

Zastosowanie sączków kamiennych z filtrem odwrotnym dla zabezpieczenia osuwisk skarpowych

Michał Franczak

Prezentowano przyczyny oraz skutki osuwisk skarpowych na liniach kolejowych na przykładzie awarii na zaprojektowanym odcinku szlakowym. Omówiono szczegółowy zakres robót naprawczych oraz zabezpieczeniowych dla przedmiotowej awarii.



mgr inż. Michał Franczak
SYSTRA SA
mfranczak@systra.com

Obecne pasmo inwestycji wspomaganych środkami unijnymi w Polską infrastrukturę komunikacyjną skutkuje rozległymi robotami budowlanymi w zakresie drogownictwa i kolejnictwa. W odróżnieniu od gałęzi drogownictwa projekty kolejowe w głównej mierze mają za zadanie modernizację i rewitalizację istniejącej infrastruktury, co niestety częściej sprzyja pojawianiu się problemów, które nie były możliwe do przewidzenia podczas procesu projektowania. Najczęstszymi przypadkami są niezinventaryzowane na mapach sieci elektroenergetyczne lub kanalizacje deszczowe znajdujące się w terenie kolejowym, które poza dodatkowymi nakładami pracy wykonawcy robót zazwyczaj jedynie skutkują opóźnieniami w harmonogramie robót. Zdarza się natomiast, że napotkane komplikacje ze

względów bezpieczeństwa wymagają natychmiastowych reakcji ze strony zespołu projektowego nadzorującego wykonanie projektu. Takimi przypadkami są osuwiska istniejących lub przebudowywanych skarp przekopów. Ich wcześniejsze rozpoznanie i przewidzenie możliwych awarii jest trudnym i wymagającym dużego doświadczenia zagadnieniem z którym spotykają się projektanci związani z dużymi kontraktami jak i lokalnymi awariami istniejącej infrastruktury.

Osuwiska przekopów odznaczają się lokalnymi zsuwami mas ziemnych, które na ogół są widoczne i postępujące w dużym tempie. Występowanie zsuwów zawsze związane jest ze skarpami o dużym nachyleniu. Klin odłamu skarpy powstaje, gdy równowaga sił zewnętrznych i wewnętrznych ulega zachwianiu poprzez :

- warunki gruntowo-wodne, a najczęściej ich zmiana poprzez nawilgocenie i nawodnienie wewnętrznych warstw gruntu prowadzi do zwiększenia ciężaru gruntu oraz działania ciśnienia sphywowego. Siły utrzymujące stateczność skarpy ulegają zmniejszeniu i konstrukcja ziemna traci wytrzymałość na ścinanie,
- sączenia wody gruntowej z uszkodzonych istniejących urządzeń wodnych,

- przeciążenie na koronie skarpy
- odciążenie powierzchni lub korony zbocza powodujące zmniejszenie spójności gruntów,
- podcięcie podnóża skarpy
- ingerencja w struktury masywu ziemnego poprzez np. naruszenie korzeni drzew i krzewów stanowiących naturalną geosiatkę utrzymującą zbocze.

Dane ogólne

Awaria dotyczyła ok.100 m odcinka skarpy przekopu na szlaku Oborniki Śląskie - Skokowa w km 27+500 do 35+300 po stronie toru nr 1, który objęty jest projektem modernizacji linii kolejowej E59 Wrocław – Poznań na odcinku Wrocław – granica województwa dolnośląskiego finansowanym z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko. Tory położone są w łuku o promieniu $R=2228$ m oraz o obniżającym się nachyleniu niwelety $i=10,43$ ‰ w kierunku stacji Skokowa.

Wysokość istniejących skarp na awaryjnym odcinku mieści się w przedziale od 2-7 m o pochyleniu 1:2-1:3,5. Na zboczu skarpy zostało przewidziane ścięcie traw i usunięcie krzewów. W odległości 7 m od krawędzi górnej krawędzi skarpy posado-



1. Widok na odkrytą powierzchnię skarpy po osuwisku. Niebezpieczne zbliżenie do budynku. Droga robocza z miejscowymi zastoinami wody.



2. Skarpa nieumocniona humusowaniem porośnięta roślinnością. Prowizoryczne uzupełnienie i dociążenie skarpy osuwiska piaskiem.



3. Wypłukany piasek spod sączków kamiennych. (zdjęcie Zakładu linii kolejowych PKP PLK S.A.)



4. Stary drenaż betonowy na szczycie skarp.

wiony jest opuszczony budynek parterowy o rzucie poziomym 14 x 7 m, który nie jest przewidziany do rozbiórki. Również w odległości 7 m od krawędzi posadowiony jest istniejący słup niskiego napięcia o konstrukcji „aowej”. Teren okrążający linię kolejową na podanym odcinku szlakowym jest pofałdowany, jednocześnie tworząc zlewnie z pobliskich pól, lasów i gospodarstw w miejscu wystąpienia awarii. Istniejące odwodnienie wykonane za pomocą głębokich betonowych koryt u podnóża skarp.

Warunki geologiczne zostały określone w obszernej dokumentacji projektowej. Na wyżej wymienionym odcinku budowa geologiczna skarp o miąższości 2 m została wykonana (stan przed modernizacją) z piasków średnioziarnistych z domieszką żwiru o stopniu zagęszczenia $I_D = 0,50$, poniżej znajduje się warstwa gliny pylastej. Poziom wody gruntowej stwierdzono od 0,5 m – 4 m p.p.t zwierciadło wody swobodne, średnio wysokie, w czasie opadów możliwe podniesienie poziomu wody o ok. 0,5 m.

Stan projektowany

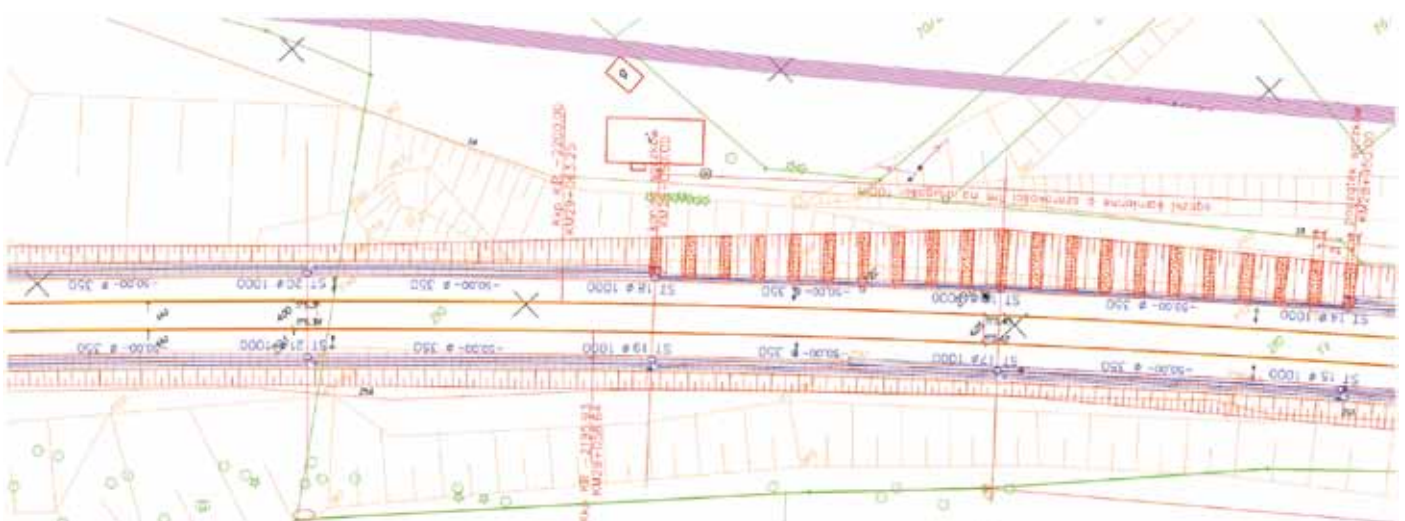
Analiza geotechniczna nie wykazywała dostatecznie słabych gruntów, nie było również przewidziane użytkowanie terenu na górze skarpy (dodatkowe obciążenia). Jednakże ze względu na średnio zagęszczone grunty oraz wysoki poziom wody gruntowej oraz zmianę pochylenia skarpy na bardziej stromy zdecydowano się na zastosowanie sączków kamiennych jako zabezpieczenie stateczności skarpy. Sączki kamienne o gr. 1 m dł. 100 m oraz na wysokości całej projektowanej skarpy, wykonane jako prostopadłe kolumny do osi toru o frakcji 150/200 mm. System odwodnienia przewidziany na danym odcinku zakładał zastosowanie podwójnego odprowadzenia wody. Wody opadowe spływające po powierzchni skarpy miały zostać odprowadzone poprzez korytka betonowe do studni betonowych umieszczonych co 50 m. Wody gruntowe ze skarpy i torowiska zbierane były przez drenaż, który podłączony był do systemu studni. Zastosowanie płytkich, beto-

nowych korytek EOG było jednym z wymogów decyzji środowiskowej. Stosowanie głębokich koryt „krakowskich” nie uzyskało aprobaty ze względu utrudnienia migracyjne dla małych płazów i gadów. Zaprojektowane skarpy miały nachylenie 1:1,5.

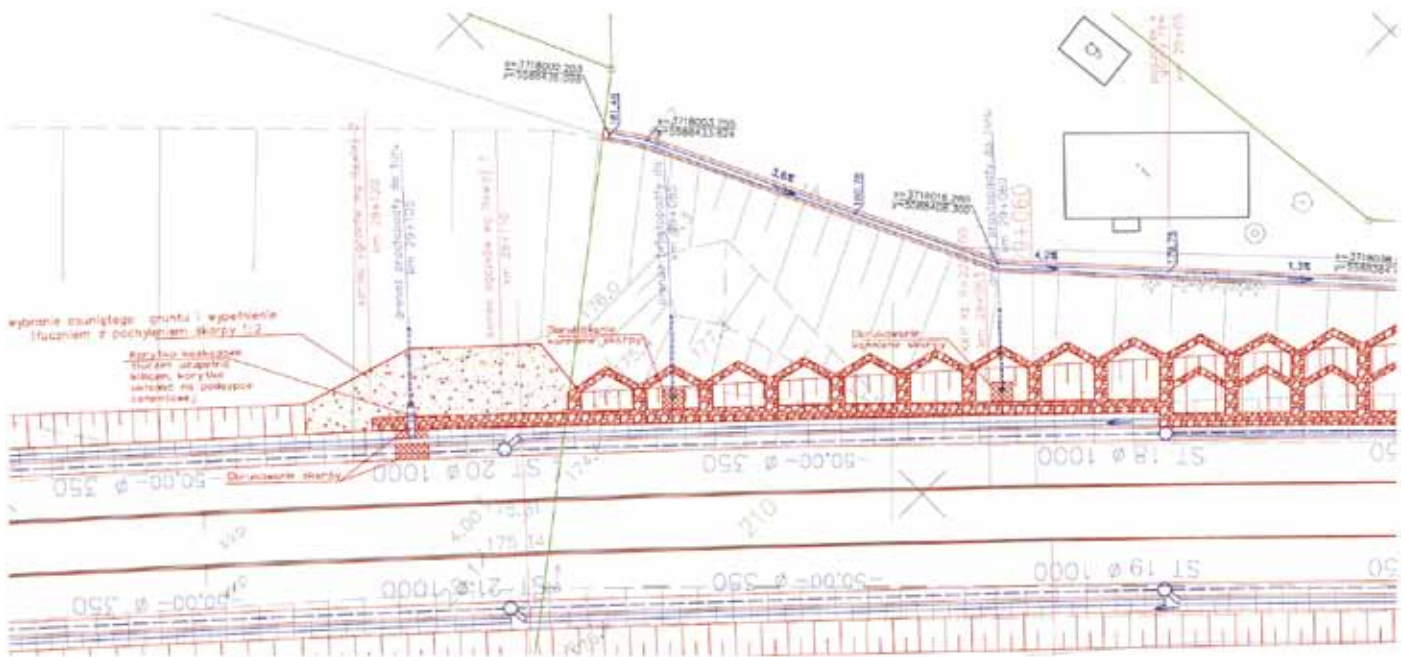
Przeciwdziałanie osunięciom skarpy jest zabiegiem na ogół kosztownym i wymagającym szczegółowego rozeznania. Na odcinku objętym zadaniem modernizacji wytypowano kilkanaście miejsc które kwalifikowały się do zapewnienia prewencyjnych umocnień. W zależności od warunków gruntowo-wodnych i dostępnego miejsca przewidziano: ściany oporowe, Re-profilację skarpy, wymianę gruntu, czy tak jak w przedstawionym przypadku, sączki kamienne.

Analiza usterek, zagrożenia i przyczyny awarii.

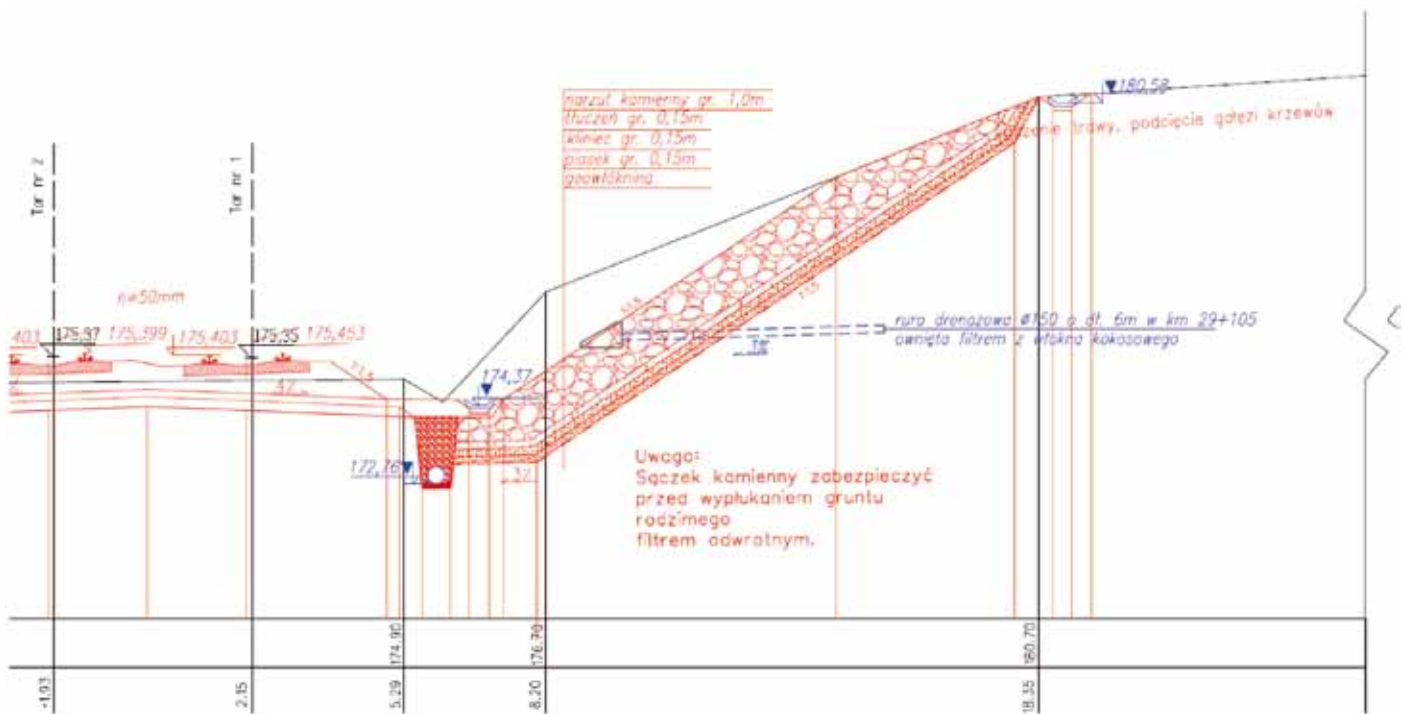
Wykonano roboty budowlane w postaci prac torowych oraz sieci trakcyjnej. Przed wystąpieniem awarii zakończono również



5. Plan sytuacyjny pierwotnego rozwiązania zawartego w projekcie przed awarią.



6. Plan sytuacyjny zabezpieczenia osuwiska.



7. Przekrój poprzeczny w km 29+060. Zabezpieczenie osuwiska filtrem odwrótnym.

prace nad sączkami kamiennymi, kształtowaniem skarp oraz systemem odwodnienia wgłębno oraz powierzchniowego. Należy nadmienić, iż powierzchnia przeprofilowanych skarp po wykonaniu docelowych robót nie została zabezpieczona i ustabilizowana do momentu wystąpienia awarii.

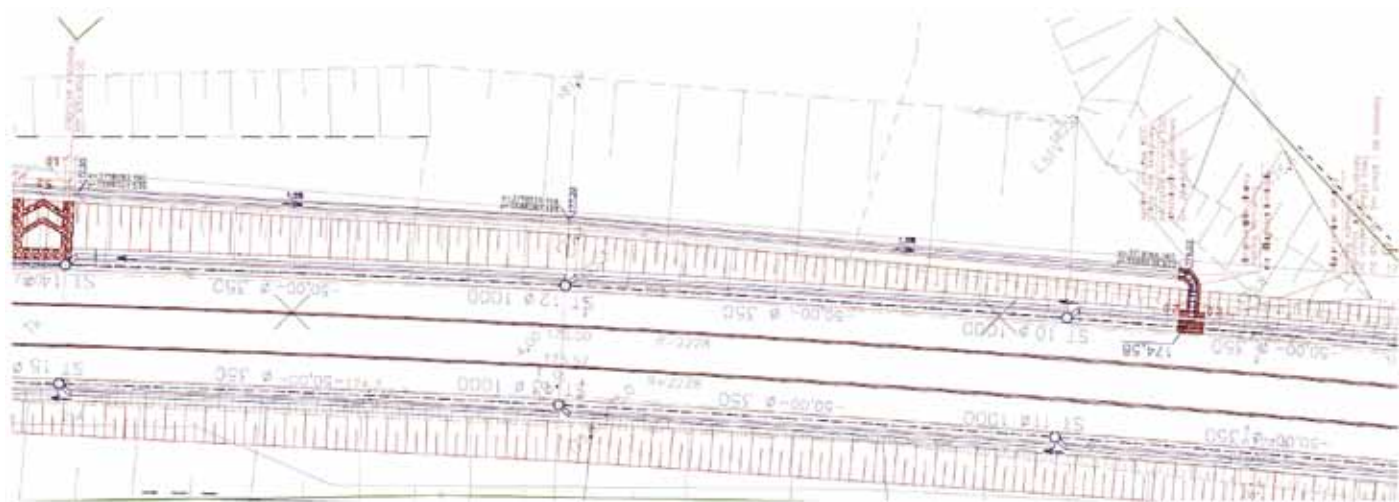
W kwietniu 2013 r. miejsce miały gwałtowne i obfite opady deszczu szczególnie na terenach Dolnego Śląska. Intensywność opadów spowodowała infiltrację wody w głąb skarp, co było bezpośrednią przyczyną obsunięcia mas ziemnych. Po osunięciu gruntu skarp zostały odkryte cera-

miczne rurki drenażowe prowadzące z pola w kierunku terenu kolejowego, wybudowane prawdopodobnie jeszcze przed II wojną światową. Istniejące odprowadzenie wody było wciąż drożne i powodowało ciągłe wewnętrzne nawodnienie skarp. Podczas oględzin stwierdzono liczne wycieki wody spod przyzmy skarpowej. Kanalizacja w rejonie budynku została wypuszczona na dziko na skarpe i do odwodnienia kolejowego.

Odkryty został również kawałek betonowego drenokolektora na szczycie skarpy pomiędzy krawędzią, a istniejącym budynkiem, gdzie liczne spękania przekazy-

wały zebraną wodę w głąb gruntu. Brak odpływu powodował spływanie wody wzdłuż góry skarpy w stronę stacji Oborniki Śląskie, co miało wpływ na znacznie szerszą degradację skarp. Właściwe utrzymanie istniejącej infrastruktury w znaczącym zakresie zapobiegłoby uplastycznieniu gruntu. W masach ziemnych przekopu o zmienionym na bardziej strome nachylenie powstała płaszczyna poślizgu, a następnie zsuw ziemi.

Na wykonanej w pobliżu drodze technologicznej powstały koleiny od ciężkich maszyn budowlanych, co powodowało gromadzenie wody.



8. Sprowadzenie wody po górze skarpy do odwodnienia torowego u podnóża zbocza.

Prawdopodobną przyczyną pogorszenia stateczności skarp była również wymiana istniejących głębokich korytek betonowych, które przez wiele lat pełniły częściowo funkcje przypory podnóża skarpy na korytka płaskie EOG. Charakter terenu spowodował wzmożone napływanie wody powierzchniowej z terenów tworzących zlewnie w miejscu wystąpienia awarii. Brak odwodnienia liniowego u góry skarpy pozwoliło na swobodny przepływ wody po świeżo wykonanych płaszczyznach oraz infiltrację wgłębną poprzez odkryty nieszczelny drenokolektor w koronie skarpy.

Lokalne osunięcia ziemi w miejscach przyległych do kolumn kamiennych nie były jedynym skutkiem gwałtownego napływu wody. Piaski drobne i pylaste znajdujące się pod sączkami zostały wyplukane i spłynęły do korytek betonowych powodując ich wypchnięcie w stronę ławy torowiska i całkowitą utratę drożności, jednocześnie znaczna ilość dostała się do studni betonowych blokując wgłębny odbiór wód gruntowych poprzez system drenaży. Wykonane narzuty kamienne pełniące rolę sączków kamiennych nie były odpowiednio zabezpieczone przed wypłukiwaniem drobnych cząstek gruntu.

W zastałej sytuacji jęzory osuwiska wypchnęły ułożone korytka ku górze oraz zniszczyły zasypkę filtracyjną niżej ułożonych ciągów drenażu. Stanowiło to zagrożenie dla wykonanych robót torowych oraz nowo posadowionych konstrukcji wsporczych sieci trakcyjnej, która była już zasilana. Należy zaznaczyć, iż odwodnienie drenażem i osuszenie bariery gruntu przepuszczalnego powoduje jednocześnie osuszenie torowiska i jego usztywnienie, co stanowi ścisłą granicę możliwego uplastycznienia i odkształcenia. Przede wszystkim w razie dalszych opadów deszczu istnia-

ło zagrożenie bezpieczeństwa dla kursującego toru nr 1 taboru kolejowego. W razie konieczności zamknięcia toru i naprawy zniszczonego torowiska utracono by i tak zmniejszoną przepustowość dla linii 271. Miałoby to fatalne skutki dla całości kontraktu.

Powstało jednocześnie realne ryzyko wypychania nowego toru przez grunty nieprzepuszczalne pod ławę torowiska ze względu na narastające parcie wody. Czoło koluwium opierało się o ławę torowiska. Ciągłe opady pogarszały skutki awarii. Obawiano się reakcji geodynamicznej i wypychania ilów trzeciorzędowych zalegających pod torowiskiem.

Klin odłamu znajdował się w odległości ok 5 m od lica budynku położonego na szczycie skarpy, dalsza degradacja zaistniałego stanu mogła grozić katastrofą budowlaną w postaci zsuwu ziemi spod fundamentów budynku i niekontrolowanym zniszczeniem konstrukcji, co z uwagi na bliskość czynnej linii stwarzało realne zagrożenie.

Rozwiązania projektowe usunięcia awarii.

Po stwierdzeniu awarii zespół projektowy wraz z nadzorem inwestorskim, wykonawcą robót i właścicielem linii zewidencjonowali zakres uszkodzeń. Powstał plan powstrzymania dalszej degradacji skarp *in situ*. W ramach nadzoru autorskiego biuro projektowe wykonało dokumentację z rozwiązaniem krytycznej sytuacji na szlaku. Projekt zabezpieczenia docelowego skarp przewidywał następujące działania :

1) Odcięcie wód napływowych z powierzchni pól i lasów od powierzchni zagrożonych skarp poprzez ułożenie nowych korytek na szczycie skarpy. Zdecy-

dowano się na usunięcie poniemieckiego drenażu i zasypanie ubytku gruntem spoistym zapobiegającym infiltracji wody w strukturę skarpy. Na górze przewidziano ułożenie 250 m korytek EOG sprowadzających wodę

- 2) wzdłuż korony skarpy do korytek u podnóża. Nachylenie istniejących skarp wymusiło zastosowanie obrukowania sprowadzenia wody, aby chronić powierzchnię zboczy przed dużą ilością wody napływającej z odcinka spływu. Dopasowanie korytek do skarpy i połączenie z pierwotnie zaprojektowanym odwodnieniem w planie musiało znajdować się w całości na terenie kolejowym,
- 3) Konstrukcja sączków kamienny użyła nowy kształt i została wydłużona o 50 m zgodnie z rosnącym kilometrażem. Pomiędzy kolumnami zaprojektowano połączenia „daszkowe” mające na celu uchwycenie spływającej wody powierzchniowej sprowadzając ją do filtru odwrotnego zastosowanego wgłębi skarpy. Dodatkowe połączenia między kolumnami mają pracować jako dociążenie skarpy zapobiegając tym samym utracie stateczności. Ze względu na wysokie kolumny kamienne 5-10 m zastosowano podwójne łączenia sąsiednich kolumn połączeniami „Y” zapewniając lepszą asekurację budowli ziemnej,
- 4) Sączki kamienne zostały zaprojektowane według zasady filtru odwrotnego. Filtr należało wykonać jako pięciowarstwowy, odpowiednio układając: geowłókninę stosowaną w drenażach liniowych, piasek gruby, kliniec, tłuczeń oraz narzut kamienny o frakcji 150/200 mm. Takie rozwiązanie zapobiega wypłukiwaniu warstw gruntu rodzimego pod narzutem kamiennym, a odpowied-

nie połączenie geowłókniny z zachowaniem spadku 3% z zasypką drenażową pozwoli odprowadzić wodę do studni. Ułożenie filtru odwrotnego pod sączkami utworzyło system opaskowy wokół gruntów wodonośnych pozwalając na efektywne odwodnienie i maksymalną redukcję kosztów wymiany gruntu.

- 5) Na długości pierwotnie zaprojektowanych sączków pozostawiono nachylenie skarp 1:1,5. W celu dodatkowego zabezpieczenia zastosowano narzut kamienny o wysokości i grubości 1 m u podnóża skarpy, rozwiązanie zapewnia zwiększenie stateczności skarpy i zapobieganie ew. przyszłemu pełzaniu mas ziemi. Dolne umocnienie kamienne zostało zaprojektowane na długości 160 m wykraczając z każdej stron poza ramy degeneracji skarp zapobiegając pełzaniu skarp terenów sąsiednich osłabionych przez awarie i ulewne deszcze,
- 6) W km 29+100, czyli ok. 50 m dalej niż pierwotnie zaprojektowane kolumny kamienne zastosowano połączenie pokrycie skarpy narzutem kamiennym wraz z filtrem odwrotnym. Ukształtowanie terenu w postaci wysokich istniejących skarp ok. 8 m i pochyleniu pierwotnym 1:3,5 zostało zmienione na pochylenie 1:2. Umocnienie w tej formie ma zapewnić utrzymanie stateczności na zagrożonym obszarze,
- 7) W miejscach gdzie stwierdzono drenaże ceramiczne i największe nawodnienie skarp wodami powierzchniowymi zalecono wprowadzenie rurek drenażowych w głąb skarpy w połowie wysokości. Rurki o dł. 6 m i ϕ 150 mm osłonięte geowłókniną odporną na kolmatację o pochyleniu 5% otrzymały prefabrykowane wyloty na skarpowe oraz obrukowanie zabezpieczające powierzchnie spływu. Dodatkowe drenaże mają za zadanie maksymalne osuszenie skarp i przejście zwiększonej ilości wody napływowej przy kolejnych wzmogonych opadach atmosferycznych. W km 29+107 wodę z rurki drenażowej sprowadza korytko kaskadowe, eliminując dynamiczny spływ wody po powierzchni mającej na celu ochronę dolnego korytka EOG przed rozmyciem podłoża,
- 8) Wykonanie umocnienia skarp poprzez humusowanie lub hydro-obsiew możliwe jak najszybciej po zakończeniu robót ziemnych i odwodnieniowych,
- 9) Zalecenia technologiczne zakładające niewątpliwie konieczne naprawy zniszczonej infrastruktury przewidywały :

- odsłonięcie drenaży wzdłuż toru nr 1, oczyszczenie i wymianę uszkodzonych odcinków, ponowne ułożenie drożnej zasypki filtracyjnej,
- usunięcie jeziorów osuwu ,
- ponowną zabudowę korytek EOG w miejscach, w których uległy deformacji,
- oczyszczenie studni betonowych z wypłukanych piasków.

Koszty

Przedstawione rozwiązania usunięcia awarii nie mogło naruszać warunków formalnoprawnych dotyczących ingerencji w wody powierzchniowe, a także prowadzenia robót na terenach nie objętych inwestycją. Każda awaria zagrażająca inwestycji lub bezpieczeństwu powinna być usunięta w trybie natychmiastowym. Wszelkie rozwiązania wymagające dodatkowych decyzji administracyjnych powodowałyby dalszą degenerację skarp czego skutkiem mogły być zagrożenia kontraktowe, ruchowe oraz przede wszystkim bezpieczeństwo podróźnych. Rozważane były również alternatywne rozwiązania techniczne w postaci ścianek szczelnych, geosiatek czy mikropali jednak ze względów ekonomicznych, administracyjnych i kontraktowych były niemożliwe do zastosowania. Prowadzenie prac przy budowie obu konstrukcji (tymczasowej i docelowej) wymagałoby również kolejnych zamknięć torowych i kolejnych ograniczeń ruchowych.

Wybrane rozwiązanie wymagało jedynie zwiększenie istniejących pozycji przedmiarowych, na co pozwalają warunki kontraktowe w trybie „Buduj” (czerwona książka FIDIC). Dodatkowo zastosowanie sączków kamiennych z pomocniczym odwodnieniem i zwiększeniem powierzchni narzutu kamiennego implikowało najmniejsze koszty wykonawstwa.

Wnioski

Zaistniała sytuacja na odcinku szlakowym była pierwszą poważną awarią dotyczącą osuwisk na projekcie modernizacji linii E59. Szlak Oborniki Śl. – Skokowa jest wymagającym zadaniem z powodu pofałdowanego charakteru terenu, przejść z wysokich nasypów w głębokie przekopy, miejscowych wysokich poziomów wody gruntowej oraz słabych warstw gruntu pod nasypami i skarpami przekopów. Wszelkie prace zgodnie z specyfikacją techniczną są wykonywane pod ciągłym nadzorem geologicz-

nym i poprzedzane dodatkowymi badaniami gruntu w razie wątpliwości dotyczących stanu gruntu. Pomimo szczegółowego przygotowania projektu i robót prowadzonych ściśle wedle wytycznych projektanta, awarie mogą mieć miejsce, gdyż budowle ziemne zawsze będą narażone na działanie wody obniżające wytrzymałość nasypów i przekopów na ścinanie. W przedstawionym przypadku kluczową rolę odegrały złożone czynniki w postaci dużych opadów, niezinventaryzowanego odwodnienia pod powierzchnią skarp, niezabezpieczonej powierzchni spływu oraz słabych gruntów podatnych na zwiększenie nachylenia skarpy przekopu. Obecnie analizowane są lokalne umocnienia reszty zaprojektowanych skarp na modernizowanej linii pod kątem przedstawionych problemów. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Nowakowski J.: Odwadnianie stacji i linii kolejowych, Wydawnictwo Komunikacji Łączności, 1979.
- [2] Różycki J. i inni: Osuwiska i sposoby zapobiegania im, Wydawnictwo Komunikacji Łączności, 1978.
- [3] Skrzyński E.: Podtorze kolejowe, PKP Polskie Linie Kolejowe, 2010.
- [4] Projekt Modernizacji linii kolejowej E59 Wrocław-Poznań na odcinku Wrocław – granica woj. Dolnośląskiego