

Jacek AJDUKIEWICZ

Przedsiębiorstwo Realizacyjne INORA Sp. z o.o., Gliwice

STROME NASYPY DROGOWE ZBROJONE GEOSYNTETYKAMI EFEKTEM WYSOKOSPECJALIZOWANYCH PRAC INŻYNIERSKICH.

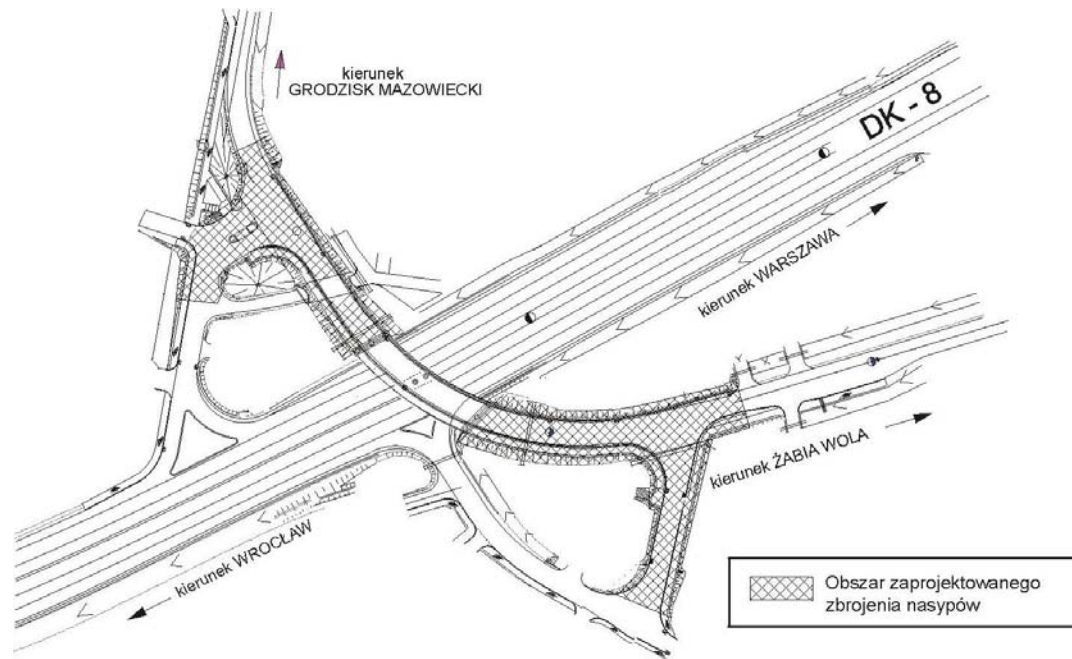
Streszczenie: W ostatnich kilku latach w Polsce można było zaobserwować gwałtowny wzrost zainteresowania GEOSYNTETYKAMI, co zaowocowało wykonaniem wielu różnych obiektów z ich zastosowaniem. Niewątpliwie fakt wzrostu zainteresowania tą, stosunkowo „młoda” gałęzią produktów (ca 30 lat), zawdzięczać należy otworzeniu się Polski na Zachód oraz wzmożonemu dążeniu do przyspieszenia budowy obiektów komunikacyjnych oraz do poprawy ich trwałości. W referacie zostają przedstawione dwa strome nasypy drogowe, zrealizowane w 2002 roku z zastosowaniem geosyntetyków. Nasypy te mogą być traktowane jako przykładowe i to w wielu aspektach, między innymi: zakresu obliczeń statycznych, planu instalacji geosyntetyków, zapewnieniu niezbędnego oprzyrządowania do wykonawstwa robót, itd.

GEOSYNTHETIC REINFORCED STEEP ROAD EMBANKMENTS AS AN EFFECT OF THE HIGH-SPECIALIZED ENGINEERING WORKS.

Summary: During a few last years in Poland it have been observed a sudden growth of interest in GEOSYNTHETICS, what became visible in execution of many different geosynthetics applied objects. Doubtless a fact of growth of interest in this branch of products – relatively young (about 30 years) we owe to the opening Poland to the West and intensive aiming to increase the speed of construction works and to the improvement of their durability. In this paper there will be presented two steep road embankments realised in 2002 with geosynthetics application, which can be treated as an example in many aspects. Among other things: range of static calculation, geosynthetic installation plans, providing with essential equipment for work execution, etc.

1. OBIEKT 1: Bezkolizyjne skrzyżowanie: wiadukt nad drogą krajową nr 8: Warszawa – Wrocław w miejscowości Żabia Wola.

Projekt bezkolizyjnego węzła drogowego, zlokalizowanego w stosunkowo gęsto zabudowanym terenie, obejmował wykonanie następujących elementów: dwuprzęsłowego wiaduktu żelbetowego przebiegającego nad drogą krajową nr 8, przepustu z ocynkowanej blachy stalowej dla ruchu lokalnego oraz stromych i rozbudowanych nasypów najazdów drogowych, biegnących z obu stron wiaduktu po rozgałęzionych łukach (rys. 1).



Rys.1 Lokalizacja wykonanych nasypów zbrojonych geosyntetykami w ciągu drogi krajowej nr 8.

We wstępnych obliczeniach (metodami Bishop'a, Janbu, Krey'a czy korpusów poślizgów) sprawdzających stateczność nasypów wykonanych metodami tradycyjnymi (bez zbrojenia geosyntetycznego) uzyskano każdorazowo współczynniki bezpieczeństwa niższe od wymaganych minimalnych wartości (np. 1,30 dla podstawowego stanu obciążeń, DIN 4084). Wyniki dokonanych obliczeń wskazywały na bezpośrednie zagrożenie utraty stateczności przez obiekt. Stosunkowo znaczna warstwa gruntu rodzimego podlegałaby zatem pełnej wymianie, co pociągałoby za sobą dodatkowe koszty i czas. W związku z tym i ze względu na brak miejsca na szeroką tradycyjną podstawę nasypu, zdecydowano się wykonać nasypy w technologii gruntów zbrojonych geosyntetykami, nie naruszając przy tym dotychczasowej struktury podłoża. Obliczenia nasypów zbrojonych wykonano (wobec braku polskich zasad wymiarowania dla obiektów projektowanych i budowanych techniką tzw. gruntów zbrojonych geosyntetykami (GRS – Geosynthetic Reinforced Soils)) w przeciągu roku 2001 w oparciu o DIN 4084 i Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus-FGSV 1994 – metoda globalnego współczynnika bezpieczeństwa [2] oraz sprawdzono w oparciu o BS 8006 [3]. Przyczyną oparcia się w pracach obliczeniowych o normy obowiązujące w wysokorozwiniętych krajach Europy zachodniej (Niemcy, Wielka Brytania) był brak w tym czasie jakichkolwiek polskich wytycznych czy norm, które by definiowały systematykę i sposób postępowania dla obliczeń inżynierskich dla obiektów budowlanych (w tym komunikacyjnych) zazbrojonych geosyntetykami pracującymi przez dziesiątki lat w reżimie wytrzymałościowym. Dodatkowymi korzyściami płynącymi z zastosowania zaprojektowanego rozwiązania było poważne skrócenie czasu budowy obiektu i całkowite wyeliminowanie okresu potrzebnego tradycyjnie na konsolidację. Dzięki przyjętej nowatorskiej technologii wykończenia skarp w systemie INOREX[®] powstała możliwość wykonania bardzo stromych i zazielenionych zboczy. Przy okazji wykonawstwa tego systemu wykonano badania „in situ” siły zakotwienia specjalnych kotew służących do mocowania stalowych elementów kratowych, zabudowywanych jako ochrona przeciw wandalizmowi i możliwym sabotażom. Próby te (próby „pull out”) przeprowadzono przy pomocy specjalistycznego elektronicznego instrumentu pomiarowego. Próby wykazały nienaruszalność zakotwienia (po dociśnięciu kotwy już (tylko) jedną warstwą konstrukcyjną o grubości 0,6m) jeszcze przy sile wyciągania rzędu 10,40 kN dla jednej kotwy!!!

wu (sączenia) wody przez por, lecz niewystarczającą: dla destrukcji struktury gruntu na styku płaszczyzny geotekstyli z gruntem, porywania jego cząsteczek i osadzania ich w formie placzka filtracyjnego na płaszczyźnie geotekstyli, jak również wnikania ich do wnętrza struktury porowatej wyrobu geotekstylnego. Zasady doboru autor przedstawił w kilku ujętych w spisie literatury publikacjach.



Fot. 1 Połączenie warstw zbrojenia nasypu z przepustem drogowym w trakcie wykonywanych prac.

Fot. 2 Wykończenie skarp w systemie INOREX[®].

Fot. 3 Lico zazielenionego w oparciu o system INOREX[®] zbocza nasypu (kąt nachylenia 65°).

Tablica 1. Charakterystyka techniczna niektórych zastosowanych geosyntetyków.

Rodzaj materiału (producent: <i>HUESKER Synthetic</i>)		STABILENKA [®] 300/45	STABILENKA [®] 100/50	HaTe [®] 23.142
Numer Aprobaty Technicznej	Jedn.	AT/97-03-0166	AT/97-03-0166	AT/2002-04-1228
Nominalna doraźna wytrzymałość na rozciąganie (UTS) [F _k]	[kN/m]			
-kierunek wzdłużny	min.	300	100	≥ 15
-kierunek poprzeczny	min.	45	50	≥ 14
Wydłużenie przy zerwaniu:	[%]			
-kierunek wzdłużny	max.	10	10	15
-kierunek poprzeczny	max.	20	20	18
Siła wywołana 2% odkształceniem wzdłuż pasma wyrobu	[kN/m] min.	50	20	-
Siła wywołana 5% odkształceniem wzdłuż pasma wyrobu	[kN/m] min.	125	50	-
Wytrzymałość obliczeniowa dla 120 lat eksploatacji [F _d]	[kN/m] min.	87,97	29,32	-

Zasadniczą nowością konstrukcyjną w tym obiekcie było zastosowanie ścian osłonowych (dla przekraczających gabaryty przyczółków mostowych czterech czoł nasypów), wykonanych w technologii układanych luźno, bez zapraw wiążących, specjalnych prefabrykowanych i małowymiarowych elementów betonowych, co kilka kolejnych, układanych na siebie warstw związanych odpowiednio dobranymi geosyntetykami z warstwami konstrukcyjnymi (materacami i półmateracami) nasypów dochodzących z obydwu stron do podpór mostowych. Obiekt ten oddano do użytku 30 września 2002 r. i będzie on poddawany przez INORĘ okresowej kontroli w celu oceny jego funkcjonalności i trwałości.



Fot.4 Skrzydła przyczółków mostowych z pionowo ułożonych, prefabrykowanych bloczków betonowych systemu LEROMUR[®] kotwionych geosiatką FORNIT[®].

2. OBIEKT 2: Wiadukt drogowy nad linią kolejową w ciągu drogi wojewódzkiej nr 933 w Jastrzębiu Zdroju.

Oddany do użytku 10 października 2002 roku wiadukt drogowy zdaniem autora z całego szeregu wzgledów zasługuje na bardziej szczegółowe przedstawienie.

Najprawdopodobniej obiekt ten jest pierwszą w Europie – a być może i na świecie – budowlą wykonaną na obszarze czwartej, najwyższej dopuszczającej realizację obiektów inżynierskich, kategorii szkód górniczych – z zastosowaniem jako materiału nasypowego bardzo silnie zasolonego i zasiarczonego kamienia przywęglowego, ujętego konstrukcyjnie w kształt i formę poszczególnych warstw nasypu, składającego się z szeregu warstw zazbrojonych odpowiednio obliczonymi i dobranymi geosyntetykami. Materiał mineralny (świeży, nieodprężony kamień przywęglowy), dostarczany bezpośrednio z kopalni, formowano w warstwy konstrukcyjne (o grubości 50 i 70 cm) w postaci pełnych materacy, półmateracy i ćwierćmateracy wykonanych z geosiatek wyprodukowanych z materiału (włókien) o najwyższej odporności chemicznej (zakres odporności na pH: 2÷12 w okresie do 120 lat): PVA (poliwinyl-

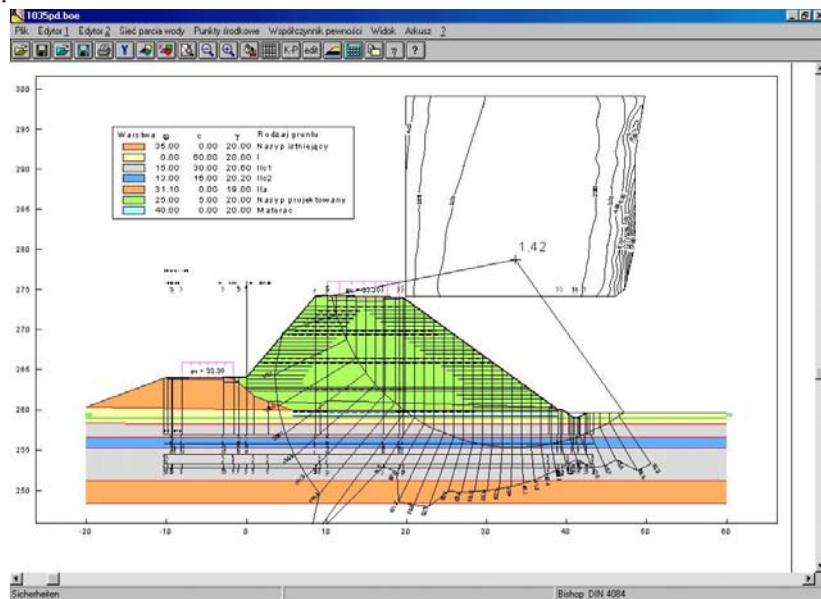
loalkoholu). Fakt usytuowania budowy na terenach czynnej eksploatacji górniczej wymagał szczególnej ostrożności konstruktorów przy projektowaniu i przyjmowaniu rozwiązań technologicznych. W trakcie budowy występowały problemy, które mogły zaważyć na stateczności całego obiektu, co wymagało stałych konsultacji z odpowiednimi specjalistami i jednostkami nadzorującymi realizację oraz podejmowania racjonalnych decyzji inżynierskich, z korektą projektu włącznie.

2.1. WARUNKI LOKALNE:

Inwestycja zlokalizowana została na obszarze IV kategorii szkód górniczych. Silnie napięte zwierciadło wód gruntowych obecnie, wskutek odkształceń pogórnich, znajduje się na głębokości około 2÷3 m, bezpośrednio pod 2 metrową warstwą gliny, na której posadowiony jest nasyp. W ciągu ponad 30-letniej działalności wydobywczej prowadzonej w głębi ziemi pod nasypami doprowadzono na obszarze inwestycji do 5÷11 metrowego obniżenia terenu, a w najbliższych latach nastąpi dalsze jego osiadanie o rząd co najmniej 4,5 metra. Przy tak niekorzystnych warunkach gruntowo - wodnych, wyjątkowo słabym podłożu i specyficznych założeniach geometrycznych, przyjęto, że rozwiązaniem najlepszym pod względem technicznym i ekonomicznym będzie wzmocnienie nasypu zbrojeniem geosyntetycznym.

2.2. ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE:

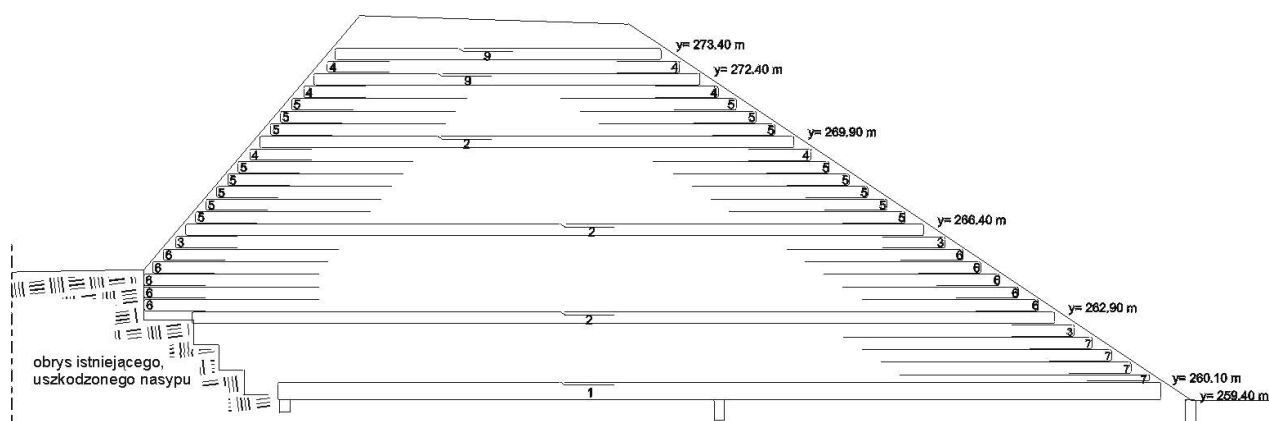
Punktem centralnym całego przedsięwzięcia był zaprojektowany przez dr inż. J. Śliwkę żelbetowy wiadukt, przebiegający nad liniami kolejowymi PTK i GK. Światło pionowe wiaduktu wynosi 9,0 m; zachowano w projekcie rezerwę na osiadania terenu i korektę niwelety toru kolejowego rzędu 4,5 m. Roboty ziemne obejmowały wykonanie dwóch nasypów – najazdów, o łącznej kubaturze rzędu 120 000 m³ i o łącznej długości 775 m. Najazdy wytyczone zostały łukiem o promieniu R=2500 m. Pochylenia skarp nasypów wynoszą 1:0,7 na łuku wewnętrznym.



Rys.3 Komputerowa analiza stateczności projektowanego nasypu.

Maksymalna wysokość nasypu jest równa 16,5 m. Obciążenie użytkowe od pojazdów samochodowych przyjęto jako $q = 33,3 \text{ kN/m}^2$. Funkcjonujący dotychczas, a położony w bezpośrednim sąsiedztwie nowego, stary nasyp wraz z przyczółkami istniejącego mostu, w trakcie bardzo krótkiego, kilkuletniego zaledwie okresu użytkowania – uległ tak daleko idącej destrukcji, że będzie musiał być w najbliższym czasie wyłączony z eksploatacji.

Dotychczas czynny wiadukt tracił skrajnie ze względu na osiadania pogórnice, co groziło wstrzymaniem stałego wywozu węgla z trzech kopalń. Zbrojenie nowych konstrukcji materiałami geosyntetycznymi było więc w istniejących okolicznościach sprawą bezdyskusyjną. Należało jednak wykonać szereg prac przygotowawczych związanych ze wzmocnieniem podłoża. W założeniach projektowych przyjęto, że obiekt do 2011 roku osiadzie o 4 m. Tymczasem, w ciągu jednego tylko miesiąca, wskutek wydobywania przez kopalnię w czasie budowy węgla z pokładu zlokalizowanego pod obiektem, osiadł on już o 1,6 m. Zmusiło to jednostkę autorską rozwiązania, P.R. INORA[®] w trakcie budowy nasypu do wykonania korekty projektu. W zaistniałej sytuacji zdecydowano się na zwiększenie ilości warstw zbrojonych geosyntetykami. W kształtowaniu geometrii konstrukcji wykorzystano istniejące najazdy dotychczasowego, zlokalizowanego (rys. 3,4) obok, lecz uszkodzonego nasypu dla częściowego oparcia na nim północnych zboczy nowego nasypu.



Rys.4 Zbrojenie nasypu – przekrój poprzeczny nasypu.

2.3. KOLEJNOŚĆ PRAC:

Po wykonaniu drenaży „francuskich” w podstawie nasypu, przystąpiono do przygotowania podłoża pod zasadnicze warstwy konstrukcji. Celem podwyższenia wielkości sił zapewniających stateczność budowli, w strefie posadowienia wykonano materac wzmocniający z mechanicznie zagęszczonego kruszywa, w dwustronnej osłonie (w pełnym materacu) z geosiatki FORTRAC[®] R 250/30-30M, rozwijanej prostopadle do osi nasypu. Grubość warstwy tłucznia wypełniającego tę warstwę wyniosła 70 cm. Kolejnym etapem było formowanie warstw konstrukcyjnych nasypu o grubości 50 cm każda. Geosyntetyczne wkładki zbrojące stanowiły siatki FORTRAC[®] M. W oblicowaniu poszczególnych stopni zastosowano geotekstyl FIBERTEX[®] typu F-4M. Dla wzmocnienia korpusu nasypu – co siódmą warstwę wykonano w formie pełnego materaca. Odpowiedni naciąg siatki uzyskano dzięki systemowi naciągu siatek, opracowanego i dostosowanego przez autora publikacji. Poszczególne warstwy formowane były specjalnymi, pozycjonowanymi wewnątrz nasypu szalunkami, podobnie jak



to miało miejsce na budowanym w tym samym czasie obiekcie 1. Podstawowe parametry zastosowanych geosyntetyków zestawiono w Tabelcy 2.

Fot. 5 Wykonywanie kolejnej warstwy zbrojenia z zastosowaniem szalunków przestawnych z Przedsiębiorstwa Realizacyjnego INORA®.

Tabela 2. Skrócona charakterystyka techniczna niektórych zastosowanych geosyntetyków.

Rodzaj materiału: producent geosiatek: <i>HUESKER Synthetic</i> producent geowłókniny: <i>FIBERTEX A/S</i>		FORTRAC R250/30-30M	FORTRAC R80/30-30MP	FORTRAC R55/30-30MP	FIBERTEX F-4M
Numer Aprobaty Technicznej	Jedn.	AT/2000-04-0977	AT/2000-04-0977	AT/2000-04-0977	AT/99-04-0707
Nominalna doraźna wytrzymałość $[F_k]$ na rozciąganie (UTS)	kN/m				
-kierunek wzdłużny	min.	≥ 250	≥ 80	≥ 55	≥ 18
-kierunek poprzeczny	min.	≥ 30	≥ 30	≥ 30	≥ 19
Wydłużenie przy zerwaniu:	%				
-kierunek wzdłużny	max.	≤ 6	≤ 6	≤ 6	65
-kierunek poprzeczny	max.	≤ 6	≤ 6	≤ 6	80
Wytrzymałość obliczeniowa dla 120 lat eksploatacji (przy max. wydłużeniu $\epsilon \leq 3\%$ dla 120 lat) $[F_{d,120}]$	kN/m				-
	min.	82,5	25,2	17,3	
Wytrzymałość na przebicie – CBR test	N min.	-	-	-	3250

Szczegółowe obliczenia konstrukcyjne wykazały konieczność użycia trzech typów siatki FORTRAC®: R250/30-30M, R80/30-30MP oraz R55/30-30MP, zapewniających najefektywniejszy ekonomicznie stosunek wytrzymałości długoterminowej (F_d) do znamionowej (UTS) przy założonej wielkości dopuszczalnego wydłużenia zbrojenia: podczas zabudowy do 2% i w okresie 120-letniego, założonego okresu eksploatacji obiektu, o dalsze max. 1%. Założono tu bezpieczną jeszcze 2% rezerwę wydłużenia z tytułu wystąpienia szkód górniczych, tj. przyjęto max. łączne wydłużenie w stanie bez odkształceń pogórniczych: $\epsilon \leq 3\%$. Przykładowo na rys. 3 podano w jednym z przekrojów wyniki obliczeń dla stanu budowlanego i stanu eksploatacji. Łączna ilość zużytych wyrobów geosyntetycznych to blisko 240 000 m². Wypełnienie materacy stanowił mułowiec - kamień przywęglowy pochodzący z bieżącej eksploatacji górniczej KWK „Pniówek”, który zawierał rząd 10% czystego węgla. W obawie o samozapłon tego materiału, w trakcie formowania nasypu, poszczególne zbrojone warstwy konstrukcyjne były przesypywane warstwami piasku o grubości ca’ 10 cm. Drenaże „francuskie”, o zróżnicowanych wymiarach (od 50 do 120 cm głębokości), wykonano z geotekstyliów FIBERTEX® typu F-4M, z wypełnieniem naturalnym, mineralnym materiałem dobrze zagęsz-

Strome nasypy drogowe zbrojone geosyntetykami efektem wysokospecjalizowanych prac inżynierskich.

czalnym, o frakcji 40/63 mm. Również i w tym przypadku obiekt oddano do użytku bez żadnego okresu oczekiwania na konsolidację.

Nadrzędnym celem tego przedsięwzięcia ze strony jednostki autorskiej było udowodnienie możliwości wykorzystania świeżego kamienia przywęglowego jako taniego materiału do budowy konstrukcji inżynierskich, dróg i autostrad. W szczególności miano tu na myśli ciąg planowanej do budowy w najbliższych latach autostrady A1: Gliwice – Gorzyczki, przebiegającej na długich odcinkach po terenach aktywnych górniczo.



Fot.6 Widok wykonanego nasypu od strony miasta Jastrzębie Zdrój w dniu oddania obiektu do eksploatacji.

3. INFORMACJA O ZASADACH OBLICZEŃ.

Zasadnicze informacje w zakresie zasad obliczeń konstrukcji obiektów projektowanych z zastosowaniem gruntów zbrojonych GEOSYNTETYKAMI [GRS], a więc zbrojeń pracujących długotrwale w reżimie wytrzymałościowym, zostały przedstawione przez:

- dr inż. Janusza Sobolewskiego – na zorganizowanym w Warszawie przez ITB przy współpracy IBDiM w marcu 2001 roku seminarium: „Komputerowe Wspomaganie Obliczeń Geotechnicznych” [23];
- autora niniejszego opracowania – na zorganizowanych w Wadowicach przez SITK RP przy Oddziale Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Krakowie „XVII Dni Technika” w czerwcu 2002 roku [26].

Podstawową zasadą w zakresie wykonywania obliczeń i doboru zbrojeń geosyntetycznych dla obiektów budowlanych jest konieczność posiadania przez inżyniera wykonującego obliczenia wiedzy o reologicznych właściwościach każdego z zastosowanych w danym projekcie wyrobów geosyntetycznych. Najczęściej popełnianym w tym zakresie bardzo poważnym błędem jest upraszczające przyjmowanie do obliczeń występującej w literaturze firmowej (handlowej) wartości wytrzymałości znamionowej na zrywanie [F_k] (krótkotrwalej, UTS) jako

Według obecnego systemu normowego obowiązującego w Niemczech lub Wielkiej Brytanii, wartość obliczeniowej wytrzymałości długoterminowej wyznacza się z następującego wzoru:

$$F_{d,n} = \frac{F_k}{w_1 \cdot w_2 \cdot w_3 \cdot w_4 \cdot \gamma_m}$$

przy czym

$$F_{d,n} > F_{r,0-n}$$

gdzie:

- $F_{d,n}$ – obliczeniowa wytrzymałość długoterminowa geosyntetyku, po „n” latach eksploatacji obiektu;
- $F_{r,0-n}$ – siła rozciągająca w zbrojeniu, występująca w okresie eksploatacji obiektu (od roku „0” do roku „n”, gdzie „n”, w zależności od klasy obiektu zbrojonego, wynosi 20, 25, 40, 60, 80, 100 względnie 120 lat [np. nasypy autostrad]); oznaczenie wg [3] - T_D ;
- F_k – doraźna wytrzymałość na zrywanie pasma geosyntetyku (UTS, krótkotrwała, znamionowa) według badań w laboratorium producenta, badana na próbkach zamocowanych w uchwytach wykluczających jakikolwiek poślizg, przy stałej szybkości zrywania 20 %/min; oznaczenie wg [3] - T_{ULT} ; poziom ufności 95%;
- w_1, w_2, w_3, w_4 – określane różnymi symbolami w różnych normach tzw. „współczynniki materiałowe” (w [3] z oznaczeniami $f_{m11}, f_{m12}, f_{m21}$ i f_{m22} , w [4] A_1, A_2, A_3, A_4), określane przez uprawnione laboratoria badawcze (np. BBA – British Board of Agrément) dla każdego rodzaju i typu wyrobu geosyntetycznego pracującego w reżimie wytrzymałościowym przez „n” lat, charakterystyczne zarówno dla zarówno określonych przez producenta wyrobu surowców i półfabrykatów, a także uwzględniające:
- reologiczne zmiany wytrzymałości wyrobu w okresie od „0” do „n” lat (w_1);
 - chemoodporność wyrobu po zabudowie w trakcie eksploatacji obiektu (w_4);
 - wpływ uszkodzeń w czasie transportu, czynności ładunkowych, a także samej zabudowy danego wyrobu w konstrukcji inżynierskiej (w_2);
 - wpływ łączeń pasm wyrobu na ogólną (łącznie) wytrzymałość przekładki: ćwierćmateraca, półmateraca względnie pełnego materaca, wykonywanych z danego wyrobu geosyntetycznego (w_3);
 - wpływ temperatury w której wyrób pracuje (w_2);
- γ_m – tzw. „współczynnik bezpieczeństwa materiałowego” – w zależności od normy według której wykonywane są obliczenia inżynierskie – zarówno współczynniki materiałowe jak i współczynniki bezpieczeństwa materiałowego posiadają różne wartości i nie wolno w trakcie obliczeń stosować jednocześnie np. wielkości współczynników materiałowych „ w_i ” dla normy [3] ze współczynnikiem bezpieczeństwa materiałowego dla wytycznych [4]. Dla informacji podaje się, iż przy wymiarowaniu według [3] współczynnik ten posiada oznaczenie $1/RF_{creep}$ i sama wartość RF_{creep} uzależniona jest od okresu użytkowania projektowanej budowli inżynierskiej i temperatury środowiska, w którym pracuje wyrób geosyntetyczny, zaś przy wymiarowaniu w oparciu o [4] oznaczeniem współczynnika noszącego nazwę „globalnego współczynnika bezpieczeństwa materiałowego” jest γ_B , zaś jego wartość wynosi 1,75. Szczegółowo na ten temat zainteresowani mogą uzyskać szeroką informację w [23].

Przykładowy zachodnioeuropejski certyfikat [39] dla wysoko kwalifikowanych i wysoko jakościowych materiałów geosyntetycznych, przewidzianych do pracy w reżimie wytrzymałościowym, obrazuje Fot.9, zaś poniższa Tablica 3 przedstawia zasady rządzące doбором geosyntetyków (w tym przypadku geosiatek) w zależności od użytych do ich produkcji surowców oraz od posiadania względnie nieposiadania przez producenta danego wyrobu dowodu ze strony niezależnego laboratorium geosyntetycznego (w postaci ustalenia dla konkretnego typu i odmiany danego wyrobu wartości współczynników materiałowych). Wyroby niekwalifikowane, zgodnie z wymogiem stawianym w [3], muszą być traktowane jako posiadające bardzo wysoką wartość współczynników materiałowych – efekty czego można prześledzić w poniższej Tablicy 3.

Tablica 3. Znamionowe wytrzymałości obliczeniowe występujących na polskim rynku niekwalifikowanych geosiatek, kompatybilnych pod względem wytrzymałości długoterminowej „ F_d ” z kwalifikowanymi geosiatkami z poliwinylalkoholu.

WYTRZYMAŁOŚĆ DŁUGOTERMINOWA (obliczeniowa) na zrywanie dla geosiatek (dla okresu eksploatacji obiektu 120 lat): F_d	WYTRZYMAŁOŚĆ ZNAMIONOWA [krótkoterminowa, doraźna, wyjściowa, pierwotna, UTS (Ultimate Tensile Strength)] na zrywanie potrzebna dla uzyskania wartości „ F_d ”: F_k		
	WYROBY KWALIFIKOWANE, wykonane z	WYROBY NIEKWALIFIKOWANE, wykonane z :	
	PVA	PA i PES	PP i PEHD
12 kN/m	40 kN/m; np. Fortrac 40/xx-yy	80 kN/m	160 kN/m
20 kN/m	65 kN/m; np. Fortrac 65/xx-yy	140 kN/m	280 kN/m
25 kN/m	80 kN/m; np. Fortrac 80/xx-yy	170 kN/m	340 kN/m
35 kN/m	110 kN/m; np. Fortrac 110/xx-yy	240 kN/m	470 kN/m
50 kN/m	150 kN/m; np. Fortrac 150/xx-yy	320 kN/m	640 kN/m
80 kN/m	250 kN/m; np. Fortrac 250/xx-yy	540 kN/m	1070 kN/m
100 kN/m	300 kN/m; np. Fortrac 300/xx-yy	640 kN/m	1300 (!!!) kN/m

Uwaga: w Tablicy 3 zostały zestawione, w oparciu o zasady zawarte w [3], ujęte w sposób ogólny różnice w wielkości „ F_k ” odniesione do służących celom obliczeniowym wielkości „ F_d ”. Ze względu na poważne różnice w samej technologii produkcji geosiatek i geotkanin przeznaczonych do pracy w reżimie wytrzymałościowym, występujące pomiędzy poszczególnymi producentami tych wyrobów, a także na różnice własnościowe parametrów wytrzymałościowych, reologicznych jak i wydłużeńiowych dla samych surowców (włókien) używanych przez poszczególnych producentów w procesach produkcyjnych – podane w Tablicy 3 wielkości są jedynie wielkościami orientacyjnymi i w żadnym przypadku nie mogą służyć celom inżynierskim. Wielkość „ F_d ” projektant musi każdorazowo obliczyć w oparciu o dostarczone mu przez producenta protokoły badań i dokumentacje certyfikacyjno-dopuszczeniowe z uprawnionego laboratorium (np. BBA).

Zawartość tabeli dotyczy jedynie GEOSIATEK i nie może być stosowana dla GEOTKANIN, dla których to inne są wielkości liczbowe dla przedstawionych powyżej liczb $F_{d,120}$.

4. KONKLUZJA KOŃCOWA:

Dostępny obecnie stan wiedzy, informacje zagraniczne o powodzeniach (a także niepowodzeniach: awariach i katastrofach) z zakresu zastosowania GEOSYNTETYKÓW pracujących w reżimie wytrzymałościowym w zbrojonych nimi obiektach inżynierskich, jak również formalne dopuszczenie do ich stosowania w Polsce na podstawie obowiązujących w krajach zachodnich norm obliczeniowych [2÷5] – poprzez wejście w życie opracowanych w pierwszej połowie 2002 roku przez IBDiM na zlecenie GDDP (obecnie: GDDKiA) „**Wytucznych wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym**” [40 i 40a] – zapewniają, łącznie, dobrą perspektywę dla rozwoju i zwiększenia ilości tego typu aplikacji na obszarze Polski. Obydwa omówione tu projekty zostały wszakże wykonane (łącznie z obliczeniami) jeszcze przed ich ukazaniem się, były to więc zaiste pierwsze i pionierskie zastosowania wiedzy zachodniej w zakresie GRS w warunkach polskich w odniesieniu do konstrukcji nasypów z GRS.

Charakteryzując i przedstawiając powyżej dokonane już aplikacje należy jednak przestrzec przed negatywnymi konsekwencjami, z jakimi Autorzy następnych projektów muszą się liczyć w przypadkach:

- niedoceniań znaczenia ścisłego określania wielkości niezbędnej długoterminowej wytrzymałości na zrywanie wyrobów geosyntetycznych, dobieranych do pracy w konstrukcjach z gruntów zbrojonych, pracujących w reżimie wytrzymałościowym;
- jak wyżej, lecz w zakresie zakładanych dopuszczalnych wydłużeń – zarówno w czasie zabudowy, jak i na koniec okresu przewidywanej eksploatacji projektowanych obiektów;
- pomijania zagadnień chemoodporności dobranych w projekcie wyrobów geosyntetycznych oraz ich odporności na czynniki biologiczne i na promieniowanie UV;
- zezwolenia wykonawcom na niekontrolowaną zmianę przewidzianych w projektach wyrobów na inne, o niepewnych względnie nieopartych stosownymi badaniami i dopuszczeniami charakterystykach technicznych (w tym wytrzymałościowych i odpornościowych);
- dopuszczenie do dowolności doboru i zamiany w zakresie używanych de facto w fazie wykonawstwa materiałów mineralnych i ich charakterystyk technicznych,

które to działania mogą wywołać w efekcie stany awaryjne i katastrofy po upływie nawet szeregu lat po oddaniu danego obiektu do eksploatacji. O kilku obiektach wybudowanych po roku 2001 bez zachowania powyższych zasad już, niestety, wiadomo. Z reguły bowiem, wg obserwacji autora, brak jest jeszcze wśród ogółu uczestników procesu inwestycyjnego świadomości znaczenia czynników reologicznych istotnych w przypadku konstrukcji z udziałem GEOSYNTETYKÓW i ich znaczącego wpływu na trwałość i zachowanie eksploatacyjne projektowanego przy użyciu techniki GRS obiektu.

Należy mieć nadzieję, że w ślad za pierwszym w świecie obiektem wykonanym z dowożonego bezpośrednio z podziemia kopalni odpadu produkcyjnego pochodzenia górniczego i zabrojonego zgodnie z prawidłami i zasadami obliczeniowymi obowiązującymi w Europie Zachodniej – zbudowane zostaną następne, bezpieczne dla społeczeństwa obiekty, zaś naturalnej eliminacji ulegną projekty wykonane bez znajomości, względnie poszanowania zasad konstrukcji obiektów z gruntów zbrojonych materiałami geosyntetycznymi.

Autor jest członkiem IGS – *International Geosynthetic Society*, skupiającej około 2000 specjalistów z całego świata. Do organizacji tej należy aktualnie czterech zamieszkałych w Polsce członków i szereg Polaków pracujących poza granicami kraju.

5. Literatura:

a) Literatura techniczna

1. Das Geotextilhandbuch SVG 2. Auflage 1988; Edition 2000; Szwajcaria;
2. Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus; FGSV; 1994; Niemcy;
3. BS 8006:1995; Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills BSI; 1995; Wielka Brytania;
4. EBGEO – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen; DGGT; 1997; Niemcy;
5. E DIN 1054: 2000-12 (projekt); Niemcy;
6. Code of practice Use of Geotextile Filters on waterways (MAG); Federal Waterway Engineering and Research Institute; 1993; USA;
7. Koerner R.; Designing with Geosynthetics; Fourth Edition; Prentice Hall; Upper Saddle River; New Jersey; 1997; USA;
8. Lombard G.; Młynarek J.; Significance of Percent Open Area (POA) in the Design of Woven Geotextile Filters; Geosynthetics Conference Proceedings '97; Long Beach; California; s. 1093-1108; 1997; USA;
9. Młynarek J.; Vermeersch O.; Designing Geotextile Filters for Soil Filtration; 51st Canadian Geotechnical Conference; Edmonton; Alberta; s. 499-505; 1998; Kanada;
10. Młynarek J.; Designing Geotextile Filters For Leachate Filtration; 51st Canadian Geotechnical Conference; Edmonton; Alberta; s. 507-511; 1998; Kanada;
11. Blond E.; Brodeur M.; Młynarek J.; Improvement of Roadway Foundation Functioning by Geosynthetics Application: Martineau Roadway Test Site in St-Hyacinthe; Quebec; Rencontres Geosynthetiques; 12-13.10.1999; Kanada;
12. 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; Włochy;
13. Ajdukiewicz J.; Poradnik projektanta, inwestora i wykonawcy. Geotekstylii; Przedsiębiorstwo Realizacyjne *INORA*; Gliwice; 1994;
14. Ajdukiewicz J.; Europejska technologia w drodze na polski rynek – rzecz o geosyntetykach – grupie nowoczesnych materiałów do wykorzystania wg wzorów europejskich w budowie obiektów inżynierskich w polskich miastach; Konferencja „Drogi publiczne w miastach u progu integracji europejskiej”; Kraków; 1997;
15. Ajdukiewicz J.; Zastosowanie geosyntetyków w gminach ze szczególnym uwzględnieniem budownictwa drogowego; Konferencja „Drogownictwo miejskie w małych i średnich miastach; Zakopane; 16-18.03.1998;
16. Sobolewski J., Alexiew D., Rogusz Z., Strycharz B., Ajdukiewicz J.; Monitoring autostrady na terenach zapadliskowych oraz geosyntetyczne systemy jej zabezpieczeń; Konferencja Naukowo-Techniczna „Autostrady na terenach górniczych”; Katowice; 28.10.1998;
17. Ajdukiewicz J.; Geosyntetyki w aplikacjach zrealizowanych na terenie Polski południowej; XIV Dni Technika; Dobczyce; 1-2.06.1999;
18. Projekt: “Budowa Autostrady A-4, południowe obejście Krakowa”; Odcinek I; Tom 4.1; Rysunki dla robót drogowych i przebrojeniowych – część DP/D/1/6.01 – SACZKI DRENAŻU POWIERZCHNIOWEGO I WGLĘBNEGO”; GDDP Warszawa; kwiecień 1999;

19. Ajdukiewicz J.; Znaczenie jakości geosyntetyków w drogownictwie samorządowym. Technologia i sposoby użycia; IV Samorządowe Forum Drogowe; Zakopane; 17-19.01.2002;
20. Sobolewski J.; Materiały geosyntetyczne w budowie nowoczesnych konstrukcji oporowych, nasypów i wałów z uwzględnieniem zagrożeń wodnych i wstrząsów podziemnych, konstrukcje, wymiarowanie, przykłady wykonania; VIII Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika ‘98”;
21. Sobolewski J.; Nasypy drogowe i kolejowe ze zbrojeniem geosyntetycznym w podstawie posadowione na sztywnych i podatnych palach i kolumnach; V Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe”;
22. Skarżyńska K.M., Łacheta S.; Ocena właściwości filtracyjnych materiałów przeznaczonych na budowę nasypu w ciągu ul. Pszczyńskiej w Jastrzębiu Zdroju; Akademia Rolnicza im. H. Kołłątaja w Krakowie; Katedra Mechaniki Gruntów i Budownictwa Ziarnistego; Kraków; 2001;
23. Sobolewski J.; Zasady wymiarowania konstrukcji ze zbrojeniem geosyntetycznym; Sympozjum specjalistyczne i szkolenie projektantów i konstruktorów; Instytut Techniki Budowlanej; Warszawa; marzec 2001;
24. Ajdukiewicz J.; Projektowanie szlaków komunikacyjnych nasypów oraz odwodnienie z zastosowaniem geosyntetyków; Konferencja „XVI Dni Technika” SIT Kom – Kraków; Kościelisko k/Zakopanego; 4-6.06.2001;
25. Szkoła metod projektowania obiektów inżynierskich z zastosowaniem geosyntetyków; Materiały VIII Konferencji Naukowo-Technicznej; Ustroń; 03-05.04.2002;
26. Ajdukiewicz J.; Niektóre aspekty stosowania geosyntetyków w Polsce; XVII Dni Technika; SITKom Kraków; Wadowice; czerwiec 2002;
27. Ajdukiewicz J., Gałuszka E.; Wykorzystanie geosyntetyków przy usuwaniu skutków eksploatacji górniczej; RACE News; Newsletter for The Risk Abatement Center for Central and Eastern Europe (RACE); Katowice; 29-30.01.1998;
28. Ajdukiewicz J.; Geosyntetyki - nowoczesne materiały konstrukcyjne oczekujące na szersze zastosowania w górnictwie krajowym; VIII Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika ‘98”;
29. Ajdukiewicz J., Sobolewski J.; Wykorzystanie geosyntetyków w budowie nowoczesnych nasypów i wałów; „Budownictwo górnicze i tunelowe” – kwartalnik naukowo-techniczny 2/99;
30. Ajdukiewicz J.; Nowoczesne materiały geosyntetyczne gwarantem długowieczności budowli wodnych; Konferencja „Hydrotechnika I ‘1998”;
31. Ajdukiewicz J.; Zastosowanie filtrów geosyntetycznych dla potrzeb budownictwa hydrotechnicznego na drogach wodnych; Konferencja „Hydrotechnika III ‘2000”;
32. Ajdukiewicz J.; Geotechniczno - geosyntetyczne systemy zabezpieczeń i umocnień w budowlach hydrotechnicznych. Możliwości transferu doświadczeń z wysokorozwiniętych krajów Azji, Ameryki i Europy do Polski; Konferencja „Hydrotechnika IV ‘2001”;
33. Ajdukiewicz J.; Rola geosyntetyków w budownictwie kolejowym i obszar ich możliwych zastosowań w polskim kolejnictwie; X Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘99”;
34. Ajdukiewicz J., Kłosek K.; Kryteria doboru oraz weryfikacja skuteczności stosowania geosyntetyków w podtorzu kolejowym; XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘01”;

35. Kłosek K., Ajdukiewicz J.; Analiza teoretyczna współpracy nasypu kolejowego i słabonośnego podłoża wzmocnionego geosyntetykami w świetle badań terenowych; XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘01’”; Wrocław-Żmigród; 21-23.11.2001;
36. Sobolewski J., Ajdukiewicz J.; Zasady wymiarowania zbrojenia geosyntetycznego w nasypach i konstrukcjach oporowych linii kolejowych; XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘01’”; Wrocław-Żmigród; 21-23.11.2001;
37. Ajdukiewicz J.; Geotekstyliki nietkane i igłowane w budowie betonowych nawierzchni autostrad i posadzek hal; „Kalejdoskop Budowlany” Nr 5; maj 2000;
38. Uzdalewicz Z.; Na drodze nr 8...wybrano jakość gwarantowaną; „Bezpieczne drogi” Nr 5(41); maj 2002;
39. Roads and Bridges Agrément Certificate No 99/R115 & 01/R125; FORTRAC® GEOGRIDS; British Board of Agrément [BBA] - Technical Approvals for Construction; 1999 & 2001;
40. „Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym”; GDDP & IBDiM; Warszawa; 2002
- 40a. Zarządzenie nr 8 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z dnia 25 lutego 2002; idem;

b) Literatura firmowa i reklamowa

41. BAUSTRASSE; Tensar® - System: Kostensparende Baustrassestabilisierung mit Geogittern!; Tensar International GmbH; Bonn; 9/2001; Niemcy;
42. Gryczmański M.; Elikopol; Artykuł promocyjny; Magazyn Autostrady; nr 1/2003; grudzień – styczeń; str. 30;

Recenzent: (pole wypełnia Komitet Organizacyjny)