## ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLASKIEJ Seria: BUDOWNICTWO z. 97

2003 Nr kol. 1573

Janusz SOBOLEWSKI HUESKER Synthetic GmbH, Gescher, Niemcy

Wolfgang AST Technical University of Applied Sciences, Biberach, Niemcy

# GEOSYNTETYCZNY SYSTEM ZABEZPIECZAJĄCY W PODSTAWIE WĘZŁA KOLEJOWEGO GROEBERS, ZLOKALIZOWANEGO NA TERENIE ZAGROŻONYM ZAPADLISKAMI GÓRNICZYMI

**Streszczenie.** Aktualnie budowany węzeł kolejowy Groebres o szerokości ca. 120 m i długości ca. 800 m składać się będzie z 8-9 torowisk, w tym linii ICE z zakładaną prędkością przejazdów pociągów do 300 km/h. Węzeł został zlokalizowany na terenie pogórniczym, zagrożonym zapadliskami o średnicy do 4,0 m. W podstawie węzła został wykonany nowatorski system zabezpieczający, składający się z następujących elementów: system pomiarowo-sygnalizacyjny, żwirowy materac zbrojony ortogonalnie ułożonymi geosiatkami (doraźna wytrzymałość na rozciąganie UTS=1200 kN/m), blok stabilizowany cementem (CSBL), w którym w przypadku powstania zapadliska ma się utworzyć stabilne sklepienie. System ten został przetestowany w skali 1:1 na poligonie w roku 1998. Roboty budowlane rozpoczęto na węźle w 2001; koniec budowy przewidywany jest z końcem 2002 roku. Referat przedstawia w skrócie przebieg poszczególnych faz projektu, począwszy od poligonu, a kończąc na opisie przeprowadzonych robót budowlanych.

## GEOSYNTHETIC PROTECTION SYSTEM AT THE BASE OF RAILWAY MODE GROEBERS LOCATED ON THE AREA ENDANGERED BY SINK-HOLES

**Summary.** The railway junction now under construction at Groebers includes 8 - 9 tracks (two for ICE with speed up to 300 km/h) and is about 800 m long and 120 m wide. This new railway junction is situated in a post-mining area and is endangered by a development of sinkholes with diameters up to 4.0 m. A newly created overbridging system consisting of: warning layer, two orthogonal geogrid layers (ultimate tensile strength: 1200 kN/m) and a cement stabilised bearing layer (to achieve a stable arch) was tested in 1998. The construction works were started in May 2001 and would be finished at the end of 2002. A short description of some more important phases of the project is given in the paper, starting with the field test and finishing with performed construction works.

#### 1. Wstęp

Znajdujący się obecnie w trakcie budowy nowy węzeł kolejowy Groebers, zlokalizowany pomiędzy Halle i Lipskiem, jest usytuowany na terenie zagrożonym zapadliskami pokopalnianymi. Sporządzona dla celów projektu analiza wykazała możliwość wystąpienia dalszych zapadlisk o średnicy do 4,0 m. Zapadliska te następują w wyniku zaciskania się pustek pozostałych po wydobyciu wegla systemem komorowym na głębokości 30 m poniżej poziomu terenu. Wobec braku map górniczych z tamtego okresu wydobycia, nie można zlokalizować miejsc zagrożeń lub pustek z dostateczną pewnością. W fazie wstępnej projektu rozważanych było wiele wariantów posadowienia węzła (między innymi: posadowienie na palach, na płycie żelbetowej, głębokie wykopy i udarowe zagęszczenie podłoża). Wszystkie okazały się albo za drogie albo nie gwarantujące wymaganego poziomu bezpieczeństwa. Ostatecznie wybrano i przetestowano w pełnej skali technicznej system składający się z materaca zbrojonego geosiatkami i spoczywającego na nim bloku z scementowanego gruntu (CSBL), w podstawie którego zainstalowany jest system pomiarowo-alarmowy, w celu śledzenia stanu deformacji podłoża. W tym systemie nośnym po wystąpieniu zapadliska, w obrębie scementowanego bloku (CSBL) ma wytworzyć się stabilne sklepienie wspomagane cięgnem wbudowanym w materac zbrojony geosiatkami. Oczywiście, że przed przystąpieniem do robót przeprowadzono bardzo intensywne badania podłoża z iniekcją zastrzyków cementowych i dołożono wszelkich starań, aby zlokalizować i zapełnić pustki. Po wykonaniu wykopu do rzędnej posadowienia (średnio 7,0 m ppt.) okazało się, że pomimo zastosowania najnowszych technik badawczych i pomiarowych, nie udało się w trakcie badań podłoża wykryć wielu miejsc osłabień, a nawet pustek. Zatem zaproponowany system zabezpieczający miał pełne racjonalne uzasadnienie.

### 2. Opis systemu zabezpieczającego

System zabezpieczający został zaprojektowany dla następujących warunków lub wymagań:

- czas użytkowania: 60 lat;
- średnica zapadliska: do 4,0 m, miejsce zapadliska i jego geometria muszą być każdorazowo zlokalizowane przez system pomiarowo-sygnalizacyjny; dokładność: 1 sygnał/m<sup>2</sup>;
- tryb pracy awaryjnej systemu: do 4 tygodni (tj. w tym czasie musi być przeprowadzona iniekcja i wypełnienie zapadliska);
- żadnego ograniczenia prędkości jazdy pociągów w trybie awaryjnej pracy systemu (tj. w okresie tworzenia się zapadliska o średnicy do 4,0 m);
- dopuszczalna deformacja na poziomie główki szyn: (Δs/L) ≤ 1: 500, gdzie: L rozstaw szyn (1500 mm), Δs ≤ 3,0 mm dopuszczalna różnica osiadań.

Na rys. 1 i 2 w przekroju poprzecznym przedstawiono system zabezpieczający w rzucie poziomym i w osi podłużnej węzła kolejowego Groebers.

#### Geosyntetyczny system zabezpieczający ...



Rys. 1. Plan sytuacyjny węzła kolejowego Groebers Fig. 1. Location plan of railway junction Groebers

Tablica 1

Zestawienie najważniejszych elementów geosyntetycznego systemu zabezpieczającego węzeł kolejowy Groebers przed zapadliskami

Lp.	Nazwa elementu	Opis i funkcja			
1	2	3			
2.1	Baza systemu - plat- forma robocza w podstawie nasypu, stabilizowana cemen- tem	<ul> <li>odpowiednio nośna i odporna na warunki pogodowe platforma robocza w dnie wykopu, grubość 0,40 m, wykonana z miejscowej gliny pylastej, stabi- lizowanej cementem ca. 4,5% cementu w przeliczeniu na suchą masę gruntu, strop warstwy ma pochylenie poprzeczne ca. 0,9% w celu zapewnienia spływu wód opadowych.</li> </ul>			
2.2	Warstwa wyrównaw- cza	<ul> <li>dokładnie wyprofilowana warstwa żwiru o granulacji 0/16 mm 1: 500, i o grubości 0,10 m, zapewniająca odpływ wód opadowych i dokładne wyprofilowanie płaszczyzny posadowienia systemu alarmowego.</li> </ul>			
2.3	System alarmowy, [4]	- poprzecznie do osi torów: ekstensiometry w rozstawie co 1,0 m i matryce w panelach o wymiarach max. (5 m x 40 m), integrowane na miejscu w megamatryce, za pomocą których śledzona będzie deformacja całej podsta- wy węzła. Matryce stanowią: kompozyt, składający się z dwóch geowłók- nin, pomiędzy którymi umieszczona jest ortogonalna siatka przewodów pomiarowych - o oczku siatki: 0,25 x 0,25 m. Każdy z węzłów i każdy ele- ment liniowy będą znajdować się pod stała kontrolą systemu pomiarowego, sterowanego komputerowo. Poza sygnałami "tak" i "nie" będą mierzone wydłużenia ekstensiometrów i zmiany oporności w przewodach instalacji alarmowej. W ten sposób, po odpowiedniej obróbce danych, będzie można uzyskać obraz deformacji podłoża, a w przypadku sytuacji awaryjnej - będą generowane odpowiednie sygnały alarmowe.			
2.4	Warstwa balastująca system alarmowy	<ul> <li>w celu wymuszenia deformacji w systemie pomiarowym symultanicznie z rozwojem leja zapadliskowego; matryca została przykryta warstwą balastu- jącą wykonaną ze żwiru 0/16 mm o grubości 0,30 m.</li> </ul>			

339

c. d. tablicy 1

1	2	3
2.5	Pierwsza warstwa zbrojenia geosynte- tycznego układana poprzecznie do osi podłużnej węzła Fortrac <sup>®</sup> typu R 1200/100-10 AM	<ul> <li>na stropie warstwy balastującej, poprzecznie do osi podłużnej węzla, z zakładem 0,25 m. Każde pasmo ma indywidualną długość dobraną do lokalnej szerokości węzła, ponieważ nie dopuszczono do połączeń lub zakładów na głównym kierunku nośnym. W oparciu o obliczenia statyczne i badania na modelu w skali 1:1, sformułowano następujące wymagania techniczne dla geosiatek:</li> <li>doraźna wytrzymałość na rozciąganie (DIN 10319): F<sub>k</sub> ≥1200 kN/m (md) F<sub>k</sub> ≥100 kN/m (cmd)</li> </ul>
		$ \begin{array}{l} & wydłużenie przy zerwaniu (DIN 10 319): $$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
		Legenda: (md) - wzdłuż pasma, (cmd) - w poprzek pasma. Powyższe wymagania spełnia geosiatka Fortrac <sup>®</sup> typu R 1200/100-10 AM wykonywana z aramidu w kierunku podłużnym i z PVA (poliwinyloalkoho- lu) w kierunku poprzecznym.
2.6	Rozdzielcza warstwa	- pierwsza warstwa zbrojenia została pokryta żwirem 0/32 mm o grubości
2.7	Druga warstwa zbro- jenia geosyntetycz- nego układana wzdłuż osi węzła: Fortrac <sup>®</sup> typu: R 1200/100-10 AM	- druga warstwa zbrojenia instalowana w osi podłużnej torów z zakładką 0,25 m (pas na pas). Długość zakładów na kierunku nośnym (podłużnym) wynosiła 11,0 m ( $L_A$ =7,0 m, wymagana długość zakotwienia i D=4,0 m średnica prognozowanego leja zapadliskowego). Na zakładach podłużnych została wbudowana rozdzielcza warstwa żwiru 0/32 mm o grubości 0,10 m. Kąt tarcia na kontakcie zbrojenie - żwir musiał wykazywać wartość co najmniei: $\delta_{\rm v}$ =37.5°.
2.8	Żwirowa pokrywa materaca	- górne zbrojenie pokryto żwirem 0/32 mm o grubości 0,30 m. W ten sposób został utworzony materac z dwoma ortogonalnymi warstwami zbrojenia, wbudowanymi w żwir o wysokim kącie tarcia $\varphi_k \ge 42^\circ$ . Oprócz mechanicznej funkcji warstwa żwiru wbudowana powyżej zbrojenia spełniać będzie funkcje bufora neutralizującego wycieki z powyżej położonego bloku stabilizowanego cementem.
2.9	Blok stabilizowany cementem (CSBL)	<ul> <li>ta cześć konstrukcji nasypu ma równie istotną rolę jak materac, ponieważ tutaj powinno utworzyć się nad zapadliskiem stabilne i trwale sklepienie o zdefiniowanej geometrii. Wymagania materiałowe dla bloku podano w ta- blicy 2. Wymagania geometryczne:</li> <li>grubość w aktywnej strefie naprężeń: min. 2,95 m</li> <li>grubość poza strefami naprężeń aktywnych: min. 1,95 m.</li> </ul>
2.10	Włóknina separująca	<ul> <li>na górnej powierzchni (CSBL) przewidziano instalacje włókniny separują- cej (PP, 350 g/m<sup>2</sup>; Fibertex<sup>®</sup> F-4M).</li> </ul>
2.11	Warstwy ochronne	-wymagania techniczne dla tych warstw zostały sformułowane w oparciu o przepisy DB AG, tablica 2.
2.12	Torowiska	- wszystkie torowiska, włączając w to linię ICE (w początkowej fazie dla prędkości do 250 km/h) zostaną wykonane na podsypce. Opcjonalnie zakła da się możliwość przebudowy torowiska ICE na bezpodsypkowe z dostoso- waniem do prędkości jazdy do 300 km/h, wszystkie elementy podtorza w obrębie węzła są zaprojektowane na tą właśnie prędkość jazdy pociągów.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny węzła kolejowego Groebers Fig. 2. Cross-section of railway junction Groebers

Tablica 2

Wymagania dotyczące parametrów gruntowych dla poszczególnych warstw nasypu

	Rodzaj gruntu w/g DIN 18 196	Parametry					
Nazwa		wskaźnik zagęszczenia Is (%)	ciężar objęto- ściowy <sup>Y</sup> k (kN/m <sup>3</sup> )	kąt tarcia φ <sub>k</sub> (°)	kohezja c <sub>k</sub> (kN/m <sup>2</sup> )	moduł sprężystości E <sub>k</sub> (MN/m²)	wodoprze- puszczal- ność <sup>***</sup> k <sub>F</sub> (m/s)
Warstwa ochronna	KG 1°	103	≤ 23	≥ 42		≥ 100	≤ 1,0 · 10 <sup>-6</sup>
Warstwa mrozoochronna	KG 2*	100	≤23	≥ 42	-	≥ 100	≥ 1,0 · 10 <sup>-5</sup>
Blok stabilizowany cementern (CSBL)	SU/TL <sup>**</sup> min. 4,5 % Pectacrete	100	≤ 22,5	≥ 35	≥ 150	$\geq$ 350 ± 100	
Materac żwirowy	Żwir 0/32, KG 2* TL 918 062	100	≤ 23	≥ 42	-	≥ 100	≥ 1,0 · 10 <sup>-5</sup>
Warstwa wyrównawcza i balastująca	Żwir 0/16	100	≤ 23	≥ 42	-	≥ 100	≥ 1,0 · 10 <sup>-5</sup>
Stabilizowana cementem podstawa nasypu	SU/TL <sup>**</sup> min. 4,5 % Pectacrete	97	≤ 22,5	≥ 35	≥ 150	≥ 200	-

- TL 918 062 - "Warunki dostaw kruszyw dla konstrukcji kolejowych", DB AG

- SU/TL- pył gliniasty lub glina pylasta, klasyfikacja w/g DIN 18 196

- kF- wyznaczany w/g DIN 18 130

### 3. Poligon doświadczalny w pełnej skali technicznej

Celem badań w pełnej skali technicznej było przetestowanie na poligonie systemu nośnego i alarmowego w warunkach symulacji kontrolowanego zapadliska, o ściśle określonym miejscu i wymiarach [1,2,5]. Głównie chodziło tu o:

- uzyskanie dowodu zachowania warunków drugiego stanu granicznego (użytkowania) w warunkach wystąpienia zapadliska;
- weryfikacje obliczeń statycznych, a w szczególności sprawdzenia geometrii sklepienia w bloku (CSBL) i sił rozciągających w zbrojeniu;
- sprawdzenie funkcjonalności systemu alarmowego, zarówno elementów pomiarowych i rejestrujących (hardware), jak i oprogramowania (software).



Rys. 3. Poligon doświadczalny w skali 1:1, przekrój poprzeczny, 1998 Fig. 3. Test site to scale 1:1, cross-section, 1998

Poligon został zlokalizowany dokładnie w osi przyszłej linii ICE w obrębie węzła Groebers i obejmował swoją szerokością dwa torowiska (rys. 3). W celu symulacji zapadliska w podstawie nasypu w miejscu spodziewanych największych deformacji nasypu wykonano w osłonie ścianek szczelnych zagłębienie o wymiarach 4,0 x 9,0 m x 1,5 m, umieszczając w nim 21 poduszek gumowych wypełnionych wodą (rys. 4). Przestrzenie pomiędzy poduszkami wypełniono żwirem o granulacji 0/8 mm. W stropie poduszek została wbudowana warstwa tego samego żwiru o grubości 30 cm. Ścianki szczelne zostały następnie wyciągnięte i tym samym na stanowisku do symulacji zapadliska można było zabudować planowaną konstrukcją nasypu.



Rys. 4. Montaż stanowiska symulacyjnego, poduszki wypełnione wodą

Fig. 4. Test station assembling, pads fille with water



Rys. 5. Pierwsza warstwa zbrojenia z czujnikami pomiarowymi Fig. 5. First layer of reinforcement with sensors

Dla celów pomiarowych wbudowano następującą ilość elementów pomiarowych:

- 60 czujników pomiaru wydłużeń na obu poziomach zbrojenia, (rys. 5);
- 6 rur inklometrycznych zainstalowanych poziomo do pomiarów osiadań;
- 120 czujników do pomiaru naprężeń poziomych i pionowych;
- 8 trójosiowych geofonów.

W pierwszej fazie badań przeprowadzono symulację zapadliska o wymiarach 4,0 x 4,0 m opróżniając w tym celu 9 poduszek. Po 7 dniach przyłożono obciążenie statyczne

q = 55 kN/m<sup>2</sup> i rozpoczęto symulacje obciążeń dynamicznych maszyną DYSTAFIT. Po zakończeniu programu symulacji prognozowanego zapadliska 4,0 x 4,0 m opróżniono pozostałe poduszki symulując zapadlisko o wymiarach 4,0 x 9,0 m. Zaprojektowany system wykazywał jednak nadal dostateczną stateczność, co było wynikiem dużej rezerwy wytrzymałościowej z tytułu zastosowanych współczynników bezpieczeństwa wg DIN V 1054-100. Na rys. 6 widoczna jest maszyna DYSTAFIT w trakcie obciążeń dynamicznych: płyta obciążająca o masie 12 000 kg, średnica płyty 2,50 m. Obciążenia dynamiczne symulowano dla zakresu częstotliwości od 10 Hz do 27,5 Hz. Pomierzona prędkość przemieszczenia w obrębie bloku (CSBL) wynosiła max. 30 mm/s, odpowiadająca jej dynamiczna siła rozciągająca w zbrojeniu wynosiła 464 kN/m. Pomierzone dla zapadliska 4,0 x 4,0 m wielkości wydłużeń zbrojenia nie przekraczały 1,0%. Całkowita energia wyemitowana w trakcie symulacji maszyną DYSTAFIT była równa energii wprowadzonej w nasyp od dwóch torowisk linii ICE dla przewidywanej intensywności eksploatacji w ciągu jednego miesiąca (projektowany czas pracy zbrojenia po wystąpieniu zapadliska). Po zakończeniu pomiarów korpus nasypu został rozcięty dokładnie w osi poprzecznej w celu weryfikacji danych pomiarowych i poboru prób materiałowych. Szczególnie ważna była weryfikacja geometrii sklepienia i formy odkształconego zbrojenia. Udało się tu wykazać bardzo dużą zbieżność pomiędzy wynikami obliczeń statycznych i wynikami badania pełnoskalowego (rys. 7).



Rys. 6. Obciążenie dynamiczne maszyna DY- Rys. 7. Rozcięcie konstrukcji nasypu dla weryfi-STAFIT, zapadlisko o wymiarach 4,0 x 9,0 m

Fig. 6. Dynamic loading, DYSTAFIT machine, Fig. 7. Dissection of embankment structure to 4,0 x 9,0 m sink



kacji danych pomiarowych i pomiaru kształtu sklepienia w bloku (CSBL)

verify the measurement data and shape measurements of vault in block

### 4. Zakres projektu technicznego

Obliczenia statyczne zostały wykonane programem PLAXIS 7.0 bazując na DIN V 1054-100 (Edycja 1995) i EBGEO 1997, [3]. Za pomocą programu PLAXIS 7.0 wyznaczano geometrie sklepienia i naprężenia w bloku (CSBL), (rys. 8). Za pomocą warunku Coulomba-Mohra sprawdzano każdorazowo stan bezpieczeństwa materiałowego w obrębie sklepienia, stosując parametry podane w tablicy 2. Wymaganą wytrzymałość zbrojenia geosyntetycznego na rozciąganie wyznaczano dla znanej stabilnej geometrii sklepienia według modelu podanego na rys. 9. Obliczenia prowadzone były dla dwóch stanów:

- bezpośrednio po wytworzeniu się zapadliska, moduł sztywności zbrojenia na rozciąganie:  $J_k = 65 900 \text{ kN/m}$ ;
- po 1 miesiącu wytężenia nad zapadliskiem o wymiarach 4,0 x 4,0 m; moduł sztywności zbrojenia na rozciąganie przy uwzględnieniu pełzania J<sub>L</sub> = 29 411 kN/m.

Obliczenia wykonywane były dla 3 charakterystycznych przekrojów poprzecznych i każdorazowo dla 3 do 5 rożnych pozycji zapadliska, 2 kombinacji obciążeń i dwóch punktów czasowych. Ostatecznie uzyskano następujące wyniki: wymagana obliczeniowa wytrzymałość na rozciąganie dla momentu wytworzenia się zapadliska:  $F_{Bd}$  (t=0) = 489 kN/m i dla czasu obciążenia do jednego miesiąca  $F_{Bd}$  (t=1 miesiąc) = 374 kN/m. Największa obliczona deformacja: przechyłka torowiska wynosiła  $\Delta s/L = 0,002$  i równała się wartości dopuszczalnej.



Rys. 8. Przekrój poprzeczny z dwoma torowiskami, wykres naprężeń głównych, zapadlisko 4,0 m, Plaxis 7.0

Fig. 8. Cross-section with two railway tracks, diagram of principal stresses, 4.0 m sink, Plaxis 7.0



h . wysokosc sklepienia

- Rys. 9. Schemat obliczeniowy wyznaczania siły rozciągającej w zbrojeniu przy znanej geometrii sklepienia
- Fig. 9. Computational scheme to determine the tension force in reinforcement at the known vault geometry

W ramach dokumentacji technicznej sporządzono plan instalacji ekstensiometrów, matryc pomiarowych, tuneli kablowych, i plany instalacji zbrojenia. Opracowano również przekroje poprzeczne, co 25 m trasy, definiując dokładnie położenie poszczególnych elementów składowych i geometrie poszczególnych warstw. W ramach projektu opracowano także plan dorzymania jakości materiałów i robót budowlanych. Projekt został sprawdzony i uzyskano zezwolenie budowlane od EBA (Federalny Urząd Kolejowy) Bonn.

### 5. Przebieg robót budowlanych i kontrola jakości

W latach 1988-2000, a więc równolegle do prac studialnych i projektowych, wykonywane były badania podłoża z jednoczesną iniekcją zastrzyków cementowych do zlokalizowanych pustek. W maju 2001 rozpoczęto roboty ziemne, natrafiając na różnorodne formy zapadlisk lub nieciągłości podłoża w trakcie wykopów:

- otwarte zapadliska w dnie wykopu, powstałe po ulewnych deszczach (rys. 10);
- przesklepione zapadliska występujące na zróżnicowanych głębokościach (rys. 11);
- "stare, samoczynnie wypełnione" zapadliska o małym zapasie stateczności (rys. 12).

W celu zachowania bezpieczeństwa ludzi i sprzętu (rys. 12 dokumentujący wypadek koparki z lipca 2001) wydano następujące zalecenie: każdy poziom wykopu na całej jego powierzchni, zanim wydane będzie zezwolenie na wejście ludzi i sprzętu na dany odcinek robót, powinien być wyprzedzająco zbadany na nośność poprzez wywołanie max. nacisku łyżką koparki. Pustki i zapadliska wykryte w trakcie robót wypełniane były pod nadzorem geotechnicznym; stosowano tu zarówno technikę iniekcji jak i wykonywanie plomb z gruntu stabilizowanego cementem, (rys. 13).



Rys. 10. Otwarte zapadlisko w dnie wykopu po Rys. 11. Okryte sklepienie nad zapadliskiem w opadach deszczu trakcie wykopów

Fig. 10. Opened sink on the excavation bottom Fig. 11. Covered vault over sink during excavaafter rainfall tion

Roboty budowlane i materiały poddane były bieżącej kontroli jakości. W ramach referatu podaje się jedynie system kontroli dla geosiatek:

- kontrolne badania wytrzymałości włókien aramidowych i PVA wg ISO 2062/95 VA- co 5000 kg masy surowca;
- kontrolne badania wytrzymałości geosiatek wykonywane w laboratorium producenta wg EN DIN ISO 10 319; masy powierzchniowej wg EN DIN 965 i wymiarów oczka, co 1000 mb geosiatki;
- niezależna, zewnętrzna kontrola produkcji wg DIN 18200;
- kontrolne badania wytrzymałości na zlecenie zamawiającego (DB AG) EN DIN ISO 10 319 co 10000 m² produktu;
- kontrola na miejscu budowy przez przedstawiciela EBA Bonn (Federalny Urząd Kolejowy): kontrola wizualna każdej rolki i wszystkich przedłożonych protokołów badań.







Każda matryca systemu alarmowego i każda rolka geosiatki posiadały specjalne oznakowania i etykiety, zgodne z planami instalacji poszczególnych warstw. Rolki, z których na drodze losowej pobrano próby do badań wytrzymałości, były oznakowane dodatkowo, w celu ich łatwej identyfikacji w warunkach placu budowy. Matryce, ze względu na ich mała mase powierzchniową, układane były ręcznie. Kable i przewody ekstensiometrów były ujmowane w wiazki i w osłonie rur z PVC wyprowadzane do później budowanych kanałów kablowych (rys. 14 i 17). Geosiatki układane były za pomocą specjalnego urządzenia, wykonanego na potrzeby tylko tego projektu, ponieważ przy max. długości każdego z rulonów geosiatki do 150 m i masie rzedu 1500 kg należało zapewnić efektywną i sprawną instalację oraz dotrzymać odpowiednio wysoką dokładność ułożenia. Poza tym wymagany był kontrolowany wstępny naciąg geosiatki z siłą nie mniejszą niż 3 kN/m (rys. 15). O wysokiej jakości robót instalacyjnych świadczą zdjęcia pokazane na rys. 15 i 16. Każdorazowo, po wbudowaniu warstwy żwiru nad daną warstwą geosiatki lub matrycy, kontrolowane było jego uziarnienie i zageszczenie, jak też dokonywany był odbiór robót przez przedstawiciela EBA Bonn.



Rys. 14. Instalacja ekstensiometrów i matryc Rys. 15. Instalacja geosiatki Fortrac®R1200/100systemu pomiarowo-sygnalizacyjnego Fig. 14. Installation of extension meters and arrays of measuring-warning system



10 AM układanej w poprzek do osi podłużnej węzła

Fig. 15. Installation of Fortrac® R1200/100-10 AM geogrid laid down across the longitudinal axis of the junction

#### Geosyntetyczny system zabezpieczający.

Ze względu na bardzo ważną funkcję w systemie nośnym, również blok stabilizowany cementem (CSBL) poddany był ścisłej kontroli jakości. Był on wykonywany warstwami o grubości 0,30 m. Każda warstwa była każdorazowo badana w celu sprawdzenia jakości materiału i jego zagęszczenia: badanie uziarnienia, wskaźnika zagęszczenia i nośności (parametry kontrolne podano w tablicy 2).



-10 AM wzdłuż osi podłużnej węzła

Fig. 16. Installation of Fortrac® R1200/100-10 AM geogrid laid down along the longi- Fig. 17. Construction of a block from a cementtudinal axis of the junction



Rys. 16. Instalacja geosiatki Fortrac®R 1200/100 Rys. 17. Budowa bloku (CSBL) z mieszanki cementowo-gruntowej, widoczne wiązki kabli w osłonie rur z PCV

soil mixture, visible groups of cables cased in PVC tubes

#### 6. Podsumowanie

Przedstawione w referacie posadowienie węzła kolejowego Groebers na terenie zagrożonym zapadliskami stanowi w wielu aspektach techniczne novum, a w szczególności w odniesieniu do geosyntetyków. Poza nowatorskim systemem pomiarowo-sygnalizacyjnym zawierającym również geosyntetyki zastosowano tu jako system nośny nad zapadliskiem: sklepienie w stabilizowanym cementem bloku wspomagane wysokowytrzymałym cięgnem z geosiatek. System przed wdrożeniem został przetestowany w skali 1:1 i uzyskał aprobatę techniczna Federalnego Urzedu Kolejowego w Bonn. Ze względu na znaczenie i wielkość węzła kolejowego Groebers oraz realnie wysoki stopień zagrożenia zapadliskami postawiono najwyższe wymagania jakościowe na rozwiązania projektowe, jakość materiałów, i jakość robót budowlanych. Zdaniem autorów jest to pierwszy w praktyce niemieckiej projekt z udziałem geosyntetyków, w którym od pomysłu do zakończenia robót rygorystycznie wymagano dowodów na rozwiązania konstrukcyjne, założenia modelowe i parametry materiałowe włącznie z dowodem dotrzymania jakości. Zebrane doświadczenia na tym obiekcie zostana wykorzystane przy opracowywaniu nowego rozdziału w EBGEO dotyczącego projektowania zbrojeń geosyntetycznych nad zapadliskami.

#### LITERATURA

- 1. Ast W., Hubal H.: Geogitterbewehrter und zementstabilisierter Eisenbahnunterbau in einem Erdfallgebiet. Proc. KGEO 2001, München, March, 2001, s. 227-231.
- Ast W., Sobolewski J., Haberland J.: Final design of an overbridging for railways endangered by cavities at Groebers, Landmarks in Earth Reinforcment, Proceedings of The International Symposium on Earth Reinforcement, Fukuoka, Kyushu, November 2001, s. 191-196.
- Alexiew D., Elsing A., Ast W.: FEM-Analyses and Dimensioning of a Sinkhole Overbridging System for High-Speed Trains at Groebers in Germany. Proc. 7th International Conference on Geosynthetics, Nice, September 2002, s. 1167-1172.
- Ast W., Haberland H.-J.: Reinforced Embankment with a New Developed Warning System for High-Speed Trains over Areas of Previous Mining. Proc. 7th Int. Conf. on Geosynthetics. Nice, September 2002, s. 335-340.
- Leitner B., Sobolewski., Ast W., Hangen H.: A Geosynthetic Overbridging System in the Base of a Railway Embankment Located on an Area Prone to Subsidence at Groebers: Construction Experience, Proc. 7th Int. Conf. on Geosynthetics. Nice, September 2002, s. 349-354.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Krystyna SKARŻYŃSKA

#### Abstract

Sinkholes beneath roads and railways can cause serious difficulties in some regions in Germany. The introduction of high strength geosynthetic reinforcements and new polymers created better possibilities to reduce the foundation risk. The railway junction now under construction at Groebers includes 8 – 9 tracks and is about 800 m long and 120 m wide. This new railway junction is situated in a post-mining area. Two of the tracks belong to a high-speed line (300 km/h). A newly developed overbridging system consisting of: warning layer, two orthogonal geogrid layers (ultimate tensile strength: 1200 kN/m) and a cement stabilized bearing layer (to achieve a stable arch) was built and tested in 1998. The results of this full-scale test were decisive for the approval by the German Railways. Some results of the test and the main project data are presented in the paper. The paper includes a short description of performed construction work.