

Ochrona konstrukcji autostrady A1 na terenie szkód górniczych z zastosowaniem wysokowytrzymałych zbrojeń geosyntetycznych

Jarosław Ajdukiewicz, Kazimierz Kłosek, Janusz Sobolewski

W 2010 r. rozpoczęto budowę autostrady A1 na odcinkach Pyrzowice - Piekary Śląskie - Maciejów. Droga ta jest częścią Trans-Europejskiego Korytarza Transportowego TEN-T w kierunku północ-południe, łącząca Morze Bałtyckie z południem Europy.

W procesie projektowania zbrojenia dla autostrady A1 na śląskim odcinku przewidziano dwa przypadki szkód górniczych: zapadlisko w postaci leja o średnicy zastępczej dochodzącej do 5 metrów oraz uskok o wysokości do 20 cm.

Biorąc pod uwagę rodzaj zastosowanych polimerów, bardzo wysokie wytrzymałości na rozciąganie materiałów oraz łączną ilość stosowanych geosyntetyków, projekt ten jest obecnie jednym z największych w tej kategorii na świecie.

Artykuł jest zmodyfikowaną wersją referatu wygłoszonego na V. Konferencji naukowo-technicznej „Szkody górnicze a infrastruktura transportowa”, która odbyła się w Ustroniu-Jaszowcu, 17-18 marca 2011 r.



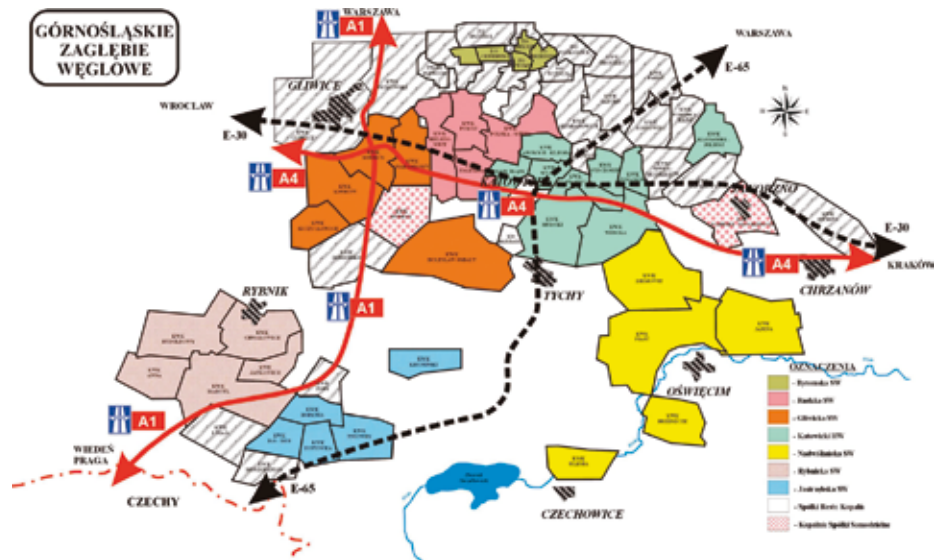
Prof. Kazimierz Kłosek,
Politechnika Śląska



Dr inż.
Janusz Sobolewski,
Huesker Synthetic GmbH



Inż.
Jarosław Ajdukiewicz,
P.R. INORA sp. z o.o.



1. Lokalizacja autostrad A1 i A4 na obszarze Górnoszląskiego Zagłębia Węglowego w obrębie III (E-W) i VI (N-S) transeuropejskich korytarzy transportu TEN

Parametry techniczne konstrukcji autostrad - konstrukcyjne, geometryczne i ruchowe są niezwykle czułe na wszelkie deformacje podłoża gruntowego i związane z tym odkształcenia nasypów i budowli. Zapewnienie bezpieczeństwa ruchu na terenach aktywnych górniczo wymaga zapewnienia dostatecznej odporności konstrukcyjnej oraz funkcjonalnej systemów nośnych,

a w szczególności nawierzchni drogowej. Coraz częściej sięga się w związku z tym po metody wzmocnień podłoża gruntowego i korpusu konstrukcji ziemnej wykorzystujące technologię gruntu zbrojonego geosyntetykami, umożliwiające inżynierski dobór zabezpieczenia adekwatnego do założeń inwestycyjnych i istniejących warunków gruntowych a także dość łatwe doposażenie konstrukcji o precyzyjne systemy monitoringu automatycznego. Obserwowane na powierzchni terenu skutki szkód górniczych to deformacje ujawniające się w postaci m.in. obniżen terenu, zmiany nachylenia i krzywizny, przemieszczeń poziomych i pionowych jak i odkształceń poziomych o charakterze rozluźniającym lub zagęszczającym podłoża. Szczególnie groźne są uszkodzenia o charakterze nieciągłym: uskoki, szczeliny, leje zapadliskowe itp. Poza tym groźne rów-

niez są poziome odkształcenia rozluźniające podłoża, gdyż np. połączeniu z niekorzystnymi zakłóceniami przepływów wodnych mogą prowadzić do gwałtownych destrukcji nośnych warstw gruntowych. W tej sytuacji stosunkowo dobrze rozpoznane są systemy zabezpieczające przed tymi zagrożeniami a opierające się na wprowadzeniu zbrojenia geosyntetycznego podstawy nasypów i podbudów drogowych na terenach narażonych na powyższe wymienione warunki. Geosyntetyki w takiej funkcji stosowane są z powodzeniem od lat '70-tych ubiegłego wieku, przede wszystkim na terenie Niemiec, Francji, Wielkiej Brytanii, USA i Japonii [2].

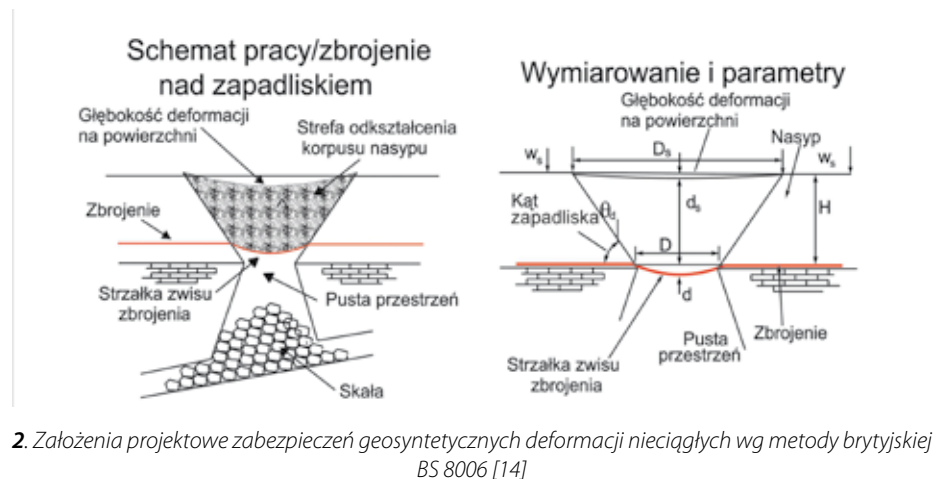
Zabezpieczenie konstrukcji autostrady A1 na terenie szkód górniczych rozpatrywano w jej dwóch najbardziej narażonych na szkody górnicze odcinkach - odcinek

Pyrzowice – Piekary Śląskie (475-909,00 - 490+427,00), oraz Piekary Śląskie – Maciejów (km 490+427 do km 510+530,00) – rys.1. W procesie projektowania zbrojenia dla przedmiotowej autostrady A1 na jej śląskim odcinku przewidziano dwa skrajne przypadki szkód górniczych: zapadlisko w postaci leja o średnicy zastępczej dochodzącej do 5 metrów oraz uskok o wysokości do 20 cm. Zbrojenie geosyntetyczne powinno przenieść wszystkie obciążenia i zapewnić możliwość ciągłej eksploatacji autostrady bez zagrożenia dla ruchu pojazdów. Pierwszym etapem pracy było określenie maksymalnych dopuszczalnych deformacji nawierzchni, akceptowalnych przez zarządzającego drogą. Posiłkowano się m.in. redagowanymi ówczesnie a obecnie wydanymi niemieckimi zaleceniami EBGEO [13], w których jeden z rozdziałów jest poświęcony zagadnieniom projektowania konstrukcji w warunkach szkód górniczych i geologicznych. Na tej bazie określone zostały następnie odpowiednie wartości graniczne deformacji całej konstrukcji nasypu lub podbudowy, których nie przekroczenie należało zagwarantować. Następnie wyznaczono wartości graniczne wydłużeń zbrojenia geosyntetycznego oraz określono potrzebne wytrzymałości oraz dopuszczalne moduły odkształceń. Jako że siły i wydłużenia mobilizowane w zbrojeniu geosyntetycznym są jednocześnie miarą warunków działających w konstrukcji gruntowej, stąd możliwość monitorowania tych parametrów daje niespotykaną dotąd możliwość kontroli pracy całej budowli. Wykrycie przekroczenia zdefiniowanych poziomów alarmowych pracy geosyntetyku umożliwia wcześniejsze ostrzeżenie zarządcy drogi o zbliżającym się niebezpieczeństwie. Osiągnięcie wartości granicznych może np. powodować automatyczne wprowadzenie ograniczenia prędkości za pomocą znaków zmiennej treści lub nawet skutkować zamknięciem autostrady. System monitoringu zespolony ze zbrojeniem geosyntetycznym, działający według powyższych zasad został zaprojektowany i jest wykonywany, czyniąc przedmiotowy odcinek autostrady A1 unikalnym w skali światowej.

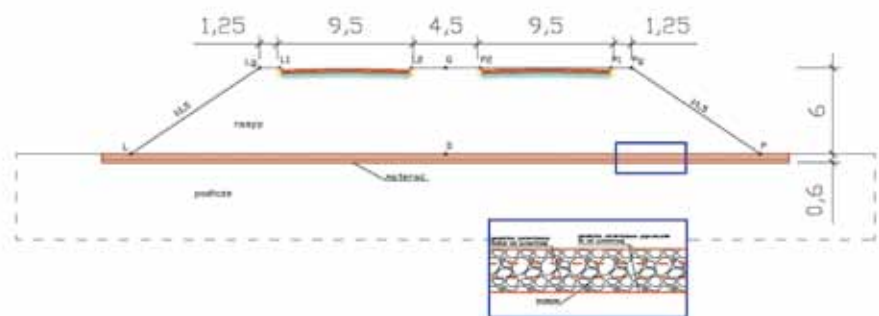
Dla kołowych zapadlisk zastosowano w obliczeniach model RAFAEL opracowany we Francji. Dla przypadków uskoków analizę systemu zabezpieczającego przeprowadzono stosując metodę elementów skończonych.

Obecnie w Europie stosowane są dwie analityczne metody projektowania wzmocnień na obszarach występowania deformacji nieciągłych:

- brytyjska metoda opisana w normie BS 8006 [14];
- francuska metoda empiryczna RAFAEL, będąca efektem wieloletnich badań, bazująca na doświadczeniach wykonywa-



2. Założenia projektowe zabezpieczeń geosyntetycznych deformacji nieciągłych wg metody brytyjskiej BS 8006 [14]



3. Mechanizm opisujący model analityczny nieciągłości ośrodka gruntowego oraz obrazowanie mechanizmu działającego na brzegu zapadliska

nych w skali naturalnej oraz analizach prowadzonych metodami elementów skończonych.

Podstawowa różnica pomiędzy tymi metodami polega na odmiennym opisie zachowania się gruntu nad powstałym zapadliskiem. Metoda francuska bazuje na cylindrycznych „zwisach” gruntu ponad zapadliskiem i ekspansji gruntu do zapadliska. Obciążenia działające na geosyntetyk są obliczone przy zastosowaniu standardowej metody stanów granicznych. Również niemieckie wytyczne EBGEO [12] sugerują stosowanie metody francuskiej. Duża liczba zrealizowanych tą metodą inwestycji oraz pozytywne rezultaty ich monitoringu wskazują na dużą wiarygodność tych założeń obliczeniowych. W świetle przeprowadzonych analiz metoda ta stała się również zasadniczym podejściem w procesie projektowania zbrojenia na terenach zapadliskowych konstrukcji autostrady A1. Metoda brytyjska bazuje na założeniu „nieekspansywnego” charakteru przemieszczeń nadległego gruntu do wyrobiska, a obszary gruntu nad zapadliskiem są zdefiniowane kątami równymi w przybliżeniu granicznemu kątowi tarcia wewnętrznej gruntu, co ilustruje rys.2. Wedle tych założeń zakres osiadań powierzchni jest mniejszy niż pionowe przemieszczenie geosyntetyku. Należy zaznaczyć, że obie metody bazują na jednakowych założeniach

analitycznych w opisie efektu membranowej pracy geosyntetyku nad zapadliskiem. Zastosowana w odniesieniu do autostrady A1 metoda obliczeniowa polegała zatem na dokładnym określeniu mechanizmu zniszczenia działającego w rejonie zapadliska, szczególnie na jego brzegach, co obrazuje rys.3.

Kolejnym krokiem jest wyznaczenie sił mobilizowanych w zbrojeniu geosyntetycznym i sprawdzeniu zarówno stanu granicznego nośności materiału zbrojącego, jak i wyznaczenie sztywności konstrukcji poprzez obliczenie maksymalnych wydłużeń, aby wartości te były zgodne z założeniami projektanta. Niezbędne jest także sprawdzenie maksymalnej anizotropowości zbrojenia geosyntetycznego, co należy sprawdzić poprzez zależności:

$$J_{md}/J_{cmd} > 10$$

oraz

$$\epsilon Q/\epsilon L > 2.$$

Wyznaczenie obciążenia działającego na geosyntetyk jest obliczone metodą Terzaghiego:

– dla pustek liniowych (szczeliny):

$$q = \frac{Ly}{2K_{\alpha} \tan \alpha} \left(1 - e^{-K_{\alpha} \tan \alpha \frac{2H}{L}} + \rho e^{-K_{\alpha} \tan \alpha \frac{2H}{L}} \right)'$$

– dla pustek cylindrycznych (zapadliska):

$$q = \frac{Dy}{4K_{\alpha} \tan \alpha} \left(1 - e^{-K_{\alpha} \tan \alpha \frac{4H}{D}} + \rho e^{-K_{\alpha} \tan \alpha \frac{4H}{D}} \right)'$$

gdzie:

K_a – parcie aktywne gruntu, $K_a = (1 - \sin\phi) / (1 + \sin\phi)$.

W wyniku powyższych obliczeń ustalono potrzebną wytrzymałość (długoterminowa) zbrojenia $F_d \geq 404$ kN/m przy jednoczesnym ograniczeniu wydłużenia materiału geosyntetycznego do 2,25% w ciągu 90 dni od momentu powstania maksymalnej założonej wielkości deformacji. Czas 90 dni został określony w ustaleniach z zamawiającym, jako maksymalny czas dopuszczalny na zlokalizowanie zagrożenia i jego awaryjną naprawę.

Podane powyżej wartości należy rozumieć jako graniczne, których osiągnięcie oznaczać będzie stan awaryjny. Dodatkowo określono wartość progową dla zbrojenia –

przy wydłużeniu $\geq 1,4\%$. Przekroczenie tej wartości będzie połączone ze zgłoszeniem alarmowym, gdyż oznacza że system pracuje między wartością progową a wartością graniczną i wymaga wzmoczonego monitoringu i oceny stanu zagrożenia.

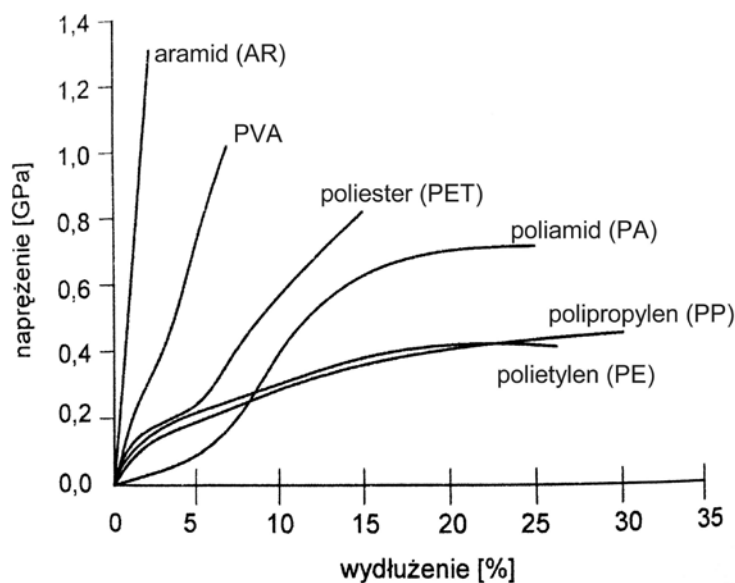
Wśród surowców stosowanych do produkcji geosyntetyków występuje duża różnorodność ze względu na parametry wytrzymałościowe, reologiczne, starzenie i agresję chemiczną. Geosyntetyki produkuje się zarówno z surowców zdolnych przenosić duże obciążenia przy małych odkształceniach (aramid, PVA), jak również z takich, które ulegają znacznym odkształceniom pod działaniem relatywnie niewielkich sił (PP, PE) – rys.4. Wpływa to w sposób zasadniczy na zależność wydłużenia ϵ (%) od naprężenia σ

(GPa) nie tylko w odniesieniu do surowców stosowanych w produkcji materiałów geosyntetycznych, lecz i gotowych wyrobów [8, 11]. Na podstawie tych znanych charakterystyk surowcowych stosowanych w produkcji materiałów geosyntetycznych, najlepiej spełniał powyższe wymagania aramid (AR), charakteryzujący się wydłużeniem przy zerwaniu ok. 2,5%. Na odcinkach o mniejszym zagrożeniu deformacjami i w zbrojeniu przy-skarpowym, gdzie w wyniku obliczeń otrzymano mniej rygorystyczne warunki, założono zastosowanie poliwinylkoholu (PVA) lub poliestru (PES) o wydłużeniach maksymalnych odpowiednio 5% i 10-12%.

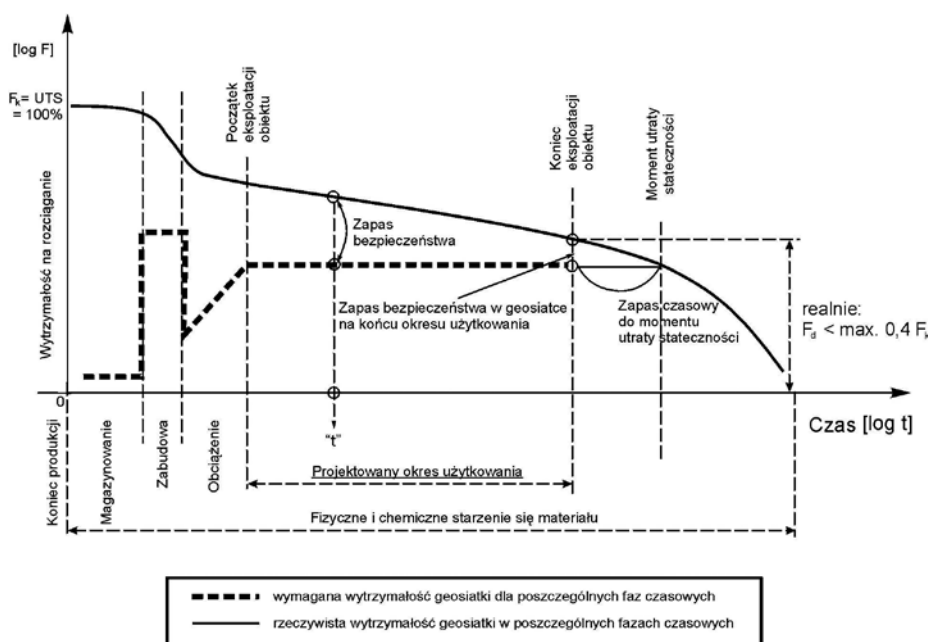
Znając charakter pracy zbrojenia geosyntetycznego w warunkach obciążenia określono również maksymalne dopuszczalne wydłużenie dla założonych 120 lat pracy z tytułu pełzania charakterystycznego dla materiałów geosyntetycznych, $\Delta\epsilon_{120}$ lat. Przyrost wydłużenia z tytułu pełzania od momentu zabudowy w gruncie do końca 120-go roku pracy nie może przekroczyć zadanej wielkości. Proces redukcji wytrzymałości F_k geosyntetyku na tle kolejnych faz eksploatacji obiektu przedstawia rys.5.

Dowód spełnienia powyższych warunków przeprowadza się na podstawie izochron wydłużeń, które, egzekwowane przez projektanta i nadzór inwestorski, potwierdzają przydatność danego geosyntetyku do zastosowań długoterminowych (okres pracy obiektu większy niż 2 lata). Izochrony te są niczym innym jak zebranymi wynikami badań pełzania konkretnych grup produktów, trwającymi minimum 10.000 godzin. Dla dokładniejszej ekstrapolacji dla dalszych okresów czasu (w zakresie 104 do 106 godzin), stosuje się metodę równych skoków termicznych (SIM - Stepped Isothermal Method). W wyniku tych operacji uzyskuje się komplet izochron dla następujących czasów: 2 minuty, 1 dzień, 1 miesiąc, 1 rok, 10 lat i 114/120 lat. Kompletny i prawidłowo przygotowany zestaw izochron zawiera wyniki wszystkich badań i tzw. główną izochronę (ang. master curve), przedstawiającą zależność siła rozciągająca/wydłużenie dla prędkości wydłużenia 20%/min zgodnie z PN EN ISO 10319. Grupę izochron materiałów zastosowanych na budowie autostrady A1 wraz z ich charakterystycznym kształtem przedstawiono na rys.6. Obrazowo przedstawiono też sposób wyznaczenia wydłużenia całkowitego przy zadanym stopniu obciążenia oraz czasu trwania tego obciążenia a także przyrostu wydłużenia z tytułu pełzania.

Ocenę stateczności przykładowego nasy-pu autostrady A1 zlokalizowanego w rejonie uskoku wraz z doбором geosyntetycznego zbrojenia w ujęciu metody Bishopa przedstawiono na rys.7. Model ten uwzględnia wpływ zbrojenia geosyntetycznego oraz efekt rozluźnienia gruntu, jaki zachodzi w



4. Charakterystyki surowcowe materiałów stosowanych w produkcji geosyntetyków [12].



5. Zmienność wytrzymałości krótkoterminowej (doraźnej) F_k zbrojenia geosyntetycznego wobec wymaganej wytrzymałości długotrwałej F_d na tle normowego okresu eksploatacji obiektu

ośrodkiem gruntowym poddanym wpływom działalności górniczej. Zadaniem zbrojenia geosyntetycznego jest udział w bilansie sił i momentów utrzymujących korpus nasypu posadowiony na gruntach osłabionych (o zmniejszonej spójności) przez aktywną eksploatację górniczą. Stateczność konstrukcji wg I stanu granicznego wyraża się stosunkiem uogólnionej sumy sił utrzymujących, wywołanych tarciem i spójnością gruntu nasypowego i podłoża powiększonych o wartość sił przenoszonych przez zbrojenie geosyntetyczne, do sumy sił obciążeń wywołanych siłami grawitacji, filtracji, a także prognozowanego ruchu i prognozowanej eksploatacji. Faktem jest, iż niezwykle istotny wpływ na parametry wytrzymałościowe gruntów spoistych mają odkształcenia poziome. W dotychczas przeprowadzonych badaniach wykazano redukcję składowej strukturalnej spójności gruntów odkształconych o wielkość $\epsilon \approx 3 \text{ mm/m}$ o rząd 40÷75%. W zależności od warunków gruntowych podłoża i wysokości nasypów stosuje się wzmocnienie podstawy nasypu, przekładki w korpusie budowli, stabilizację stref przyskarpowych itp.

W głównej części projektu Projektant przewidział konstrukcję nasypów zbrojonych geosyntetykami z zastosowaniem siedmiu różnych rodzajów zbrojenia, ujętych w czterech głównych typach konstrukcji. Konstrukcje przewidują w różnych wariantach wzmocnienie podłoża, zbrojenie nasypu i skarp oraz materace i półmaterace spinające. Zgodnie z projektem wymagane było zastosowanie geosyntetyków o wytrzymałościach długoterminowych: 30, 40, 60, 70, 200, 300 oraz 400 kN/m. W specyfikacji określono sposób wyznaczania wytrzymałości krótkoterminowej (dostawczej) geosyntetyków, opierając się o zalecenia instrukcji ITB 429/2007 [11].

$$F_k = F_d \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma$$

gdzie:

A1-A4 to współczynniki materiałowe danego produktu, potwierdzone przez niezależny wyspecjalizowany instytut,

A1 – współczynnik uwzględniający pełzanie materiału,

A2 – współczynnik uwzględniający uszkodzenia mechaniczne materiału podczas wbudowywania, transportu geosyntetyku,

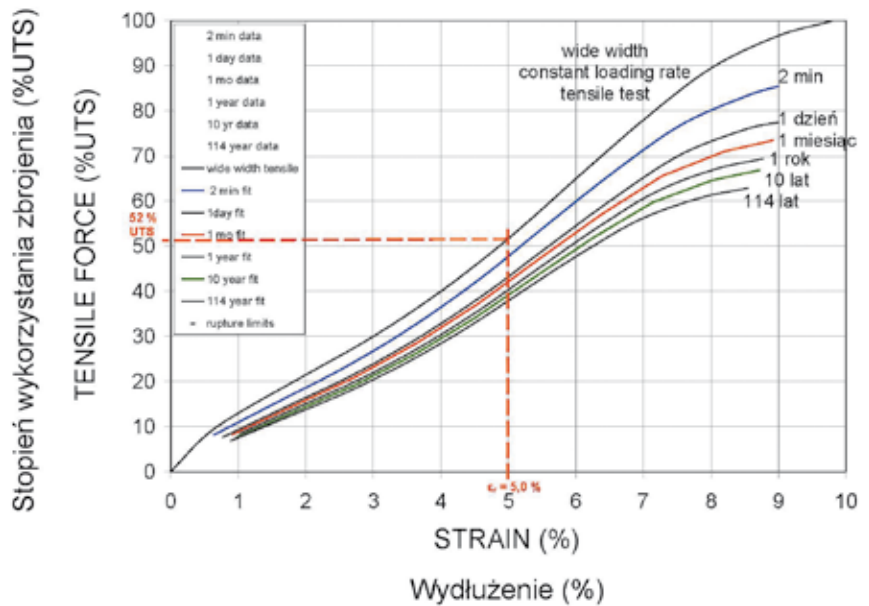
A3 – współczynnik uwzględniający sposób łączenia geosyntetyków,

A4 – współczynnik uwzględniający wpływ środowiska,

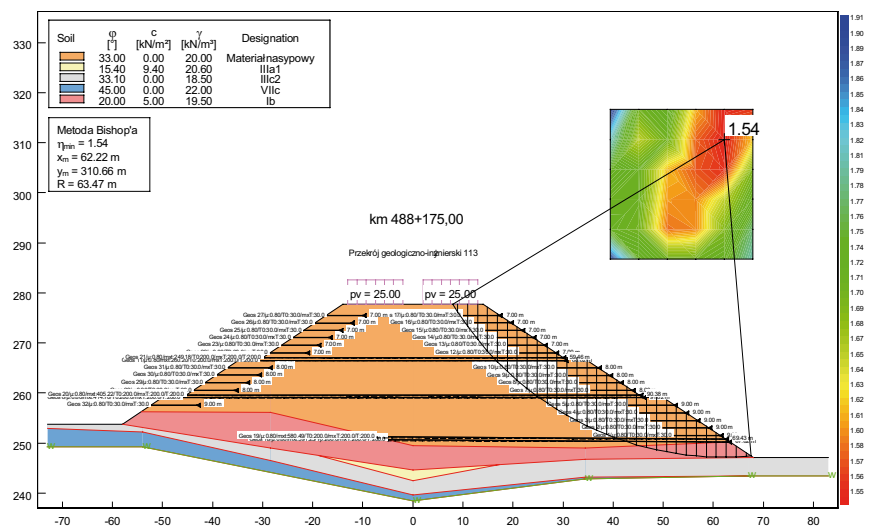
γ – współczynnik bezpieczeństwa materiałowego;

F_d – wymagana wartość obliczeniowa wytrzymałości na rozciąganie dla danego czasu obciążenia;

F_k – wymagana wartość wytrzymałości charakterystycznej krótkoterminowej.



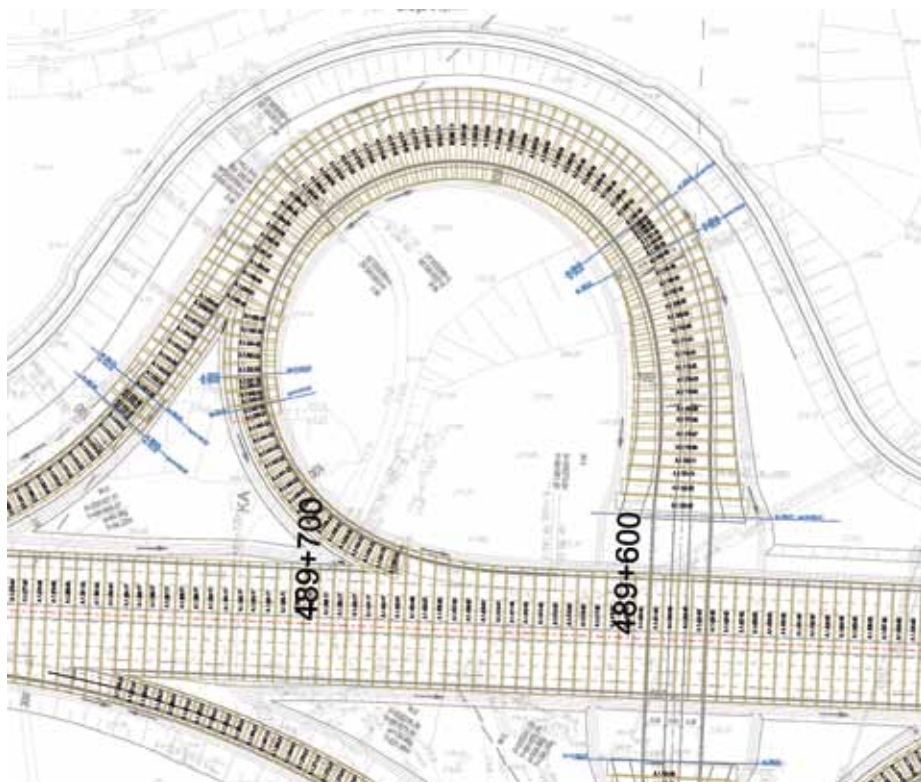
6. Izochrony wydłużeń geosiatek Fortrac®



7. Przykładowy wynik obliczeń wzmocnienia nasypu autostrady A1 w strefie uskoku głównego



8. Instalacja geosiatki Fortrac 1200 AM w warunkach kontrolowanego naciągu



9. Fragment z planu instalacji geosyntetyku z zaznaczonym położeniem i identyfikacją kolejnych brytów geosiatki zbrojącej

Fk to wartość charakterystyczna wytrzymałości oferowanego przez producenta materiału, którą gwarantuje z poziomem ufności 95%. Badania to przeprowadza się zgodnie z normą PN EN ISO 10319, rozciągając próbkę o szerokości 200mm z prędkością 20% na minutę. Stąd też ogólnie znane pojęcie wytrzymałości krótkoterminowej (dostawczej). W procesie doboru materiałów zgodnie z powyższymi zasadami, zostały zaakceptowane i zabudowane materiały o wytrzymałościach krótkoterminowych m.in. $F_k = 855 \text{ kN/m}$, 1200 kN/m , 1300 kN/m czy 1700 kN/m . Zgodnie z charakterem pracy geosyntetyków, jako materiałów z tworzyw sztucznych charakteryzujących się określonymi cechami reologicznymi, w celu pełnej mobilizacji zbrojenia określony został warunek wstępnego naciągu geomateriałów w czasie instalacji. W przypadku geosyntetyków zbrojących o największych wytrzymałościach, wielkość wymaganego naciągu została precyzyjnie wyliczona a następnie egzekwowana w procesie budowy jak procentową wielkość wytrzymałości krótkoterminowej (Fot.8).

Ze względu na relatywnie duży zakres zbrojenia geosyntetycznego, po raz pierwszy w warunkach polskich został na przedmiotowej budowie autostrady A1 przygotowany szczegółowy plan instalacji geosyntetyków (rys.9), tak aby wyeliminować straty materiałów i konieczność przycinania siatek na budowie. Dzięki temu każda rolka jest na etapie produkcji przycinana na

wymaganą długość i zostaje oznaczana unikalnym numerem identyfikacyjnym. Można traktować tę fazę budowy jako montaż zbrojenia, analogicznie jak się to odbywa np. w konstrukcjach żelbetowych.

W efekcie przeprowadzonych analiz numerycznych określono wymagane charakterystyki długoterminowe geosyntetycznych wzmocnień, takie jak: wytrzymałość, dopuszczalne wydłużenie czy stopień wykorzystania zbrojenia.

Przyjęto, że konstrukcja ma za zadanie zabezpieczyć autostradę przed ujawnieniem się deformacji nieciągłych w nawierzchni autostrady, a w przypadku powstania zapadliska lub szczeliny – zapewnić bezpieczne użytkowanie autostrady przez okres nie krótszy niż 90 dni. W okresie tym należy bezzwłocznie określić dokładny charakter i zasięg deformacji. W okresie wspomnianych 90 dni działający w dwóch warstwach system monitoringu ma zapewnić możliwość precyzyjnej kontroli i śledzenia stanu wyężenia zbrojenia geosyntetycznego w konstrukcji nr 4.

W tym celu, po przeanalizowaniu wraz z GDDKiA oraz wykonawcami obydwu odcinków kilku dostępnych rozwiązań, wybrano wspólnie najskuteczniejsze i gwarantujące niezawodną pracę całego systemu przez wymagane minimum 30 lat. Rozwiązanie opiera się o system specjalnych cięgien wielokrotnego użytku, rozciąganych w poprzek autostrady i mierzących deformację terenu oraz specjalne czujniki wydłużeń monto-



10. Instalacja systemu monitoringu w warstwie dolnej



11. Instalacja systemu monitoringu w warstwie górnej

wane bezpośrednio do geosyntetyku zbrojącego. Czujniki są trwale zamocowane na geosyntetyku w odpowiednim rozstawie, a system mocowania nie może naruszać struktury geosiatki (nie może zmniejszać jej wytrzymałości) ani nie może się „ślizgać” po geosyntetyku, gdyż mogłoby to zaburzyć wynik. Przykładowe zdjęcia z procesu instalacji obydwu warstw monitoringu przedstawiono na fot.10 i 11.

Realizacja przedmiotowej budowy trwa od połowy 2009 roku. Na fot.12, 13 i 14 przedstawiono przykładowe zdjęcia z procesu budowy i instalacji materiałów geosyntetycznych.

Podsumowując, zastosowany na budowie autostrady A1 system wzmocnień konstrukcji i zabezpieczenia przed szkodami górnymi jest z pewnością jedną z największych i najbardziej odpowiedzialnych instalacji tego typu wykonywanych obecnie w skali doświadczeń międzynarodowych. Zabezpieczenie konstrukcji autostrady A1 z użyciem wysokowytrzymałych geosyntetyków zostało zaprojektowane i przeprowadzone w pełnym rygorze inżynierskim. Przygotowany projekt został poprzedzony szczegółowymi analizami i opierał się o doświadczenia, badania i normy międzynarodowe. Natomiast pionierski proces instalacji materiałów w reżimie kontrolowanego precyzyjnego naciągu w połączeniu ze szczegółowymi planami instalacji poszczególnych brytów, a wreszcie z zintegrowanym systemem automatycznego monitoringu



12. Zdjęcie lotnicze budowy autostrady A1



13. Zdjęcie lotnicze budowy autostrady A1

działania zbrojenia geosyntetycznego, jest z pewnością kamieniem milowym w rozwoju inżynierii z geosyntetykami w Polsce i technologii ochrony konstrukcji przed uszkodzami górnictwami. ◀



14. Budowa nasypu zbrojonego geosyntetykami

Literatura:

- [1] Ajdukiewicz J.: Dobór zbrojenia geosyntetycznego na podstawie budowy Autostrady A1 Pyrzowice – Piekary Śląskie, „Polskie Drogi” nr 4/2010.
- [2] Ast W., Sobolewski J., Haberland J.: Final design of an overbridging system for railways endangered by cavities at Groebers. Proceedings of International Symposium Kyushu, Landmarks in Earth Reinforcement 2001.
- [3] Briancon L., Villard P.: Dimensionnement des renforcements geosynthetiques de plates-formes sur cavites. Revue Francaise De Geotechnique No. 117, 2006.
- [4] Kłosek K., Szeja K.: Efektywne wzmocnienia autostrad na terenach górniczych. „Magazyn Autostrady” nr 4/2008, 38-41.
- [5] Kłosek K.: Use of geosynthetics for strengthening road surface and subbase in area with the mining activity. Pro-

ceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Fukuoka/Kyushu, 1996.

- [6] Kłosek K.: Earthen Structures for Transportation Purposes in Mining Areas Reinforced with Geosynthetics. International Symposium on Innovation & Sustainability of Structures in Civil Engineering – ISSS’2009 South China University of Technology Press, Volume 1, Guangzhou /Kanton- China, 2009, 239-244.
- [7] Kowalski A., Kwiatek J.: Doświadczenia z prowadzenia eksploatacji górniczej pod budowaną autostradą A-4 zwłaszcza na odcinku węzeł „Wirek” – węzeł „Batorego”. [W:] Problematyka budowy i eksploatacji autostrady A-1 na odcinku Sośnica-Gorzyczki w świetle wymogów ochrony środowiska i uwarunkowań górniczych. Jastrzębie Zdrój 2006, 195-215.
- [8] Lothspeich S.E., Thorton J.S.: Comparison of different long term reduction factors for geosynthetic reinforcing materials. Proceedings of the Second European Geosynthetic Conference EUROGEO 2000, Bolonia, 2000.
- [9] Miłkowski A., Pilecki Z., Kłosek K., Tonderra M.: Autostrada A1 zaprojektowana na „dziurawym” podłożu, cz. 1 i 2, „Magazyn Autostrady” 3,5/2010
- [10] Sobolewski J.: Uwagi co do zasad projektowania nasypów ze zbrojeniem geosyntetycznym w podstawie, w tym nasypów na terenach górniczych. „Geotechnika i budownictwo specjalne” nr XXIX, Kraków 2006, 1-20.
- [11] Instrukcja ITB nr 429/2007: Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2007.
- [12] Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2002.
- [13] EBGEO Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik – DGGT, Ernst & Sohn, Berlin 1997.
- [14] BS 8006:1995, Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills BSI, Wielka Brytania 1995.
- [15] Design of Highway Structures in Areas of Mining Subsidence, The Highways Agency, The Scottish Office Development Department, The Welsh Office Y Swyddfa Gymreig, The Department of the Environment for Northern Ireland, BD 10/97, 1997.
- [16] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych (Dz.U. 15.02.2002).