



Analiza przyczyn awarii konstrukcji korpusów drogowych

RYSZARD CHMIELEWSKI, SYLWIA ALEKSIEJUK

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji, 00-908 Warszawa,
ul. gen. S. Kaliskiego 2, ryszard.chmielewski@wat.edu.pl; aleksiejuk.sylwia@gmail.com

Streszczenie. W niniejszym artykule zaproponowano metodologię prowadzenia analizy przyczyn powstawania awarii konstrukcji korpusów dróg samochodowych. Zasadniczo skupiono się na uszkodzeniach nasypów drogowych, które stanowią główny odsetek tego typu awarii. Na wstępie przedstawiono obowiązujące współcześnie normatywy, przepisy oraz zasady sztuki budowlanej, których przestrzeganie powinno zapewnić właściwą jakość wykonywanych budowli, a co za tym idzie, powinno również zmniejszać ryzyko powstawania awarii. W dalszej części skupiono się na zestawieniu przyczyn powstawania awarii drogowych na poszczególnych etapach prowadzenia inwestycji. Zaproponowano metodykę oceny przyczyn powstawania awarii konstrukcji drogowych oraz metodologię postępowania w przypadku ich wystąpienia. W końcowej części, na wybranych przykładach, przedstawiono praktyczne zastosowanie wyników analiz.

Słowa kluczowe: roboty ziemne, nasypy drogowo, skarpy nasypów i wykopów, awaria

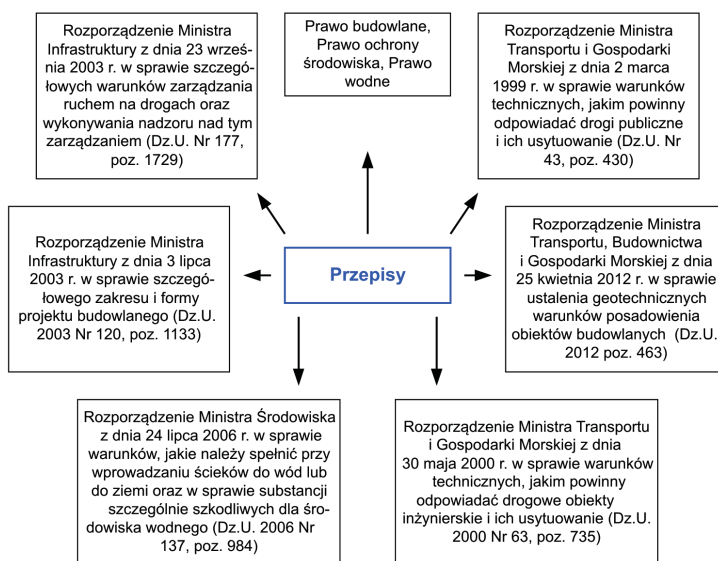
DOI: 10.5604/12345865.1211141

1. Wprowadzenie

W trakcie wznoszenia obiektów budowlanych niezmiernie istotne jest przestrzeganie zasad ogólnie rozumianej sztuki budowlanej, przez co rozumie się realizację przedsięwzięcia zgodnie z przepisami, normatywami, najnowszą wiedzą techniczną w danym zakresie i z należytą dokładnością i starannością. Spełnienie wymagań zawartych między innymi w przepisach techniczno-budowlanych odnośnie do projektowania i wykonywania powoduje minimalizację ryzyka zaistnienia awarii budowlanych oraz powstawania istotnych wad usuwalnych i nieusuwalnych.

W ocenie autorów najważniejszą obowiązującą ustawą w zakresie projektowania, budowy, nadzoru, utrzymania oraz rozbiórki wszelkiego rodzaju obiektów budowlanych jest Prawo budowlane [3]. Wedle tej ustawy *obiekty budowlane należy, po uwzględnieniu przewidzianego okresu użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej* [3].

W trakcie prowadzenia inwestycji oprócz przestrzegania zaleceń Prawa budowlanego oraz warunków technicznych dotyczących dróg należy również przestrzegać innych przepisów zawartych w ustawach i rozporządzeniach. Ważniejsze z nich zostały przedstawione na rysunkach 1.1 oraz 1.2 [m.in. 10, 11, 12].



Rys. 1.1. Podstawowe przepisy dotyczące projektowania dróg [opracowanie własne]

Dodatkowo konieczne jest dostosowanie się do znanych instrukcji, katalogów i różnych wytycznych (m.in. WPD-1, WPD-2, WPD-3, WPU, WT 1, WT 2, WT 4, WT 5) oraz opracowanych przez inwestora specyfikacji istotnych warunków zamówienia i specyfikacji technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych. W dokumentach tych szczegółowo określone są wymagania co do właściwości wbudowywanych materiałów, sposobu wykonania, ujętych w harmonogramach poszczególnych robót budowlanych oraz sposobu kontroli ich jakości. Wśród wytycznych wykonywania robót istotnym zagadnieniem jest określenie rodzaju oraz częstotliwość badań i pomiarów wraz z możliwymi do zaakceptowania odchyłkami.

Kolejnym ważnym elementem są normy, które uzupełniają przepisy i ustalają wytyczne oraz zasady odnośnie do poszczególnych rodzajów działań budowlanych, a także określają wymagania stawiane wyrobom.



Rys. 1.2. Przepisy prawne stosowane przy wykonywaniu obiektów budowlanych
[opracowanie własne]

Do stosowanych w Polsce norm zaliczają się Polskie Normy (PN), normy branżowe (BN) czy też normy europejskie wprowadzone do Polskich Norm (PN-EN) [12].

2. Zestawienie przyczyn powstawania awarii konstrukcji drogowych

Niezwykle istotne znaczenie dla prawidłowego przeprowadzenia procesu budowlanego ma prawidłowe rozpoznanie podłoża gruntowego oraz warunków wodnych. Na podstawie badań prowadzonych przez ITB [5, 6, 9] można zauważyć, że przyczyny powstawania awarii są różne i należy ich szukać na każdym z etapów procesu inwestycyjnego, tj.:

- na etapie projektowania,
- na etapie prowadzenia robót budowlanych (gdzie za awarie odpowiedzialni są zarówno wykonawcy, wytwórcy materiałów i prefabrykatów, jak i osoby pełniące nadzór nad pracami budowlanymi),
- podczas eksploatacji, obejmującej wszelkie czynności związane z utrzymaniem oraz użytkowaniem obiektu.

Zdarza się jednak, że awarie powstają na skutek skumulowania się powyższych błędów lub w wyniku działania sił natury. Z danych wynika [5, 6], że za ponad 80% awarii odpowiadają błędy ludzkie. Kolejnym ważnym problemem są różnice zdań i poglądów uczestników procesu budowlanego, którzy często dochodzą do kompromisu nie zawsze będącego najlepszym rozwiązaniem.

2.1. Dokumentacja geologiczna

Statystyki wykazują, że ponad połowa wszystkich awarii (zarówno dotyczących budownictwa komunikacyjnego, jak i kubaturowego) jest następstwem nieprawidłowej oceny współpracy gruntu z obiektem budowlanym oraz złego rozpoznania podłoża gruntowego, tj. złego określenia warunków geologiczno-inżynierskich, hydrologicznych i parametrów geotechnicznych gruntów. Pewnego rodzaju alternatywnym rozwiązaniem jest stosowanie metody obserwacyjnej w trakcie budowy nasypów drogowych, na co zezwalają współczesne normatywy [12], jakkolwiek takie rozwiązania były już wcześniej stosowane w Polsce [11]. Podstawowymi błędami popełnianymi przy wykonywaniu dokumentacji geotechnicznej są błędy związane z określaniem zakresu badań oraz błędy przy realizacji. Do najczęstszych błędów i ich następstw zaliczamy [8]:

- zbyt mały zakres prac terenowych, co prowadzi do konieczności interpolowania wyników badań z odległych otworów, a to z kolei skutkuje przeoczeniami geotechnicznych gruntów „słabych” i „mocnych” oraz nadinterpretacją wyników,
- błędne rozmieszczenie otworów badawczych czy też wierceń, co daje złe rozpoznanie stosunków wodnych oraz stanu gruntów,
- brak możliwości wykonania dodatkowych wierceń wynikających z warunków umowy w celu dokładniejszego ustalenia zasięgu występowania gruntów nienośnych,
- błędy w interpretacji wyników rozpoznania podłoża gruntowego (w szczególności sondowania statyczne i dynamiczne oraz ustalenie warunków wodnych — kierunki przepływu i zmienne poziomy),
- kończenie wierceń na zbyt małych głębokościach, co nie daje dokładnego obrazu warunków gruntowo-wodnych, może to również skutkować nieuzyskaniem wymaganej nośności, gdy poniżej poziomu wiercenia zalegają grunty nienośne.

Podczas badań laboratoryjnych pobranych próbek gruntów również zdarzają się błędy związane z [8]:

- niedokładnością i brakiem doświadczenia pracowników, w tym niepoprawny pobór próbek czy też nieodpowiedni dobór badań do danego typu materiału,
- źle dobranym sprzętem do danego typu badania lub posługiwanie się sprzętem uszkodzonym czy też nieposiadającym aktualnych wzorcowań, niespełniającym wymagań norm,
- wykonywaniem badań w sposób niezgodny z zasadami i metodyką opisanymi w normach i instrukcjach,
- niewłaściwym sposobem pobierania i kształtowania próbek,
- błędną interpretacją wyników badań laboratoryjnych, w tym niewłaściwą obróbką statystyczną,

- ograniczeniem liczby próbek — niewystarczającej do obróbki statystycznej — oraz zbyt małą liczbą badań, która nie daje obrazu stanu rzeczywistego.

Błędne rozpoznanie podłoża z kolei ma wpływ na prace projektowe i wykonawcze. W wyniku błędnego rozpoznania budowy geologicznej projektant wykonuje projekt dla źle przyjętych parametrów warunków wodnych i parametrów geotechnicznych gruntów w podłożu. Skutkuje to zastosowaniem nieodpowiedniej metody wzmocnienia podłoża lub jej brakiem, również częstym błędem jest niewłaściwy sposób odwodnienia bądź błędny dobór zabezpieczeń przeciwwodnych w wypadku niewłaściwej interpretacji warunków wodnych. To z kolei może prowadzić do odwrotnego efektu niż zamierzony. Często się zdarza, że błędy te są stwierdzane podczas wykonywania wzmocnień lub w trakcie badań kontrolnych wzmocnień już wykonanych. Wtedy można naprawić zaistniały błąd przez zalecenie badań uzupełniających i poprawienie projektu wykonawczego. Jednak skutkuje to dodatkowymi robotami, opóźnieniami i podniesieniem kosztów budowy.

2.2. Projektowanie

Największa liczba błędów popełnianych przez projektantów wynika ze źle przyjętych założeń projektowych. Kolejnym częstym błędem jest niedbałość projektantów oraz takie czynniki jak błędy rachunkowe, niedostateczny stan wiedzy, stosowanie złych (nieobowiązujących, przestarzałych) norm i rozwiązań.

Błędy zdarzają się zarówno w rysunkach, obliczeniach, jak i w części opisowej projektu oraz specyfikacjach technicznych wykonania i odbioru robót budowlanych. Przyczyną powstawania błędów w dokumentacji jest zła organizacja biur projektowych i małe doświadczenie projektantów oraz brak nadzoru nad nimi. Nieraz brakuje zgodności między projektem a specyfikacjami technicznymi, które wykonywane są na zasadzie „kopiuj-wklej” z tekstów istniejących już specyfikacji [8]. Skutkuje to tym, że oba te dokumenty opisują różne rozwiązania lub różne wymagania i zakresy robót.

2.3. Wykonawstwo

Do najczęstszych przyczyn niezapewnienia jakości przez wykonawców należą:

- niedbałość wykonawców,
- niedostateczny stan wiedzy,
- niedostateczne kwalifikacje,
- odstępstwa od projektu,
- zła jakość elementów, w tym prefabrykatów,
- zła jakość połączeń.

W trakcie budowy przy każdym z rodzajów robót można popełnić wiele błędów. Najczęściej występują one podczas wznoszenia nasypów, co związane

jest z tym, że wykonawca nie stosuje się do wytycznych zawartych w normie PN-S-02205:1998, co z kolei może prowadzić do utraty stateczności nasypu.

Wiele błędów popełnianych jest w trakcie wbudowywania geosyntetyków, które są uszkodzane podczas niedbałego transportu lub użycia nieodpowiedniego sprzętu do przemieszczania. Materiał może ulec przerwaniu przy łączeniu pasm, podczas ułożenia na niewyrównanym, nieoczyszczonym z korzeni i gruzu podłożu lub też w przypadku, gdy zostanie dopuszczony ruch po geosyntetyku. Zatem w trakcie wbudowywania geosyntetyków celowe jest zapewnienie stałego nadzoru doradcy technicznego wbudowywanych materiałów, co pozwala na uzyskanie dodatkowych gwarancji od producenta materiału oraz przełożenie na niego odpowiedzialności za potencjalne błędy wykonawcze związane z niezachowaniem właściwej (przewidzianej przez producenta materiału) technologii prac.

Błędem podczas wykonywania odwodnienia powierzchniowego jest nienadanie odpowiednich spadków poprzecznych i podłużnych w obrębie pasa drogowego, tj. jezdni, i warstw konstrukcyjnych poczynając od warstwy mrozochronnej, poboczom i rowom przydrożnym. Kolejną złą praktyką jest nieumacnianie dna i skarp rowów o dużym nachyleniu, co prowadzi do niszczących działań, jak np. erozja, podmywanie, osuwanie. Wpływ na niszczenie nawierzchni ma również zastosowanie materiałów sypkich i geowłóknin o nieodpowiednich parametrach w warstwie odcinającej. W przypadku drenów i sączków nieobsypanie lub obsypanie ich materiałem o zbyt małym współczynniku filtracji oraz za małe lub za duże nachylenie prowadzi do ich zamulania czy też podmycia oraz zapadnięcia. W konsekwencji nieodpowiedniego doboru rozstawu i średnic drenażu obniżenie poziomu wód gruntowych będzie niedostateczne i nastąpi degradacja konstrukcji korpusów, a także osłabienie jej nośności.

2.4. Eksploatacja

Błędy popełniane podczas eksploatacji obiektu budowlanego są związane z nieprawidłowym użytkowaniem oraz utrzymaniem danego obiektu.

Jeżeli chodzi o użytkowanie, to głównym powodem powstawania awarii jest poruszanie się po drogach pojazdów przeciążonych, czego skutkiem jest koleinowanie nawierzchni oraz utrata stateczności nasypu. Znaczny wpływ na stan konstrukcji ma również ciągły przyrost ruchu pojazdów ciężkich, a co za tym idzie wzrost kategorii ruchu i szybsze osiągnięcie stanu krytycznego użytkowania oraz nośności, a więc skrócenie czasu „życia” konstrukcji. Poprzez działalność ludzką może dojść do zmiany warunków wodnych, co w konsekwencji doprowadzi na przykład do osiadań konstrukcji, spękań nawierzchni, spływania skarp.

Zaniedbania związane z brakiem inspekcji i przeglądów, które są podstawowym zadaniem zarządcy drogi, prowadzą do złego stanu technicznego urządzeń odwadniających takich jak rowy, przepusty, zbiorniki retencyjne itp. Skutkuje to zniszczeniami konstrukcji nawierzchni i korpusu drogowego, szczególnie w okresie przejścia

przez temperaturę 0°C. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że już w dokumentacji projektowej powinien zostać zawarty zakres niezbędnych robót utrzymaniowych oraz należy podać okresy trwałości poszczególnych elementów (warstw nawierzchni).

Trzeba tu zwrócić uwagę, że występują również awarie powstałe na skutek zdarzeń losowych i wyjątkowych, do których zalicza się działanie sił natury, np. huragany, wstrząsy sejsmiczne, erozję rzeczną, intensywne opady atmosferyczne i powstające w ich następstwie osuwiska.

3. Metodyka postępowania w razie wystąpienia awarii

Polskie prawo budowlane nie zawiera wytycznych co do metodyki postępowania w wypadku wystąpienia awarii, opisane są tylko zasady odnoszące się do katastrof budowlanych. Nie ma również żadnych odgórnie przyjętych procedur, funkcjonuje co najwyżej tzw. „dobra praktyka”.

Z awariami mamy do czynienia zarówno podczas budowy, jak i w trakcie eksploatacji. W związku z tym należałoby opracować i wdrożyć instrukcje postępowania dla obu przypadków. Na jednej z konferencji naukowo-technicznych zaproponowano schemat postępowania po stwierdzeniu awarii [6]. Opiera się on w znacznej mierze na zapisach zawartych w Prawie budowlanym w odniesieniu do katastrofy budowlanej.

W przedstawionym schemacie najważniejszym etapem jest wykonanie ekspertyzy, na podstawie której można podjąć decyzje wykonawcze [8]. Ekspert będący osobą bezstronną po określeniu celu i zakresu ekspertyzy przystępuje do oceny stanu technicznego obiektu budowlanego, korzystając z analiz obliczeniowych, badań terenowych i laboratoryjnych. Ocena ta polega przede wszystkim na analizie projektu oraz jakości wykonawstwa.

3.1. Ocena projektu

Analizując projekt, ekspert sprawdza go pod kątem poprawności przyjętych założeń w odniesieniu do danych geotechnicznych oraz prawidłowości przyjętych rozwiązań projektowych poprzez dokonanie analiz obliczeniowych. Sprawdza się poprawność przyjęcia konstrukcji nawierzchni, grubość poszczególnych warstw i rodzaj materiałów z jakich nawierzchnia jest wykonana. Ocenia się również poprawność przeprowadzenia analizy przebiegu odkształceń, deformacje podłoża na gruntach słabonośnych w trakcie projektowania nasypów.

3.2. Ocena wykonawstwa

Na podstawie dziennika budowy oraz dokumentacji fotograficznej prowadzonej zarówno przez wykonawcę, jak i nadzór, ekspert śledzi kolejność wykonywanych robót, ich kompletność oraz zgodność z wytycznymi i zaleceniami projektanta, nadzoru, a także organów ochrony środowiska. Ocenie podlega prawidłowość wykonania poszczególnych prac budowlanych w stosunku do rozwiązań opisanych projektem oraz specyfikacjami technicznymi. Analizie poddaje się jakość stosowanych materiałów, to czy spełniają wymagania specyfikacji, czy mają komplet wymaganych badań bądź posiadają odpowiednie aprobaty techniczne, czy też inne świadectwa dopuszczenia do powszechnego stosowania w budownictwie, np. certyfikaty lub deklaracje zgodności z Polską Normą, atesty i opinie potwierdzające jakość produktów. Przy ocenie stosowanych materiałów wykonywane są badania kontrolne, polowe i laboratoryjne, zarówno materiałów, jak i podłoża gruntowego.

Przy przeprowadzaniu analizy przyczyn powstawania awarii konstrukcji drogowych nie wykonuje się w każdym przypadku wszystkich powyżej opisanych badań. Są one dobierane dla każdego przypadku osobno, jednak można założyć, że dla poszczególnych grup awarii badania będą podobne, a nawet takie same.

Tak też podczas osiadań konstrukcji należy spodziewać się błędnego rozpoznania podłoża na etapie projektowym lub wbudowania w konstrukcję nieodpowiednich gruntów (spoiстых czy też organicznych). Dlatego też właściwe w tym przypadku będą sondowania do wstępnego rozpoznania budowy geologicznej, wiercenia i badania laboratoryjne pozwalające na określenie rodzaju gruntów wbudowanych w nasyp i zalegających pod konstrukcją nasypu. W przypadku znalezienia w podłożu gruntów wątpliwych bądź wysadzinowych należy zbadać wskaźnik nośności (CBR), aby ustalić rzeczywistą grupę nośności podłoża gruntowego.

Gdy mamy do czynienia z uszkodzeniami skarp, należałoby wykonać wszystkie badania opisane powyżej, a dodatkowo sprawdzić spójność oraz kąt tarcia wewnętrznego w celu obliczenia stateczności nasypu.

W przypadku pęknięć warstwy bitumicznej o kierunku równoległym, prostopadłym lub ukośnym do osi jezdni, przyczyn należy szukać w nieodpowiednim połączeniu warstwy ścieralnej i wiążącej, a więc trzeba wykonać odwiert nawierzchni i sprawdzić poprawność wykonania warstw (ich grubość, jakość materiałów, z których zostały wykonane) oraz szczepność. Natomiast gdy występują spękania krawędziowe, należy sprawdzić jakość wykonanego odwodnienia i spadki poprzeczne. Przyczyn występujących garbów i kolein należy szukać, wykonując badania mieszanki asfaltowej.

4. Ocena wybranych przypadków awarii drogowych

4.1. Obniżenie konstrukcji nasypu drogowego

Pierwszym analizowanym przypadkiem jest niekontrolowane obniżenie niwelety konstrukcji drogi ekspresowej o wartość od 4 do 10 cm, które nastąpiło na odcinku 100 metrów w miejscu wcześniejszego występowania jeziora. Awaria ta pojawiła się jeszcze przed oddaniem drogi do eksploatacji.

W celu wykonania ekspertyzy zlecono badania polowe oraz laboratoryjne, w wyniku których stwierdzono występowanie wkladek gruntów spoistych w warstwie stabilizowanej cementem oraz obecność w podłożu nasypu torfów i namulów będących osadami jeziornymi w siedmiu na dziesięć otworów badawczych. Występowały one na głębokościach od 1,8 do 6,1 m pod poziomem terenu, a ich miąższość mieściła się w przedziale od 0,4 do 5,0 m. Przykryte były warstwą 1,0 m osadów mineralnych. W wyniku osuszenia jeziora doszło do zjawiska dostosowywania się wód gruntowych do zmian w morfologii terenu i wyciskania wody z konsolidowanych torfów, co wpłynęło na to, że poziom wód gruntowych po osuszeniu jest wyższy od pierwotnego lustra wody w jeziorze.

Na podstawie badań stwierdzono również, że oprócz słabonośnych gruntów organicznych, gruntami o niedostatecznych parametrach geotechnicznych były także luźne nasypy piaszczyste oraz warstwy gruntów spoistych w stanie miękkoplastycznym i plastycznym.

Zaobserwowano, że nasypy zostały zbudowane ze zróżnicowanych gruntów. Można je podzielić na dwie warstwy:

- dolną, w której stosowano stabilizatory i która charakteryzuje się zróżnicowanym zagęszczeniem, zbudowaną z gruntów niespoistych oraz piasków gliniastych,
- górną, która sięga od 2 do 3 metrów pod poziom terenu, zbudowaną wyłącznie z piasków oraz generalnie dobrze zagęszczoną.

Po przeanalizowaniu wyników badań oraz dokumentacji geologicznej, projektowej i wykonawczej za przyczynę osiadania nasypu uznano obecność słabonośnych gruntów organicznych w podłożu, co z kolei było następstwem błędnych działań na każdym z etapów budowy.

Podczas rozpoznania budowy geologicznej otwory badawcze, na podstawie których opracowano przekroje geotechniczne, wykonane zostały poza misą jeziora, gdzie nie stwierdzono występowania gruntów organicznych. Mimo to w tekście dokumentacji zawarto informację odnośnie do możliwości występowania torfów w zastoiskach. Ze względu na niedokładne określenie występujących w podłożu gruntów oraz rozbieżności między tekstem dokumentacji geologicznej, projektant nie uwzględnił wzmocnienia konstrukcji na danym odcinku.

Bez wątpienia błędem wykonawczym było niekompletne usunięcie zalegających torfów. Nie zostało to właściwie przypilnowane przez nadzór, czego dowodem jest brak jakiegokolwiek wzmianki w dokumentacji budowy odnośnie do odbioru wykopu ani o rodzaju i stanie gruntów pozostałych na dnie jeziora. Poza tym wykonawca do budowy nasypu użył bardzo zróżnicowanych gruntów, w tym gruntów słabonośnych, które miejscami niedostatecznie zagęścił.

4.2. Rozmycia skarp rowów, przepustów

Na odcinku ocenianej drogi ekspresowej w trakcie eksploatacji, w wyniku intensywnych opadów deszczu na przełomie maja i czerwca, doszło do pojawienia się licznych uszkodzeń dróg dojazdowych, skarp nasypów i wykopów, przepustów i rowów [8]. Przykłady uszkodzeń zostały przedstawione w zamieszczonej dokumentacji fotograficznej (rys. 4.1 i 4.2).



Rys. 4.1. Zniszczenie wlotu kanalizacyjnego oraz osunięcie i rozmycie skarpu rowu

W celu wykonania ekspertyzy w miejscach występowania uszkodzeń wykonano wiercenia, w trakcie których pobrano próbki do badań laboratoryjnych. Na ich podstawie większość próbek oznaczono jako grunty nienadające się do bezpośredniego wbudowania w nasyp, są to gliny piaszczyste, gliny zwięzłe, pyły piaszczyste oraz piaski gliniaste. Grunty spoiste nie zostały poddane stabilizacji, która została przewidziana w projekcie jako wzmocnienie cementem, co jest poprawne jedynie dla gruntów niespoistych. Dla gruntów spoistych odpowiednie jest wykonanie stabilizacji wapnem.



Rys. 4.2. Zniszczenie przeciwskaarp — spływ humusowania

Dokumentacja geologiczna została wykonana w sposób prawidłowy, podczas badań kontrolnych i powykonawczych nie wykazano żadnych rozbieżności. Projekty wykonawczy i budowlany w zakresie obejmującym wzmocnienie i zabezpieczenie skarp zostały wykonane przez dwie różne osoby i znacznie różnią się od siebie. Projekt wykonawczy nie uwzględnia wymagań zawartych w projekcie budowlanym, który stanowił podstawę do uzyskania pozwolenia na budowę. Zawiera on zasadnicze odstępstwo przy umocnieniu skarp geokrata, przewiduje jedynie jej zastosowanie przy skarpach o pochyleniu większym niż 1:1,5 oraz wyższych niż 8 m, w innych częściach nasypu zaprojektowano jedynie umocnienie humusem. Z kolei projekt budowlany przewidywał takie umocnienia w szerszej lokalizacji z uwzględnieniem właściwości gruntów spoistych po nawodnieniu oraz zaznaczał, że ostateczną decyzję odnośnie do lokalizacji umocnień ma podejmować nadzór.

Wykonawca wnioskował do inżyniera budowy i inwestora o konieczność zmiany w projekcie odnośnie do wzmocnień. Zaznaczył w piśmie ryzyko pojawienia się niekontrolowanych erozji podczas ulewnych deszczów przy umocnieniu skarp o wysokości powyżej 2,5 m. W związku z tym prosił o zgodę na zastosowanie systemu komórkowego dla wszystkich skarp i przeciwskaarp o wysokości powyżej 2,5 m. Wniosek swój poparł opinią techniczną wykonaną przez osobę doświadczoną w tej dziedzinie, jednak nie dostał pozwolenia na takie działania. W tym przypadku jednak wykonawca nie pozostał bez winy, gdyż niewłaściwie wykonał dolne warstwy nasypów, wbudował w te partie grunty wysadzinowe i nie zrobił zabezpieczenia antyerozyjnego. Należy zaznaczyć, że grunty te nie są odpowiednim podłożem pod humusowanie bez zastosowania systemu komórkowego, a także powodują powstawanie lokalnych wysięków wód opadowych, co z kolei wpływa na osłabienie skarp.

Deszcze nawalne ujawniły jedynie popełnione błędy projektowe i wykonawcze poprzez spowodowanie rozmycia skarp i poboczy oraz wysięków wód gruntowych. Dodatkowo woda, wnikać w konstrukcję przez górne warstwy nasypu, spowodowała zawilgocenie warstw spoistych stanowiących słabe podłoże. Doprowadziło to do tego, że humus nie był w stanie utrzymać się na nieodpowiednio zabezpieczonych skarpach. W konsekwencji tego grunty z umocnień, w tym humus, spływały do pobliskich rowów, powodując ich zanieczyszczenie oraz zamulenie przepustów.

Kolejny przykład rozmycia skarp stanowi budowa odcinka autostrady [8]. Zgodnie z PN-S-02205:1998 ppkt 2.8.9 wyprofilowane skarpy drogowe należy niezwłocznie zabezpieczyć przed erozją. Przepisy geotechniczne dla robót ziemnych, np. zgodnie z PN-B-06050:1999 pkt 3.6, również nakazują zabezpieczanie skarp dna wykopu bądź koron nasypów bezpośrednio po wykonaniu. Na przedmiotowym odcinku autostrady takich prac nie wykonano, co w połączeniu z dużymi opadami (zgodnie z dostarczoną dokumentacją opady w marcu stanowiły 115% wieloletniej średniej sumy opadów dla tego miesiąca) spowodowało powstanie przedmiotowych uszkodzeń (rys. 4.3).



Rys. 4.3. Uszkodzenia poboczy oraz skarp

W trakcie oględzin tego odcinka stwierdzono, że powierzchnia zbocza po wystąpieniu zsuwu miała bardzo nieregularne kształty. Widoczne były różnego rodzaju nabrzmienia, garby, zapadliska, teren w rejonie szkód (szczególnie przy zbiorniku retencyjnym) był grząski, a w wielu miejscach obserwowano wypływy wody. Taki charakter zniszczenia świadczy, że jedynym czynnikiem, który wywołał ruch osuwiskowy, była woda opadowa. W przypadku niezabezpieczonych

powierzchni skarp o nachyleniu 1:1,5 brakuje systemu odwodnienia — spływ powierzchniowy wody pochodzącej z gwałtownego i bardzo dużego opadu i roztopów był względnie mały, tak więc znaczna jej część lokalnie wnikała w głąb, powodując rozluźnienie struktury.

Rozmiary erozji wynikały z braku dostatecznego zabezpieczenia skarp, w niektórych miejscach zabezpieczenia nie wykonano pomimo upływu kilku tygodni od ich wykonania.

Przykład niewłaściwie prowadzonego nadzoru inwestorskiego stanowi przypadek uszkodzeń wzmacnianych skarp drogi ekspresowej stanowiącej obwodnicę dużej aglomeracji miejskiej w Polsce [8]. W wyniku prac eksperckich stwierdzono, że główną przyczyną powstania analizowanych uszkodzeń (rozmyć skarp nasypów) było błędne zastosowanie technologii mat przeciwoerozyjnych na wzmacnianych skarpach (rys. 4.4).



Rys. 4.4. Widoczne fałdy geosyntetyku świadczące o spłynięciu tego materiału (czerwone strzałki) wraz z humusem pod geosyntetykiem, widoczne są miejsca przytwierdzenia kotwami materiału wzmacniającego do skarpy, materiał wzmacniający (czarny) jest odkryty przez wypłukanie z jego struktury humusu

Błędny sposób wykonania wzmocnienia został narzucony przez inżyniera kontraktu, który po upływie kilku miesięcy przyznał, że rozwiązanie to jest niewłaściwe. Należy w tym miejscu nadmienić, że fizycznie nie była to ta sama osoba, jakkolwiek była to ta sama firma prowadząca nadzór inwestorski.

5. Podsumowanie

Podsumowując, można stwierdzić, że najczęstszą przyczyną powstawania awarii są błędy wykonawcze oraz projektowe, ale równie częste i mające poważne konsekwencje są błędy popełniane podczas rozpoznania podłoża, gdyż negatywnie oddziałują na dalsze etapy inwestycji. To już na tym etapie powinno się dołożyć jak największych starań, aby w jak najlepszym stopniu określić stan podłoża gruntowego i warunki wodne.

Błędnie wykonana dokumentacja geotechniczna skutkuje zasadniczymi trudnościami w projektowaniu i wykonawstwie. W celu poprawnego rozpoznania podłoża należy rozmyślnie dobierać odległości pomiędzy punktami badawczymi, w zależności od warunków terenowych oraz głębokości rozpoznania. Szczegółowość rozpoznania musi wynikać z celu, jakiemu ma służyć. Nie należy ograniczać się do ustawowego minimum zakresu badań, ponieważ poprzez interpolację wyników może to owo- cować nadinterpretacją i przeoczeniami. Dodatkowo zdarza się, że trzymanie się harmonogramu robót objętego umową ogranicza możliwość dokładnego określenia zakresu występowania gruntów nienośnych. Nie jest jednak dobrym rozwiązaniem wykonywanie dużej liczby płytkich otworów, głębokość badań musi być uwarun- kowana warunkami posadowienia. Należy zwrócić uwagę, aby wykonywane były badania kontrolne w trakcie wykonywania danego obiektu oraz po wykonaniu.

Błędy projektowe z kolei wynikają z nieuwzględnienia wszystkich zapisów dokumentacji geologicznej rozpoznania warunków posadowienia, nieodpo- wiedniego dobrania wzmocnień podłoża i skarp nasypów. Dużym błędem jest wykonanie projektu budowlanego i wykonawczego przez dwie różne osoby mające odmienne wizje co do danego projektu. Nie należy dokonywać odstępstw od projektu budowlanego (na podstawie którego wydano pozwolenie na budowę), a w wypadku zgody na zmianę trzeba dostosować inne elementy drogi do wpro- wadzonych zmian. Dodatkowo należy podkreślić, że ważne jest przestrzeganie przez projektantów wytycznych projektowych oraz właściwe wykonywanie wery- fikacji projektów przez osoby wykwalifikowane, które nie powinny być związane w żaden sposób z projektantem.

W odniesieniu do wykonawstwa istotnym i najczęstszym błędem jest niepra- widłowe wykonanie nasypu. Dlatego trzeba zwracać uwagę, aby:

- wykonywać nasypy metodą warstwową,
- wbudowywać w jednej warstwie grunty o takich samych właściwościach,
- wykonywać kolejne warstwy dopiero po zagęszczeniu poprzednich do wymaganego wskaźnika zagęszczenia,
- nie robić zbyt grubych warstw, co uniemożliwia osiągnięcie wymaganego stopnia lub wskaźnika zagęszczenia,
- równomiernie wznosić nasypy,
- tak kształtować nasyp i powierzchnie wykopu, aby nie powodować zastoisk wody,

- przestrzegać zasad odnośnie do sposobu zagęszczania, które mówią, że należy zagęszczanie rozpocząć od krawędzi nasypu i kierować się do jego osi w przypadku przekroju daszkowego lub od niższej krawędzi do wyższej przy przekroju o jednostronnym nachyleniu,
- osiągać opisane w normie BN-77/8931-12 wskaźniki i stopnie zagęszczenia w poszczególnych strefach nasypu,
- nie stosować gruntów niespełniających wymagań opisanych w specyfikacji technicznej,
- równomiernie wykonywać warstwy nasypu po obu stronach przepustu,
- wykonywać wycięcia stopni w poszerzanych skarpach,
- nie prowadzić prac przy opadach deszczu, kiedy wilgotność gruntu przekracza wartość dopuszczalną, lub z gruntu zawilgoconego oraz przy temperaturach uniemożliwiających osiągnięcie wymaganego wskaźnika zagęszczenia, należy także unikać wbudowywania gruntów zamarzniętych czy też zmieszanych ze śniegiem lub lodem,
- usuwać powierzchniowe zanieczyszczenia przed przystąpieniem do wykonania kolejnych warstw,
- zabezpieczać skarpy przed erozją powierzchniową.

Bezkrytyczne stosowanie się do projektu stanowi kolejną przyczynę awarii spowodowanej przez wykonawców. Jako profesjonaliści nie mogą oni ślepo odtwarzać projektu, muszą stosować się do aktualnej wiedzy technicznej. Zadaniem wykonawców jest nie tylko prawidłowe czytanie projektu i jego realizacja, lecz także przestrzeganie zasad sztuki budowlanej.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że bezpieczeństwo konstrukcji zależy w dużej mierze od obowiązujących przepisów i normatywów. Jednak nie zapewnią one wyeliminowania błędów ani zaniedbań popełnianych przez ludzi, bardzo istotnym zagadnieniem jest przestrzeganie właściwych procedur postępowania przez uczestników procesu inwestycyjnego.

Praca powstała w ramach działalności statutowej uczelni.

Artykuł wpłynął do redakcji 8.04.2016 r. Zweryfikowaną wersję po recenzjach otrzymano 23.05.2016 r.

LITERATURA

- [1] Ekspertyzy wybranych przypadków awarii korpusów drogowych.
- [2] PN-B-04481:1988 *Gruntę budowlane. Badania próbek gruntu*.
- [3] Prawo budowlane. Dz.U. Nr 80 z dn. 27.03.2004 r.
- [4] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dn. 24 września 1988 r. w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych.
- [5] RUNKIEWICZ L., *Katastrofy i awarie budowlane — informacje techniczne i wnioski*, Przegląd Budowlany 09, 2008, s. 44+49.

- [6] RUNKIEWICZ L., *Przyczyny techniczne występowania zagrożeń, awarii i katastrof budowlanych*, Inżynier Budownictwa, 10, 2010, s. 24-28.
- [7] WIERZBICKI S.M., *Rola eksperta w przypadku wystąpienia awarii budowlanej*, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Międzyzdroje 24-27 maja 2011, Awarie Budowlane, 2011.
- [8] CHMIELEWSKI R., KRUSZKA L., *Ekspertyzy i opinie techniczne z zakresu budownictwa drogowego*, WAT, 2005-2015.
- [9] RYBAK J., STILGER-SZYDŁO E., *Rozpoznanie podłoża gruntowego przy posadowieniach obiektów infrastruktury transportu lądowego*, Górnictwo i Geoinżynieria, AGH, 2009.
- [10] *Instrukcja badań podłoża gruntowego budowli drogowych i mostowych*, Część 1 i 2. GDDP, Warszawa, 1998.
- [11] *Instrukcja obserwacji i badań osuwisk drogowych* — GDDP, Warszawa, 1999.
- [12] Eurokod 7, PN-EN 1997-2 *Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego*, cz. 2.

R. CHMIELEWSKI, S. ALEKSIEJUK

Analysis of causes of construction failure of road embankments

Abstract. The paper proposes a methodology for conducting the analysis of causes of construction failure of road embankments. First of all, it is focused on damaged road embankments, which represent a substantial percentage of this type of failure. At the beginning, current norms, regulations and rules of building art are presented, compliance with which should ensure a proper quality of construction, and thus should also reduce the risk of failure. In the next part, the paper is focused on the juxtaposition of the causes of construction failure of road at various stages of carrying out the investment projects. It is proposed a methodology for evaluating the causes of the construction failure of road and the methodology followed in the event of their occurrence. In the final part, practical applications of analytical results for the selected examples are presented.

Keywords: earthworks, road embankments, slopes and embankments, trenches, failure

DOI: 10.5604/12345865.1211141