliczyć i dobrać właściwy wyrób geosyntetyczny do uzyskania zamierzonego efektu, np. ograniczonej do 3, 4 czy też maks. 5% wielkości rozpełzania się np. nasypu w okresie jego faktycznej eksploatacji – 50, 60, 100 czy nawet 120 lat.

UWAGA: Podane obok symboli poszczególnych surowców wartości w nawiasach oznaczają stopień wykorzystania wytrzymałości w stosunku do wyjściowej wartości UTS [%], gdzie, z ang.: UTS (*Ultimate Tensile Strength*) – oznacza doraźną wytrzymałość na zerwanie bezpośrednio po zakończeniu procesu produkcyjnego. Rysunek 3 przedstawia charakterystykę jednego tylko typu siatek i przebieg krzywych wydłużenia w czasie pod stałym obciążeniem dla różnych czasów oddziaływania obciążenia. Wykres ten jest – w przypadku jego dostarczenia przez producentów – dowodem na rzeczywiste parametry danego, konkretnego wyrobu geosyntetycznego.

Rysunki 4.1 i 4.2 (s. 3, 4) przedstawiają wielkości graniczne rozpełzania się nasypu o szerokości początkowej (w stanie budowlanym) każdorazowo 50 metrów w momencie zerwania się geosyntetycznego wzmocnienia podstawy nasypu, następującego w przypadku błędnego wyznaczenia wytrzymałości wieloletniej poddawania reżimowi wytrzymałościowemu geosyntetyku, tj. takiego, dla którego np. projektant popełnił pomyłkę



Rys. 2. Wykres relacji: siła rozciągania – wydłużenie, dla czterech gatunków geosiatek FORTRAC®. (PN ISO 10319) FORTRAC – z PES wysokiej jakości; FORTRAC T – z PES wysokomodulowego; FORTRAC M – z PVA (poliwinylalkohol); FORTRAC A – z Aramidu.



Rys. 3. Izochrony: wydłużenie vs. czas vs. obciążenie, dla geosiatek FORTRAC® z PET (PES) ustalone w wyniku szczegółowych, wieloletnich badań certyfikacyjnych upoważnionych do tego typu badań laboratoriach europejskich (BBA – Wielka Brytania) i amerykańskich. Zaznaczono obszar, w obrębie którego są stosowane w konstrukcjach inżynierskich.

i utożsamili wytrzymałość nominalną (UTS) z wytrzymałością długoterminową (*Long Term Strength* – LTS), np. po pewnym okresie eksploatacji, wynikającym z rysunku 1. Prawa strona rysunku (rys. 4.1) odnosi się do wyrobów geosyntetycznych, zobrazowanych na rys. 2; lewa zaś pokazuje zachowanie się innych, występujących na terenie naszego kraju wyrobów geosyntetycznych o charakterze geosiatek. Należy mieć nadzieję, że projektanci zechcą wyciągnąć z zawartości tych rysunków stosowne wnioski.

Zobrazowany na opisanych czterech rysunkach problem można zaliczyć do grupy tzw. problemów pierwszorzędnych.

Mamy bowiem w chwili obecnej do czynienia z jednej strony z bardzo populistycznym hasłem: „Musimy oszczędzać, mamy mało pieniędzy na budowę szlaków drogowych (kolejowych) – należy więc stosować najtańsze technologie, materiały i rozwiązania konstrukcyjne”; z drugiej zaś lawinowo rosną potrzeby w zakresie remontów dróg i linii kolejowych. Co gorsze – rosną też koszty napraw i remontów, szczególnie w odniesieniu do dopiero co zakończonych inwestycji drogowych, parkingów, obiektów

handlowych i innych tego typu obiektów, gdzie zastosowano tanie i NIEKWALIFIKOWANE wyroby geosyntetyczne. To samo odnosi się do „taniach” napraw, które tą metodą generują następne naprawy.

Jest to więc i dla projektanta dylemat!

Jak więc, w sposób prawidłowy, powinien postępować projektant w doborze zbrojenia geosyntetycznego?

W każdym projekcie, przewidującym zastosowanie geosiatek (wzgl. geotkanin) jako zbrojenia, oblicza się tzw. wartość dopuszczalną wytrzymałości długoterminowej geosyntetyku –  $F_d$ . Wartość tę ustala się metodą kolejnych przybliżeń, tak aby ogólny współczynnik stateczności konstrukcji na poślizg w gruncie lub w części zbrojonej spełniał następujący warunek:  $\eta_p \geq 1,50$  (wg polskiego prawa budowlanego), zaś w przypadku stosowania norm np. niemieckich [3]; [4]; [9]:  $\eta_n \geq 1,40$  w odniesieniu do: stanu podstawowego obciążenia i dla prognozy dla całego okresu sprawności technicznej budowanego obiektu – np. przez 60, 80, 100 czy też 120 lat.

Ponieważ brak Polskiej Normy dla obliczania konstrukcji z gruntów zbrojonych geosyntetykami, [9] zezwala się na stosowanie zasad niemieckich, względnie brytyjskich [8]. W niniejszym opracowaniu przedstawiono zasady postępowania według norm i standardów niemieckich.

Zbiórny rysunek budowli z zaznaczeniem najniebezpieczniejszego miejsca przebiegu kołowej płaszczyzny poślizgu oraz podaniem dla tej właśnie płaszczyzny wielkości OBLICZENEGO OGÓLNEGO WSPÓŁCZYNNIKA STATECZNOŚCI pokazano na rys. 5 (s. 4).

Podstawowym wzorem do określenia wytrzymałości długoterminowej wyrobu geosyntetycznego, względnie konstrukcji z kilku materiałów geosyntetycznych pracujących pod stałym obciążeniem konstrukcji budowli, np. komunikacyjnej, i ze strony ruchu np. drogowego, jest wzór:

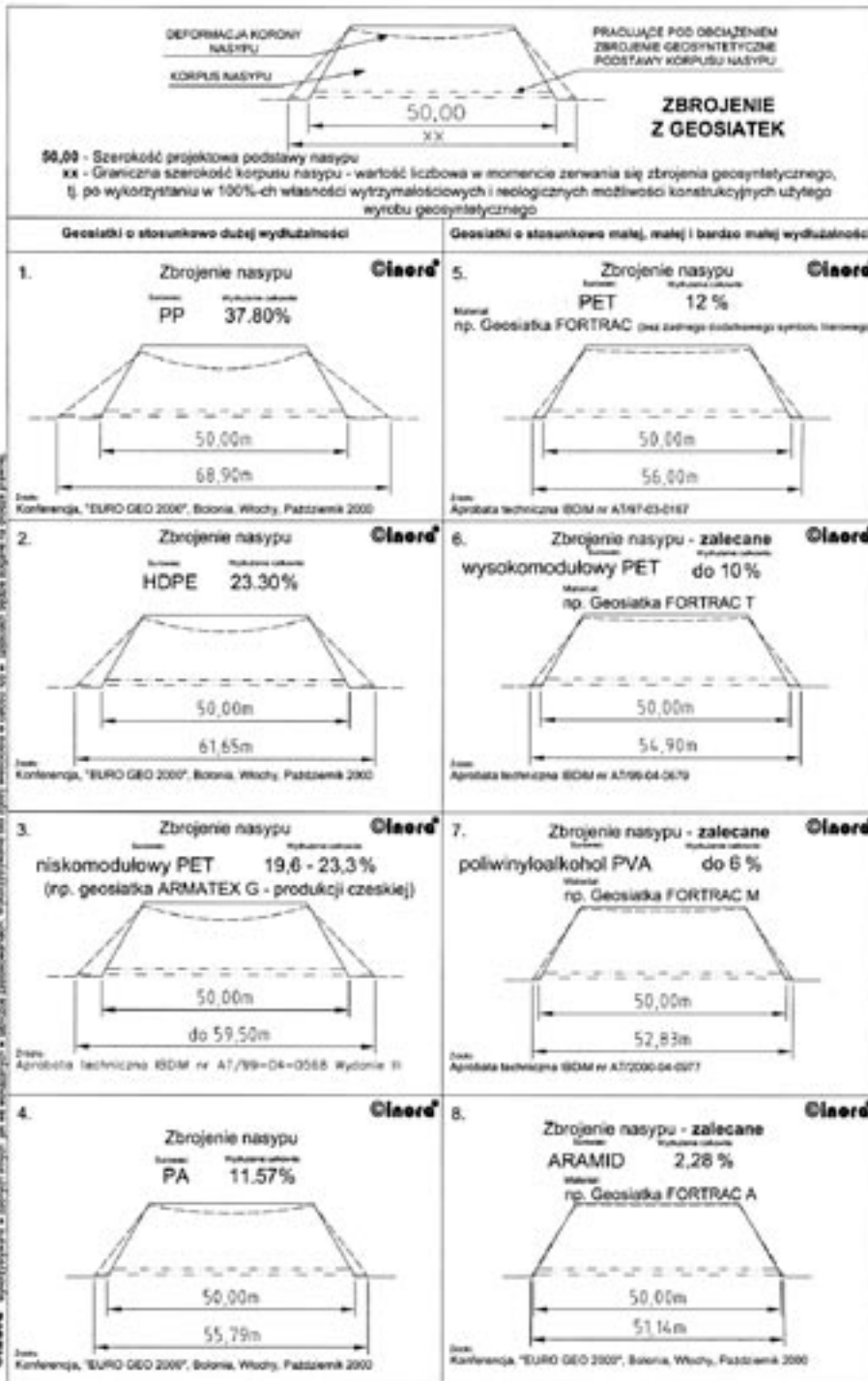
$$F_d = \frac{F_k}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6 \cdot \gamma} \quad [1]$$

gdzie:

$F_k$  – doraźna wytrzymałość na rozciąganie, ustalona w badaniu PN-EN ISO 10 319 dla poziomu ufności 95% [te wartości podawane są przez producentów w Aprobatkach Technicznych IBDiM i ITB w pozycji „Wytrzymałość na rozciąganie” i muszą być traktowane jedynie jako parametr bazowy, zaopatrzeniowy (kontrolny)]. W obliczeniach statycznych stanowią one wyłącznie bazę wyjściową, w oparciu o którą ustala się wytrzymałości długoterminowe – poprzez ich redukcję przy pomocy tzw. „współczynników materiałowych”. Są nimi:

$A_1$  – materiałowy współczynnik pełzania, określany indywidualnie dla danego konkretnego produktu, typu i odmiany – ustalany w oparciu o PN-EN ISO 13431.





Rys. 4.1. Odształcenia w momencie zerwania zbrojenia stopy nasypu, jakie mogą wystąpić w nasypach z gruntów zbrojonych NIEKWALIFIKOWANYMI i KWALIFIKOWANYMI geosiatkami wykonanymi z różnych polimerów i w różnych technologiach, dostępnymi na polskim rynku.

Żadna Aprobata Techniczna wydana przez IBDiM lub ITB nie definiuje wartości  $A_1$ . Wartość tego współczynnika zależy od rodzaju polimeru i stosowanego procesu produkcji. O ile producent nie przedłoży wiarygodnego protokołu z takich badań, i to z badań w czasie co najmniej 10.000 godzin lub z ustaleń dokonanych metodą SIM, należy przyjmować wg EBGeo - 1997 [3] następujące wartości współczynnika materiałowego  $A_1$ :

- polipropylen i polietylen wysokiej gęstości:  $A_1 = 5,0$ ;
- poliamid i poliester:  $A_1 = 2,5$ .

Podkreślić należy, że dla przewidywanej pracy zbrojenia geosyntetycznego pod obciążeniem ze strony obiektu budowlanego przez okres dłuższy, jak 20 lat (tj. 25, 40, 60, 80, 100 czy też 120 lat [np. autostrady]) nie wolno ekstrapolować wartości współczynników materiałowych  $A_1$ , jeżeli nie zostanie zachowana pełna procedura postępowania, przewidziana normą PN-EN ISO 13431 „Geotekstylii i wyroby pokrewne. Wyznaczanie pełzania podczas rozciągania i zniszczenia przy pełzaniu”, w ramach której to procedury musi być wykonany szereg

(minimum cztery serie) pomiarów wytrzymałości na rozciąganie dla czasu faktycznego rozciągania 10.000 godzin (417 dob obciążenia).

Podawane przez niektórych producentów ekstrapolacje wyników dla badań wykonanych po np. 8 czy nawet 1.000 godzin nie upoważniają do dokonywania przez projektanta obliczeń wg wartości  $A_1$  określanych ekstrapolacyjnie z wyników uzyskiwanych po tak krótkich czasach dla takich warunków.

$A_2$  – współczynnik materiałowy uwzględniający uszkodzenia mechaniczne powstałe w trakcie transportu, instalacji geosyntetyki oraz wbudowania materiału zasypowego. Wartość tego współczynnika zależy od indywidualnego charakteru i od typu danego produktu, polimeru, rodzaju kruszywa, materiałów podłoża i materiału nasypowego oraz zastosowanej techniki zagęszczania. Producenci posiadają wyniki badań wskaźnikowych, uzyskane dla danego wyrobu geosyntetycznego i dla różnego rodzaju kruszyw przez odpowiednio do wykonywania takich badań wyspecjalizowane jednostki badawcze. O ile producent nie przedkłada wyników takich badań, należy wg EBGeo-1997 [3] przyjmować do obliczeń następujące wartości  $A_2$ :

- piaski i pospółki: 1,5;
- żwiry i otoczaki: 2,0.

W przypadku zastosowania kruszywa łamanego zaleca się każdorazowo kontrolę przyjętej w obliczeniach statycznych wartości  $A_2$  (na próbkach pobranych po wbudowaniu). Oczywiście i te wartości nie są ujęte dotąd w jakiegokolwiek Aprobacie Technicznej IBDiM czy też ITB.

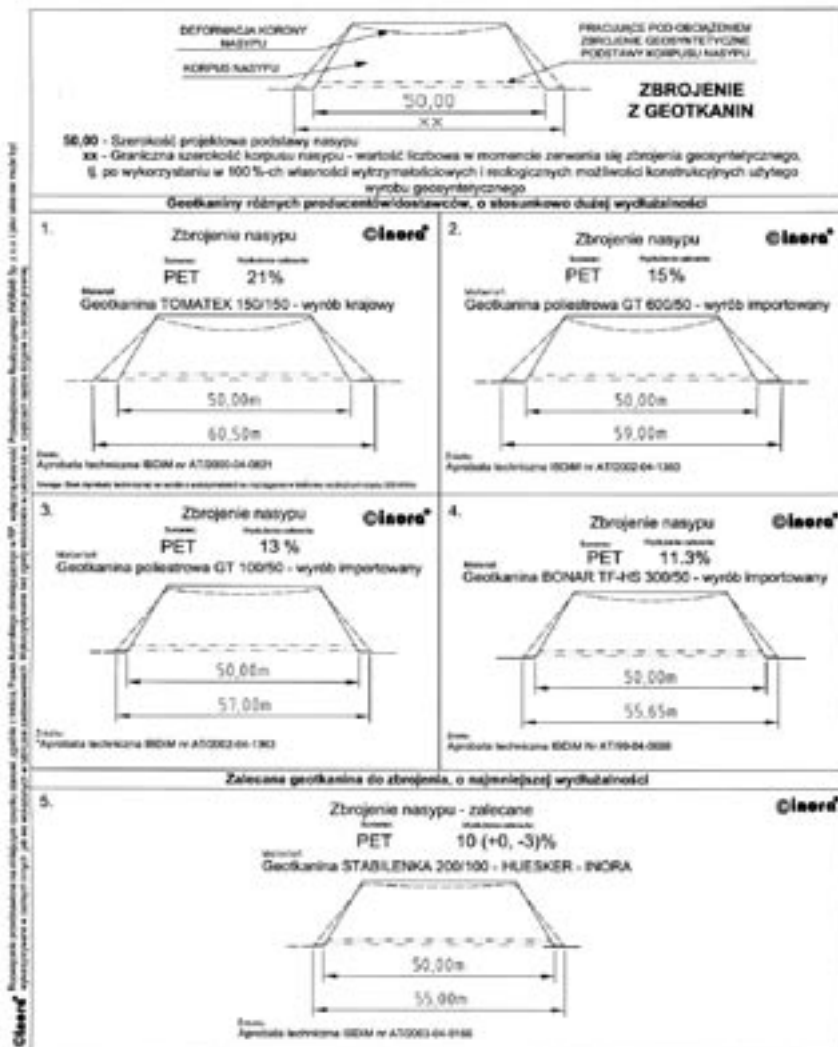
$A_3$  – współczynnik materiałowy, uwzględniający straty na połączeniach (np. poprzez wykonywanie szwów). Na ogół w projekcie nie dopuszcza się wykonawstwa połączeń lub szwów, a zatem przeważnie  $A_3 = 1,0$ . Przy kontroli obliczeniowej projektu zbrojenia geosyntetycznego sprawdza się w uzasadnionych przypadkach, czy zakładka została zwymiarowana tak, że siła rozciągająca na zakładce całkowicie przenoszona jest przez tarcie.

$A_4$  – współczynnik materiałowy, uwzględniający wpływ środowiska gruntowego (chemia + biologia + temperatura). W tym przypadku można wyjść z następujących założeń:

W środowisku gruntowym o  $4 < \text{pH} < 9$  takie polimery (lecz żadne produkty z recyklingu!), jak:

- polipropylen PP,
- poliamid PA,
- poliester PES/PET,
- poliwinylalkohol PVA,
- polietylen PE/HDPE,
- aramid A

wykazują wystarczającą odporność chemiczną i odporność na mikrobiologiczne



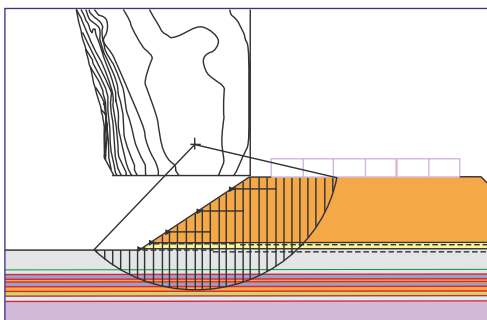
Rys. 4.2. Odształcenia w momencie zerwania zbrojenia stopy nasypu, jakie mogą wystąpić w nasypach z gruntów zbrojonych NIEKWA- LIFIKOWANYMI I KWALIFIKOWANYMI geotekstaniami wykonanymi z różnych polimerów i w różnych technologiach, dostępnymi na polskim rynku.

oddziaływania i grzyby, tak że można stosować wielkości  $A_4 = 1,0 \div 1,05$ . W środowiskach silnie alkalicznych i silnie kwaśnych, a więc poza wymienionym zakresem pH, należy stosować jako surowiec PVA lub dla innych użytych do produkcji surowców przyjmować na podstawie badań odpowiednią wartość  $A_4 > 1,05$ .

$A_5$  – współczynnik materiałowy, uwzględniający wpływ oddziaływań dynamicznych (trzęsienia ziemi, „tąpnięcia” górnicze, dynamiczne oddziaływanie ruchu pojazdów).

$A_6$  – współczynnik materiałowy, uwzględniający specyficzne warunki posadowienia budowli. Za warunki takie można uznać lokalizację obiektów na obszarach aktywnych górniczo, o deformacjach nieciągłych. Wartość tego współczynnika wymaga każdorazowo indywidualnych ustaleń. W chwili obecnej jedynie dla obiektu „Drogi dojazdowe do wiaduktu w ciągu Drogi Wojewódzkiej nr 933 (ul. Pszczyńska) w Jastrzębiu Zdroju” (projekt rozwiązania problemu i rozwiązania inżynierskie wykonało PR INORA Sp. z o.o.), zlokalizowanego na terenie IV kategorii oddziaływań górniczych, gdzie, jak wynika z prowadzonego później monitoringu, 2,5-krotnie został przekroczony parametr V kategorii, dr inż. Kowalczyk z Głównego Instytutu Górnictwa obliczył i ustalił go na poziomie  $A_6 = 1,18$  [14].

$\gamma$  – określa tzw. współczynnik bezpieczeństwa materiałowego. W metodzie naprężeń dopuszczalnych, zwanej też metodą globalnego współczynnika bezpieczeństwa (DIN 4084 [4], [7], [9]) wymaga się przyjmowania go w wysokości  $\gamma = 1,75$ .



Rys. 5. Wprowadzenie do zasad obliczania konstrukcji z gruntów zbrojonych geosyntetykami.

Trzeba pamiętać, że inne są wartości współczynników materiałowych i współczynnika bezpieczeństwa materiałowego „ $\gamma_b$ ” dla obliczeń przeprowadzonych metodą stanów granicznych. Projektant musi konsekwentnie trzymać się jednej wybranej metody i stosować odpowiednie dla niej współczynniki materiałowe i współczynniki bezpieczeństwa. Łączenie tych metod byłoby niedopuszczalnym, bardzo poważnym błędem!!!

### BŁĘDNE I NIEBEZPIECZNE UPROSZCZENIA ZAGADNIENIA

Na samym początku stosowania geosyntetyków w budownictwie obiektów, w połowie lat 80. XX wieku [8], ustalony został bardzo uproszczony sposób określenia wytrzymałości długoterminowej, który w Polsce do dnia dzisiejszego (niestety) występuje nawet w dużych projektach i specyfikacjach w postaci wzoru:

$$Z = \frac{R_r}{1,7} \quad [2]$$

gdzie:

Z – długotrwała wytrzymałość na rozciąganie;

$R_r$  – krótkotrwała wytrzymałość na rozciąganie;

1,7 – współczynnik bezpieczeństwa.

Rozpatrując zagadnienie poprawności sposobu ustalania długoterminowej wytrzymałości, można stwierdzić, że wzór [2] nie obejmuje pełzania, uszkodzeń wyrobu w trakcie transportu, zabudowy etc., wykonawstwa połączeń, jak również oddziaływania chemicznego i biologicznego środowiska, w którym następuje zabudowa. Również sam współczynnik bezpieczeństwa (1,70), co prawda o innym znaczeniu, jak użyty we wzorze [1] (1,75), jest w przypadku wzoru [2] mniejszy liczbowo o 0,05 od współczynnika bezpieczeństwa materiałowego ze wzoru [1]!

Obydwa te wzory dzieli dystans 25 lat badań, wiele awarii, katastrof budowlanych, jednym słowem – okres rozkwitu zagadnienia i wyciągania wniosków z popełnionych błędów!

Jest sprawą oczywistą, że dobrane na podstawie wzoru [2] wyroby geosyntetyczne będą charakteryzowały się nawet kilkakrotnie mniejszą wytrzymałością niż wyliczone według obecnie obowiązujących zasad, a zatem będą niewątpliwie tańsze! Zapłaci wszakże za tę pozorną „taniocę” społeczeństwo, gdyż na ogół już w momencie zabudowy tego typu materiałów będą one zmuszone do „płynięcia” pod wpływem reologii, grożąc następnie wystąpieniem katastrofy budowlanej, niestety – na ogół nie natychmiastowej, lecz zaistniałej po okresie najwyższej kilku lat od momentu zabudowy tak dobranego geosyntetyku.

W interesie społeczeństwa zatem należy tępić tego rodzaju praktyki inżynierskie i nie dopuszczać do dalszej aktywności zawodowej „niedouczonej” projektantów.

Dla zobrazowania rzeczywistych wymagań aktualnego stanu techniki dla materiałów geosyntetycznych pracujących w reżimie wytrzymałościowym na rysunku 6 (str. 5) przedstawiono występowanie rzeczywistych naprężeń w paśmie właściwie obliczonego i dobranego GPwRW, w stosunku do jego wytrzymałości znamionowej (UTS, normatywnej, chwilowej) w czasie od zejścia materiału z linii produkcyjnej aż do fizycznej utraty posiadanych własności wytrzymałościowych.

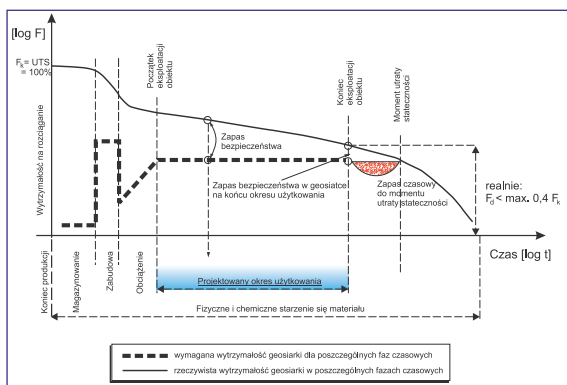
Z wykresu tego wynika, iż na końcu projektowanego okresu użytkowania wytrzymałość długoterminowa materiału geosyntetycznego musi posiadać zapas bezpieczeństwa wynikający m.in. z właściwego przyjęcia wielkości współczynnika bezpieczeństwa materiałowego  $\gamma=1,75$  dla metody globalnego współczynnika stateczności.

### WARTOŚCI OBLICZENIOWE ORAZ ZAGADNIENIE GEOSYNTETYCZNYCH WYROBÓW KWALIFIKOWANYCH I NIEKWALIFIKOWANYCH

Posługując się wzorami [1] i [2] oraz typowymi danymi do konstrukcji wzmocnionej GPwRW, na poniższych przykładach wykazane zostaną zasadnicze różnice pomiędzy systemami obliczeniowymi.

Załóżmy, że z obliczeń siły rozrywającej, działającej na geosyntetyk, wynika konieczność zapewnienia długotrwałej wytrzymałości na działanie siły o wielkości  $F_d = 80,8$  kN/m przez okres: 60 lub 120 lat, że użyty zostanie materiał mineralny w gatunku: niesort 0÷32 mm lub 0÷63 mm oraz że zastosowanym w konstrukcji materiałem geosyntetycznym będzie geotkanina poliestrowa. Zakłada się również, że zarówno grunt podłoża konstrukcji, jak i materiał mineralny użyte w konstrukcji obiektu inżynierskiego, charakteryzują się wskaźnikiem pH w granicach:  $4,0 < \text{pH} < 9,0$ , nie podlegają działaniom dynamicznym ani nie są zlokalizowane na obszarach aktywnych górniczo ( $A_3=1, A_4=1$ ).

Pierwszą branżą w kraju, dla której znalazły zastosowanie normatywne zasady wykonywania obliczeń inżynierskich w oparciu o współczesny stan wiedzy, jest branża



Rys. 6. Własności wytrzymałościowe geosyntetycznego materiału zbrojącego i rzeczywiste ich wykorzystanie w konstrukcji inżynierskiej – w układzie czasowym, wieloletnim.

drogowa, dla której opracowane „Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym”, zgodnie z zarządzeniem nr 8 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 25 lutego 2002 r. weszły w życie z dniem 1 maja 2002 r. [10]. Zasady obliczeń dla innych branż są opracowywane przez Instytut Techniki Budowlanej i zostaną w najbliższym czasie wydane, normalizując tym samym m.in. krajowy system obliczeniowy.

Obliczenia zostaną wykonane dla przypadków:

- I. zastosowania wzoru z podręcznika „Le Manuel Des Geotextiles” [6] z roku 1988 (!!!), wydanego przez SVG, Szwajcaria (wzór [2]);
- II. geotkaniny poliestrowej, co do której producent nie może projektantowi przedstawić dowodnych danych w zakresie współczynników materiałowych lub dane te nie spełniają wymagań normy PN-EN ISO 13431 i innych norm z nią związanych;
- III. geotkaniny poliestrowej, co do której producent (dostawca) przed jej dostawą może projektantowi pełniącemu nadzór autorski, względnie autorowi projektu, przedstawić dowody w formie wyników pełnych badań niezależnej jednostki badawczej, uprawnionej do ustalania wielkości współczynników materiałowych.

Obliczenia:

#### I. Geotkanina nieokreślona – absolutnie błędne podejście projektowe i metoda obliczeń.

Korzystając ze wzoru [2], stosowanego w latach 80. i na początku lat 90. ubiegłego wieku, niezbędną krótkotrwałą wytrzymałość geosyntetyku na rozciąganie wynosiłaby (zapisano oryginalne oznaczenia stosowane przez niektórych polskich projektantów):

$$R_r = Z \cdot 1,7 \quad [\text{kN/m}],$$

co w przypadku przyjętych bezpośrednio założeń dałoby wartość:

$$R_{rW} = 80,8 \cdot 1,7 = 137,36 \quad [\text{kN/m}],$$

#### II. Geotkanina niekwalifikowana – poprawna metoda obliczeń.

Zgodnie ze współcześnie obowiązującymi zasadami i dla przyjętych w założeniach warunków mających wpływ na obliczeniową wielkość wytrzymałości długotrwałej zakładanej geotkaniny – wielkość wytrzymałości krótkotrwałej wyliczona byłaby ze wzoru [1] metodą globalnego współczynnika bezpieczeństwa, po przekształceniu wzoru do formy:

$$F_{kN} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma \cdot F_d$$

i po przyjęciu współczynników dla materiałów nieposiadających miarodajnych wyników badań, w wysokości określonej w „Empfehlungen für Bewehrungen aus Genkuststoffen – EBGeo” [3]:

$A_1 = 2,50$  – dla tkaniny wykonanej z poliestru;

$A_2 = 1,50$  – dla materiału mineralnego (piasek i pospółka);

$A_3 = 1,00$  – zakładając w projekcie, że wszystkie elementy zbrojenia zostaną wykonane z niełączonych ze sobą pasm wyrobu geosyntetycznego;

$A_4$  – ze względu na brak gwarancji co do odporności chemicznej, biologicznej musi być przyjęte w wysokości:

$$A_4 = 1,05$$

Przy obliczeniach wykonywanych metodą globalnego współczynnika bezpieczeństwa współczynnik bezpieczeństwa materiałowego musi wynosić:

$$\gamma = 1,75.$$

Po podstawieniu tych współczynników oraz wymaganej wielkości wytrzymałości długoterminowej  $F_d = 80,8$  kN/m do wzoru [1] – otrzymujemy wartość dla geotkaniny niekwalifikowanej  $F_{kN}$ :

$$F_{kN} = 2,50 \cdot 1,50 \cdot 1,00 \cdot 1,05 \cdot 1,75 \cdot 80,8 = 556,76 \quad [\text{kN/m}]$$

#### III. Geotkanina kwalifikowana – poprawna metoda obliczeń.

Posługując się konkretnymi wynikami badań i współczynnikami ustalonymi przez niezależne uprawnione laboratorium badawcze dla wyrobu kwalifikowanego, a zatem posiadającego wszystkie badania wykonane zgodnie z obowiązującymi normami, można określić, że dla tego przypadku współczynniki materiałowe przedstawiać się będą następująco (przyjęto dane z konkretnych protokołów badawczych dla konkretnego typu geotkaniny poliestrowej produkowanej w Europie):

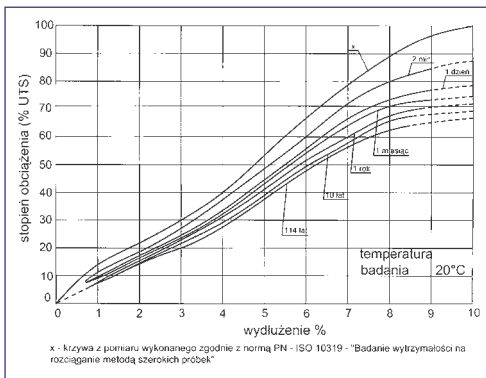
$A_1$  – dla okresu eksploatacji obiektu 60 lat dla tej konkretnej geotkaniny współczynnik ten ma wartość:  $A_{1;60} = 1,50$ , zaś dla okresu 120 lat:  $A_{1;120} = 1,52$ ,

$A_2$  – dla współpracującego z tą geotkaniną materiału mineralnego o uziarnieniu 0÷63 mm, nakładanego na geosyntetyk:  $A_2 = 1,35$ , a dla materiału mineralnego o uziarnieniu mniejszym, 0÷32 mm:  $A_2 = 1,25$ ,

$A_4$  – przyjęto wartość średnią pomiędzy 1,00 a 1,05 – ze względu na niepewność, czy środowisko bakteryjne na terenie Polski jest identyczne, jak środowisko bakteryjne występujące w trakcie badań przeprowadzonych w Europie Zachodniej, dla którego udowodniono  $A_4 = 1,01$ .

Przyjęto:  $A_4 = 1,03$  stąd wytrzymałość krótkotrwałą (indeksowa, znamionowa, UTS etc.) jednego z najlepszych w Europie materiałów geosyntetycznych wyniesie:





Rys. 7. Izochrony dla GEOTKANINY KWALIFIKOWANEJ, o wysokiej jakości i wytrzymałości nominalnej (indeksowej, znamionowej, UTS) na poziomie 100-1000 kN/m!

- dla okresu eksploatacji 120 lat i zastosowania materiału mineralnego 0÷63 mm

$$F_{KK1} = 1,52 \cdot 1,35 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 1,75 \cdot 80,8 = 276,72 \text{ [kN/m]}$$

- dla przypadku drugiego – żywotność 60 lat i materiał mineralny 0÷32 mm

$$F_{KK2} = 1,50 \cdot 1,25 \cdot 1,00 \cdot 1,03 \cdot 1,75 \cdot 80,8 = 273,08 \text{ [kN/m]}$$

#### IV. Dyskusja otrzymanych wyników:

1. Zakładając, że wszechstronnie przebadany wyrób o jakości o światowej jest odpowiednim dla długoterminowego przeniesienia siły 80,8 kN/m, można stwierdzić, że wytrzymałość krótkotrwałą (UTS) wyrobu niekwalifikowanego, obliczona zgodnie z obecnie obowiązującymi zasadami, musiałaby być ponad dwukrotnie wyższa, aby materiał ten mógł być zamiennikiem wyrobu z przykładu III.

2. Wytrzymałość krótkotrwałą  $R_{mW}$ , obliczona wg przestarzałych zasad wykonywania obliczeń inżynierskich jest wyraźnie zbyt niska, stanowi jedynie 49,64% wytrzymałości UTS najlepszego, teoretycznie dostępnego w chwili obecnej na krajowym rynku, materiału, a zatem przyjęcie przez projektanta tej metody obliczeniowej może doprowadzić do wygenerowania już na etapie projektu groźby katastrofy, a co najmniej awarii budowlanej (wygenerowana „pseudooszczędność” niezbędnej do zastosowania wytrzymałości materiału sięga ca. 50%!).

3. Wyrażenie przez projektanta zgody na użycie jako materiału, o którym mowa w przykładzie I, w miejsce materiału kwalifikowanego z przykładu III – materiału niekwalifikowanego z przykładu II – byłoby również niebezpieczne, gdyż można być niemal pewnym, że projektant ów najprawdopodobniej zastosowałby w miejsce geotkaniny o nominalnym UTS 600 kN/m niekwalifikowaną geotkaninę, lecz o nominalnym UTS jedynie 150 kN/m. I to właśnie jest największym niebezpieczeństwem!!!

Z ubolewaniem autor niniejszego opracowania stwierdza, że tą drogą obliczeniową, tj. obliczeń nie uwzględniających współczynników materiałowych posłużono się dotychczas w trakcie projektowania szeregu budowanych uprzednio i obecnie obiektów drogowych, jak również obiektów autostradowych, w postaci pseudogeosyntetycznych wzmocnień podnasykowych i podnajezdowych. Występujące

deformacje nawierzchni drogowych na tych obiektach, nieoczekiwane przez inwestorów osiadania nasypów i „rozplywania” się podstaw nasypów – są jedynie konsekwencją zaaprobowania przez tych inwestorów przestarzałego stanu wiedzy projektantów tych obiektów, tolerowania zamian wyrobów kwalifikowanych na niekwalifikowane w stosunku 1:1 i dążenia przez wykonawców za wszelką cenę do jak najtańszych w realizacji aplikacji geosyntetycznych.

#### ZOBRAZOWANIE ISTOTY PRACY GPWRW

Zamieszczony na rysunku 7 wykres zachowania się WYSOKOKWALIFIKOWANEGO geosyntetyku – geotkaniny z PET, jak też wysokokwalifikowanych geosiatek oddają całą istotę zagadnienia i wyjaśniają, dlaczego materiały, dla których producenci/dostawcy nie chcą przedstawić podobnych wykresów nie mogą być traktowane identycznie jak materiały, dla których producenci/dostawcy takie wykresy posiadają i przedstawiają. □

*W następnym numerze zaprezentujemy ciąg dalszy artykułu, a w nim m.in.: inne, popełniane w procesie projektowania błędy w odniesieniu do pracujących w reżimie wytrzymałościowym materiałów geosyntetycznych, GPWRW a „Specyfikacje Projektowe” oraz przykładową prawidłową specyfikację projektową GPWRW. Zamieścimy także wykaz pozycji bibliograficznych.*

mgr inż. Jacek Ajdukiewicz

# Projektowanie z geosyntetykami

– możliwe zagrożenia dla projektantów – cz. II  
Inne, popełniane w procesie projektowania błędy w odniesieniu do pracujących w reżimie wytrzymałościowym materiałów geosyntetycznych

Przejawiająca się w wielu opracowaniach amatorszczyzna i brak rzeczywistej i rzetelnej wiedzy z dziedziny geosyntetyków osób uważających się za projektantów prowadzi do tak wielu błędów, że nawet nie sposób ich wszystkich wyliczyć. Dlatego też w niniejszym opracowaniu omówione zostaną tylko niektóre, ważniejsze z nich.

#### Błąd 1

Stosowanie UTS równoważnego wielkościowo sile długoterminowej  $F_d$  oddziałującej na

dany geosyntetyk przez wiele lat jako wymiaru wielkości wytrzymałościowej Geosyntetyków Pracujących w Reżimie Wytrzymałościowym (GPWRW) w ogóle bez żadnych współczynników – czy to materiałowych, czy też bezpieczeństwa materiałowego.

#### Błąd 2

Przedstawiony poprzednio w przykładach obliczeniowych, a polegający na nieznanomości procesów reologicznych, różnic: materiałowych, produkcyjnych, w splotach i w pozo-

stałych niuansach wytwarzania jakościowych materiałów geosyntetycznych.

#### Błąd 3

Zakładanie, że w konstrukcjach inżynierskich nałożenie na siebie bezpośrednio kilku warstw geosyntetycznych wywołuje zsumowanie się ich wytrzymałości jednostkowych.

#### Omówienie

Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich pełnią wówczas funkcję zbrojenia, jeżeli siły tarcia pomiędzy materiałem mineralnym a geosyntetycznym są wystarczające do szepienia tych warstw. Innym zobrazowaniem tych różnic jest chociażby pokazana w przykładzie III (str. 5) różnica wartości liczbowej współczynnika „ $A_2$ ” dla tego samego materiału geosyntetycznego, a różnych materiałów mineralnych.

Siły tarcia występujące między dwoma geosyntetykami na powierzchni ich przylegania są zależne od stopnia ich szorstkości i nie przekraczają dla wyrobów typu „geotkaniny” (0,7-0,8)  $tg\phi$ , zaś nakładając na siebie 2,3 lub więcej warstw geosyntetyków pod powodującym powstawanie siły rozporu

powodującym powstawanie siły rozporu nasypem (fundamentem), może okazać się, że powierzchnia styku geosyntetyków zamieni się w płaszczyznę poziomego poślizgu i taki błąd projektowy będzie powodem katastrofy budowlanej. Żelazną zasadą jest współpraca obu płaszczyzn: dolnej i górnej geosyntetyku z odpowiednio dobranym materiałem mineralnym.

A zatem nie wolno, posługując się zaprezentowanym powyżej przykładem, zastąpić jednej geotkaniny o wytrzymałości znamionowej (UTS) 300 kN/m dwoma, położonymi na siebie bezpośrednio, geotkaninami 150 kN/m każda. W takim wypadku musi między dwoma warstwami zostać ułożony materiał mineralny! A zatem błędem jest bezkrytyczne układanie jednej geotkaniny na drugą i to bez znaczenia, czy obie wzdłuż osi, naprzemiennie czy przeplatane (identycznie: geowłókniny na geowłókninę etc.).

Notabene, rozpowszechniany jest w kraju opracowany krajowy program komputerowy, w którym doradza się i zakłada, że jeżeli do koniecznej wytrzymałości na zerwanie zabraknie kilkudziesięciu/kilkuset kiloniu-tonów, to należy wzmocnić zasadniczy geosyntetyk przez podłożenie pod niego kilku lub nawet kilkunastu warstw geowłóknin igłowanych, nietkanych!!!

#### Błąd 4

W szeregu amatorskich projektów można spotkać rozwiązania z przeplatanymi ze sobą geosyntetykami dla uzyskania rzekomo jednokierunkowej dwukierunkowej wytrzymałości.

Po pierwsze, niemożliwe jest wówczas zakładanie skrajów poszczególnych pasów na siebie, koniecznych dla uzyskania monolitycznych zbrojeń.

Po drugie, przy aktualnie produkowanych szerokościach geosyntetyków rzędu 5,0-6,0 m i więcej w praktyce jest to właściwie niemożliwe do jakościowego wykonania.

Po trzecie, przy współcześnie dostępnych wytrzymałościach geosyntetyków od 10 do 2000 kN/m posługiwanie się tego typu rozwiązaniami jest co najmniej śmieszne, a już w ogóle nieuzasadnione z ekonomicznego punktu widzenia.

Po czwarte, wzmocnienia dwukierunkowe w przypadku zbrojeń o UTS rzędu 200 kN/m i większych uzasadnione są jedynie dla dużych powierzchni nad nienośnymi gruntami. Stosuje się wówczas rozdzielnie ułożone pasma geosyntetyków ułożonych prostopadle do siebie, lecz oddzielone warstwą materiału mineralnego – nie sumując jednak wytrzymałości wzdłużnej jednego materiału z wytrzymałością w poprzek materiału drugiego!

W obiektach liniowych natomiast (nasypy, wykopy, podbudowy obiektów komunikacyjnych) zasadniczymi siłami mającymi wpływ na zbrojenie geosyntetyczne są te działające prostopadle do osi podłużnej obiektu liniowego. Siły działające równoległe do osi według normatywów wysoko rozwiniętych krajów określane są w wysokości 20% (Niemcy), względnie 25% (USA) wytrzymałości materiałów w kierunku głównym (prostopadłym do osi budowlanej liniowej).

Generalnie rzecz biorąc, technologia przeplatania pojawiła się w drugiej połowie lat osiemdziesiątych dla wąskich pasm lub szczególnych przypadków (zbrojenia nad zapadliskami) i została zaniechana z powodów m.in. omówionych powyżej. Stosowanie tego typu rozwiązań w Polsce w XXI w. ośmiesza nas w oczach zagranicznych inżynierów.

#### Błąd 5

Bardzo często w różnych specyfikacjach projektowych, jak i w samych projektach, spotyka się określenie o dopuszczalnym wydłużeniu przy zerwaniu **większym** niż  $\epsilon=10, 15$  czy też 20%!!! Jest to błąd, chciałoby się wierzyć, że w ukierunkowaniu znaków, gdyż na całym świecie zawiąza się granice maksymalnego dopuszczalnego wydłużenia zbrojenia  $\epsilon$  do wielkości poniżej 15%, gdyż materiałów mających wyższe wydłużenie nie można zaliczyć do jakościowych.

Mowa jest tutaj o materiałach pracujących w reżimie wytrzymałościowym i nie obejmuje ten warunek geowłóknin, dla których w zakresie wydłużeń stawiane są wymagania rzędu 40-80%. Limitującym parametrem dla stosowania GPwRW jest wielkość maksymalnego dopuszczalnego wydłużenia pod koniec projektowanej

eksploatacji obiektu, która wynosi maks. (praktykowane są jedynie w krajach początkujących w stosowaniu GPwRW) od 5 (dla obiektów mniej odpowiedzialnych) do 3% (dla obiektów skomplikowanych i o dużej odpowiedzialności) i 2% (dla przyczółków i podpór mostowych).

Wystarczy spojrzeć na rys. 1 (str. 1), aby stwierdzić, że wydłużenie na tym poziomie jedynie dla PVA i włókien aramidowych może być uważane za miarodajne. Dla PET i PA zaś wydłużenia takie występują w pierwszych sekundach od momentu zabudowy i w żaden sposób nie odnoszą się do rzeczywistej wytrzymałości długotrwałej.

#### Błąd 6

W na ogół dostępnych projektach nie wspomina się w ogóle o momencie inicjacji geosyntetyków pracujących w reżimie wytrzymałościowym, to jest o wykonywaniu wstępnego naciągu dla umożliwienia geosyntetykowi spełnienia swojej funkcji zbrojącej już w momencie nanoszenia na geosyntetyk pierwszych warstw materiału mineralnego. Błąd ten mści się zbyt dużym zużyciem materiału mineralnego, inicjacją rozsuwania się konstrukcji zazbrojonej w ten sposób i prowadzi do nieefektywnego wykorzystania funkcji zbrojącej zabudowanego geosyntetyku.

#### Błąd 7

Popelniają go bardzo często wykonawcy, dokonując zamian geosiatek na geotkaniny. Z racji bardzo dużych różnic, chociażby samego współczynnika „ $A_2$ ” (ponieważ inne są warunki tarcia, a więc i długości zakotwień!), zamiany takie są niedopuszczalne!!!

#### Błąd 8

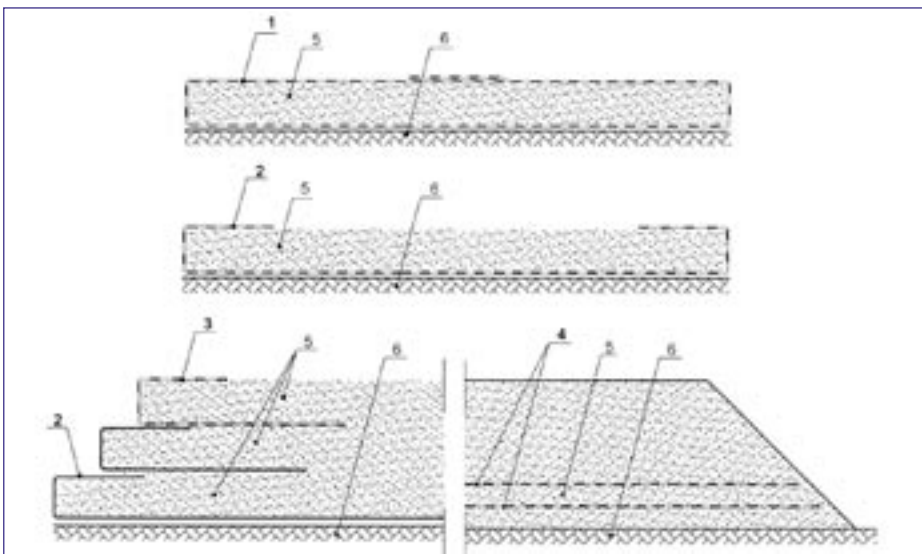
Również popełniany nagminnie przez wykonawców celowo lub nieświadomie dokonujących zakupów materiałów z innych niż wyspecyfikowane w projekcie surowców do ich produkcji. Zamiany te wynikają przede wszystkim ze znaczących różnic cenowych pomiędzy: Aramidem a PVA; PET wysokomodulowym a PVA; PET niskomodulowym a PET wysokomodulowym; PP a PET niskomodulowym. Konsekwencje takich zamian można sobie wyobrazić, patrząc chociażby na poszczególne krzywe przedstawione na rysunku 1 (str. 84).

#### Błąd 9

Nomenklaturalny. Typowym błędem jest nazywanie „materacem” dwóch poziomych warstw zbrojeń oddzielonych od siebie warstwą kruszywa mineralnego, a nie zamkniętych po bokach. Są to po prostu przekładki geosyntetyczne. „Materac” ma cztery zamknięte z zewnątrz i połączone ze sobą płaszczyzny: dwie poziome i dwie pionowe! Prawidłową nomenklaturę prezentuje rysunek 8 (patrz: str. 7).

#### Błąd 10

Błędem takim jest wbijanie różnego rodzaju szpilek lub innych wyrobów metalowych, względnie kołków drewnianych, w geosyntetyki w obszarach, gdzie powinny one swobodnie pracować, zachowując na całej powierzchni jednokierunkowe parametry. „Szpilkowanie” takie



Rys. 8. Rodzaje zbrojeń geosyntetycznych: 1 – materac, 2 – półmaterac, 3 – ćwierćmaterac, 4 – przekładki (geosyntetyczne), 5 – grunt zbrojony geosyntetykiem, 6 – podłoże gruntowe.



Fot. 1 i 2. Najazdy do wiaduktu w ciągu DW-933 w Jastrzębiu-Zdroju. Nasypy budowane na granicy IV i V kategorii aktywności górniczej. Długość nasypów: 750 m, wysokość: maks. 20 m. Zastosowano kwalifikowane GPwRW.

doprowadza do spiętrzeń naprężeń i nie jest w stanie poprawić wielkości siły tarcia pomiędzy dwoma warstwami geosyntetyków, względnie zakładek (przy konieczności przedłużenia pasm).

Obowiązującą na całym świecie zasadą jest unikanie połączeń, a wykonywanie w ramach projektów planów geosyntetycznego zbrojenia, na podstawie których producentów są w stanie wyprodukować z dokładnością nawet od 5 do 10 cm niezbędne długości poszczególnych pasm. Systemu szpilek powinno się używać jedynie w przypadku prowizorycznego przytwierdzenia wywiniętych końcówek materiału geosyntetycznego do dolnej, zasadniczej warstwy materiału mineralnego (rys. 8, poz. 5) – pozycjonującego te końcówki aż do momentu przykrycia warstwy geosyntetyku materiałem mineralnym następnej warstwy. Opór z tytułu zaszpilkowania nie może być jednak uwzględniany w obliczeniach wielkości siły tarcia i musi zostać potraktowany jako „nadałek montażowy”.

### GPwRW a „SPECYFIKACJE PROJEKTOWE”

Z racji powszechności realizacji inwestycji i remontów w Polsce w oparciu o wymogi ustawy o zamówieniach publicznych, to jest poprzez ogłaszanie przetargów publicznych – nieograniczonych lub ograniczonych – specjalnego znaczenia nabierają tzw. Specyfikacje projektowe, stanowiące podstawę do wyceny ofert przez firmy biorące udział w przetargach.

Nieprecyzyjne „Specyfikacje projektowe” są głównym powodem przyjmowania przez wykonawców innych, gorszych materiałów aniżeli materiały przewidziane przez projektanta w jego obliczeniach i konstrukcjach. Jakże więc dane powinny być zawarte w rzetelnie opracowanych „Specyfikacjach projektowych”? Jak postępować?

Drogą prawidłowego postępowania projektanta, dokonującego obliczeń i precyzującego „Specyfikację projektową” dla projektów obiektów inżynierskich, w których stosuje GPwRW, jest następująca.

„Specyfikacja projektowa” musi zawierać następujące dane:

1. Siła obliczeniowa, jaką musi geosyntetyk przenieść, równa niezbędnej wytrzymałości długoterminowej (LTS) geosyntetyku.

- 1a. Czasokres zakładanej eksploatacji obiektu, na koniec której wyliczona została LTS.
2. Zakładany typ geosyntetyku: geosiatka czy geotkanina.
3. Polimer, z którego powinien wg projektanta być wykonany GPwRW: aramid, poliwinylalkohol, poliester wysokomodułowy, poliester niskomodułowy, poliakryl, polietylen, polipropylen.
4. Dopuszczalne maksymalne wydłużenie GPwRW w trakcie próby zrywania z szybkością 20% wydłużenia na minutę.
- 4a. Dopuszczalne maksymalne wydłużenie GPwRW na koniec eksploatacji obiektu.
- 4b. Dopuszczalne maksymalne wydłużenie stanowiące element wydłużenia z punktu 4a, ale w czasie zabudowy, na koniec stanu budowlanego.
5. W przypadku geosiatek: wielkość oczka wynikająca z granulacji stosowanych pod i nad GPwRW materiałów mineralnych.

W poprzedzającej treści niniejszego opracowania omówione zostały zagadnienia, o których mowa w punktach 1 i 1a. Pozostaje zatem do omówienia treść pozostałych punktów.

ad. 2. W zasadzie współcześnie występujące obydwie rodzaje GPwRW mają zbliżony zakres wytrzymałości:

- geotkaniny od 20 do 1600 kN/m szerokości pasma geosyntetyku;
- geosiatki od 10 do 1800 i więcej kN/m szerokości pasma geosyntetyku.

Geosiatki są na ogół droższe od geotkanin o tym samym UTS, nie mniej znaczne różnice na korzyść geosiatek są w zakresie współczynników tarcia pomiędzy gruntem a GPwRW, a co za tym idzie – siła szpętności GPwRW z gruntem, jego wytrzymałości na wyciąganie (próba „pull-out”), a także w zakresie wielkości współczynnika materiałowego „ $A_2$ ” (dużo mniejszy dla siatek, większy dla tkanin) oraz „ $A_3$ ” (dużo większe zakłady na złączach dla tkanin jak dla siatek). W celach popularyzatorskich, nie inżynierskich i naukowych, różnice te można zobrazować tak: geosiatce o UTS=100 kN/m

w pewnych, korzystnych przypadkach może odpowiadać geotkanina o UTS=200 kN/m (lub ewentualnie więcej). Tak więc generalnie przyjmuje się, że dla zbrojenia piasków i relatywnych do nich innych materiałów mineralnych raczej stosuje się geotkaniny, a do zbrojenia materiałów ziarnistych – żwirów, kruszyw i tłuczni – geosiatek. Stąd projektant, specyfikując w swym projekcie charakterystyki materiałów mineralnych, musi również określić rodzaj geosyntetyku, względnie, nie definiując rodzaju GPwRW – ściśle zdefiniować stykające się z GPwRW rodzaje materiałów mineralnych.

ad. 5. Z zagadnieniem omówionym powyżej bezpośrednio wiąże się wymóg ujęty w punkcie 5 – w przypadku geosiatek projektant powinien podać w specyfikacji żądaną wielkość oczka geosiatki (lub pozostawić to dostawcy/producentowi tego wyrobu). Z zasady przyjmuje się, że dla materiałów o ziarnistości do 25 mm wystarczające jest oczko siatki 15 względnie 20 mm, dla większych granulacji zasadą jest, że oczko powinno odpowiadać  $\leq 2/3$  średnicy normatywnego ziarna stosowanego kruszywa.

ad. 3. Zawarte w tym punkcie wyszczególnienie rodzajów materiałów konstrukcyjnych stosowanych w produkcji GPwRW jest odzwierciedleniem możliwych do uzyskania wielkości UTS wyrobów z tych surowców (vide rys. 1, str. 1), a także możliwego do uzyskania uzysku wytrzymałości długoterminowej wyrobu w stosunku do wartości wyjściowej UTS. A zatem największe wytrzymałości i uzyski (67%) otrzymać możemy, stosując aramid; najmniejsze – polipropylen (zaledwie 30,7%). Niestety, powyższy szereg jest zarazem szeregiem cen jednostkowych wyrobów – najdroższy jest aramid, najtańszy polipropylen. Jednakże główną cechą doboru tworzywa do potrzeb konstrukcji inżynierskiej jest jej charakter, czasokres użytkowania, a także wielkość niezbędnych do przeniesienia sił (naprężeń). Nikt rozsądny nie stosuje w konstrukcji wysokiej pionowej ściany oporowej geosiatek z PP, pamiętając, że może się ona wydłużyć („popłynąć”) aż o 40%!

ad. 4. Generalnie dane co do wielkości do-



puszczalnych, znormalizowanych wydłużeń obiektów z GPwRW zawarte zostały w tablicy 1 (str. 11).

Wynika z niej, że kraje wysoko rozwinięte stosują bardzo bezpieczne konstrukcje, w kontekście czego krajowe specyfikacje, nielimitujące granicznych dopuszczalnych wydłużeń, grożą awariami i katastrofami.

Nie trzeba dodawać, że brak jest w dokumentacjach normowych w naszym kraju nie tylko zasad obliczania konstrukcji z gruntów zbrojonych, ale i limitowania dopuszczalnych wydłużeń zbrojeń z GPwRW.

W tej sytuacji, skoro dopuszczono przez GDDKiA [10] do stosowania w Polsce normy brytyjskie i niemieckie z tego zakresu, rozsądnym jest przyjęcie przez projektanta np. limitów brytyjskich (vide tablica 1), jako że każdy projektant powinien pamiętać „ile czasu trwa 120 lat!” i co może czekać zaprojektowaną niewłaściwie konstrukcję w tym okresie.

### Reasumując

Przedstawiając powyższe przykłady i obliczenia, autor pragnie uzmysłowić decydentom: projektantom, inwestorom, inżynierom kontraktów, inspektorom nadzoru, kierownikom budów i wreszcie - dokonującym zakupów GEOSYNTETYKÓW ZAOPATRZENIOWCOM WYKONAWCÓW, że od ich rzetelności i wiedzy z zakresu powyżej przedstawionych zagadnień w znaczący sposób zależeć będzie, czy budowane w Polsce obiekty, w których coraz szerzej będą stosowane GEOSYNTETYKI, będą podobne do ZACHODNIOEUROPEJSKICH i ŚWIATOWYCH czy też będą wiecznie takie same, byle jakie, zle i pochłaniające wszystkie dostępne w danej chwili pieniądze na nie przynoszące długotrwałej poprawy ich stanu i nie kończące się REMONTY.

Powracając na „podwórko” geosyntetyczne, należy podkreślić, że każdy z producentów (dostawców) geosyntetyków oferujący inwestorowi (wykonawcy) swoje materiały jest jednocześnie zobowiązany udowodnić projektantowi, iż oferowane przez niego produkty spełniają wymogi specyfikacji.

Niestety, w skali kraju mamy do czynienia z sytuacjami, gdzie jak gdyby preferowane są niskojakościowe, NIEKWALIFIKOWANE produkty, co do których producent nie jest w stanie podać wielu innych, poza gramaturą (a w przypadku geosiatek – rozmiarów oczka) i ewentualnie wielkością UTS, danych charakterystycznych i parametrów występujących w obliczeniach. Za to są one (co jest oczywiste) TAŃSZE od KWALIFIKOWANYCH!!!

Biorąc wszakże pod uwagę szybkość, z jaką pojawiają się np. na nawierzchniach budowanych odcinków dróg deformacje pochodzące od niewłaściwie wzmocnionego podłoża, autor na miejscu projektanta nie miałby najmniejszych nawet skrupułów, by stosować wysokojakościowe i sprawdzone praktycznie, a jednocześnie posiadające kompletne wyniki badań z uznanych w skali międzynarodowej laboratoriów geosyntetycznych wyroby: geosiatki, względnie geotkaniny – we wszystkich tych przypadkach, kiedy ich zastosowanie do chociażby samych tylko wzmocnień podnasygowych czy też nadpalowych zapewniłoby likwidację powszechnie występujących deformacji nawierzchni, deformacji pochodzących od rozpełzania się konstrukcji drogowych.

Autor w tym miejscu deklaruje wobec P.T. projektantów i inwestorów gotowość zarówno konsultacji bieżących, jak i wykonywania pewnej liczby obliczeń inżynierskich, bazujących nie na historycznych, sprzed ćwierćwiecza, lecz na WSPÓŁCZESNYCH ZASADACH ICH WYKONYWANIA. Jedynym warunkiem, spełnienie którego oczekiwane będzie ze strony projektanta, to dostarczenie WIARYGODNYCH danych wyjściowych do obliczeń: o podłożu, konstrukcji obiektu, charakterystyce konkretnych PARAMETRÓW GEOTECHNICZNYCH podłoża gruntowego i przewidywanych do użycia materiałów mineralnych oraz, w przypadku zainteresowania projektanta jakimś konkretnym, pracującym w reżimie wytrzymałościowym GEOSYNTETYKIEM, dostarczenie źródłowych i wiarygodnych danych co do wartości współczynników materiałowych dla tego danego, konkretnego wyrobu.

Autor i jego zespół nie podejmuje się natomiast wykonywać obliczeń dla materiałów niewiarygodnych, będących jedynie PRODUKTAMI PRZEMYSŁU LEKKIEGO (WŁÓKIENNICZEGO), przy produkcji których zwraca się uwagę na parametry tkackie a nie geotechniczne. Dotychczasowa praktyka w sposób wystarczający i niekiedy nawet porażający wykazała bowiem, iż lepiej nic nie stosować, niż wykorzystywać materiały niewłaściwe lub źle dobrane.



Fot. 3. DK-78. Najazdy do mostu nad rzeką Odrą w miejscowości Olza. Łączna długość nasypów: 1440 m, wysokość: maks. 16,5 m. Zastosowano kwalifikowane GPwRW.



Fot. 4. Przełożenie południowej jezdni ul. Chorzowskiej w ciągu DK-79 w Katowicach pod estakadą DTŚ. Zastosowano kwalifikowane GPwRW.



Fot. 5. Skrzyżowanie DK-8 z drogą powiatową Grodzisk Mazowiecki – Żabia Wola. Zastosowano kwalifikowane GPwRW.

### SUPLEMENT

Przedstawione w niniejszym opracowaniu, jego zasadniczej zawartości, zasady postępowania z GPwRW nie wyczerpują oczywiście pełnego zakresu wiedzy, jaką powinien posiadać projektant pragnący się nimi posługiwać w swoich obliczeniach i rozwiązaniach projektowych. Stąd autor uznał za konieczne przedstawienie w formie suplementu pewnych dodatkowych, a mających wpływ na przygotowanie P.T. projektantów do szerokiego wdrożenia techniki geosyntetycznej, wiadomości.

Konstrukcje drewniane znane są od tysiącleci. Podobnie konstrukcje z kamienia budowlanego oraz budowle ziemne wykorzystujące zbrojenia drewniane i kamienne. Istnieją od dziesięcioleci na wyższych uczelniach katedry konstrukcji: stalowych, betonowych, żelbetonowych; katedry mechaniki gruntu i katedry geotechniki. Nie ma jak dotąd katedr konstrukcji z gruntów zbrojonych – po prostu ta część techniki – wykorzystanie własności GPwRW – jest dziedziną zbyt młodą, aby już stosowne katedry powstały. Z racji krótkiego okresu istnienia



trwającego nie dłużej niż 30 lat – w ramach jej młodości, tak samych aplikacji GEOSYNTETYKÓW, jak i ogólnie rzecz biorąc grupy materiałowej i GPwRW – wygenerowano oprócz wiedzy ściślej, z roku na rok coraz bardziej precyzyjnej, również szereg mitów i szamaństw. Spróbujmy zidentyfikować niektóre z nich.

**Mit „sztywnego węzła”** – element bardzo często podkreślany przez niektórych producentów wyrobów z PEHD i PP, dodajmy jeszcze – wyrobów wykonanych nie z włókien z tych tworzyw, lecz z materiałów litych, jednorodnych, uzyskiwanych w procesach przetwórstwa tworzyw sztucznych poprzez ich stapianie w procesie wytłaczania, a następnie formowania na gorąco, względnie kalandrowanie i/lub wycinanie.

Jak dotąd nikomu nie udało się w sposób dowodny czy też obliczeniowy dowieść, że ów sławny „sztywny węzeł” odgrywa jakąkolwiek rolę w obliczeniach inżynierskich i że można mu przypisać



Fot. 6. Skrzyżowanie DK-1 z ul. Sikorskiego w Tychach. Jezdnie o długości po około 100 m każda zostały zawieszono nad upłynionymi filami. Zastosowano kwalifikowane GPwRW.



Fot. 7. Rehabilitacja i wzmocnienie nawierzchni w ciągu DK-81. Zastosowano kwalifikowaną siatkę z PES na „podszewkę” z PP, nasączoną w procesie produkcji bitumem. Inwestycję zrealizowano dotychczas na odcinku od Mikołowa do Zor i od Zor do Zbytkowa.



Fot. 8 i 9. Ulica Gliwicka w Katowicach. Zdjęcie pierwsze przedstawia odcinek wykonany na kwalifikowanych GPwRW. Drugie zdjęcie przedstawia natomiast inny odcinek tej samej ulicy wykonany rok później – zamieniono na nim materiały kwalifikowane na niekwalifikowane. Różnice i skutki zamiany widoczne na zdjęciach powyżej (fotografie wykonano 18.03.2004 r.).

jakiegokolwiek policzalne parametry. Była co prawda próba udowodnienia przewagi tych siatek nad siatkami elastycznymi zwęzłami nieprzesuwnymi wykonanymi w procesach tkackich, ale posłużono się w tym celu próbą i normą dotyczącą tzw. lejności tkanin stosowanych na ubiory, zwłaszcza kobiece, tj. sposobu układania się na ciełe kobiety tkanin przerzuconych przez bark (ramię). Nie jest mitem powiedzenie, że życie na świecie ludzkość zawdzięcza kobietom, ale zbyt daleką analogią jest rzekoma przewaga „sztywnego węzła” nad nieprzesuwnym.

W procesach aplikacyjnych natomiast odwrotnie – mamy bardzo często do czynienia ze zjawiskiem łatwej destrukcji tak samych węzłów geosiatek z litych tworzyw, jak i z pękaniem łączących te węzły beleczek tworzywowych.

Oprócz tego sam proces mechanicznego zagęszczania warstwy ziarnistych materiałów mineralnych nanoszonych na tego typu geosiatki powoduje bardzo poważne uszkodzenia ich elementów konstrukcyjnych – z czym autor wielokrotnie miał do czynienia na obiektach, na których po zastosowaniu tego typu siatek nie otrzymano oczekiwanych modułów nośności. Dodatkowo jeszcze należy podać, że w przeprowadzanych porównawczych badaniach siatek ze sztywnymi węzłami z siatkami o węzłach plecionych, niesztynnych – wykonanymi ze splotów włókien PP czy też PE, zarówno w próbach wyciągania spomiędzy warstw gruntu (metoda „pull-out” – *vide* tablica 2), jak i wzmocnienia geosiatkami słabonośnych podłoży – każdorazowo siatki elastyczne dawały lepsze wyniki aniżeli sztywne siatki z litych tworzyw.

Przy okazji tej publikacji w tablicy 2 zamieszcza się dane uzyskane z badań zagranicznego, niezależnego, akredytowanego przez Unię Europejską laboratorium badawczego geosyntetyków dla dwóch różnych konstrukcji geosiatek wykonanych z PP:

- geosiatki ze sztywnymi węzłami i o zawartości sadzy 2% oraz
- geosiatki płaskiej tkaney z węzłami nieprzesuwnymi i o zawartości sadzy w obłewie PCV na poziomie 5%.

Próba „pull-out”, zwana potocznie „próbą prawdy”, wykazała przewagę szczepności siatek tkanych (tab. 2, rubryka 3) nad siatkami ze „sztywnym węzłem” (tab. 2, rubryka 2), tak przy małym, jak i dużym obciążeniu naporem gruntu zbrojonego tymi geosiatkami. Wynika z tego również, że jeżeli „sztywne węzły” mają na coś wpływ, to jest to wpływ ujemny na współpracę takiej siatki z materiałem mineralnym gruntu zbrojonego.

**Mit „2% sadzy w geosiatce”** – konia z rzędem temu, kto w sposób inżynierski udowodni, że dwuprocentowa zawartość sadzy w geosiatce wpływa w jakikolwiek sposób na parametry wytrzymałościowe geosiatki zabudowanej w gruncie! Mamy tu do czynienia z kolejnym, niepoważnym i nieinżynierskim mitem. Producenci siatek elastycznych, wykonanych z PP, PE, PES, PVA i aramidu, stosują bowiem do 5% sadzy w warstwie ochronnej splotów włókien używanych do produkcji tych siatek, która ma na celu tak zabezpieczenie ich (geosiatek) przed oddziaływaniem promieniowania UV, jak też i zabezpieczenie, a co najmniej zmniejszenie możliwości pęknięć i przecięć włókien, splotów siatki podczas zabudowy pomiędzy warstwami mineralnymi w czasie wznoszenia i zagęszczania warstw obiektów budowanych z gruntów zbrojonych.





Fot. 10. Odwodnienie (drenaż „francuski”) w pasie rozdzielu w ciągu drogi ekspresowej S-1. Zastosowano kwalifikowane geowłókniny.

Ta warstwa ochronna jest na ogół wykonywana ze splastyfikowanego PVC (PCW – polichloroku winylu), o odpowiednio do celu jej wykonywania dobranym składzie plastyfikatorów i substancji o działaniu anty-UV. Jedną z nich jest właśnie odpowiedniego typu sadza węglowa.

Prawdą natomiast jest, że przeprowadzone w ostatnich dosłownie latach w USA badania wykazują, że warstwa z plastyfikowanego PVC o wiele lepiej zabezpiecza spływy włókien przed uszkodzeniami podczas zabudowy aniżeli oblew siatek przy pomocy mieszanek akrylowych – stąd też znaczna różnica jest w wartościach współczynników „A<sub>2</sub>” dla identycznych materiałowo i produkcyjnie siatek, lecz o różnym materiale oblewu (oczywiście współczynnik materiałowy „A<sub>2</sub>” dla siatek z oblewem z PCV jest o wiele liczbowo mniejszy od „A<sub>2</sub>” dla oblewu z akrylu).

**Mit „gramatury”** – jeżeli ktoś w projekcie, przy wymiarowaniu GPwRW, nie podaje nazwy materiału konstrukcyjnego polimeru, lecz umieszcza gramaturę (!) geotkanin lub geosiatki, to oznacza to jedno – mamy do czynienia z mitomanem, dla którego tożsamy jest kilo pierza i kilo ołowiu! Jeżeli jeszcze dodatkowo pomija dane o dopuszczalnych wydłużeniach podczas zabudowy i w okresie przewidywanej eksploatacji (a także nie podaje długości tego okresu: 20, 25, 40, 60, 80, 100 czy 120 lat) oraz wymaganej wytrzymałości GPwRW na koniec okresu eksploatacji, to oznacza, że mamy do czynienia z wyższą klasą mitomanstwa – z mitomanem niebez-

piecznym. Niestety, w praktyce krajowej liczba specjalistów tej klasy jest znaczna!

### SZAMAŃSTWO

Niewątpliwie szamaństwem jest przyjęcie jako modelu zbrojeń geosyntetycznych zasad i danych z edytowanego przez jednego z pierwszych na świecie producentów geosiatek (chodzi o datę uruchomienia produkcji, a nie o miejsce w rankingu jakościowym) prospektu zatytułowanego „Baustressen” (tj. drogi budowlane, tymczasowe, montażowe) na projektowanie i budowę obiektów o wieloletniej żywotności. Nie chce się wierzyć, że wynikało to ze złego przetłumaczenia tytułu prospektu (w miejsce prawidłowego „drogi budowlane” – przetłumaczenie jako „budowa dróg”), ale jest faktem, że mamy w kraju do czynienia z całym szeregiem zbrojeń podłożu typu „20”, „30”, „40” lub „20+30”, „20+40” czy też „30+40” (oczywiście chodzi tu o UTS wyrażone w kN/m szerokości pasma zbrojących siatek). Jak to określił jeden ze światłych krajowych naukowców, geotechników: „Panie inżynierze, po co panu geosiatki o UTS od 9 do aż 1800 kN/m, kiedy <<genialne>> siatki – osztywnych węzłach – typu <<20>>, <<30>> i <<40>> – załatwiają w Polsce wszystkie problemy?”. No właśnie – po co? Ano okazuje się, że wiedza inżynierska i wiedza szamańska to są dwie zupełnie różne rzeczy! Nie chcę tu absolutnie nikogo obrazić, ale jak wytłumaczyć fakt, że na terenie byłej aktywności górniczej Niemcy zbroją podłoża pod autostradę na poziomie 3200-3600 kN/m; w Krakowie, na terenie słabonośnym, lecz bez górniczych szkód, autor krakowski zastosował (z ewidentnie poważnym niedomiarem wynikającym z popełnienia błędu z przypadku „I”) zbrojenia

na poziomie UTS=150, 300, względnie 450 kN/m; 20-metrowej wysokości nasyp w Jastrzębiu, projektowany na obecność czwartej kategorii szkód górniczych, jest zabrojeny (w przekroju) zbrojeniami na poziomie (łącznie) UTS od 3600 do 4500 kN/m – zaś pod 12-metrowymi nasypami autostrady A4, przebiegającymi nad nasypami niekontrolowanymi o miąższości do dziewięciu metrów, na obszarach drugiej względnie trzeciej kategorii szkód górniczych, mamy zbrojenie „20”, „20+30” lub „20+40”!!! Zbocza zaś nasypów tej autostrady na pewnym odcinku, przez które przebiegają tzw. uskoki górnicze (czyżby po doświadczeniach wykonawcy z budowy w Jastrzębiu?), są zbrojone wieloma warstwami geotkanin o UTS=200 kN/m!!! A pod nasypem „40” albo „20+30” kN/m! Czy to nie jest szamaństwo? Cudowne zbrojenia podnasypowe – i na autostradzie A4, i na Drogowej Trasie Średnicowej, i na najładach na liczne wiadukty i mosty w kraju. I na zbrojeniach nadpalowych!

Autor spotkał co prawda i taki przypadek. Z obliczeń wynikało zbrojenie o dopuszczalnym całkowitym wydłużeniu przy zerwaniu 6% i UTS=80 kN/m. Jeden ze znanych geologów-geotechników (teoretyk) pod wpływem dostawcy materiału o wydłużeniu przy zerwaniu 12 czy 15% i UTS=65 kN/m zaproponował, aby dla zbrojenia skarp o wysokości 54 metrów (!) w poszczególnych warstwach ułożyć obok siebie – jedno pasmo tej pierwszej geosiatki, jedno drugiej i tak na przemian co najmniej 45 warstw na wysokość i na długości każdej z warstw wynoszącej kilkadziesiąt metrów.

Autor nie wie, czy proponent zdał sobie sprawę z tego, że całość obciążenia musiałyby przyjąć siatki 6%, a nie te drugie! Czy to



Fot. 11. Drogowa Trasa Średnicowa, ul. Stęślickiego w Katowicach. Na tym obiekcie zamieniono kwalifikowane GPwRW na niekwalifikowane. Zamiast zaprojektowanych materiałów (wykonanych z PVA, o wytrzymałości Fk=250 kN/m, ε=6%) zastosowano geosiatki wykonane z PES o Fk=80 kN/m i ε na poziomie 13%±2,5%! Zagadką jest, po jakim czasie wystąpią pierwsze objawy „plynięcia” zbrojenia?

Kraj	Norma, standard, źródło	Rodzaj konstrukcji	Dopuszczalny przyrost wydłużenia po zakończeniu budowy*
Francja	BNSR; geotekstyli i produkty pokrewne; projekt XP G 38064; pozycja 03/2000	proste normalne złożone	1,0% 1,0% 0,5%
Wielka Brytania	BS 8006: 1995; standardy zastosowań dla zbrojonych gruntów naturalnych i sztucznych	przyczółki mostowe ściany oporowe	0,5% 1,0%
Japonia	standardy wymiarowe dla obiektów kolejowych; obiekty ziemne; 1992	obiekty ziemne	1,75% w 500 h

\*odniesiony do końca okresu eksploatacji.

Tablica 1. Dopuszczalne wydłużenie zbrojeń geosyntetycznych w trakcie wieloletniej eksploatacji obiektów z GPwRW.



## Przykładowa prawidłowa „Specyfikacja projektowa” GPwRW

Lp.	Charakterystyka	Jednostka	Parametr
1	Siła obliczeniowa Fd	kN/m	np. 82,5 <sup>1)</sup>
2	Czasokres eksploatacji obiektu	rok	120
3	Polimer	–	PVA
4	Dopuszczalne maksymalne wydłużenie w trakcie próby zrywania z szybkością 20% wydłużenia na minutę	%	< 6%
5	Dopuszczalne maksymalne wydłużenie zbrojenia na koniec okresu eksploatacji obiektu	%	3%
6	Dopuszczalne maksymalne wydłużenie z tytułu pełzania geosyntetyku od momentu zabudowy do końca eksploatacji obiektu	%	1%
7	Typ geosyntetyku: geosiatka czy geotkanina	–	geosiatka
8	W przypadku geosiatek: wielkość oczka	mm	30x30

<sup>1)</sup> Producent i/lub dostawca, który oferuje wyroby kwalifikowane<sup>\*)</sup> lub niekwalifikowane<sup>\*\*)</sup> musi udowodnić, że wytrzymałość obliczeniowa (długoterminowa) oferowanego wyrobu ustalona na podstawie współczynników materiałowych: „A<sub>1</sub>”, „A<sub>2</sub>”, „A<sub>3</sub>”, „A<sub>4</sub>” i „A<sub>5</sub>” jest od wartości Fd podanej w tabeli.

<sup>\*)</sup> Przez wyrób kwalifikowany rozumiany jest produkt geosyntetyczny, dla którego jego producent/dostawca przedstawi projektantowi dowody udokumentowane wynikami badań niezależnych jednostek badawczych na wielkości współczynników materiałowych: „A<sub>1</sub>”, „A<sub>2</sub>”, „A<sub>3</sub>”, „A<sub>4</sub>” i „A<sub>5</sub>” dla przewidzianych w opracowaniu projektowym warunków zabudowy danego wyrobu.

<sup>\*\*)</sup> Przez wyrób niekwalifikowany rozumiany jest produkt o nieudokumentowanych współczynnikach materiałowych: „A<sub>1</sub>”, „A<sub>2</sub>”, „A<sub>3</sub>”, „A<sub>4</sub>” i „A<sub>5</sub>”. W takim przypadku zaleca się, zgodnie z EBGE0 1997, stosować następujące wartości współczynników materiałowych:

„A<sub>1</sub>” – dla następujących polimerów – polipropylen i polietylen wysokiej gęstości: „A<sub>1</sub>” = 5,0; poliamid i poliester: „A<sub>1</sub>” = 2,5;

„A<sub>2</sub>” – piaski i pospółki: „A<sub>2</sub>” = 1,5; żwiru i otoczaki: „A<sub>2</sub>” = 2,0. W przypadku zastosowania kruszywa łamanego zaleca się każdorazowo kontrolę przyjętej w obliczeniach statycznych wartości „A<sub>2</sub>” (na próbkach pobranych po wbudowaniu).

„A<sub>4</sub>” – współczynnik materiałowy, uwzględniający wpływ środowiska gruntowego (chemia+biologia).

W tym przypadku można wyjść z następujących założeń: w środowisku gruntowym o 4<pH<9 takie polimery, jak: polipropylen, poliester, polietylen, poliamid, poliwinylalcohol, aramid wykazują wystarczającą odporność chemiczną i odporność na mikrobiologiczne oddziaływania i grzyby, tak że można stosować wielkość „A<sub>4</sub>” = 1,0. W środowiskach silnie alkalicznych i silnie kwaśnych, a więc poza wymienionym zakresie pH, należy stosować PVA.

„A<sub>5</sub>” i „A<sub>6</sub>” ustala się, w wypadku konieczności ich uwzględnienia, na drodze indywidualnych badań.

ludowe powiedzenie, że „na wszystko jest rada, tylko na ludzką głupotę jej nie ma”!!!

## „SPECYFIKACJE PROJEKTOWE”

Dla uniemożliwienia na przyszłość zarówno popełnienia przez projektantów błędów, jak i opierania rozwiązań projektowych na różnego typu mitach i szamaństwach publikujemy obok tekst prawidłowej „Specyfikacji projektowej” dla Geosyntetyków Pracujących w Reżimie Wytrzymałościowym. □

Autor należy do IGS – International Geosynthetic Society

## Literatura

- [1] Sobolewski J.: *Zasady wymiarowania i konstrukcji ze zbrojeniem geosyntetycznym*, Sympozjum specjalistyczne projektantów i konstruktorów, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, marzec 2001.
- [2] Lothspeich S.E., Thornton J.S.: *Comparison of different Long Term Reduction Factors for Geosynthetic Reinforcing Materials*, Second European Geosynthetics Conference EURO GEO 2000, Bologna 2000.
- [3] EBGE0 – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, DGGT, 1997.
- [4] DIN 4084.
- [5] Das Geotextilhandbuch SVG, 2 Edition 2000.
- [6] Das Geotextilhandbuch SVG, 1 Auflage 1988, Edition 1988.
- [7] *Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Strassenbaus*, FGSV, 1994.
- [8] BS 8006:1995, Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills, BSI, 1995.
- [9] EN DIN 1054:2000-12 (projekt).
- [10] *Wytłaczne wzmacnianie podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*, GDDP, IBDiM, Warszawa 2002.
- [11] Polskie Normy: PN-EN: 918:1999, 963:1999, 964-1:1999, 965:1999, 1897:2002 (U), 12224:2002, 12225:2002, 12226:2002, 12447:2003, 13249:2002, 13250:2002, 13251:2002, 13252:2002, 13253:2002, 13254:2002, 13255:2002, 13256:2002, 13257:2002, 13265:2002, 13562:2002, 13719:2003 (U), 14030:2002 (U); PN-EN ISO: 9863-2:1999, 10320:2002, 11058:2002, 12236:1998, 12956:2002, 12958:2002, 13426-1:2003 (U), 13427:2000, 13431:2002, 13437:2000; PN-ISO: 9862:1994, 9863:1994, 9864:1994, 10318:1993, 10319:1996/Ap1:1998, 10321:1996/Ap1:1998.
- [12] EBGE0 – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, DGGT, 1994.
- [13] Koerner R.: *Designing with Geosynthetics*, Fourth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 1997.
- [14] Dokumentacja pracy badawczo-usługowej: Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. J. Kwiatka: *Badanie podatności obiektów inwestycji „Modernizacja ul. Pszczyńskiej – budowa wiaduktu nad torami JSK wraz z drogami najazdowymi w ciągu DW 933 w Jastrzębiu-Zdroju” na aktualnie ujawniające się i prognozowane wpływy eksploatacji górniczej na powierzchnię w związku z eksploatacją ścian F-15, F-17, F-19 i F-21, prowadzoną przez KWK „Zajfówka” oraz KWK „Pniówek”*. Część A. Ocena stateczności skarp nasypów najazdowych wiaduktu wzmocnionych geosiatekami w oparciu o badania laboratoryjne z symulacją wpływów górniczych oraz analizę zistniałych i prognozowanych wpływów górniczych, Główny Instytut Górnictwa, Zakład Ochrony Powierzchni i Obiektów Budowlanych, Katowice 2003.
- [15] Pozostałe pozycje *vide* Internet: <http://www.inora.com.pl/artykuly/index.html>

szamaństwo, czy po prostu brak elementarnej wiedzy inżynierskiej?

Bez dodatkowego komentarza podaje się fakt, że na szeregu obiektów i kontraktów, takich jak np. Drogowa Trasa Średnicowa w Katowicach, węzeł Radzikowskiego w Krakowie, dokonano zmian zbrojenia w stosunku do projektów (przeważnie z dodatkowym obniżeniem wartości UTS) poprzez zamianę GPwRW o wysokiej chemoodporności i niewielkim wydłużeniu przy zerwaniu (PVA;  $\epsilon < 6\%$ ) na geosiatki o ograniczonej ( $4 < \text{pH} < 9$ ) chemoodporności, wykonane z niskomodulowego PES; o  $\epsilon = 13 \pm 2,5\%$ !!! Zagadką jest tylko czasokres, w którym wystąpią deniwelacje,

odkształcenia, zmiany pochyleń itp. – skutki najdziwniejszej działalności... oszczędzania, dokonanego chyba tylko po to, żeby mieć po krótkim czasie co naprawiać! Jest wprost zadziwiające, ile energii idzie na pogorszenie jakości projektów!

Jeszcze ciekawszym przykładem jest obiekt we wschodniej Polsce, dla którego projektant napisał w projekcie „wytrzymałość długoterminowa 20,5 kN/m”. Autor specyfikacji napisał w niej: „wytrzymałość 20 kN/m”. Wykonawca kupił kilkadziesiąt tysięcy m<sup>2</sup> wyrobu o takim właśnie UTS. Zagadką jest, ile pieniędzy kosztować będzie w ciągu najbliższych 120 lat remont konstrukcji na tak zbrojonym odcinku. Potwierdza się

Badanie pod obciążeniem (wielkość warstwy gruntu) [kPa]	Siła wrywania dla		Przewaga parametrów wyrobu z kolumny 3 [%]
	geosiatki polipropylenowej wycinanej typu Tensar SS 30 [kN/m]	geosiatki polipropylenowej tkanej typu Fornit 30/30 [kN/m]	
1	2	3	4
10	26,0	34,5	o 32,69
25	33,2	36,3	o 9,34
50	24,1	32,4	o 34,44

Tabela 2. Wyniki badań na wrywaniu („pull-out”) – badanie wykonane przez CER; Rouen – Francja.