

Jacek AJDUKIEWICZ

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

## **STROME NASYPY DROGOWE ZBROJONE GEOSYNTETYKAMI EFEKTEM WYSOKOSPECJALIZOWANYCH PRAC INŻYNIERSKICH**

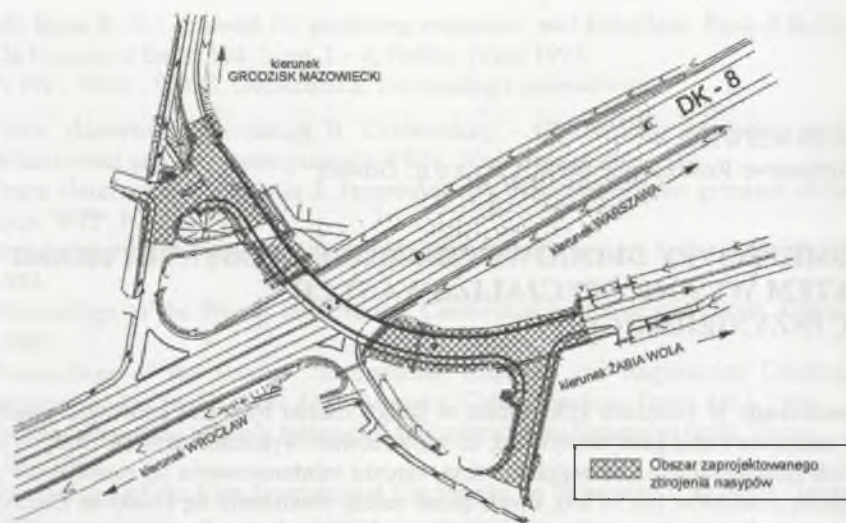
**Streszczenie.** W ostatnich kilku latach w Polsce można było zaobserwować gwałtowny wzrost zainteresowania **geosyntetykami**, co zaowocowało wykonaniem wielu różnych obiektów z ich zastosowaniem. Niewątpliwie fakt wzrostu zainteresowania tą, stosunkowo „młoda”, gałęzią produktów (ca 30 lat), zawdzięczać należy otwarciu się Polski na Zachód oraz wzmożonemu dążeniu do przyśpieszenia 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 THE EFFECT OF HIGHLY-SPECIALIZED ENGINEERING WORKS**

**Summary.** During a few last years in Poland a sudden growth of interest in geosynthetics has been observed, what became visible in the execution of many different structures with **geosynthetics** application. Undoubtedly we owe the fact of increased interest in this branch of products – relatively young (about 30 years) to the opening of Poland to the West and to increased efforts to increase the speed of construction works and to the improvement of their durability. This paper presents two steep road embankments built in 2002 with geosynthetics application, which may be considered as an example in many aspects, including: the 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).

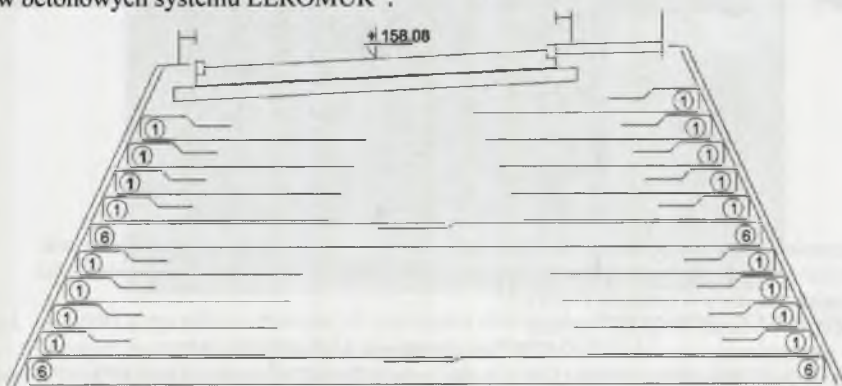


Rys.1. Lokalizacja wykonanych nasypów zbrojonych geosyntetykami w ciągu drogi krajowej nr 8  
 Fig. 1. The location of embankments reinforced with geosynthetics in the course of national road No 8

We wstępnych obliczeniach (metodami Bishopa, Janbu, Kreyza 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 ciągu roku 2001 na podstawie DIN 4084 i Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus-FGSV 1994 – metoda globalnego współczynnika bezpieczeństwa [2] oraz sprawdzono opierając się na BS 8006 [3]. Przyczyną oparcia się w pracach obliczeniowych na normach obowiązujących w wysoko rozwiniętych 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) zbrojonych 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 przeprowadzono 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 za pomocą 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!!!



W miejscu planowanych nasypów drogowych występowała glina pylasta, glina piaszczysta i piasek drobny. Ustabilizowany poziom zwierciadła wody gruntowej ustalono na głębokości 2,90 m ppt. Obciążenie użytkowe nasypu od pojazdów samochodowych przyjęto zgodnie z polskim normatywem jako równe  $20 \text{ kN/m}^2$  (jakkolwiek w niemieckim systemie normowym obciążenie użytkowe dróg wynosi  $p = 33,3 \text{ kN/m}^2$  dla pojazdów o ciężarze do 600 kN i  $p = 16,7 \text{ kN/m}^2$  dla pojazdów o ciężarze do 300 kN). Łączna długość nasypów wyniosła około 220 m, a maksymalna wysokość 7,13 m. Kąt nachylenia zboczy dochodził do  $65^\circ$ , zaś stromość niektórych odcinków jezdni sięgała  $8\div 10\%$ . W najwyższym punkcie dojazdu wykonano jedenaście poziomych warstw zbrojenia, w odstępach co 0,6 m każda. W połowie wysokości nasypu i pod konstrukcją nawierzchni wykonano pełne materace spinające (rys. 2). Wypełnienie materacy i półmateracy geosyntetycznych stanowił piasek. Materac w podstawie wykonano z geotkaniny STABILENKA® 300/45, natomiast zbrojenie poszczególnych warstw nad materacem z geotkaniny STABILENKA® 100/50. Zbocza obłożono specjalną geosiatką do zazieleniania typu HaTe® 23.142. Zastosowano również geosiatki typu FORNIT® do związania korpusu nasypu z elementami przyczółków, wykonanych z prefabrykowanych blozków betonowych systemu LEROMUR®.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny nasypu ze zbrojeniem geosyntetycznym  
Fig. 2. Cross-section of embankment with geosynthetic reinforcement

Krawędzie poszczególnych warstw formowane były w specjalnym stabilizowanym (pozycjonowanym) stalowym przestawnym oszalowaniu, przewidzianym do pozycjonowania wzdłuż osi podłużnej nasypu i pozwalającym na wykonanie zagęszczania mechanicznego poszczególnych warstw konstrukcyjnych aż do samego ich skraju. Szalowanie to stanowi rozwiązanie chronione prawnie. Wykończenie zboczy skarp nasypów stanowił specjalnie zaprojektowany system zazieleniania skarp: kompozycja żyznej gleby, humusu i nasion oraz geosiatki HaTe® 23.142. Dodatkowo użyto geotekstyliów FIBERTEX® typu F-32M do wykonania: drenaży tzw. „francuskich” oraz specjalnych materacy neutralizujących skutki wi-bracji, wykonanych w podstawach oblicowania przyczółków.

Przez „drenaż francuski” w technice światowej rozumie się bardzo szeroko stosowane np. w USA, Kanadzie, Szwajcarii, Niemczech i innych krajach Europy zachodniej i Azji, znane od setek lat, dreny kamienne zmodyfikowane o otoczenie ziarnistego wypełnienia mineralnego odpowiednim geotekstylem (geowłóknina) nietkanym, igłowanym (non-woven), o tak dobranych parametrach wodoprzewodności, aby w procesie przyjmowania wody od otaczającego taki dren gruntu jednostkowa prędkość liniowa przepływu mikrostrumienia wody przez pojedynczy por (wytworzony w procesie produkcyjnym wyrobu geosyntetycznego) była jak najniższa. Przy zminimalizowanej prędkości przepływu wielkość energii kinetycznej zawartej w przepływającym mikrostrumieniu musi być wystarczająca do uzyskania przepływu (sączenia) wody przez por, lecz niewystarczająca do destrukcji struktury gruntu na styku płaszczy-

zny geotekstyli z gruntem, porywania jego cząsteczek i osadzania ich w formie placka 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  
Photo 1. The joint of embankment reinforcement layers with a road culvert during the executed work

Fot. 2. Wykończenie skarp w systemie INOREX<sup>®</sup>

Photo 2. Slopes finish in the INOREX<sup>®</sup> system

Fot. 3. Lico zazielenionego systemem INOREX<sup>®</sup> zbocza nasypu (kął nachylenia 65°)

Photo 3. Face of embankment slope turned green on the basis of INOREX<sup>®</sup> system (slope 65°)

Tablica 1

Charakterystyka techniczna niektórych zastosowanych geosyntetyków

Rodzaj materiału (producent: HUESKER Synthetic )		STABILENKA <sup>®</sup> 300/45	STABILENKA <sup>®</sup> 100/50	HaTe <sup>®</sup> 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 <sub>k</sub> ]	[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 <sub>d</sub> ]	[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 INOREĘ okresowej kontroli w celu oceny jego funkcjonalności i trwałości.



Fot.4. Skrzydła przyczółków mostowych z pionowo ułożonych, prefabrykowanych bloczków betonowych systemu LEROMUR<sup>®</sup> kotwionych geosiatką FORNIT<sup>®</sup>

Photo 4. Wings of bridge abutments made from vertically laid prefabricated concrete blocks of LEROMUR<sup>®</sup> system anchored with FORNIT<sup>®</sup> geogrid

## 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 wielu względów 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 zabronionych 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 (poliwiniloalkoholu). Fakt usytuowania budowy na terenach czynnej eksploatacji górniczej wymagał szczególnej ostrożności konstruktorów przy projektowaniu i przyjmowaniu rozwiązań tech-

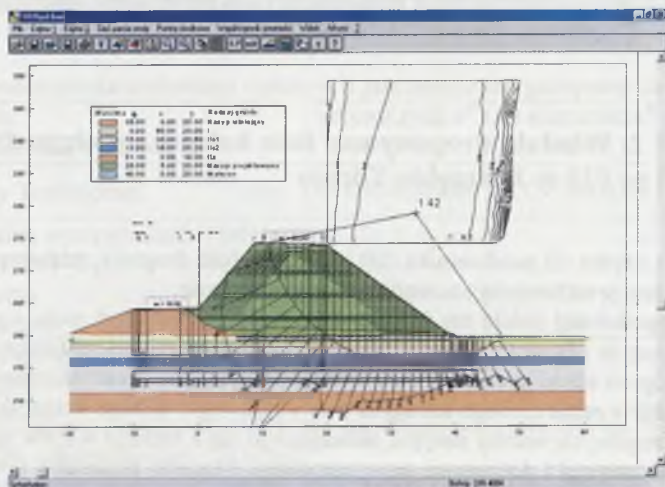
nologicznych. W trakcie budowy występowały problemy, które mogły zaważyć na stateczności całego obiektu, co wymagało stałych konsultacji z odpowiednimi specjalistami i jednostkami nadzorującymi realizację oraz podejmowania racjonalnych decyzji inżynierskich, z korektą projektu włącznie.

## 2.1. Warunki lokalne

Inwestycja zlokalizowana została na obszarze IV kategorii szkód górnich. Silnie napięte zwierciadło wód gruntowych obecnie, wskutek odkształceń pogórnich, znajduje się na głębokości około  $2\div 3$  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  $5\div 11$ -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 żelbetonowy 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  $120\ 000\ m^3$  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.

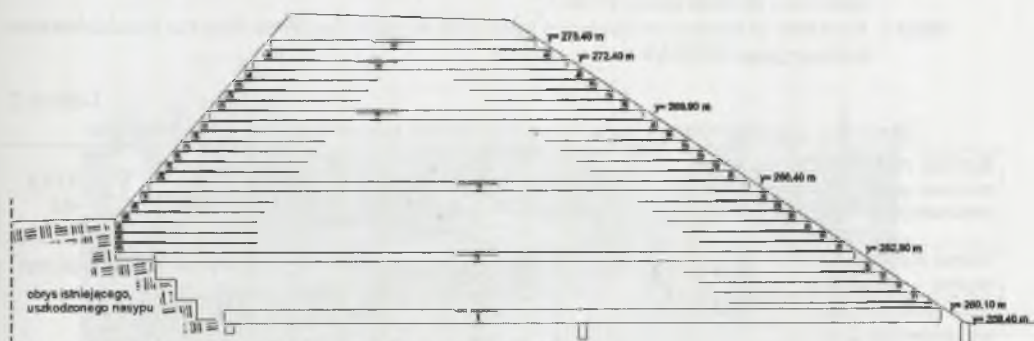


Rys.3. Komputerowa analiza stateczności projektowanego nasypu  
Fig. 3. Computer analysis of designed embankment stability

Maksymalna wysokość nasypu jest równa 16,5 m. Obciążenie użytkowe od pojazdów samochodowych przyjęto jako  $q = 33,3\ kN/m^2$ . Funkcjonujący dotychczas, a położony w bezpo-

średnim 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 pogómicze, 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<sup>®</sup>, w trakcie budowy nasypu do wykonania korekty projektu. W zaistniałej sytuacji zdecydowano się na zwiększenie ilości warstw zbrojonych geosyntytykami. W kształtowaniu geometrii konstrukcji wykorzystano istniejące najazdy dotychczasowego, zlokalizowanego (rys. 3,4) obok, lecz uszkodzonego nasypu w celu częściowego oparcia na nim północnych zboczy nowego nasypu.



Rys.4. Zbrojenie nasypu – przekrój poprzeczny nasypu

Fig. 4. Embankment reinforcement – embankment's cross-section

### 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 wzmacniający z mechanicznie zagęszczonego kruszywa, w dwustronnej osłonie (w pełnym materacu) z geosiatki FORTRAC<sup>®</sup> R 250/30-30M, rozwijanej prostopadle do osi nasypu. Grubość warstwy tłuczni wypełniającego tę warstwę wyniosła 70 cm. Kolejnym etapem było formowanie warstw konstrukcyjnych nasypu o grubości 50 cm każda. Geosyntetyczne wkładki zbrojące stanowiły siatki FORTRAC<sup>®</sup> M. W oblicowaniu poszczególnych stopni zastosowano geotekstyl FIBERTEX<sup>®</sup> typu F-4M. W celu 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 występowało na budowanym w tym samym czasie obiekcie 1. Podstawowe parametry zastosowanych geosyntetyków zestawiono w tablicy 2.





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

Photo 5. Execution of another reinforcement layer using movable formwork from the Przedsiębiorstwa Realizacyjnego INORA®

Tablica 2

Skrócona charakterystyka techniczna niektórych zastosowanych geosyntetyków

Rodzaj materiału: producent geosiatek: HUESKER Synthetic producent geowłokny: FIBERTEX A S		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.	$\geq 250$	$\geq 80$	$\geq 55$	$\geq 18$
- kierunek poprzeczny	min.	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 30$	$\geq 19$
Wydłużenie przy zerwaniu:	%				
- kierunek wzdłużny	max.	$\leq 6$	$\leq 6$	$\leq 6$	65
- kierunek poprzeczny	max.	$\leq 6$	$\leq 6$	$\leq 6$	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 przecięcie – 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 pogórnich:  $\epsilon \leq 3\%$ . 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 m<sup>2</sup>. Wypełnienie materacy stanowił mułowiec – kamień przywęglowy pochodzący z bieżącej eksplo-



atacji górniczej KWK „Pniówek”, który zawierał rząd 10% czystego węgla. W obawie o samozapłon tego materiału, w trakcie formowania nasypu, poszczególne zbrojone warstwy konstrukcyjne były przesypane 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 zagęszczalnym, 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

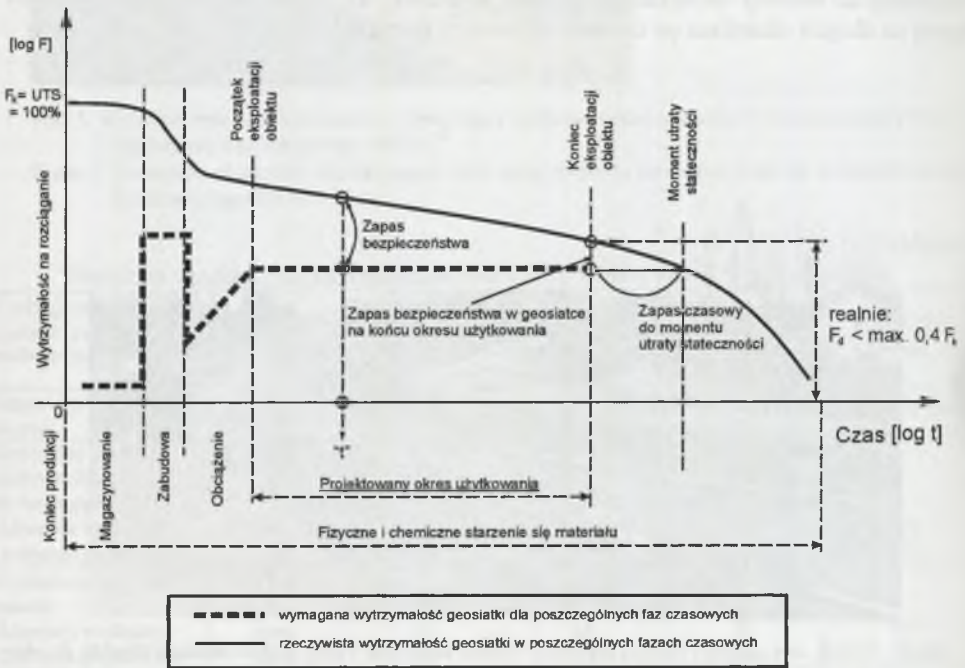
Photo 6. The view of executed embankment from the side of Jastrzębie Zdrój city on the day of structure commissioning

### 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 [ $F_k$ ] (krótkotrwałej, UTS), jako parametru charakterystycznego dla danego wyrobu geosyntetycznego przez cały okres eksploatacji obiektu inżynierskiego – aż do końca jego istnienia! Wartość ta jest wielkością jedynie indeksową, parametrem zaopatrzeniowym. Zagadnienie to wyjaśnia najlepiej poniższy wykres.



Rys. 5. Zmiany wymaganej i istniejącej wytrzymałości na rozciąganie geosiatek z uwagi na funkcjonalność i czas użytkowania

Fig. 5. Changes in the required and existing geogrids' tensile strength due to the functionality and the time of use

Wytrzymałość długoterminowa [ $F_d$ ] najwyższej jakości wyrobów geosyntetycznych nie przekracza 40% wytrzymałości znamionowej ( $F_k$ , krótkotrwałej, UTS). Jeżeli jakiś producent lub osoba handlująca wyrobami geosyntetycznymi udziela informacji, że jej produkt po 100 lub 120 latach charakteryzuje się wytrzymałością rzędu 50% wytrzymałości krótkotrwałej – to jest to ewidentny fałsz i w stosunku do takiego wyrobu projektant powinien zachować szczególną, daleko idącą ostrożność. Dla wyrobów tzw. niekwalifikowanych, co do których producent (dostawca) nie może dowodnie wykazać się protokołami i wynikami badań reologicznych danego produktu – wytrzymałość długotrwała nie jest z zasady nigdy wyższa od 10÷15% wytrzymałości znamionowej, UTS.



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 lub 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] – TULT, 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] A1, A2, A3, A4), 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 dla 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 łączy 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 ( $w_2$ ),

$\gamma_m$  – tzw. „współczynnik bezpieczeństwa materiałowego” – w zależności od normy, według której wykonywane są obliczenia inżynierskie – zarówno współczynniki materiałowe, jak i współczynniki bezpieczeństwa materiałowego mają 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  $\gamma_B$ , 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 wysokiej jakości 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 lub nieposiadania przez producenta danego wyrobu dowodu ze strony nie-

zależnego 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 tabelicy 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):	WYTRZYMAŁOŚĆ ZNAMIONOWA [krótkoterminowa, doraźna, wyjściowa, pierwotna, UTS (Ultimate Tensile Strength)] na zrywanie potrzebna dla uzyskania wartości „ $F_d$ ”:		
	$F_k$		
	WYROBY KWALIFIKOWANE, wykonane z PVA	WYROBY NIEKWALIFIKOWANE, wykonane z :	
$F_d$		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 tabelicy 3 zostały zestawione, zgodnie z zasadami zawartymi 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 i wydłużeńiowych dla samych surowców (włókien) używanych przez poszczególnych producentów w procesach produkcyjnych – podane w tabelicy 3 wielkości są jedynie wielkościami orientacyjnymi i **w żadnym przypadku nie mogą służyć celom inżynierskim**. Wielkość „ $F_d$ ” projektant musi każdorazowo obliczyć opierając się na dostarczonych mu przez producenta protokołach badań i dokumentacjach certyfikacyjno-dopuszczeniowych 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) „**Wytycznych wzmacniania 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, doboru 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 lub nie popartych 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 wielu 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 lub 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 wielu Polaków pracujących poza granicami kraju.

## 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, Niemcy, 1994.
3. BS 8006:1995, Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills BSI, Wielka Brytania, 1995.
4. EBGEO – Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, DGGT, Niemcy, 1997.
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, USA, 1993.
7. Koerner R.: Designing with Geosynthetics, Fourth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, 1997.
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, USA, 1997, s. 1093-1108.
9. Młynarek J., Vermeersch O.: Designing Geotextile Filters for Soil Filtration, 51st Canadian Geotechnical Conference, Edmonton, Alberta, Kanada, 1998, s. 499-505.
10. Młynarek J.: Designing Geotextile Filters For Leachate Filtration, 51st Canadian Geotechnical Conference, Edmonton, Alberta, Kanada, 1998, s. 507-511.
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, Kanada, 12-13.10.1999.
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, Włochy, 2000.
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 miast 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 – sączki drenażu powierzchniowego i wgłębego, 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”, Ustroń, 18-21.10.1998.
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”, Kielce, 11-12.05.1999.
22. Skarzyńska 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 Ziarnego, 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, SIT Kom 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”, Ustroń, 18-21.10.1998.
29. Ajdukiewicz J., Sobolewski J.: Wykorzystanie geosyntetyków w budowie nowoczesnych nasypów i wałów, „Budownictwo górnicze i tunelowe” – kwartalnik naukowo-techniczny 1999, z. 2.
30. Ajdukiewicz J.: Nowoczesne materiały geosyntetyczne gwarantem długowieczności budowli wodnych, Konferencja „Hydrotechnika I ‘1998”, Katowice, 24.11.1998.
31. Ajdukiewicz J.: Zastosowanie filtrów geosyntetycznych dla potrzeb budownictwa hydrotechnicznego na drogach wodnych, Konferencja „Hydrotechnika III ‘2000”, Ustroń, 19-21.09.2000.
32. Ajdukiewicz J.: Geotechniczno - geosyntetyczne systemy zabezpieczeń i umocnień w budowlach hydrotechnicznych. Możliwości transferu doświadczeń z wysorozwiniętych krajów Azji, Ameryki i Europy do Polski, Konferencja „Hydrotechnika IV ‘2001”, Międzybrodzie Żywieckie, 26-28.09.2001.
33. Ajdukiewicz J.: Rola geosyntetyków w budownictwie kolejowym i obszar ich możliwych zastosowań w polskim kolejnictwie, X Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘99”, Spała, 13-15.10.1999.
34. Ajdukiewicz J., Kłosek K.: Kryteria doboru oraz weryfikacja skuteczności stosowania geosyntetyków w podtorzu kolejowym, XI Konferencja Naukowo-Techniczna „Drogi kolejowe ‘01”, Wrocław-Żmigród, 21-23.11.2001.
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.: Geotekstylia 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” 2002, nr 5.
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, 2003, nr 1, s. 30.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Zygmunt MEYER

#### Abstract

During a few last years in Poland a sudden growth of interest in geosynthetics has been observed, what became visible in the execution of many different structures with geosynthetics application. Undoubtedly we owe the fact of increased interest in this branch of products – relatively young (about 30 years) to the opening of Poland to the West and to increased efforts to increase the speed of construction works and to the improvement of their durability. This paper presents two steep road embankments built in 2002 with geosynthetics application, which may be considered as an example in many aspects, including: the range of static calculation, geosynthetic installation plans, providing with essential equipment for work execution, etc.