Dr inż. ANDRZEJ T. WOJTASIK
Politechnika Poznańska & GT Projekt
mgr MICHAŁ RÓŻAŃSKI
GT Projekt

AWARIA SKARP WYSOKICH NASYPÓWORAZ GŁĘBOKICH WYKOPÓW NA PRZYKŁADZIE BUDOWY OBWODNICY GORZOWA WIELKOPOLSKIEGO

LARGE SCALE SLOPES FAILURE ON THE GORZÓW WIELKOPOLSKI BYPASS ROAD

Streszczenie W niniejszym artykule w sposób syntetyczny opisano problemy związane z statecznością wysokich skarp nasypów i wykopów na przykładzie zrealizowanej budowy obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego. Budowę ukończono w listopadzie 2007 r. Zaprojektowane i wykonane nasypy lokalnie osiągają około 20,0 m, a głębokie wykopy około 12,0 m. Awaria budowlana nastąpiła w styczniu 2008 r. i objawiła się spływami powierzchniowymi i wcięciami erozyjnymi skarp na znacznej powierzchni. Łącznie zlokalizowano ponad 60 obszarów zniszczeń o powierzchni przekraczającej 2,37 ha. W artykule przedstawiono przykładowe obliczenia stateczności skarp (wykonane w trakcie realizacji budowy), powstałe zniszczenia oraz sposób naprawy powstałych uszkodzeń.

Abstract This paper presents description of a large scale slope stability problem related to the construction of the Gorzów Wielkopolski bypass road. The construction of the bypass was finalized in November 2007. The slopes that failed are up to 20 m high in the fill areas and up to 12 high in cut areas. A large number of slopes failed in January 2008 and resulted mainly in deep surface failures. A total number of over 60 failed slope areas of ca 2,37 ha, have been recorded. Authors present slope stability calculations, description of the slope failures and the description of the executed repair works.

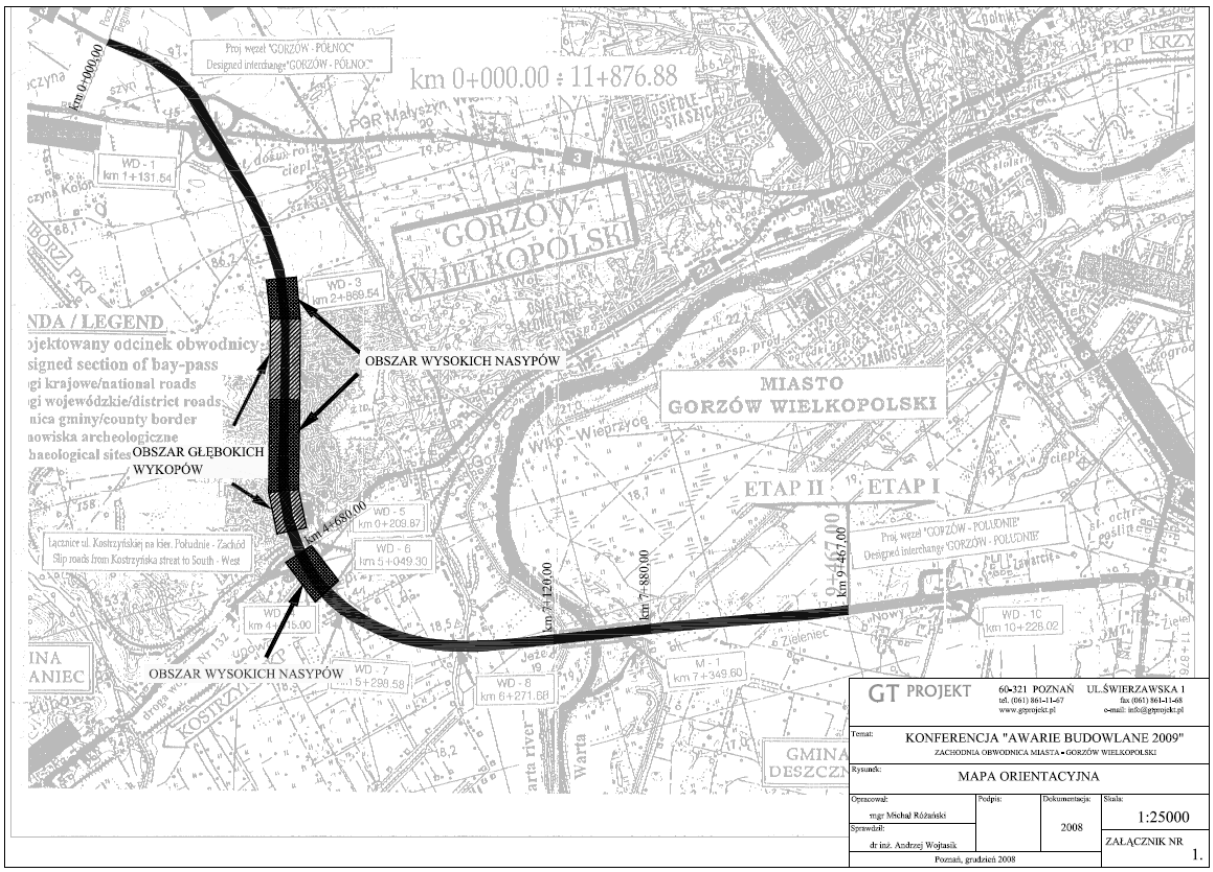
1. Wstęp – ogólny opis problemu

W listopadzie 2007 r. został oddany do eksploatacji ponad 9,4 kilometrowy odcinek zachodniej obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego. Prace budowlane trwały przez ponad trzy lata. Trasa obwodnicy przebiega przez dolinę Warty, gdzie droga została zaprojektowana na wysokich nasypach oraz przez obszar zbocza wysoczyzny gdzie droga położona jest w stosunkowo głębokich wykopach. Rzędne terenu wahają się od około 20 m n.p.m na tarasie akumulacyjno-erozyjnym, bezpośrednio przy rzece, do około 70 m n.p.m. na terenie wysoczyzny.

Trasa obwodnicy została zaprojektowana i wybudowana na bardzo wysokich nasypach drogowych oraz lokalnie, w stosunkowo głębokich wykopach. Przebieg analizowanego fragmentu drogi wraz ze wskazaniem obszarów występowania wysokich nasypów i głębokich wykopów pokazano na rysunku nr 1.

Przed oddaniem inwestycji do eksploatacji, po zakończeniu prac ziemnych, stwierdzono liczne osuwiska powierzchniowe, zarówno na skarpach nasypów jak i skarpach wykopów. Osuwiska miały charakter powierzchniowy jednak ich rozległość i skala były bardzo rozległe.

Po kilku miesiącach eksploatacji drogi, w okresie wiosennym powstały liczne nowe osuwiska, a ich zakres objął większą część wysokich nasypów oraz znaczącą część wykopów. Inwentaryzacja powstałych zniszczeń wykazała, że do grudnia 2008 r. powstało ponad 60 lokalnych osuwisk o łącznej powierzchni ponad 2,37 ha.



Rys. 1. Orientacyjny przebieg obwodnicy z wydzielonymi strefami wysokich nasypów i głębokich wykopów

2. Warunki gruntowo-wodne terenu budowy obwodnicy

Analizowany obszar znajduje się w obrębie dwóch jednostek geomorfologicznych:
– w km 0+000 – 4+540 to strefa wysoczyzny morenowej;
– w km 4+540 – 9+467 to strefa doliny rzeki Warty.

Wysoczyzna charakteryzuje się bardzo dużą zmiennością ukształtowania terenu, jej pierwotna powierzchnia znajdowała się na rzędnych 20,0÷70,0 m n.p.m., a jej deniwelacje sięgały ~50,0 m. W związku z powyższym zaprojektowana niweleta obwodnicy w niektórych miejscach została poprowadzona na wysokich nasypach (dochodzących do ~20,0m) oraz w głębokich wykopach (dochodzących do ~12,0 m).

Dolina (z wyjątkiem strefy kontaktu z częścią wysoczyznową) kształtuje się na rzędnych ~17,5÷20,0 m n.p.m. Zaprojektowana niweleta poprowadzona została na nasypach o wysokości do ~8,0 m.

Obszar kontaktu doliny z częścią wysoczyznową oraz istniejący układ komunikacyjny, wymusiły zaprojektowanie niwelety na wysokich nasypach (dochodzących do ~18,0 m).

Budowa geologiczna jest charakterystyczna dla wysoczyzny i doliny. Obszar wysoczyzny zbudowany jest z osadów lodowcowych i wodnolodowcowych (gliny zwałowe i różnoziar-

niste piaski). W dolinie dominują osady rzeczne (facji korytowej – różnoziarniste piaski i pozakorytowej – mady) oraz osady pochodzenia roślinnego – grunty organiczne.

Woda gruntowa stwierdzona badaniami archiwalnymi występowała:

- na wysoczyźnie w postaci sączeń (w glinach zwałowych na zróżnicowanych głębokościach) oraz w postaci zwierciadła napiętego lub swobodnego (w piaskach śródglinowych i wodnolodowcowych);
- w dolinie w postaci swobodnego zwierciadła (w osadach piaszczystych) na głębokościach max. do 2,0 m p.p.t. tj. w zakresie rzędnych 17,0÷18,5 m n.p.m. lub lokalnie w postaci lekko napiętego zwierciadła przez nadkład gruntów organicznych.

3. Krótki opis projektu obwodnicy

Na obecnym etapie realizacji obwodnicy, została ona zbudowana jako jednojezdniowa o dwóch pasach ruchu. Szerokość pasa ruchu wynosi 3,5 m, a szerokość jednej jezdni wynosi 11,0 m.

Ponad 1200 m drogi zaprojektowano na wysokich nasypach, o maksymalnej wysokości lokalnie dochodzącej do około 20 m, oraz około 1100 m drogi zaprojektowano w głębokich wykopach, dochodzących lokalnie do około 12 m. Przykładową geometrię wysokiego nasypu pokazano na rysunku nr 3.

Docelowo, w drugim etapie, planuje się dobudowanie drugiej jezdni z dwoma pasami ruchu a obwodnica będzie stanowiła fragment drogi ekspresowej S3.

Nasypy został zbudowane w znaczącej części z gruntów pozyskanych w obszarach wykopów. Nasypy są więc zbudowane z mieszaniny gruntów rodzimych, przede wszystkim, gruntów spoistych z przewarstwieniami gruntów sypkich. Do budowy nasypów wykorzystano wszystkie dostępne grunty, zgodnie z zaleceniami specyfikacji technicznej oraz PN-S-02205. Przykładowa budowa analizowanego nasypu został opisana w rozdziale 4.

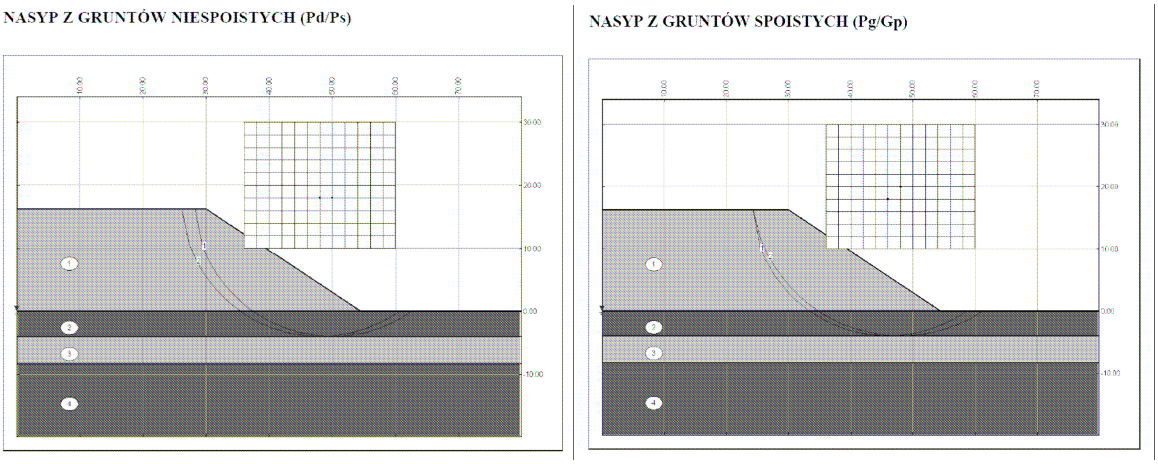
4. Analiza stateczności wybranych obszarów – nasypów i wykopów

Ze względu na realizację bardzo wysokich nasypów, dochodzących lokalnie do około 20,0 m oraz na założenia projektowe (skarpy o nachyleniu 1:1,5 lokalnie z jedną półką; brak odpowiedniego wzmocnienia skarp przed utratą stateczności; brak odpowiedniego odwodnienia i odprowadzeniu wody powierzchniowej) pojawiły się wątpliwości, co do stateczności skarp nasypów. Generalny Wykonawca podjął decyzję o konieczności przeprowadzenia analiz stateczności skarp [1]. Niezależnie, sporządzono także dwie dodatkowe opinie dotyczące stateczności skarp wysokich nasypów, zlecone przez Inwestora.

Pierwsze obliczenia zostały wykonane dla skarpy nasypów w km 4+800 (*wrzesień 2005*) i dotyczyły nasypu o wysokości ~16,2 m. Obliczenia stateczności przeprowadzono programem „SKARPA dla Windows", autorstwa Jacka Stasierskiego (1999 r.) wykorzystując uproszczoną metodę Bishopa, metodę Felleniusa oraz metodę Morgensterna-Price'a.

Przekrój obliczeniowy zlokalizowany został w km 4+800 budowanej obwodnicy na słabonośnym podłożu gruntowym. Parametry geotechniczne podłoża gruntowego zostały określone na podstawie badań terenowych: sondowań statycznych CPTU oraz wierceń badawczych wykonanych w czerwcu i lipcu 2005 r. Warunki gruntowe, na których zaprojektowano posadowienia nasypu drogowego należy uznać za złożone. Do głębokości około 8 m p.p.t zalegały warstwy gruntów słabonośnych w postaci namułów i torfów. Poniżej tych gruntów występowały piaski drobne oraz średnie, rzeczne w stanie średniozagęszczonym o średnim I_D = 0,60. Analiza stateczności skarpy przeprowadzona została dla dwóch wariantów materiału, dostępnych do zbudowania nasypu drogowego. *Wariant I* zakładał, że nasyp zostanie wykonany z materiału

niespoistego (piaski drobne i średnie) o ciężarze właściwym 18,0 kN/m^3 oraz *wariant II* przewidywał, że nasyp drogowy będzie wykonany z materiału spoistego (piasku gliniastego/gliny piaszczystej) o ciężarze właściwym 20,0 kN/m^3. Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały jednoznacznie brak stateczności ogólnej skarp nasypu w obu rozważanych wariantach. Obliczone współczynniki bezpieczeństwa wyniosły F ~ 0,70÷0,85. Wymagany współczynnik bezpieczeństwa powinien wynosić, co najmniej 1,3 (zalecany normami niemieckimi DIN-4084), a zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu z 2.03.1999 r. Dz. U. 99.43.430) F≥1,5. Dodatkowo stwierdzono, iż w obszarach, w których zalegają miąższe pokłady gruntów organicznych poza dużym prawdopodobieństwem utraty stateczności obliczone osiadania znacznie przekraczały wartości dopuszczalne.



Rys. 2. Przekroje obliczeniowe dla nasypów w km 4+800

Następne obliczenia stateczności skarp nasypów wykonano w marcu 2007 r. i obejmowały obszar bardzo wysokiego nasypu drogowego w km 3+450÷4+150 [2]. Przekrój obliczeniowy zlokalizowano w km 3+868 obwodnicy. Parametry geotechniczne podłoża gruntowego zostały określone na podstawie archiwalnych badań terenowych wykonywanych podczas budowy nasypu w ramach prowadzonych badań geotechnicznych (w okresie od stycznia 2006 r. – do lutego 2007 r.) oraz z danych otrzymanych od Wykonawcy. Obliczenia stateczności przeprowadzono również za pomocą programu „SKARPA dla Windows".

Obliczenia stateczności nasypu drogowego posadowionego na podłożu mineralnym (piaski średnie) wykonano dla charakterystycznego przekroju położonego w km 3+868.17 (o wysokości 17,7 m).

W przedmiotowym przekroju (uformowanym nasypie) warunki gruntowe przedstawiały się następująco:

- grunty budowlane o zróżnicowanym składzie i stanie tj. zarówno grunty spoiste i małospoiste (gliny piaszczyste i piaski gliniaste) w stanie generalnie twardoplastycznym, jak i grunty niespoiste (piaski drobne – w stanie średniozagęszczonym i zagęszczonym);
- poniżej, w rodzimym podłożu, występują piaski średnie w stanie średniozagęszczonym.

Ze względu na niejednorodny skład materiału wbudowanego w nasyp wykonano obliczenia w różnych konfiguracjach parametrów geotechnicznych, z uwzględnieniem obciążenia od ruchu drogowego na poziomie 25 kPa.

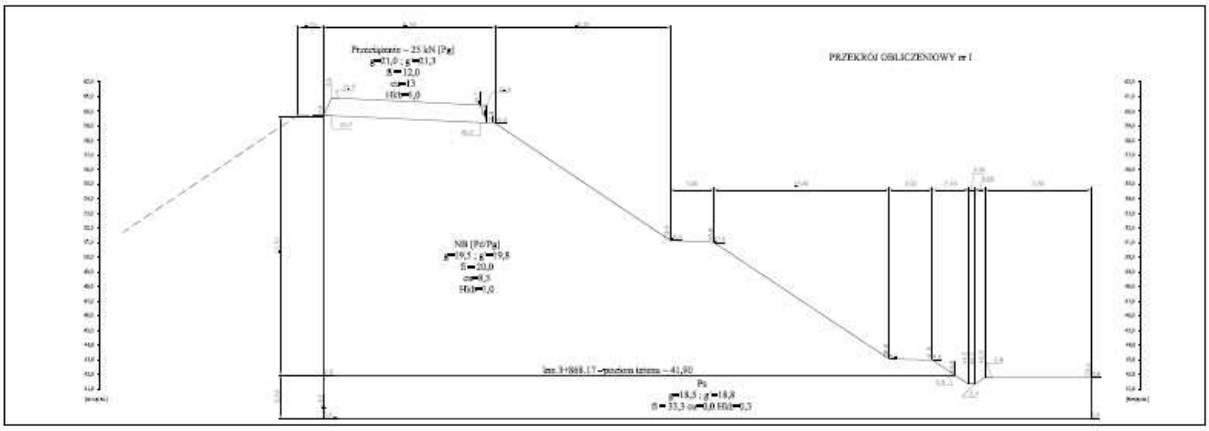
Do obliczenia stateczności, ze względu na budowę nasypu, opracowano cztery charakterystyczne przekroje obliczeniowe, o następujących parametrach geotechnicznych:

PRZEKRÓJ nr I – jednorodny nasyp budowlany, z piasków drobnych na pograniczu piasków gliniastych o γ [kN/m^3] = 19,5; ϕ_u [º] = 20,0; C_u [kPa] = 8,5; Hkb [m] = 1,0.

PRZEKRÓJ nr II – jednorodny nasyp budowlany, z piasków drobnych na pograniczu piasków gliniastych o γ [kN/m^3] = 19,5; ϕ_u [º] = 22,0; C_u [kPa] = 10,0; Hkb [m] = 1,0.
PRZEKRÓJ nr III – nasyp budowlany zbudowany z:

- piasków drobnych o γ [kN/m^3] = 17,5; ϕ_u [º] = 30,9; C_u [kPa] = 0,0; Hkb [m] = 0,5 (od góry nasypu do głębokości 5,0 m);
- piasków gliniastych na pograniczu gliny piaszczystej o γ [kN/m^3] = 21,5; ϕ_u [º] = 14,8; C_u [kPa] = 17,0; Hkb [m] = 1,5 (od 5,0 do 17,7 m – tj. do podstawy nasypu);

PRZEKRÓJ nr IV – jednorodny nasyp budowlany, z piasków gliniastych na pograniczu gliny piaszczystej o γ [kN/m^3] = 21,5; ϕ_u [º] = 14,8; C_u [kPa] = 17,0; Hkb [m] = 1,5.
W podłożu nasypu przyjęto parametry geotechniczne dla rodzimych piasków średnich w stanie średniozagęszczonym (tj. γ [kN/m^3] = 18,5; ϕ_u [º] = 33,3; C_u [kPa] = 0,0; Hkb [m] = 0,3).
Poniżej przedstawiono schematycznie profil obliczeniowy (przekrój I)



Rys. 3. Przekrój obliczeniowy dla nasypu w km 3+868

Prezentując i opisując wyniki wykonanych obliczeń stateczności skarp, wyróżniono dwie możliwości zniszczenia skarpy:

a) utratę stateczności ogólnej skarpy w postaci osuwiska, obejmującego masyw całej skarpy bądź znacznej jej części;
b) zsuw powierzchniowy (zwany czasami „wyłuszczeniem”) obejmujący powierzchniowe partie całej skarpy bądź jej części.

Należy podkreślić, że obie postacie zniszczenia skarpy mogą prowadzić do katastrofy budowlanej, mogącej powodować znaczne straty materialne a w skrajnej sytuacji wypadki z udziałem ludzi.

Wyniki obliczeń (minimalne współczynniki) stateczności skarpy przedstawiono w tabeli.

Tablica 1. Wartości obliczeniowe współczynników stateczności skarpy nasypu w km 3+868.

Nr przekroju	*Metoda szwedzka (Felleniusa)*	*Uproszczona metoda Bishopa*	*Metoda Morgensterna-Price'a*
I	***0,96***	***1,02***	***1,01***
II	***1,08***	***1,15***	***1,14***
III	***0,87***	***0,88***	***0,87***
IV	***0,93***	***0,98***	***0,98***

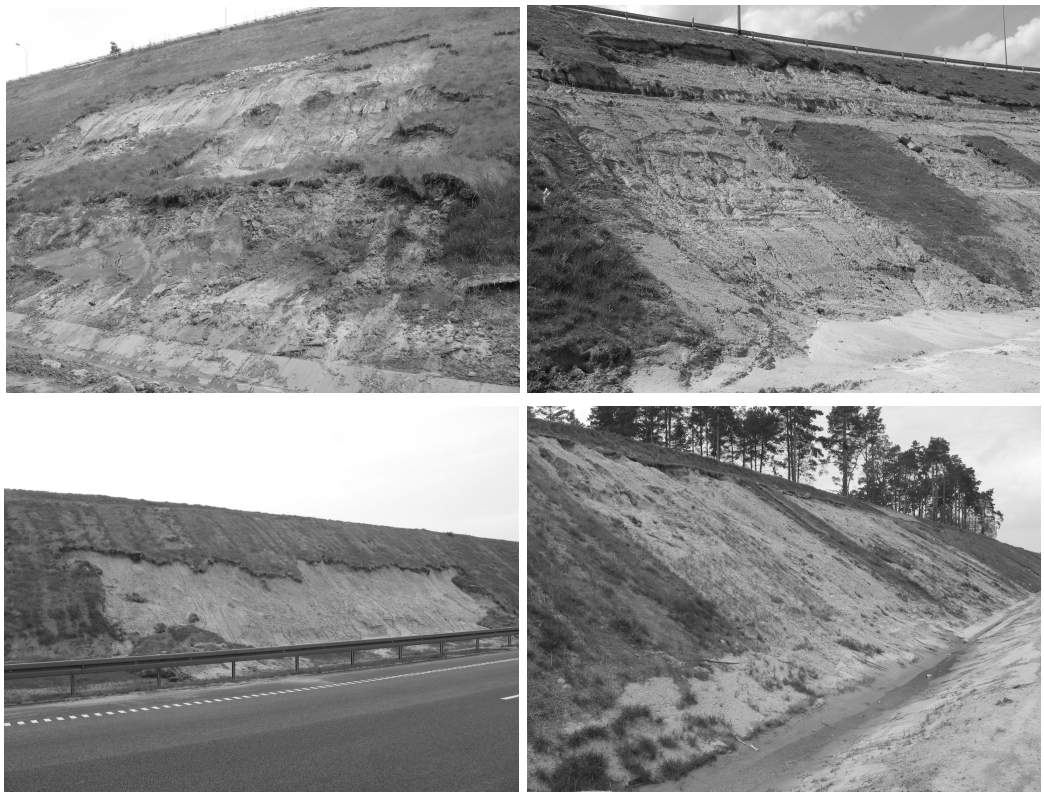
Na podstawie powyższych wyników można ocenić, przyjmując terminologię zaproponowaną przez Instytut Techniki Budowlanej, że w każdym z analizowanych przekrojów obliczeniowych (geotechnicznych) stwierdzono ***bardzo prawdopodobną utratę stateczności ogólnej oraz stateczności powierzchniowej.***

5. Opis powstałych zniszczeń w obszarach nasypów i wykopów

Problemy ze statecznością skarp nasypów i wykopów, które wcześniej sygnalizowano w obliczeniach ujawniły się zarówno w czasie budowy jak i po oddaniu obwodnicy do użytkowania. Powstałe zniszczenia zostały opisane i zinwentaryzowane w „Raporcie technicznym z inwentaryzacji uszkodzonych skarp nasypów i wykopów" [3]. Wyszczególniono zniszczenia skarp w strefie przypowierzchniowej – tzw. wyłuszczenia do 0,5 m głębokości, oraz głębsze sięgające do około 1,5÷2,0 m. Takie przykłady utraty stateczności przypowierzchniowej, lokalnie sięgające bardzo głęboko, mogą prowadzić do katastrofy budowlanej. Nie stwierdzono przypadków utraty stateczności globalnej analizowanych skarp. Łącznie, zinwentaryzowano 62 pola o różnej powierzchni (~23 700 m^2) na długości około 5,0 km wybudowanej obwodnicy, w tym 10 obszarów na wysokim nasypie (>6,0 m); 30 obszarów na nasypie (do 6,0 m); 19 obszarów w wykopie oraz 3 obszary na terenie przyległym i w skarpie przyczółka obiektu inżynierskiego.

Powstałe uszkodzenia miały charakter głównie spływów erozyjnych, zsuwów powierzchniowych, wysięków wody gruntowej i innych zjawisk związanych z niestatecznością powierzchniową. Powodem zniszczeń, oprócz dużego nachylenia i przyjętej geometrii skarp (nachylenie 1:1,5; bez odpowiedniego wzmocnienia), był też brak zabezpieczeń skarp przed erozyjnym działaniem wód opadowych (ablacja deszczowa).

Najbardziej niebezpieczne uszkodzenia skarp nasypów powstały na obszarze bardzo wysokich nasypów (dochodzących do wysokości 18,0 m) w obrębie węzła nad ul. Kostrzyńską (km 4+600÷5+000), a także w km 3+500÷4+100 oraz w km 2+500÷2+700. Największe zniszczenia w wykopie stwierdzono w obszarze głębokich wykopów w km 2+750÷3+500. We wszystkich przypadkach największą strefę zniszczeń zaobserwowano w dolnych częściach skarp (nasypu i wykopu), poniżej półki w przypadku nasypów. W strefie tej maksymalne głębokości zniszczeń sięgała od 1,0÷2,0 m, w głąb skarpy. Płytsze uszkodzenia (do 0,5 m) zaobserwowano w strefie górnej nasypów (powyżej półki).



Fot. 1÷4. Wybrane przykłady zniszczeń skarp nasypów (fot. 1÷2) oraz wykopów (3÷4)

6. Naprawa skarp nasypów oraz skarp wykopów. Sposób realizacji wykonanych napraw

Dla powstałych zniszczeń, które opisano i zinwentaryzowano w „Raporcie technicznym z inwentaryzacji uszkodzonych skarp nasypów i wykopów" [4], w lipcu 2008 r. opracowano „Projekt wzmocnienia skarp nasypów i wykopów" [5], w którym przedstawiono sposoby naprawy uszkodzonych skarp. W projekcie tym uwzględniono wykonane już wzmocnienia skarp nasypów (w km 3+600÷4+100) zaprojektowane przez GT Projekt we wrześniu 2007 r. I wykonane przed oddaniem obwodnicy do użytkowania [3].

Podstawą przyjętego sposobu naprawy było dociążenie narzutem kamiennym o frakcji 0÷200 mm (w szczególności dolnych części skarp – poniżej półki) oraz wzmocnienie z użyciem faszyny oraz biowłókniny. Dodatkowo w obszarach wykopu zaprojektowano wzmocnienie geokratą i zastosowanie ostróg odwadniających.

Przed zastosowaniem ww. sposobów wzmocnienia Wykonawca zobowiązany został do oczyszczenia skarp z luźnego materiału i faktycznej oceny głębokości erozji.

Fot. 5÷8. Wybrane przykłady wzmocnienia uszkodzonych skarp nasypów (fot. 5÷6) oraz wykopów (fot. 7÷8)

7. Podsumowanie i wnioski.

Przedstawiony przykład poważnej awarii budowlanej, spowodowanej utratą stateczności powierzchniowej skarp wysokich nasypów i głębokich wykopów, jednoznacznie wskazuje na konieczność prowadzenia niezbędnych analiz na etapie projektowania dróg. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu z 2.03.1999 r. Dz. U. 99.43.430 wszystkie skarpy o wysokości powyżej 6 m i pochyleniu większym niż 1:3 (lub powyżej 8 m, bez względu na nachylenie), wymagają prowadzenia obliczeń i analiz stateczności. Praktyka budowy dróg w Polsce wskazuje, że większość wysokich nasypów wymaga odpowiedniego zbrojenia geosiatkami lub co najmniej powierzchniowego wzmocnienia np. geokratami. Należy także zwracać szczególną uwagę na problemy odpowiedniego odwodnienia skarp.

Przyjęty sposób naprawy zniszczonych skarp obwodnicy Gorzowa Wielkopolskiego okazał się być skutecznym rozwiązaniem jednak koszty dodatkowych prac oraz konieczność prowadzenia prac naprawczych na tak dużą skale, po oddaniu obwodnicy do eksploatacji, jednoznacznie dyskwalifikują taki tok postępowania.

Należy podkreślić też, że wyniki wszystkich prowadzonych dotychczas analiz stateczności nasypów analizowanej trasy obwodnicy jednoznacznie wskazują, że nadal znajdują się one w stanie granicznym, stąd możliwe są dalsze powierzchniowe zsuwy gruntu w obszarach gdzie nie wykonano dotychczas prac naprawczych.

Literatura

1. GT Projekt – Ł. Wieczorek; A. Wojtasik „Raport geotechniczny. Wstępna analiza stateczności nasypu drogowego w km 4+800. Zachodnia obwodnica Gorzowa Wlkp. (nr arch. 1569/2005) Poznań, wrzesień 2005 r.
2. GT Projekt – M. Różański; A. Wojtasik „Raport geotechniczny. Analiza stateczności wysokiego nasypu drogowego w km 3+868. Zachodnia obwodnica Gorzowa Wlkp. (nr arch. 2635E / 2007) Poznań, marzec 2007 r.
3. GT Projekt – A. Wojtasik „Opinia geotechniczna. Zachodnia obwodnica Gorzowa Wlkp. – naprawa wysokiego nasypu pomiędzy km 3+600 – 4+100”; (nr arch. 2635N / 2007) Poznań, wrzesień 2007 r.
4. Transprojekt Gdański Sp. z o.o. – „Raport techniczny z inwentaryzacji uszkodzonych skarp nasypów i wykopów”, Gdańsk, maj 2008 r.
5. Transprojekt Gdański Sp. z o.o. – „Projekt wzmocnienia skarp nasypów i wykopów”, Gdańsk, lipiec 2008 r.
6. PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.
7. PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli.
8. Rozporządzenie Ministra Transportu z 2.03.1999 r. Dz. U. 99.43.430 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie.
9. Instrukcja ITB nr 424/2006, Ocena stateczności skarp i zboczy. ITB, Warszawa 2006 r.
10. GDDP Instrukcja Obserwacji i Badań Osuwisk Drogowych, Kraków 1999 r.
11. Program „SKARPA dla Windows”, autorstwa Jacka Stasierskiego (1999 r.)
12. DIN 4084. Baugrund – Geländebruchberechnungen (Soil – Calculation of embankment failure and overall stability of retaining structures)