

Analiza przyczyn powstania oraz likwidacja osuwiska w starym nasypie drogowym

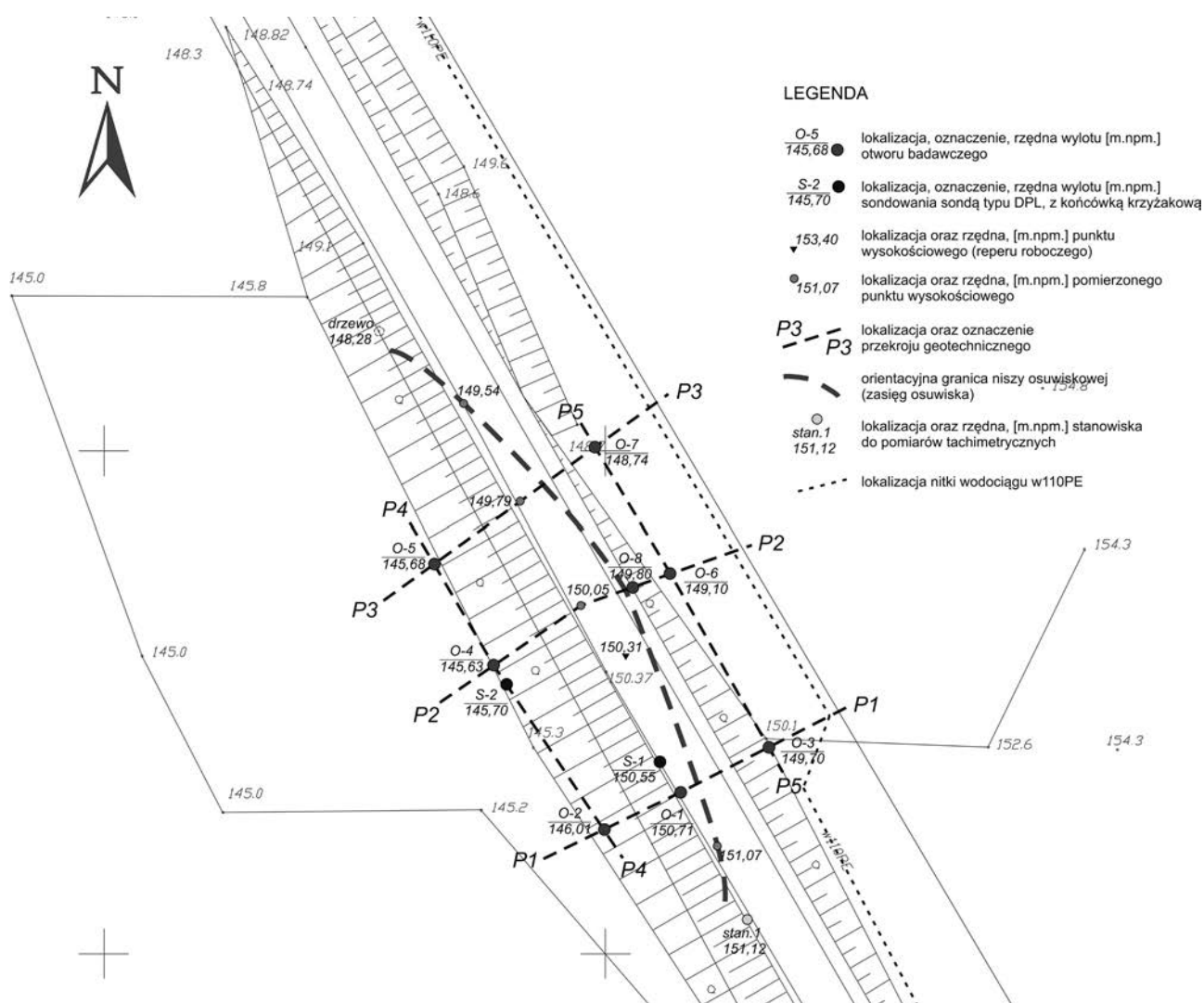
Dr inż. Krzysztof Gajewski, mgr inż. Tadeusz Nitecki, dr inż. Jarosław Filipiak
Politechnika Koszalińska, Wydział Inżynierii Lądowej, Środowiska i Geodezji

Konstrukcję 150-metrowego odcinka nasypu drogi powiatowej na terenie Pomorza Środkowego posadowiono w XIX wieku w złożonych warunkach geotechnicznych. Konsolidacja podłoża słabonośnego oraz osiadanie nasypu, zmiany warunków gruntowo-wodnych w podłożu, a także intensyfikacja natężenia ruchu samochodowego doprowadziły do wzbudzenia procesu osuwiskowego, który zagrażał bezpieczeństwu analizowanego odcinka drogi i stał się przedmiotem badań (rys. 1) oraz ekspertyzy technicznej [1].

CHARAKTERYSTYKA PODŁOŻA ORAZ KONSTRUKCJI NASYPU

Nasyp drogowy, widoczny już na mapie archiwalnej z 1889 roku [3], uformowano na stoku zbocza morenowego,

którego nachylenie na najbardziej stromym odcinku wynosiło blisko 30°. Prawdopodobne, pierwotne ukształtowanie powierzchni terenu pokazano na przekroju pionowym podłoża (rys. 3) za pomocą linii kropkowanej. U podnóża tego zbocza jest zlokalizowane zagłębienie wytopiskowe wypełnione gruntami organicznymi, które sięgało wówczas prawej krawędzi jezdni (patrzac w kierunku północnym). Powierzchnię terenu na tym obszarze pokrywały grunty deluwialne, oznaczone na mapie [3] kolorem zielonym. Spływ powierzchniowych warstw gruntu oraz wód opadowych i gruntowych był wynikiem znacznej deniwelacji terenu sąsiedniego. Pomiędzy najwyższym punktem wzniesienia (około 163 m n.p.m.) a poziomem terenu zagłębienia wytopiskowego (około 145 m n.p.m.) odległość wynosi 180 ÷ 200 m. Średni spadek terenu pierwotnego na obszarze akumulacji zastoiska oraz budowy nasypu oscylował więc w granicach około 10%.



Rys. 1. Lokalizacja osuwiska oraz punktów badawczych i przekrojów geotechnicznych podłoża



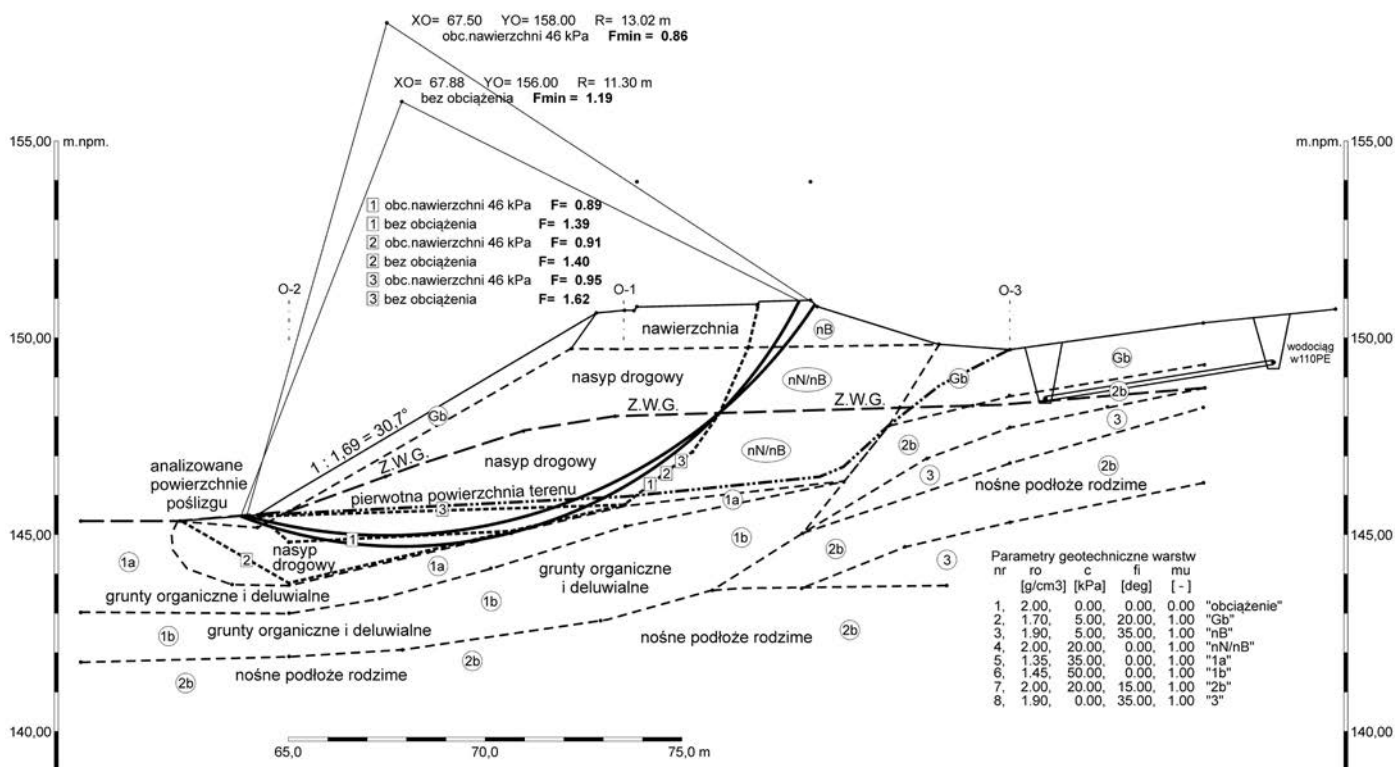
Rys. 2. Zasięg górnej krawędzi niszy osuwiska – widok z kierunku północnego

Na złożone warunki geotechniczne podłoża nasypu składały się: przypowierzchniowa warstwa gruntów deluwialnych (piasków gliniastych i glin, z domieszkami części organicznych bądź gleby) oraz grunty organiczne pochodzenia bagienno-jeziornego: namuły, torfy, kredy jeziorne i gytie, o łącznej miąższości ponad 4 m. Dopiero niżej występują grunty nośne – nieprzewiercone, plejstoceńskie gliny zwałowe, tj. piaski gliniaste i gliny piaszczyste. W obrębie glin zwałowych występują wkładki wodnolodowcowych piasków i żwirów gromadzące wodę gruntową i wody opadowe, oraz sprowadzające te wody do zagłębienia wytopiskowego (rys. 3). Poza obszarem zagłębienia nośne grunty lodowcowe występują praktycznie od po-

wierzchni terenu pod warstwą gleby niewielkiej miąższości bądź deluwium. Jest to budowa podłoża charakterystyczna dla obszaru Pojezierza Szczecińskiego, przysparzająca niejednokrotnie problemów w budownictwie ogólnym i drogowym.

Korpus nasypu usypano dawniej z gruntów mało spoistych i rzadziej niespoistych – przeważnie piasków gliniastych, z domieszką glin, rzadziej piasków średnich i drobnych. Podbudowa asfaltowej nawierzchni drogowej miała około 1 m grubości i była zbudowana z piasku średniego oraz kamieni (mógł to być także dawny bruk). Stan zagęszczenia gruntów w korpusie nasypu był (w czasie badań) luźny, a miejscami bardzo luźny. Stan zagęszczenia podbudowy jezdni oszacowano jako zagęszczony do bardzo zagęszczonego. Wyniki badania sondą krzyżakową (FVT) wytrzymałości na ścinanie gruntów budujących zarówno nasyp, jak i jego podłoże, wykazały, że wytrzymałość ta jest niższa (około dwukrotnie) w obrębie dolnych warstw nasypu niż w podścielających go, skonsolidowanych gruntach organicznych i deluwialnych.

Woda gruntowa występowała w postaci mniej lub bardziej intensywnych sączeń, w obrębie glin zwałowych, oraz w postaci zwierciadła swobodnego w gruntach organicznych. W otworach badawczych, z sączeń zwierciadło wody gruntowej (Z.W.G.) stabilizowało się na rzędnych, które układały się w krzywą depresji charakterystyczną przy filtracji wody przez korpus nasypu – patrz linia przerywana na rys. 3. Zarówno poziom, jak i intensywność sączeń, a także poziom stabilizowania się wody w podłożu, były ściśle związane z porą roku oraz intensywnością opadów atmosferycznych. Badania prowadzono po dłuższym okresie bezdeszczowym. Najprawdopodobniej w okresie jesienno-zimowym poziom stabilizowania się wody w podłożu oraz intensywność sączeń były znacznie wyższe. Woda stagno-



Rys. 3. Przekrój geotechniczny „P1-P1” korpusu nasypu oraz podłoża rodzimego, z naniesionymi wynikami analizy stateczności ogólnej

wała także okresowo na powierzchni zagłębienia wytopiskowego. Spływająca przez nasyp woda w połączeniu z rodzajem materiału budującego korpus nasypu (piaski gliniaste o ograniczonej wodoprzepuszczalności) miały niewątpliwie niekorzystny wpływ na stan konsystencji oraz stan zagęszczenia gruntu nasypowego i mogły przyczyniać się do rozluźnienia gruntu.

PRZYCZYNY AWARYJNEGO STANU NASYPU

Podstawową przyczyną powstania osuwiska w analizowanym nasypie drogi była budowa geologiczna rodzimego podłoża gruntowego oraz ukształtowanie terenu pierwotnego, na którym uformowano nasyp drogowy.

Najprawdopodobniej nasyp ten wzniesiono bez prawidłowego rozpoznania budowy podłoża gruntowego bezpośrednio na gruntach deluwialnych oraz organicznych, wypełniających zagłębienie wytopiskowe. Po dociążeniu tych gruntów korpusem nasypu o wysokość około 5 m (co daje nacisk rzędu około $80 \div 100$ kPa) rozpoczęła się ich długotrwała konsolidacja. Towarzyszyły temu także przemieszczenia boczne (poziome) gruntu organicznego. Potwierdziły to obliczenia symulacyjne przeprowadzone według zaleceń [4] i [5]. Ponad wiekowy proces konsolidacji gruntów organicznych i deluwialnych o łącznej maksymalnej miąższości sięgającej 4 m doprowadził do częściowego „zatonięcia” korpusu nasypu w zastoisku oraz do uruchomienia mechanizmu powolnego spęływania masywu nasypu po dawnej powierzchni terenu w kierunku zachodnim. Pierwotnie powierzchnia ta była nachylona jedynie pod wschodnią skar-

pą nasypu, zaś pod środkiem nasypu oraz pod skarpą zachodnią teren był praktycznie płaski. Po upływie kilkudziesięciu lat, na skutek nierównomiernego osiadania podłoża obciążonego nasypem, nachylenie dawnego terenu ukształtowało się ze spadkiem w kierunku zachodnim. Proces ten trwa już ponad 100 lat i jest aktywny nadal, czego efektem było zaobserwowane osuwisko.

Dodatkowym czynnikiem, który wspomagał ten proces, było okresowe utrzymywanie się w korpusie nasypu wody gruntowej oraz grawitacyjny przepływ tej wody przez korpus nasypu (stanowiącego barierę dla naturalnego spływu wód opadowych po dawnym terenie, w kierunku zastoiska). Woda gruntowa oraz ruch gruntu budującego nasyp przyczyniały się zarówno do rozluźniania gruntu w podstawie nasypu, jak i do niekorzystnych zmian konsystencji w materiale nasypowym. Prowadziło to do zmniejszania się wytrzymałości na ścinanie gruntu nasypowego, a w konsekwencji do dalszej aktywizacji ruchu osuwiskowego. Rozluźnieniu i zmniejszeniu wytrzymałości gruntu w korpusie nasypu towarzyszył jednocześnie wzrost wytrzymałości w konsolidowanym pakiecie gruntów organicznych.

Zasięg niszy osuwiskowej, której górna krawędź była widoczna jako pęknięcie w pasie nawierzchni drogi (rys. 2), dobrze korespondowały z wyinterpretowaną z wierceń oraz sondowań budową podłoża gruntowego. Kształt masywu osuwiska potwierdziły także wyniki obliczeń stateczności ogólnej (rys. 3 oraz tabl. 1).

Z pewnością na proces osuwiskowy miało wpływ także pojawienie się większych obciążeń w ruchu drogowym (samochody do transportu drewna) oraz intensyfikacja tego ruchu. Projek-

Tabl. 1. Wyniki obliczeń stateczności ogólnej nasypu i podłoża metodami Bishopa i Janbu, według [2]

Przekrój „P1 - P1” – Warianty obliczeń	Współczynnik stateczności F	Liczba analizowanych powierzchni poślizgu lub numer powierzchni	Powierzchnia poślizgu metoda obliczeń
Nawierzchnia drogi nieobciążona wyznaczanie powierzchni krytycznej - $F_{\min}$	1,19	687*	walcowa, metoda Bishopa
Obciążenie nawierzchni 115 kN/oś, na obu pasach wyznaczanie powierzchni krytycznej - $F_{\min}$	0,86	656*	walcowa, metoda Bishopa
Nawierzchnia drogowa nieobciążona, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,39	powierzchnia nr 1*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 60 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,08	powierzchnia nr 1*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 115 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	0,89	powierzchnia nr 1*	łamana, metoda Janbu
Nawierzchnia drogowa nieobciążona, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,40	powierzchnia nr 2*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 60 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,09	powierzchnia nr 2*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 115 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	0,91	powierzchnia nr 2*	łamana, metoda Janbu
Nawierzchnia drogowa nieobciążona, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,62	powierzchnia nr 3*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 60 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	1,20	powierzchnia nr 3*	łamana, metoda Janbu
Obciążenie nawierzchni 115 kN/oś, na obu pasach, powierzchnia poślizgu przyjęta z układu warstw gruntu	0,95	powierzchnia nr 3*	łamana, metoda Janbu

* – patrz rys. 3.

tanci i wykonawcy nasypu drogowego w XIX wieku nie brali pod uwagę takich obciążeń eksploatacyjnych drogi na nasypie.

Nie można także wykluczyć niekorzystnego wpływu, wykonanej przed około 10 laty, inwestycji wzdłuż pasa drogi, tj. położenia w wykopie nitki wodociągu, która biegnie wzdłuż rozpatrywanego odcinka nasypu, po stronie wschodniej (rys. 1). W trakcie układania tego wodociągu z pewnością był wykonany przez jakiś czas otwarty wykop liniowy, zapewne o głębokości około 1,0 m i długości co najmniej kilkudziesięciu metrów, który mógł gromadzić dodatkowo wody opadowe i ułatwiać ich przedostawanie się do podłoża. Wykop ten zapewne zasypano bez specjalnych zabiegów zagęszczających, a ponieważ nitka wodociągu przebiega w niewielkim zagłębieniu ciągnącym się wzdłuż nasypu, występowały tam nadal sprzyjające warunki do gromadzenia wód opadowych i zasilania nimi korpusu nasypu.

ANALIZA OGÓLNEJ STATECZNOŚCI NASYPU

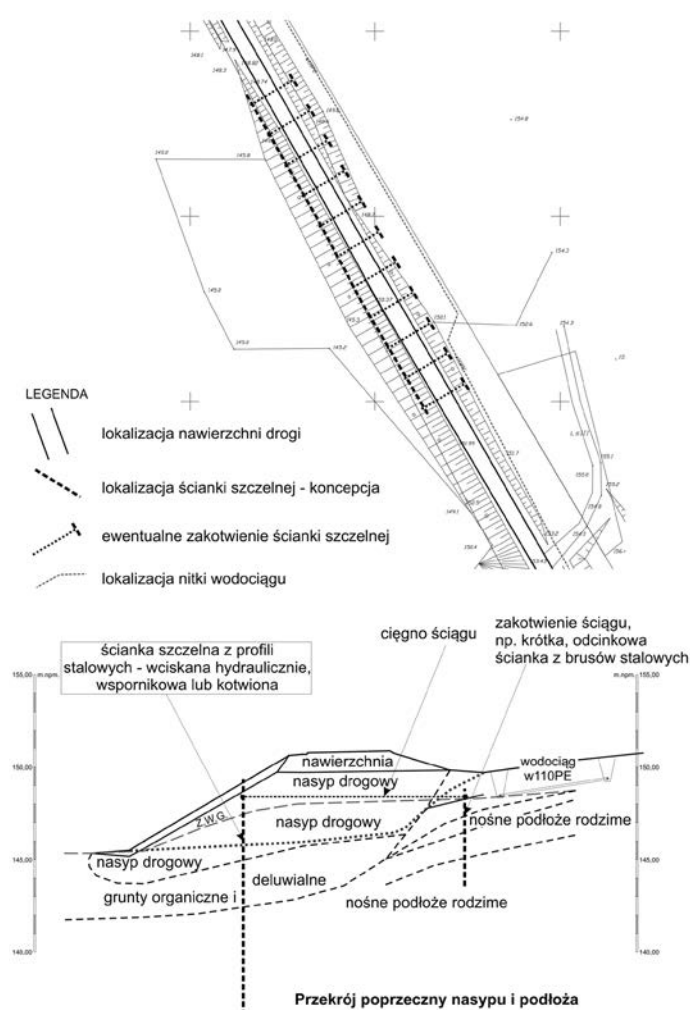
Komputerowa analiza stateczności ogólnej nasypu wykonana metodami Bishopa oraz Janbu [5] potwierdziła zarówno wpływ ustalonych badaniami: budowy podłoża i korpusu nasypu oraz parametrów gruntów na przebieg krytycznych powierzchni poślizgu, jak również wpływ zmienności obciążenia ruchem kołowym

nawierzchni drogowej na możliwość wzbudzenia granicznego stanu nośności podłoża nasypu. Przykładowe wyniki obliczeń (przekrój P1 – P1) zestawiono w tabl. 1 oraz pokazano na rys. 3.

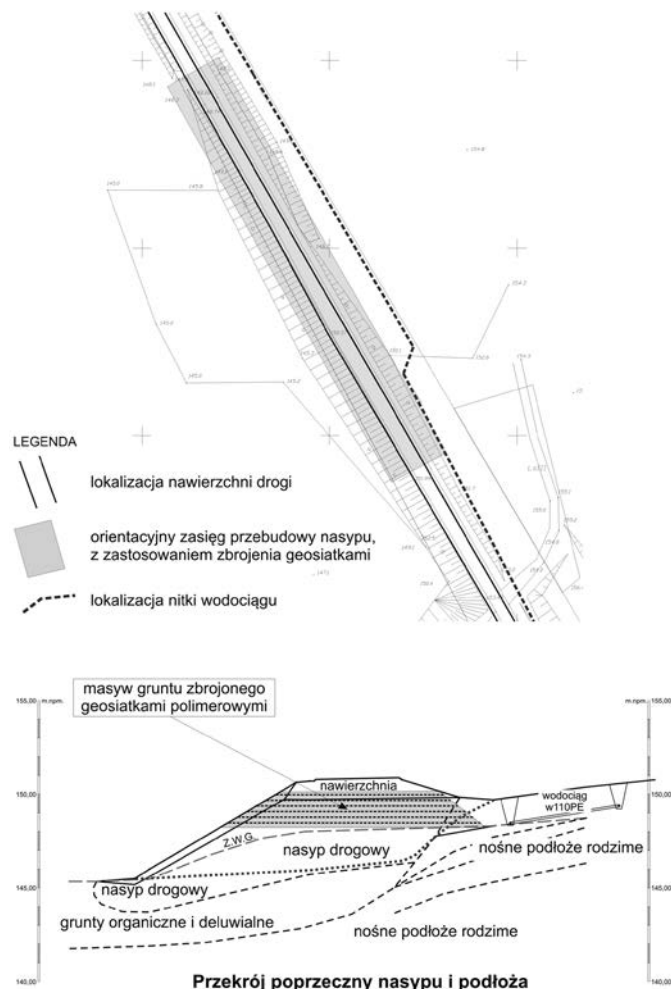
W ramach ekspertyzy [1] zaproponowano trzy koncepcyjne rozwiązania zabezpieczenia korpusu nasypu drogi przed pogłębianiem się istniejącego stanu awaryjnego, pozostawiając do wyboru zarządcy drogi jeden z nich.

W wariancie „A” przewidziano zaprojektowanie i wykonanie ścianki szczelnej stalowej (rys. 4) wprowadzanej w korpus nasypu nieinwazyjną metodą wciskania hydraulicznego w podłożu. W zależności od wyniku projektowych obliczeń statycznych ścianka taka mogłaby pracować jako konstrukcja wspornikowa lub kotwiona. W odróżnieniu od ścianek wbijanych czy wwibrowywanych technologia wciskania hydraulicznego nie stwarza dodatkowego zagrożenia stateczności aktywnego masywu osuwiska. Długość konstrukcji oszacowano na około $70 \div 80$ m, zagłębienie – na około $12 \div 15$ m – dla ścianki wspornikowej, $8 \div 10$ m – dla ścianki kotwionej, powierzchnię całkowitą – od około $560 \div 800$ m² (ścianka kotwiona) do $840 \div 1200$ m² (ścianka wspornikowa).

Do zalet tego wariantu należy zaliczyć: szybkość wykonania ($1 \div 2$ tygodni), bardzo krótki czas zajęcia pasa drogowego, praktyczną możliwość wykonania bez zamykania ruchu oraz niszczenia istniejącej nawierzchni. Poza wykonaniem samej



Rys. 4. Wariant „A” naprawy nasypu



Rys. 5. Wariant „B” naprawy nasypu

konstrukcji (zlokalizowanej obok pasa jezdni) byłaby konieczna odbudowa tylko nawierzchni drogi. Natomiast wady tego rozwiązania to: konieczność wykonania dodatkowych, uzupełniających badań na potrzeby projektu geotechnicznego, bardzo wysokie koszty materiałów oraz wykonawstwa, podatność na korozję w okresie eksploatacji, i możliwe podpiętrzenie zwierciadła wody gruntowej w nasypie.

W wariantcie „B” zaproponowano całkowitą przebudowę nasypu drogowego i umocnienie jego korpusu przez wbudowanie w nasyp zbrojenia gruntu z geosiatek polimerowych (rys. 5). W tym przypadku nie likwiduje się całkowicie przyczyn powstawania osuwiska, a jedynie naprawia się jego skutki poprzez usunięcie uszkodzeń nawierzchni drogi i częściowe wzmocnienie korpusu nasypu drogowego. Wykonanie konstrukcji z gruntu zbrojonego o długości $100 \div 120$ m i zagłębieniu $2,0 \div 2,5$ m wymagałoby przemieszczenia od 5000 m^3 do 7500 m^3 gruntu i wbudowania od 7500 do 9000 m^2 geosiatki. Zaletami tego wariantu są: prostota technologii wykonania, średnie koszty materiałów oraz trwałość. Do wad należy zaliczyć: długi czas wykonania ($1 \div 2$ miesięcy), konieczność rozbiórki drogi oraz częściowej rozbiórki istniejącego nasypu, duże ilości mas ziemnych do wywieżenia, przywozu oraz wbudowania, konieczność wytyczenia stałych objazdów trasy, możliwość wystąpienia w przyszłości deformacji podłoża poniżej zazbrojonej części nasypu.

W wariantcie „C” przewidziano zmianę trasy drogi. Zaproponowano wykonanie nowego odcinka drogi, który będzie posadowiony na nośnym podłożu gruntowym, poza zasięgiem zdiagnozowanego masywu osuwiska (rys. 6). Jak wykazały wykonane wiercenia badawcze [1], grunty nośne w podłożu występują bezpośrednio po wschodniej stronie pasa drogi (rys. 3). W takim przypadku długość przebudowywanego odcinka drogi wyniesie

około $200 \div 230$ m, zagłębienie (korytowanie pod podbudowę i warstwy nawierzchni) – będzie rzędu około $1,0 \div 1,5$ m. Objętość mas ziemnych do przemieszczenia i wbudowania (założono pas przebudowy o szerokości około 6 m) – wyniesie od 1200 m^3 do 2100 m^3 .

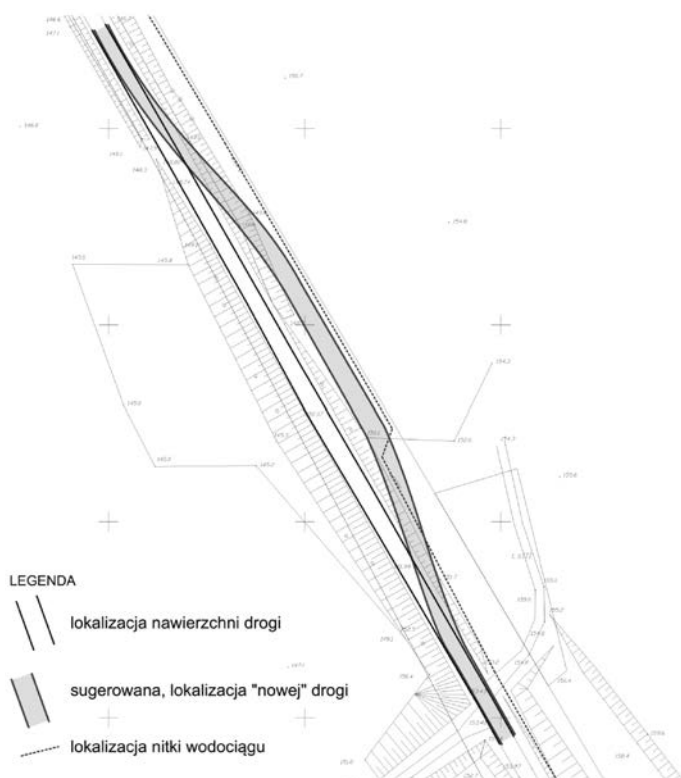
Do zalet tego rozwiązania należą: prosta technologia wykonania, niskie koszty materiałów, trwałość, skuteczność, możliwość utrzymania ograniczonego ruchu na istniejącej drodze, wprowadzenie ograniczenia prędkości na skutek wyprofilowania dodatkowych zakrętów. Natomiast do wad należy zaliczyć: niewątpliwie długi czas wykonania, konieczność przełożenia istniejącego wodociągu poza pas drogowy, okresowa (na czas niektórych robót) konieczność zamknięcia ruchu oraz wytyczenia stałych objazdów trasy, znaczne ilości mas ziemnych do wy-



Rys. 7. Droga po przebudowie - widok w kierunku północnym (białą linią zaznaczono dawną krawędź drogi)



Rys. 8. Widok w kierunku południowym (białą linią zaznaczono dawną krawędź drogi)



Rys. 6. Wariant „C” naprawy nasypu – zrealizowany

wiezienia, przywozu oraz wbudowania, zmiana osi jezdni na potencjalnie mniej bezpieczną (z czterema dodatkowymi łukami).

Jak to bywa w warunkach krajowych, w przypadku dróg, które niekoniecznie wpisują się w „medialną mapę inwestycyjną”, już po zaledwie kilkuletnich staraniach o środki finansowe, w wyniku szeroko prowadzonych analiz techniczno-ekonomicznych zarządca drogi wybrał do realizacji wariant „C”, który pomyślnie sfinalizowano w 2012 roku.

Na rys. 7 i 8 można zobaczyć efekt blisko sześcioletniego działania połączonych sił nauki i administracji. Choć z punktu widzenia atrakcyjności konstrukcji geotechnicznej nie jest on specjalnie spektakularny, to jednak ekonomika oraz skuteczność zastosowanego rozwiązania potwierdziły się w ciągu dwóch lat eksploatacji naprawionego w ten sposób odcinka drogi.

LITERATURA

1. Ekspertyza techniczna nt. przyczyn oraz sposobu likwidacji osuwiska w nasypie drogi 1266Z. Przedsiębiorstwo Realizacji Inwestycji „KRET”, Koszalin 2008.
2. Madej J. S.: Metody sprawdzania stateczności zboczy. WKiŁ, 1981.
3. Mapa agrotechniczno-geologiczna, „Geologische Karte von Preussen und benachbarten Bundesstaaten”, arkusz „Wurchow” (Wierzchowo), skala 1:25000, oprac. 1889.
4. Molisz R., Baran L., Werno M.: Nasypy na gruntach organicznych. WKiŁ, 1986.
5. Myślińska E.: Grunty organiczne i laboratoryjne metody ich badania. WN PWN, 2001.