

*Tomasz Kosiński\**, *Tomasz Michalski\*\**, *Jacek Bosak\*\**

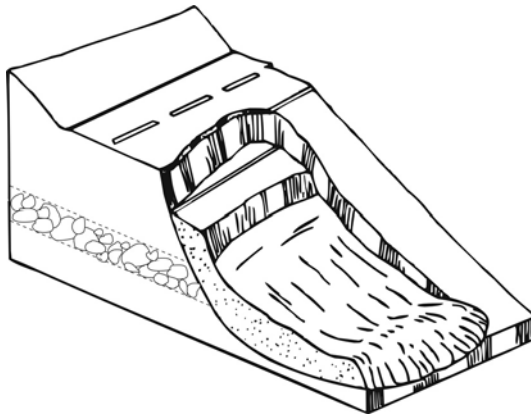
## TERRAMESH JAKO ŹRÓDŁO OSZCZĘDNOŚCI PRZY REKONSTRUKCJI NASYPÓW DROGOWYCH

---

### 1. Charakterystyka geomorfologiczna

Omawiany obiekt jest położony we wsi Polana (gmina Czarna, powiat bieszczadzki, województwo podkarpackie). Pod względem geograficznym teren ten znajduje się w południowej części Pogórza Przemyskiego.

Uszkodzony odcinek drogi biegnie północnym stokiem Gór Ostrych przecinając nasypem na łuku dolinę bezimiennego potoku o głębokości około 8 metrów. Potok przepływa przez przepust. Północna część korpusu drogi uległa obsunięciu w wyniku ruchów osuwiskowych. U podnóża skarpy korpusu drogowego, w dnie doliny występują podmokłości związane z wysiękami wód podziemnych.



**Rys. 1.** Sposób osunięcia się skarpy w Polanie

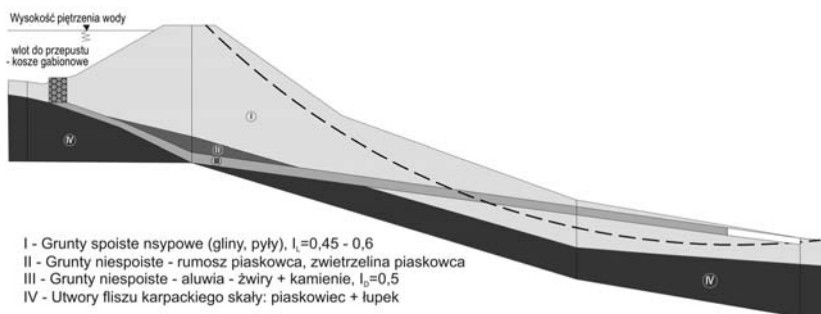
---

\* Geotim Sp. z o.o., Warszawa

\*\* Zakład Specjalistycznych Robót Wiertniczych mgr inż. Jacek Bosak, Gdynia

## 2. Warunki gruntowo-wodne

W podłożu korpusu drogi występują piaskowce i łupki ilaste neogenu przykryte zmienną miąższością zwietrzelin. Skały te są silnie zaburzone tektonicznie. Ich strop zapada ku północy pod kątem 16–31° stanowiąc potencjalną powierzchnię poślizgu. Korpus drogi zbudowany jest ze zmiennej miąższości (2–16 m) gruntów nasypowych głównie pyłów i glin znajdujących się głównie w stanie twardoplastycznym, plastycznym i miękkoplastycznym. W osi doliny na skale występują, słabo obtoczone, okruchy piaskowca zaliczone do starszych holocenijskich aluwiów oraz nasypowe będące konstrukcją przepustu. W rejonie łuku drogi mamy do czynienia ze strefą źródliskową. U podnóża skarpy korpusu drogowego do doliny głównej dochodzą 3 dolinki boczne, prowadzące stale lub okresowo wodę powierzchniową [4]. Budowę geologiczną w części przypowierzchniowej przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Przekrój geologiczno-inżynierski osuwiska w Polanie

Wody gruntowe występują w spękaniach skał oraz w postaci wód zawieszonych w bardziej przepuszczalnych przewarstwieniach zwietrzeliny i gruntów nasypowych. Ich zasilanie odbywa się w drodze infiltracji wód opadowych oraz spływu w obrębie zlewni podziemnej. Woda ta wypływa w postaci sączeń na całej długości dna dolin po północnej stronie drogi. Zaobserwowano też jedno źródło o niewielkiej wydajności.

Należy podkreślić, że ruchy masowe wystąpiły jedynie w obrębie gruntów nasypowych i są typowo antropogeniczne.

## 3. Istniejące zagospodarowanie terenu

Analizowany obiekt jest drogą wojewódzką o klasie technicznej Z, jednojezdniową dwukierunkową z pobocznymi gruntowymi o zmiennej szerokości od 0,25 do 1,0 metra, szerokość pasów ruchu 2×2,75 metra. Odbywa się na niej ruch kołowy dwustronny i pieszy. Omawiany jej odcinek wchodzi w skład tzw. „Małej Obwodnicy Bieszczadzkiej” wykonywanej w latach 1962–1969. Droga przebiega tu przez teren niezabudowany, pokryty lasem wysokopiennym.

Konstrukcja nawierzchni jest typu podatnego z podbudową tłuczniovą stabilizowaną mechanicznie i warstwami asfaltowymi z betonu asfaltowego. Na wysokości osuwiska szerokość jezdni wynosiła około 5,5 metra a w wyniku osunięcia zmniejszyła się do około 3 metrów.

Po południowej stronie drogi znajduje się system odwodnienia przejmujący wodę ze stoku góry. W jego skład wchodzi rów przydrożny oraz dolinka wspomnianego wyżej potoku, przegrodzona nasypem drogi, odwadniana przepustem o skomplikowanej konstrukcji. Przepust nie był widoczny, od strony wlotu był zakryty koszami siatkowo-kamiennymi, od strony wylotu po awarii był urwany i zasypany kolumwium.

#### **4. Prawdopodobna konstrukcja uszkodzonego przepustu**

Brak jest dokumentacji technicznej przepustu. Według dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i zebranych w trakcie prowadzonych robót przy odbudowie drogi, informacji, dno potoku zostało zasypane okruchami skał miejscowych (piaskowca) przykrytych nasypem gliniastym. Korpus przepustu od strony wlotu stanowiły ułożone prawdopodobnie później kosze kamienno-siatkowe (gabionowe) a sekcję wylotową zbudowano z kręgu betonowego o średnicy 1500 mm.

#### **5. Przyczyny powstania deformacji korpusu drogowego**

Osuwisko ma w najszerszym miejscu zlokalizowanym wzdłuż zachowanego fragmentu drogi 70 metrów szerokości i zwęża się do około 10–20 metrów w jego części dolnej. Maksymalna długość jezora osuwiskowego osiąga 200 metrów poniżej drogi, natomiast niszy osuwiska 60 metrów. Poniżej drogi odsłania się gładka powierzchnia, po której nastąpił zsuw części korpusu drogowego. Ruch osuwiskowy miał gwałtowny, spływowy charakter, na co wskazują znaczne przemieszczenia mas koluwalnych, które w niektórych miejscach wypłynęły ponad dolinę potoku (ślady błota na drzewach na wysokości około 3 metrów). Osuwisko spowodowało także wyrwanie oraz przewrócenie licznych drzew rosnących w dolnych partiach skarp doliny (rys. 3).



**Rys. 3.** Powyrywane drzewa przez przemieszczające się kolumwium

- Do deformacji korpusu drogi doszło w wyniku współdziałania kilku czynników:
- drenującego — przepływ wód w nasyp w obrębie doliny na długości około 1 km,
  - długotrwałych opadów i wywołanego nimi spływu wód warstwą filtracyjną w obrębie korpusu,
  - spiętrzenia wody powyżej przepustu i powstania zbiornika wód powierzchniowych,
  - zwiększenia wilgotności osadów w korpusie drogi stanowiącym w danym momencie zapórę wodną (infiltracja w skarpe nasypu i podłoże zbiornika),
  - przebicia hydraulicznego i gwałtownego wypływu wody z kamiennego przepustu — spowodowało to podcięcie skarpy korpusu i powstanie osuwiska,
  - spływu wody o dużym natężeniu dolinkami mającymi ujście poniżej przepustu powodując rozmywanie osuwających się gruntów i wynoszenie ich w dół doliny potoku.

## 6. Dobór rozwiązań technologicznych przy odbudowie drogi

Na podstawie rozporządzenia [6] dotyczącego geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych omawiany obiekt został zaliczony do trzeciej kategorii geotechnicznej. Najważniejszym etapem projektowania jest doprowadzenie odtwarzanej konstrukcji do stanu sprzed wystąpienia ruchów masowych, zapewniając jej wskaźnik stateczności nie mniejszy niż 1,5 (dla dróg publicznych) [7]. Pierwszym krokiem było sprawdzenie czy posadowienie nowego korpusu bezpośrednio na podłożu jest możliwe. Wykonana analiza stateczności wykazała, że wszystkie możliwe płaszczyzny poślizgu przechodzą przez podłoże, a wskaźnik stateczności wynosi średnio 0,79 sugerując z dużym prawdopodobieństwem wystąpienie ruchów masowych w podłożu. W związku z tym podłoże korpusu drogowego należało wzmocnić lub wymienić. Ze względu na dużą ilość gruntu jedynym rozwiązaniem było jego wzmocnienie, jednak wybór metody musiał uwzględniać trudne (teren podgórski, zalesiony) warunki terenowe. Należało wybrać metodę, w której wykorzystać można było lekkie maszyny, a nie ciężkie, jak ma to miejsce w przypadku standardowych robót geotechnicznych podczas wzmacniania podłoża. Zdecydowano się na zastosowanie w głębokiego mieszania gruntu (kolumny DSM), które można wykonać przy użyciu lekkiego sprzętu geotechnicznego. Rozwiązując problem związany z posadowieniem konstrukcji należało jeszcze wykonać obliczenia hydrologiczne i dobrać odpowiedniej wielkości nowy przepust w miejsce bardzo nietypowego (choć działającego 40 lat) starego przepustu oraz rozwiązać problemy związane ze wznoszeniem nasypu do rzędnej niwelety drogi. Ze względu na to, iż nasyp przecinający dolinę będzie miał wysokość 8 metrów, a zachowanie pochylenia skarp 1:1,5 niosło by za sobą duże ilości gruntów nasypanych, zdecydowano się na jego odbudowę w technologii gruntu zbrojonego. Technologia gruntu zbrojonego musiała spełnić wymagania związane z dużym pochyleniem skarp, a jednocześnie pozwalając na swobodny rozrost roślinności. Dodatkowo należało rozwiązać problem z wlotem i wylotem wody z przepustu oraz odprowadzeniem jej w dół doliny. Aby zachować naturalny charakter terenu zdecydowano się na użycie materacy gabionowych ułożonych w formie kaskady. Użycie materacy gabionowych powoduje zastosowanie 99% produktów naturalnych jaki stanowi kamień do

ich wypełnienia. Dodatkowo ważnym czynnikiem było odwodnienie całej konstrukcji. Prace projektowe [2] wykonało Biuro Inżynierii Drogowej z Sanoka.

## 7. Charakterystyka wykorzystanych technologii geotechnicznych

Na etapie budowy wykorzystano kilka specjalistycznych technologii geotechnicznych takich jak: wgłębne mieszanie gruntu, zbrojenie gruntu siatkami stalowymi, zbrojenie podstawy nasypu geosyntetykiem, konstrukcje z koszy i materacy gabionowych i drenaż wgłębny.

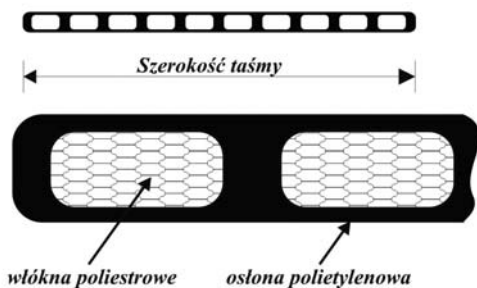
Wzmocnienie podłoża w trudnych warunkach i przy użyciu lekkiego sprzętu (rys. 4) zrealizowano w technologii kolumn DSM (*Deep Soil Mixing* — wgłębne mieszanie gruntu).



Rys. 4. Wgłębne mieszanie gruntu w podstawie nasypu

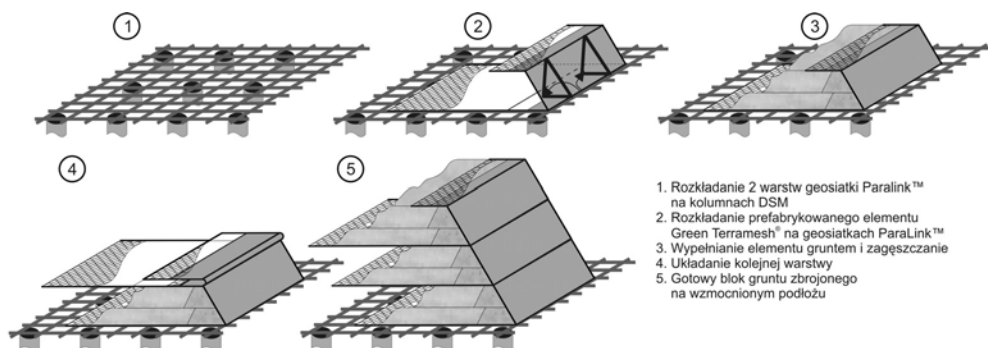
Technologia cementowych kolumn DSM oparta jest na koncepcji poprawiania właściwości mechanicznych gruntu, w tym głównie wytrzymałości i ścisłości poprzez wymieszanie ich z materiałami wiążącymi, które reagują chemicznie z gruntem i wodą gruntową. Do wzmocnienia gruntów używa się przede wszystkim różnych typów cementów [8]. Wykorzystany zestaw do mieszania wgłębego gruntu na mokro obejmował maszynę SOILMEC PSM 980B, na podwoziu gąsienicowym, wyposażoną w specjalne mieszadło oraz stację przygotowania i podawania zaczynu (rys. 4). Konstrukcja mieszadła dostosowana była do rodzaju gruntu i momentu obrotowego maszyny. Wymieszanie gruntu z zaczynem cementowym tworzy kolumnę z tzw. cementogruntu. Omawiane wzmocnienie podstawy nasypu drogowego wykonano kolumnami DSM, o średnicy 0,4 metra, w rozstawie trójkątnym o boku 1,5 metra. Długość kolumn zależna była od głębokości podłoża skalnego i wahała się od 8 do 15 metrów.

W celu wyeliminowania osiadań, na podłożu wzmocnionym kolumnami DSM zostały ułożone 2 warstwy geosiatki poliestrowej ParaLink™ (rys. 6) o wytrzymałości na rozciąganie 250 kN/m. Geosiatki te tworzą kompozyt składający się z dwóch polimerów: poliestru i polietylenu. Każda pojedyncza podłużna taśma posiada rdzeń z wysokowytrzymałego poliestru w polietylenowej osłonie (rys. 5).



Rys. 5. Budowa geosiatki wzmacniającej podłoże

Poliester to polimer, który posiada bardzo dobre właściwości wytrzymałościowo-odkształceniowe, natomiast jest mało odporny na działanie warunków atmosferycznych, takich jak promieniowanie ultrafioletowe lub związki chemiczne zawarte w gruncie. Rolę osłony pełni wówczas polietylen dodatkowo moletowany na powierzchni (zwiększenie kąta tarcia pomiędzy gruntem a geosyntetykiem), który jest odporny na warunki atmosferyczne.

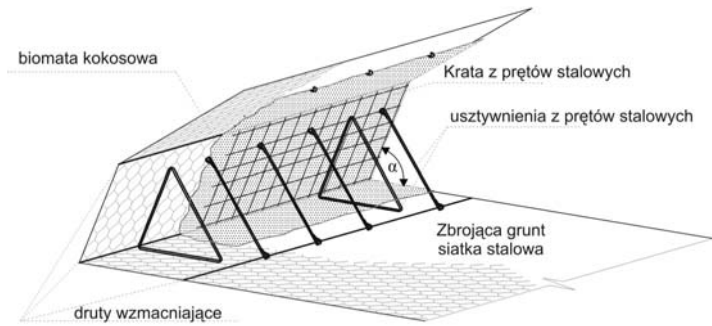


Rys. 6. Etapy wznoszenia nasypu z gruntu zbrojonego w Polanie

Wytrzymałość geosiatki została obliczona na podstawie normy brytyjskiej [1] dotyczącej wzmocniania gruntów geosyntetykami z uwzględnieniem cząstkowych współczynników dotyczących pełzania polimeru geosiatki, degradacji środowiskowej, biologicznej i chemicznej oraz wpływu uszkodzeń podczas transportu i wbudowywania.

Na podłożu wzmocnionym kolumnami DSM i geosiatką przewidziano budowę nasypu. Konstrukcję tę zrealizowano wykorzystując technologię zbrojenia gruntu, bazując na gotowych prefabrykowanych elementach o nazwie Green Terramesh®, które umożliwiają szybkie wznoszenie nasypu o stromych skarpach, na których może rozwijać się roślinność [3]. Szybkość instalacji i możliwość uzyskania stromych porośniętych roślinnością skarp była decydującym czynnikiem za zastosowaniem omawianej technologii gruntu zbrojonego. Prefabrykowany element składa się z panelu heksagonalnej siatki, z podwójnym zabezpieczeniem antykorozyjnym, stanowiącej zbrojenie gruntu i zabezpieczenie skarp nasypu, nadając odpo-

wiedni kąt nachylenia. Powierzchnia elementu Green Terramesh® tworząca po wbudowaniu lico skarpy wyłożona jest od wewnątrz biomatą kokosową (rys. 7). Siatka zbrojąca grunt spełnia wymagania normy [5] dotyczącej wykonawstwa konstrukcji z gruntu zbrojonego.



**Rys. 7.** Pojedynczy element do budowy nasypów w technologii gruntu zbrojonego

Zastosowanie omawianej technologii umożliwia uzyskanie nasypów o nachyleniu skarp od 45° do 70° i wysokości do kilkunastu metrów. W przypadku wznoszenia konstrukcji powyżej 8 metrów stosuje się zbrojenie pomocnicze w postaci geosiatek jednokierunkowych, wysokiej wytrzymałości o odpowiednim zabezpieczeniu rdzenia z włókien poliestrowych.

W ramach odbudowy nietypowego przepustu dokonano obliczeń maksymalnego dopływu do przepustu uwzględniając opad nawałny 200 mm, trwający 2 godziny na powierzchni 8,8 hektara zlewni i retencji 50–55%. W wyniku których otrzymano dopływ na poziomie 1,35 m³/s. Zdecydowano się na użycie przepustu z rury stalowej ocynkowanej, karbowanej o przekroju łukowo-kołowym o przepływie miarodajnym 1,86 m³/s. Wylot przepustu został umocniony konstrukcją oporową z koszy gabionowych, co przedstawiono na rysunku 8.

Odprowadzenie wody z przepustu zrealizowane zostało za pomocą materacy gabionowych ułożonych na geosyntetycznej barierze iłowej (macie bentonitowej) w kształcie niecki.



**Rys. 8.** Wylot przepustu umocniony koszami gabionowymi i płytą żelbetową

Ze względu na duży spadek materace gabionowe zostały ułożone w postaci kaskady (rys. 9). Odwodnienie wgłębne wykonano w postaci drenów wierconych ze skarpy pod korpusem drogi na głębokość kilkunastu metrów. Woda z wylotów drenów wyprowadzona jest na materace gabionowe, które odprowadzają ją do kaskady (rys. 9). Wszystkie rozwiązania geotechniczne wykonał Zakład Specjalistycznych Robót Wiertniczych mgr inż. Jacek Bosak z Gdyni specjalizujący się w odbudowie i zabezpieczaniu osuwisk drogowych.



Rys. 9. Odbudowane osuwisko drogowe w miejscowości Polana

## 8. Wnioski

Omawiany przykład osuwiska pokazuje, jak nietypowy przepust drogowy spowodował katastrofę budowlaną i pozbawił na rok okolicznych mieszkańców możliwości swobodnego przemieszczania się wydłużając ich drogę do pracy, szkół o 18 km. Przypadek ten wskazuje jak wiele czynników nałożyło się, aby spowodować wystąpienie ruchów masowych obejmujących konstrukcję drogową. Odbudowa tej drogi z wykorzystaniem nowoczesnych technologii geotechnicznych pozwoliła na zmniejszenie ilości wbudowanych gruntów, a co za tym idzie zmniejszenie kosztów inwestycji i czasu potrzebnego do jej wykonania. Dodanie innego materiału do gruntu (w tym przypadku cement, siatki stalowe, geosyntetyki) o znacznie lepszych parametrach wytrzymałościowych stwarza kompozyt (grunt + zbrojenie) o parametrach wytrzymałościowo-odkształceniowych nadający się do odbudowy dróg w bardzo trudnym terenie. Rysunek 9 pokazuje jak odpowiednio dobrane technologie wpisują się przyrodniczy charakter terenu. Dobierając rozwiązanie zawsze trzeba zwrócić uwagę na otaczający krajobraz, tak by odtwarzana konstrukcja komponowała się z nim i była widoczna w jak najmniejszym stopniu. Zastosowanie technologii gruntu zbrojonego umożliwiające w efekcie uzyskać porośniętą roślinnością skarpy, zniwelowało wpływ istniejącej konstrukcji na otaczający bieszczadzki krajobraz.



## LITERATURA

- [1] BS 8006:1995. Strengthened, Reinforced Soils and other Fills
- [2] *Karwowska D., Tarapacki P.*: Projekt budowlany „Zabezpieczenie osuwiska i odbudowa drogi wojewódzkiej Nr 894 Hoczew — Czarna w km 43+566 — 43+675 w miejscowości Polana”. Biuro Inżynierii Drogowej, Sanok 2008
- [3] *Kosiński T., Kuc M.*: Zabezpieczenie skarp wykopów i nasypów gruntami zbrojonymi Teramesh i Macres. „XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, Oddział Małopolski w Krakowie. Wisła 17–20 marca 2009, tom III, s. 401–412
- [4] *Michalski T., Witkowski B.*: Dokumentacja Geologiczno-Inżynierska dla ustalenia warunków geologiczno-inżynierskich w rejonie osuwiska w ciągu drogi wojewódzkiej nr 894 Hoczew — Czarna w miejscowości Polana w km 43+566 — 43+675. Gdynia 2008
- [5] PN-EN 14475. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych — Grunt zbrojony
- [6] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 września 1998 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych
- [7] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
- [8] *Topolnicki M.*: Wzmacnianie i uszczelnianie gruntu metodą głębokiego mieszania na mokro (DSM). „XXIV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”, Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, Oddział Małopolski w Krakowie. Wisła 17–20 marca 2009, tom III, s. 265–280