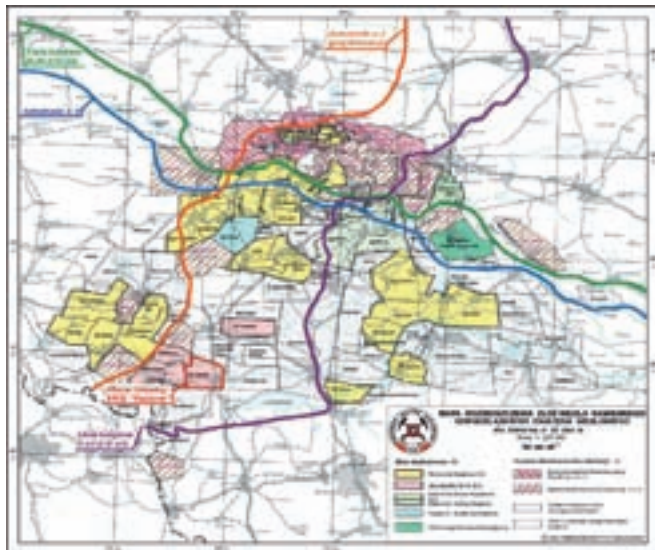


Trwałość konstrukcyjna autostrad na terenach górniczych

dr hab. inż. Kazimierz Kłosek prof. PŚI

Europejskie korytarze transportowe nr III (wschód – zachód) i nr VI (północ – południe), mieszcząc w sobie główne linie kolejowe oraz autostrady A4 i nowo projektowaną A1, przecinają się w węźle „Sośnica” k. Gliwic. Oba korytarze należą do najtrudniejszych w rejonie południowym pod względem projektowania, realizacji oraz eksploatacji odcinków polskich autostrad. Trudności te wynikają w głównej mierze z ich lokalizacji na silnie zdegradowanych obszarach czynnej oraz zanikającej wieloletniej działalności górnictwa podziemnego, co ilustruje rycina 1. Sytuacja ta rodzi wiele nowych wyzwań inżynierskich.



Ryc. 1. Lokalizacja autostrad A4 i A1 oraz głównych transeuropejskich linii kolejowych E30 i E65 w III (wschód – zachód) i VI (północ – południe) korytarzu transportowym na tle obszarów górniczych



Dynamicznie zmienna niweleta musi zapewnić ciągłość i bezpieczeństwo ruchu. W tych warunkach decydującym czynnikiem staje się koegzystencja działalności górniczej i budowlanej w ramach ściśle określonej profilaktyki. Jej głównym celem jest niedopuszczenie do powstania awarii i uszkodzeń obiektów infrastruktury. Często okazuje się to zadaniem trudnym do spełnienia, jak np. na odcinku autostrady A4 „Węzeł Batorego – Węzeł Wirek” w km 330+700 do km 331+200.

Podstawowe wymogi techniczno-budowlane dotyczące projektowania, budowy i eksploatacji autostrad na terenach górniczych

W odniesieniu do autostrad A4 i A1, zlokalizowanych na terenach górniczych, od samego początku istniała świadomość „trudnych warunków terenowych, do których zalicza się w szczególności obszary szkód górniczych” [6].

Przepisy techniczno-budowlane dotyczące autostrad nie wykluczają kontynuacji działalności wydobywczej górnictwa w trakcie budowy i eksploatacji autostrad oraz dróg szybkiego ruchu. Wynika to z dalszych zapisów rozporządzenia stanowiących, że:

- konstrukcję autostradowej budowli ziemnej oraz konstrukcję nawierzchni autostrady należy projektować i wykonywać w taki sposób, aby przenosiły wszystkie oddziaływania i wpływy mogące występować podczas budowy i użytkowania, miały odpowiednią trwałość, z uwzględnieniem przewidywanego okresu eksploatacji, nie uległy zniszczeniu w stopniu nieproporcjonalnym do jej przyczyny (§ 84, ust. 1 [6]);
- wymagania, o których mowa w § 84, ust. 1 uznaje się za zachowane, jeśli są spełnione równocześnie:
 - warunki określone w rozporządzeniu zapewnijające nieprzekroczenie stanów granicznych nośności i stanów granicznych przydatności do użytkowania w każdym z elementów oraz w całej konstrukcji budowli ziemnej i nawierzchni autostrady,
 - wymagania dotyczące materiałów i wyrobów dopuszczonych do obrotu i stosowania w budownictwie drogowym,
 - procedury kontrolne wykonawstwa i użytkowania określone w rozporządzeniu (§ 85, ust. 1, 2, 3 [6]);
- na terenie podlegającym wpływom eksploatacji górniczej powinny być stosowane zabezpieczenia autostradowej budowli ziemnej, odpowiednie do kategorii terenu górniczego (§ 88 [6]).

Cytowane fragmenty rozporządzenia¹ [6] w kontekście zawartych porozumień i przyjętych rozwiązań projektowych zostały sprowadzone do „progowych” wartości parametrów deformacji terenu górniczego, obejmując gwarancję nieprzekroczenia maksymalnych osiadań i innych parametrów przynależnych do II kategorii szkód górniczych w odniesieniu do obiektów liniowych autostrady oraz III kategorii w odniesieniu do punktowych obiektów inżynierskich. Przyjęto, że wszystkie obiekty

¹ Zaakceptowanego przez sygnatariuszy porozumienia, tj. GDDKiA Oddział w Katowicach oraz KW SA w Katowicach.

autostradowe, w tym i budowie ziemne (nasypy, wykopy) będą posiadały w ramach profilaktyki budowlanej odpowiednie zabezpieczenia konstrukcyjne, eliminujące możliwość ich uszkodzenia.

Poczynione zapisy i ustalenia nie wskazują zatem na potrzebę eliminacji oddziaływań górniczych z otoczenia autostrady na etapie jej budowy i przyszłej eksploatacji. Nie stanowią one jednakże akceptacji dla pełnej dowolności w planowaniu i realizacji wydobycia przy „braku skrępowania” w doborze jego wariantów.

Podstawowym elementem kontrolnym na etapie badań podłoża, budowy i eksploatacji autostrady jest monitoring robót i obiektów. Jego wymogi są jasno określone [9] w odniesieniu do odpowiednich kategorii geotechnicznych [7].

Z uwagi na przyjętą kategorię geotechniczną, zakres obserwacji i pomiarów powinien być odpowiednio rozbudowany i dostosowany do rodzaju obiektu, zwłaszcza w przypadku wysokich nasypów, posadowionych na nachylnym poprzecznie zboczu o szczególnie niekorzystnym usytuowaniu względem projektowanej eksploatacji górniczej i lokalnych stref uskokowych.

Monitoring geodezyjny musi w tych warunkach umożliwiać jednoznaczny kontrolę parametrów opisujących kategorie terenu górniczego (ϵ , T, K), a także osiadań samego nasypu, jako nie przekraczających dopuszczalnych obniżen niwelety przyjętych w projekcie.

Inwentaryzacja uszkodzeń odcinka A4 od km 330+700 do 331+200

Zestawiona na rycinie 2 inwentaryzacja uszkodzeń nawierzchni i korpusu nasypu została wykonana na podstawie dostępnego materiału archiwalnego [5]. Ocena ewentualnych przyczyn zaistniałych uszkodzeń została tu skonfrontowana z wynikami modelowania odkształceń poziomych ϵ dla stanu asymptotycznego po wybraniu ścian 3c i 4c.



Ryc. 2. Lokalizacja uszkodzeń nawierzchni autostrady A4 na tle wyników modelowania odkształceń [5] poziomych ϵ spowodowanych podziemną eksploatacją górniczą

Uzyskane teoretycznie rozkłady asymptotycznych maksymalnych odkształceń poziomych powierzchni według GIG i AGH są zbliżone w dwóch rejonach zewnętrznych² względem naroża ściany 4c, gdzie występują odkształcenia rozciągające o maksymalnej wartości w osi autostrady +3,4 mm/m (AGH [5]) i +4–4,5 mm/m (GIG). Są to odkształcenia przekraczające nieznacznie wartości przypisane do II kategorii terenu górniczego w granicach odchylenia standardowego. W strefie zlokalizowanej bezpośrednio nad narożem ściany 4c opinia AGH prognozowała wystąpienie asymptotycznych odkształceń zagęszczających, natomiast opinia GIG – odkształceń rozluźniających nie przekraczających II kategorii. W rejonie tym prognozowano maksymalne krzywizny wypukłe powierzchni $K = 1/R = 0,1 \text{ km}^{-1}$.



Analiza uzyskanych wyników wskazała na charakterystyczną lokalizację zinwentaryzowanych uszkodzeń nawierzchni oraz nasypowego odcinka autostrady A4 w powiązaniu ze składowymi deformacji terenu górniczego. W strefach odkształceń rozluźniających uszkodzenia w formie rozwartych szczelin i rys przebiegały ukośnie do osi jezdni zgodnie z izoliniami obliczonych maksymalnych odkształceń poziomych. W strefie naroża ściany były one równoległe do osi jezdni i przebiegały zgodnie z izoliniami maksymalnych krzywizn wypukłych.

Zgodność wyników modelowania numerycznego i danych z monitoringu wskazują na ścisły związek przyczynowo-skutkowy powstałych uszkodzeń w związku z działalnością górniczą.

Ocena zasad projektowania nasypu na terenie górniczym

Projektowanie nasypów autostrady na terenie górniczym podlega określonym wymagom, ujętym w rozporządzeniach, wytycznych, normach itp. Ponieważ nie wszystkie zasady projektowania obiektów na terenach górniczych zostały skodyfikowane w ustawodawstwie krajowym, zaleca się stosowanie odpowiednich norm i standardów europejskich, np. [1, 2, 9]. Dotyczy to zwłaszcza wytycznych wzmacniania podłoża z wykorzystaniem zbrojenia geosyntetycznego. Jest to o tyle istotne, że ten rodzaj wzmocnienia stanowi zasadniczy element konstrukcji uodparniającej nasypu na oddziaływania deformacji górniczych.

Na analizowanym odcinku nasyp, zbudowany głównie z przekruszu piaskowca, posiadał zróżnicowaną wysokość 9,8–11,3 m po stronie północnej i ok. 2 m po stronie południowej z uwagi na ok. 10% nachylenie poprzeczne terenu (zbocza). W osi autostrady wysokość nasypu wynosiła 6,8–7,7 m, pochylenie skarp 1:46–1:149. Deklarowane na podstawie badań laboratoryjnych parametry wytrzymałościowe gruntu nasypowego: $\phi = 26^\circ$ oraz $c = 67 \text{ kPa}$ nie zostały nigdy zweryfikowane w trakcie badań terenowych in situ z uwagi na brak zgody inwestora. Parametry nośności gruntu nasypowego, opisane wtórnym modułem odkształcenia $E_2 = 60\text{--}80 \text{ MPa}$ i wskaźnikiem odkształcenia $I_p = 1,7\text{--}2,2$, mogą wskazywać na dobre wyjściowe zagęszczenie materiału wbudowanego w korpus nasypu. Stabilność tych parametrów w trakcie rozwoju poziomych deformacji rozluźniających ϵ jest jednakże ściśle uwarunkowana wytrzymałością na rozciąganie oraz podatnością na wydłużenie materaca geotekstylnego, zlokalizowanego w podstawie nasypu. Jak wynikało z dostępnej dokumentacji pomiędzy podłożem i nasypem wykonano poduszkę z żużla wielkopiecowego 0/63 i grubości 40 cm, którą owinięto polipropylenową geosiatką Tensar o wytrzymałości charakterystycznej 40 kN/m w warstwie dolnej (prostopadłej do osi nasypu) i 20 kN/m w warstwie górnej (równoległej do osi nasypu). Wzmocnienie to nie wynikało z warunków słabo nośnego podłoża gruntowego, lecz stanowiło zasadnicze zabezpieczenie korpusu autostrady na oddziaływania górnicze, gdyż samo podłoże zostało lokalnie wzmocnione inną technologią.

²Od km 330+700 do 330+780 oraz 331+100 do 331+200 wg AGH.

Geosiatka nie posiadała żadnego wstępnego naciągu, co już na tym etapie założeń projektowych pozwala zanegować jej skuteczność na terenie górniczym. Istota skuteczności stosowania tego rodzaju rozwiązań w odniesieniu do nasypów na terenie górniczym polega bowiem na eliminacji (lub też znacznym ograniczeniu) rozwoju poziomych odkształceń rozluźniających podłoża górniczego i ich propagacji w górne warstwy nasypu, gdyż wiąże się to z rozwojem stref stanu granicznego w korpusie ziemnym i utratą nośności przez warstwy nawierzchni. Schematycznie zjawisko to ilustruje rycina 5.

W przypadku zastosowań długoterminowych, a taka jest podstawowa zasada doboru materiałów przy projektowaniu autostrad, zasadnicze znaczenie ma wytrzymałość na rozciąganie i ograniczona odkształcalność zbrojenia w masywach gruntowych nasypów [1, 3, 8, 9].

Zgodnie z obowiązującymi wytycznymi [9] do wymiarowania zbrojenia służy wytrzymałość obliczeniowa F_d materiału geotekstylnego, którą należy wyznaczać dzieląc wytrzymałość charakterystyczną – krótkotrwałą, gwarantowaną przez producenta z 95% poziomem ufności – przez iloczyn współczynników A_{1-4} .

Obecny okres stanowi w zakresie kodyfikacji norm geotechnicznych UE okres przejściowy, w którym do początku 2008 r. obowiązuje dotychczasowy system, opierający się na metodzie globalnego współczynnika bezpieczeństwa GWB. Zostanie on zastąpiony w formie tzw. załączników narodowych (do EC7) nowym systemem, bazującym na metodzie stanów granicznych SG. W odniesieniu do geosyntetyków obie metody wymiarowania są bardzo konsekwentne, zalecając w zakresie określania obliczeniowej wartości wytrzymałości na rozciąganie korzystać ze znanych zależności [1, 2, 8]:

$$\text{metoda GWB} \Rightarrow F_d = F_{Bk0} / (A_1 A_2 A_3 A_4 \gamma) \quad (1)$$

$$\text{metoda SG} \Rightarrow F_{Bd} = F_{Bk0} / (A_1 A_2 A_3 A_4 \gamma_B) \quad (2)$$

gdzie:

A_{1-4} – niezależne od metody wymiarowania współczynniki materiałowe charakteryzujące

A_1 – pełzanie (dla PP – polipropylenu i PEHD – polietylenu wysokiej gęstości $> A_1 = 4,5$,

A_2 – uszkodzenia mechaniczne na budowie (grunty drobnoziarniste $A_2 = 1,5$; żwirowe), $A_2 = 1,6$; kamieniste $A_2 = >$ wg badań polowych),

A_3 – utrata wytrzymałości na połączeniach,

A_4 – wpływ środowiska wodno-gruntowego (PP i PEHD $> A_4 = 1,3$), parametry surowca są adekwatne dla odpowiednich produktów geosyntetycznych [1, 8];

F_{Bk0} – wartość charakterystyczna, krótkoterminowa (UTS) wytrzymałości na rozciąganie wg EN ISO PL 10319, deklarowana dla poziomu ufności 95%;

γ – współczynnik bezpieczeństwa materiałowego w metodzie GWB $\Rightarrow \gamma = 1,75$;

γ_B – współczynnik bezpieczeństwa materiałowego w metodzie SG \Rightarrow

$\gamma_B = 1,4$ dla stanu podstawowego obciążeń,

$\gamma_B = 1,30$ dla stanu budowlanego,

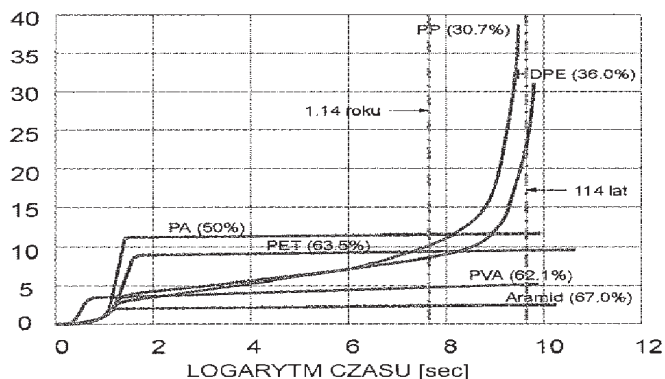
$\gamma_B = 1,20$ dla stanu wyjątkowego.

W zależności od metody (systemu normowego) dany materiał geosyntetyczny może zatem cechować zróżnicowana wartość liczbowa wytrzymałości obliczeniowej F_d/F_{Bd} .

Dla zastosowanej geosiatki Tensar $F_{Bk0} = 40 \text{ kN/m}$ i 20 kN/m otrzymamy w metodzie GWB $\Rightarrow F_d = F_{Bk0} / A_1 A_2 A_3 A_4 \gamma = 40/4,5 \times 1,6 \times 1,3 \times 1,75 = 2,44 \text{ kN/m}$ i odpowiednio $F_d = 1,22 \text{ kN/m}$ dla geosiatki górnej. W wyniku redukcji wytrzymałość obliczeniowa – długotrwała zastosowanej geosiatki nie przekracza 6% (!) wartości charakterystycznej. W praktyce będzie to oznaczać po określonym czasie brak efektywnego zbrojenia podstawy nasypu na terenie górniczym. Z tych względów tego typu su-

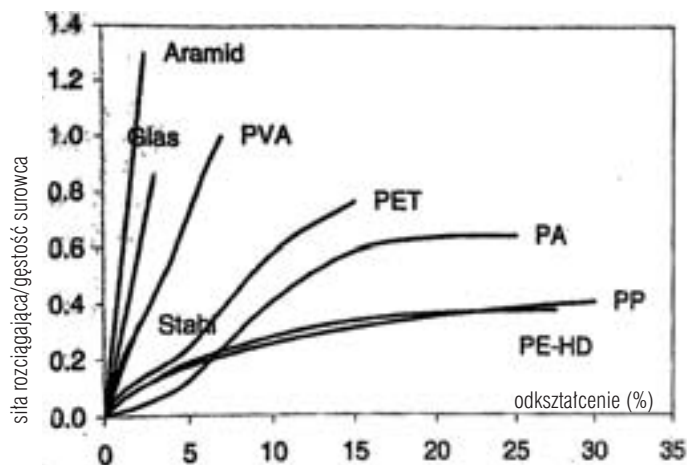
rowce (PP) nie powinny być stosowane w konstrukcjach charakteryzujących się obciążeniem długotrwałym. Nowoczesne budownictwo inżynierskie musi promować w tym zakresie właściwe, zgodne z obowiązującymi normami i wytycznymi standardy obliczeniowe, co w odniesieniu do nowych rodzajów materiałów konstrukcyjnych, jak np. geosyntetyki, jest szczególnie istotne.

Z uwagi na duże pełzanie produkty z PP i PEHD powinny być zatem eliminowane z niektórych budowli. Dotyczy to zwłaszcza obiektów autostradowych na terenach górniczych. Nietrudno zauważyć, że już po upływie roku pracy tych materiałów w konstrukcji dochodzi do wyraźnego przyrostu odkształceń zbrojenia, co prowadzi do znacznej redukcji efektywności tego „chwilowego” wzmocnienia poprzez spadek siły F_d . W praktyce można przyjąć wówczas, że zbrojenie konstrukcji przestało spełniać swoją rolę, tzw. „sztywne węzły” geosiatek z PP podlegają wyraźnej deformacji postaciowej, a to z kolei musi generować spadek współczynników charakteryzujących bezpieczeństwo obiektu.



Ryc. 3. Wpływ rodzaju polimeru użytego do produkcji geosyntetyku na jego wydłużenie przy pełzaniu³

Cechą charakterystyczną PP, ujętą w odpowiednich normach, jest zmienna w czasie sztywność naprężonego geosyntetyku, co wynika z cech reologicznych materiału. Cecha ta pozwala wyjaśnić i uzasadnić pewne opóźnienie czasowe pomiędzy okresem rozpoczęcia robót górniczych, a chwilą ujawnienia się uszkodzeń w nawierzchni i korpusie ziemnym, jak i pierwotny okres stabilności nasypu (ok. rok) po jego wybudowaniu.

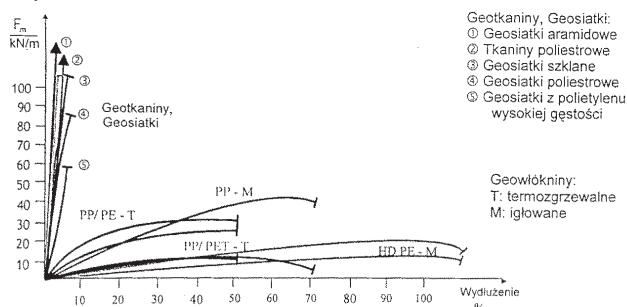


Ryc. 4. Typowe krzywe „siła rozciągająca/gęstość surowca – odkształcenie” (%) dla najczęściej używanych włókien [1]⁴

Krzywe na rycinie 4 ilustrują specyfikę przenoszenia naprężeń rozciągających i towarzyszących im odkształceń włókien wykonanych z różnych materiałów w odniesieniu do gęstości surowca $[GPa/(g/cm^3)]$. Cechy surowca determinują parametry wyrobów geosyntetycznych.

³Lothspeich S.E., Thornton J.S.: *Comparison of different long term reduction factors for geosynthetic reinforcing materials*. Proceedings of the Second European Geosynthetic Conf. EURO-GEO 2000, Bolonia 2000; s. 341–346.

⁴Dane pochodzą z najnowszej normy szwajcarskiej stanowiącej podsumowanie osiągnięć europejskich norm w zakresie geosyntetyków.



Ryc. 5. Zależność „siła rozciągająca – wydłużenie” dla różnych wyrobów geotekstylnych [4]

Wyroby geotekstylne posiadają zróżnicowane właściwości fizyko-mechaniczne toteż prawidłowy ich dobór wymaga odpowiedniej wiedzy. Z tego względu wytyczne [9] nakazują obowiązkowe sprawdzenie, zwłaszcza dla odpowiedzialnych budowli nasypowych i założonego okresu ich eksploatacji, dwóch warunków: wytrzymałości na rozciąganie (obliczeniowej F_d), dopuszczalnych odkształceń.

Konsekwencją obniżonej trwałości materiału zbrojenia może być skrócenie okresu eksploatacji obiektu, co schematycznie ilustruje rycina 6.

Konsekwencją nadmiernej i niekontrolowanej (brak monitoringu) wydłużalności geosyntetycznego zbrojenia może być w warunkach deformacji terenu górniczego swobodny rozwój stref uplastycznienia w korpusie ziemnym nasypu i przypowierzchniowych warstwach nawierzchni, prowadzący do jego uszkodzenia. Schemat rozwoju takich procesów ilustruje rycina 7.

Taki stan może bez wątpienia zaistnieć również w warunkach zbyt słabego, silnie odkształcalnego i pozbawionego wstępnego naciągu – „zbrojenia” geosyntetycznego. Wysoki, normowy stopień zagęszczenia gruntu nasypowego, istotny z uwagi na nośność konstrukcji i jej stateczność, będzie zarazem wpływał na obniżenie wartości granicznych odkształceń, generujących wystąpienie stanów granicznych. W praktyce przyjmuje się⁵, że są

to odkształcenia w granicach 2–3 mm/m. Odkształceniom tym towarzyszy redukcja parametrów wytrzymałościowych gruntu. Literatura techniczna problemu oraz liczne badania wykazały, że na terenach górniczo aktywnych parametry te nie mogą być uznane za wielkości stałe, gdyż podlegają charakterystycznym zmianom, które można opisać relacją:

$$\tau_{\max} = \sigma'_{11} \operatorname{tg} \Phi_e + c_e = \sigma'_{11} \operatorname{tg} \Phi_e + c_s + \beta(t) \Sigma w > \tau_e^r = \sigma'_{11} \operatorname{tg} \Phi_e + \beta(t) \Sigma w > \tau_{\min} = \sigma'_{11} \operatorname{tg} \Phi_e \quad (3)$$

gdzie:

σ'_{11} – efektywne naprężenia normalne;

c_s – strukturalna część ogólnej spójności gruntu, tzw. spójność wzmocnienia, w gruntach nasypowych występująca jako efekt procesów zagęszczania;

Σw – spójność gruntu wywołana więziami typu wodno-koloidalnego przy wilgotności w , tzw. spójność pierwotna, w trakcie urabiania gruntów w wykopach oraz transporcie ulega ona zasadniczej redukcji;

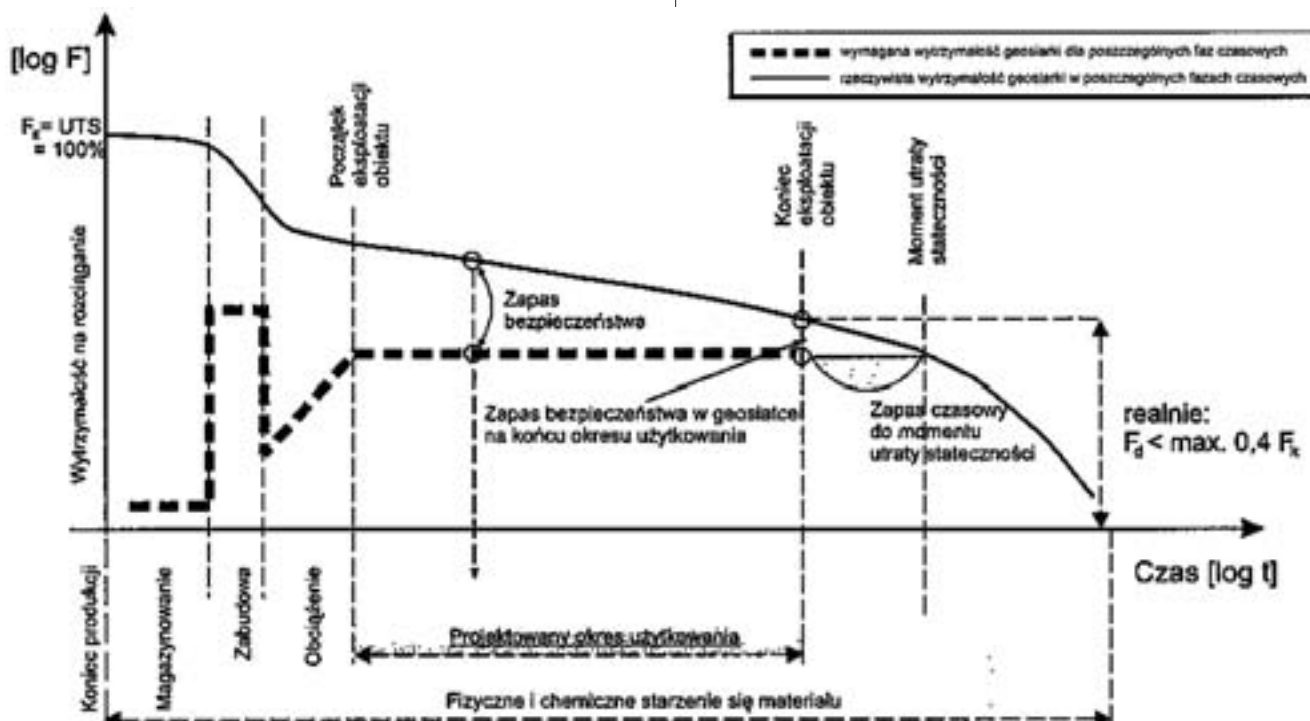
$\beta(t)$ – współczynnik uwzględniający intensywność procesu deformacji terenu górniczego; $1 > \beta(t) > 0$, w analizowanym przypadku można przyjąć $\beta(t) = 0$;

σ'_{22} – naprężenia poziome – całkowite, uwzględniające obciążenie własne gruntu (rozpór), ciężar nawierzchni i składową obciążenia osiowego taboru samochodowego;

σ_{22}^{gr} – graniczne naprężenie poziome w tzw. totalnym, czynnym stanie naprężenia (σ_{22}^{min}).

Efektorem nieskrępowanego działania procesu mobilizacji poziomych odkształceń ϵ będzie zatem redukcja wyjściowych parametrów wytrzymałościowych podłoża i gruntu nasypowego. Redukcja wytrzymałości gruntów na terenach górniczych w warunkach poziomych odkształceń rozluźniających w sposób istotny wpływa na ocenę poziomu nośności podłoża gruntowego nawierzchni oraz komunikacyjnych budowli ziemnych. Istotą zachodzących zmian jest bowiem trwałe (bezpowrotne) obniżenie pierwotnej wytrzymałości gruntów, prowadzące do trwałej (długotrwałej) utraty nośności przez podłoże.

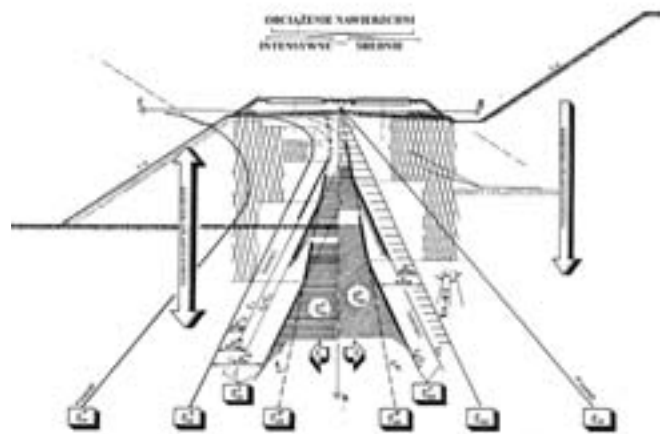
W warunkach krytycznych odkształceń rozluźniających podłoża górniczego zagadnienie oceny nośności podłoża nabiera zgoła odmiennego charakteru. Z uwagi na specyficzny przebieg zjawisk mechanicznych zachodzących wówczas w ośrodku



Ryc. 6. Zmienność wytrzymałości krótkoterminowej (doraźnej) F_k zbrojenia geosyntetycznego wobec wymaganej wytrzymałości długotrwałej F_d na tle normowego okresu eksploatacji obiektu [1, 3]

⁵ Kwiatek J.: *Obiekty budowlane na terenach górniczych*. GIG. Katowice 2002.

ku gruntowemu, do przekroczenia nośności granicznej dochodzi nie wskutek wzrostu nacisków jednostkowych na podłoże, lecz w efekcie redystrybucji poziomych składowych stanu naprężenia. Utrata pierwotnej nośności gruntu staje się przyczyną dodatkowych deformacji (osiadań) podłoża i budowli ziemnych (autostrad wraz z nawierzchnią) ponad wielkości prognozowanych obniżen zasadniczych terenu górniczego. Może ona również przybrać formę utraty stateczności (lokalne spękania powierzchniowe, szczeliny, zsuwy, osuwiska) skarp nasypów i wykopów.



Ryc. 7. Rozwój stref uplastycznienia niewzmocnionych gruntów podłoża i korpusu drogowego autostrady na terenach górniczych w warunkach poziomych odkształceń rozluźniających

W odróżnieniu od omówionych uprzednio, zjawiska te określa się mianem chwilowej utraty nośności i polegają one w swej istocie na dodatkowym zagłębieniu się budowli nasypowych w podłożu, względnie relatywnym spłycaaniu wykopów, ingerując np. w charakter zmian niwelety. Nasypy o niesymetrycznym kształcie przekroju poprzecznego będą wykazywały zwiększone osiadanie po stronie wyższej skarpy. Będą to zatem dodatkowe przyrosty nachylenia poprzecznego jezdni, niezależne od prognozowanych nachyleń terenu górniczego. Przy asymetrycznej lokalizacji pól eksploatacyjnych towarzyszy im poziome, trwałe przemieszczenie korpusu ziemnego względem „wirtualnej”, projektowanej osi trasy.

Realna możliwość redukcji względnie utraty nośności i stateczności przez nawierzchnię i budowlę ziemne autostrad na terenach górniczych wymaga więc odpowiednich, sprawdzonych obliczeniowo i materiałowo technologii wzmocnień [1, 2, 3, 8].

Podsumowanie

Projektowanie, budowa i eksploatacja infrastruktury transportu zwłaszcza na terenach górniczych wymaga stosowania ściśle określonych zasad profilaktyki górniczej i budowlanej. Dla ochrony podłoża zasadnicze znaczenie posiada profilaktyka górnicza, natomiast dla ochrony infrastruktury autostrad takie znaczenie należy przypisać profilaktyce budowlanej. Przekroczenie zarówno wartości deformacji granicznych przypisanych danej kategorii terenu górniczego, jak i stosowanie wątpliwych zabezpieczeń autostradowych budowli ziemnych stanowią realne zagrożenie dla trwałości i bezpieczeństwa ich użytkowania w założonym okresie eksploatacji.

Trudne uwarunkowania geotechniczne budowli autostrad A4 i A1 na terenie GOP (dominuje III kategoria geotechniczna) sprawiają, że przyjęte dla wzmocnień podłoża i nawierzchni założenia konstrukcyjno-materiałowe geosyntetycznego zbrojenia muszą spełniać warunki nieprzekroczenia stanów granicznych nośności i przydatności do użytkowania w wymaganym horyzoncie czasowym. Ograniczony zakres kontroli i monitoringu robót oraz prowadzona równoległe działalność górnicza, przekraczająca lokalnie „progowe” parametry II kategorii terenu górniczego, mogą przyczynić się do współwystąpienia destruk-

cyjnych zjawisk i procesów skutkujących zaistnieniem awarii. Powinny być one zarejestrowane i właściwie zinterpretowane w trakcie odpowiednio zaprojektowanego monitoringu, rejestrującego wszystkie etapy projektowania, budowy i eksploatacji autostrad.



Ryc. 8. Odkrywanie geosiatek w strefie przejściowej jezdni północnej A4 pod uszkodzeniami powierzchniowymi warstwy ścieralnej i wiążącej

Literatura

1. *Bauen mit Geokunststoffen*. Schweizerischer Verband für Geokunststoffe. Dietikon 2003.
2. *Design of Highway Structures in Areas of Mining Subsidence*. The Highway Agency – Design Manual for Road and Bridges. “Bridge Design & Engineering” 1997.
3. Kłosek K.: *Nawierzchnia i budowle ziemne autostrad na terenach górniczych*. „Miesięcznik WUG” 2006, nr 10 (146), s. 19–28.
4. *Metody stosowania geosyntetyków do budowy i wzmocnienia nawierzchni i ziemnych budowli drogowych*. IBDiM. Warszawa 2003.
5. *Określenie wielkości deformacji terenu w rejonie eksploatacji pokładu 413/1 ściany 4c z wykorzystaniem interferometrii satelitarnej (InSAR)*. Zespół prof. E. Popiołka – AGH. Kraków 2005.
6. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 16 stycznia 2002 r. w sprawie przepisów techniczno-budowlanych dotyczących autostrad płatnych. DzU z 15 lutego 2002.
7. Rozporządzenie MSWiA z 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych. DzU nr 126.
8. Sobolewski J.: *Uwagi do zasad projektowania nasypów ze zbrojeniem geosyntetycznym w podstawie, w tym nasypów na terenach górniczych*. „Inżynieria i Budownictwo” 2006, nr 10.
9. *Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*. GDDP – IBDiM. Warszawa 2002.