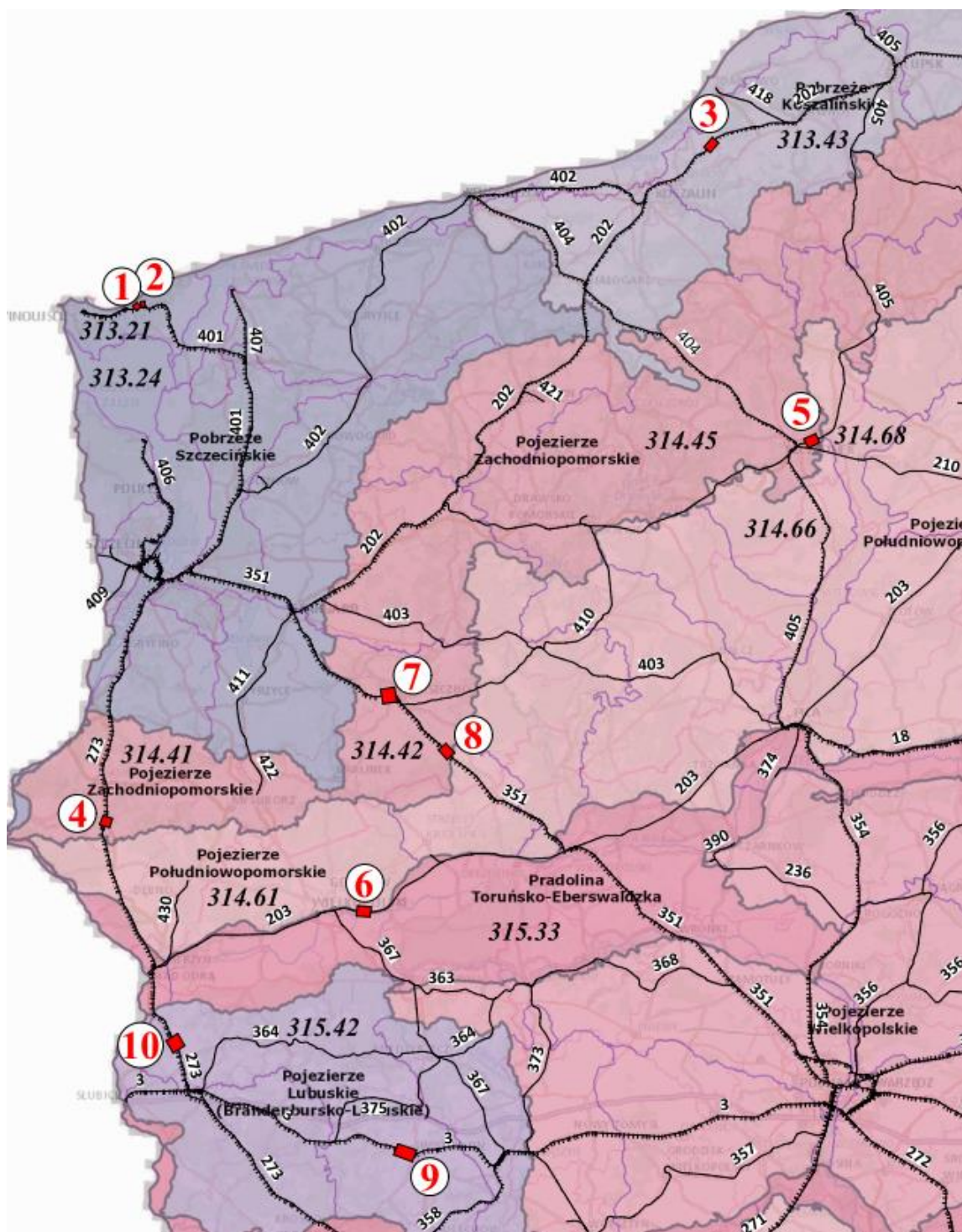


OPIS ANALIZOWANYCH ODCINKÓW BADAWCZYCH

1. WPROWADZENIE

W niniejszej rozprawie doktorskiej do analizy, na podstawie literatury przedmiotu, a przede wszystkim materiałów własnych (badania geotechniczne, dokumentacje geologiczno-inżynierskie, ekspertyzy, projekty) wytypowano stanowiska badawcze w następujących lokalizacjach na sieci PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.:

1. Linia kolejowa nr 401, km 86,500 ÷ 86,600 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Międzyzdroje, a stacją Lubiewo),
2. Linia kolejowa nr 401, km 84,800 ÷ 85,050 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Warnowo, a stacją Międzyzdroje),
3. Linia kolejowa nr 202, km 178,000 ÷ 178,100 (odcinek stacyjny, stacja Wiekowo),
4. Linia kolejowa nr 273, km 291,160 ÷ 291,190 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Godków, a przystankiem Witnica Chojęńska),
5. Linia kolejowa nr 405, km 75,100 ÷ 75,300 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Szczecinek, a przystankiem Gwda Mała),
6. Linia kolejowa nr 203, km 290,600 ÷ 290,720 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Gorzów Wielkopolski Wschodni, a stacją Santok),
7. Linia kolejowa nr 351, km 140,700 ÷ 141,200 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Choszczno, a przystankiem Ziemomyśl),
8. Linia kolejowa nr 351, km 121,840 ÷ 121,950 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Rębusz, a stacją Słonice),
9. Linia kolejowa nr 3, km 409,000 ÷ 409,940 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Świebodzin, a przystankiem Wilkowo Świebodzińskie),
10. Linia kolejowa nr 273, km 237,000 ÷ 237,400 (odcinek szlakowy pomiędzy przystankiem Radów, a przystankiem Laski Lubuskie).



 - lokalizacja oraz nr odcinków badawczych

 - linia kolejowa wraz z numeracją

314.66 - nr mezoregionu

Ryc. 1. Mapa z lokalizacją odcinków badawczych

1.1. Linia kolejowa nr 401, km 86,500 ÷ 86,600

Lokalizacja

Skarpa nasypu od strony toru nr 2, linii kolejowej nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście Port w km 86,500÷86,600 odcinek szlakowy pomiędzy stacją Międzyzdroje, a stacją Lubiewo (województwo zachodniopomorskie, powiat kamieński, gmina Międzyzdroje).

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście Port została wybudowana jako linia jednotorowa i odcinkami oddawana do użytku. Całkowita długość to 99,971 km. Budowę rozpoczęto na stacji kolejowej Szczecin Dąbie, pierwszy odcinek (Szczecin Dąbie – Goleńów) otwarto 1. stycznia 1882 roku, a całość została oddana do użytku 1. czerwca 1901 roku. W latach 1975-1980 linia została rozbudowana o drugi tor i dokonano elektryfikacji [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Omawiany teren znajduje się w obrębie jednostki fizjograficznej Wyspy Uznam i Wolin (313.21). Rzeźba obszaru zaznacza się w postaci kontrastu jaki tworzą niskie, rozległe i płaskie obszary Bramy Świny z urozmaiconą powierzchnią wysoczyzny wyspy Wolin i Uznam. Obniżenie jest w całości młodo holocenne, podczas gdy rzeźba obszarów wysoczyznowych została ostatecznie ukształtowana w czasie zaniku ostatniego lądolodu [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Obie mają nie tylko urozmaiconą rzeźbę i budowę. W zachodniej części obszaru występują równiny akumulacji rzecznej i nadmorskiej, natomiast we wschodniej, wysoczyzny pagórkowate. Zbudowane są z osadów zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej w postaci spiętrzonych moren, oraz form akumulacji eolicznej i morskiej. Do wzgórz morenowych przyrosły od zachodu i od wschodu szeregi piaszczystych wałów brzegowych, porozi- nianych erozyjnie i przekształconych eolicznie w niewysokie wydmy. Wzgórza z kolei podci- nają falezy (klify), w szczególności od strony Zatoki Pomorskiej, jak również Zalewu Szcze- cińskiego. Procesy te są nadal aktywne [Leszczycki i inni, 1973-1978] .

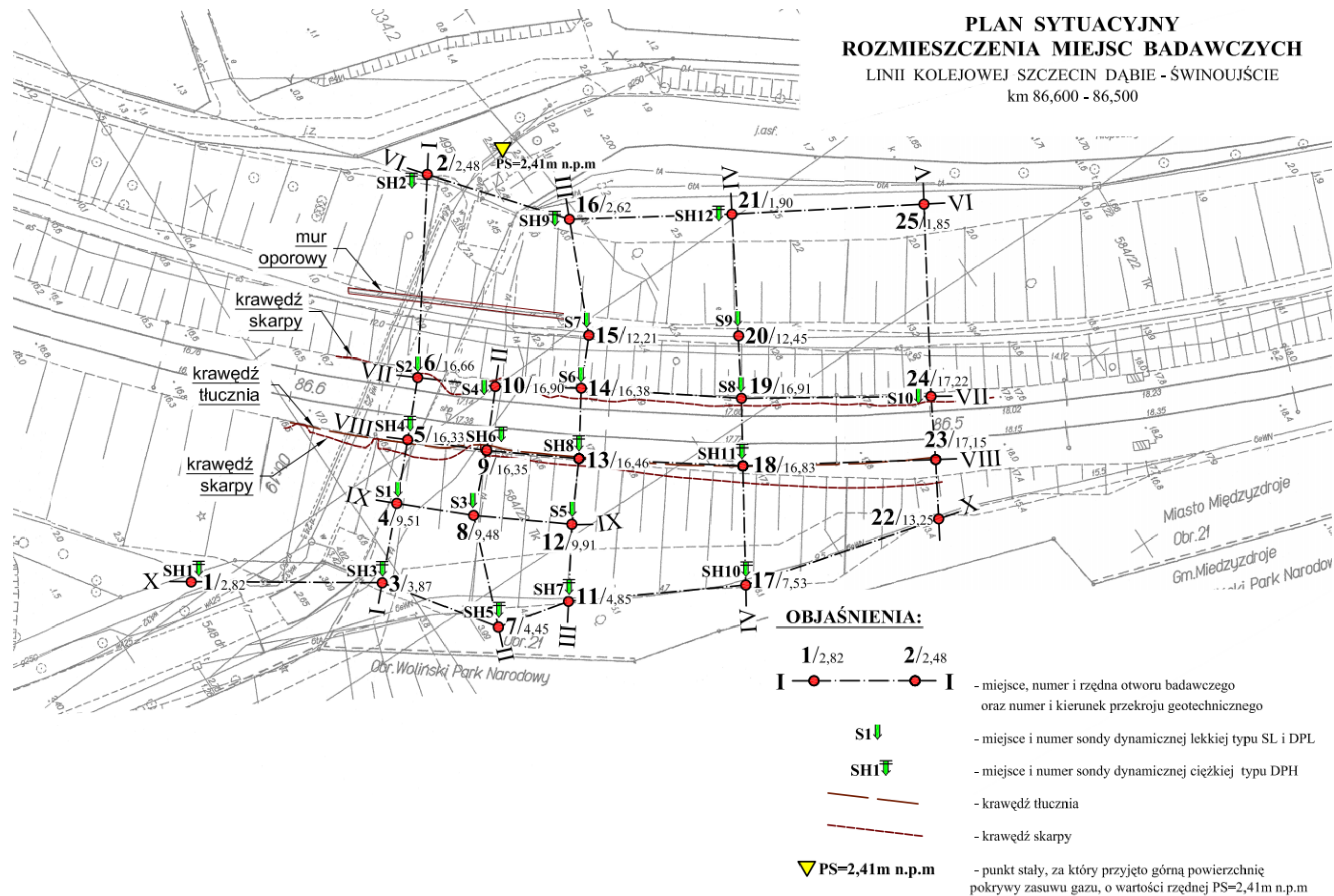
We wrześniu 2010 roku przeprowadzono badania geotechniczne:

- odwiercono 25 otworów badawczych o głębokości od 4,00 m do 20,00 m, łącznie odwiercono 203,0 mb.
- wykonano 8 sondowań sondą dynamiczną lekką typu SL o głębokości od 4,40m do 6,0m, łącznie 31,9 mb.
- wykonano 2 sondowania sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 1,10m do 2,70m, łącznie 3,8 mb.
- wykonano 12 sondowań sondą dynamiczną ciężką typu DPH o głębokości od 9,20m do 18,0m, łącznie 129,8 mb.

W miejscach badań występują warstwy nasypów niebudowlanych, nasypów budowlanych (o wartościach $I_D=0,20\div0,70$ oraz $I_L=0,10$) oraz gleby o miąższości dochodzącej do 9,2 m od powierzchni terenu. W rejonie otworów 1, 2, 3, 16, 21, 25 pod warstwą nasypów niebudowlanych i nasypów budowlanych zalegają utwory zastoiskowe śródlądowego zbiornika zamkniętego, w postaci torfu o miąższościach w zakresie od 0,90÷2,50m. W pozostałych otworach bezpośrednio pod warstwą nasypów niebudowlanych, nasypów budowlanych i gleby zalegają osady wodnolodowcowe zlodowacenia północnopolskiego (o wartościach $I_D=0,20\div0,85$) wykształcone w postaci piasków drobnych, piasków średnich i piasków grubych. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 20,0 m od powierzchni terenu.

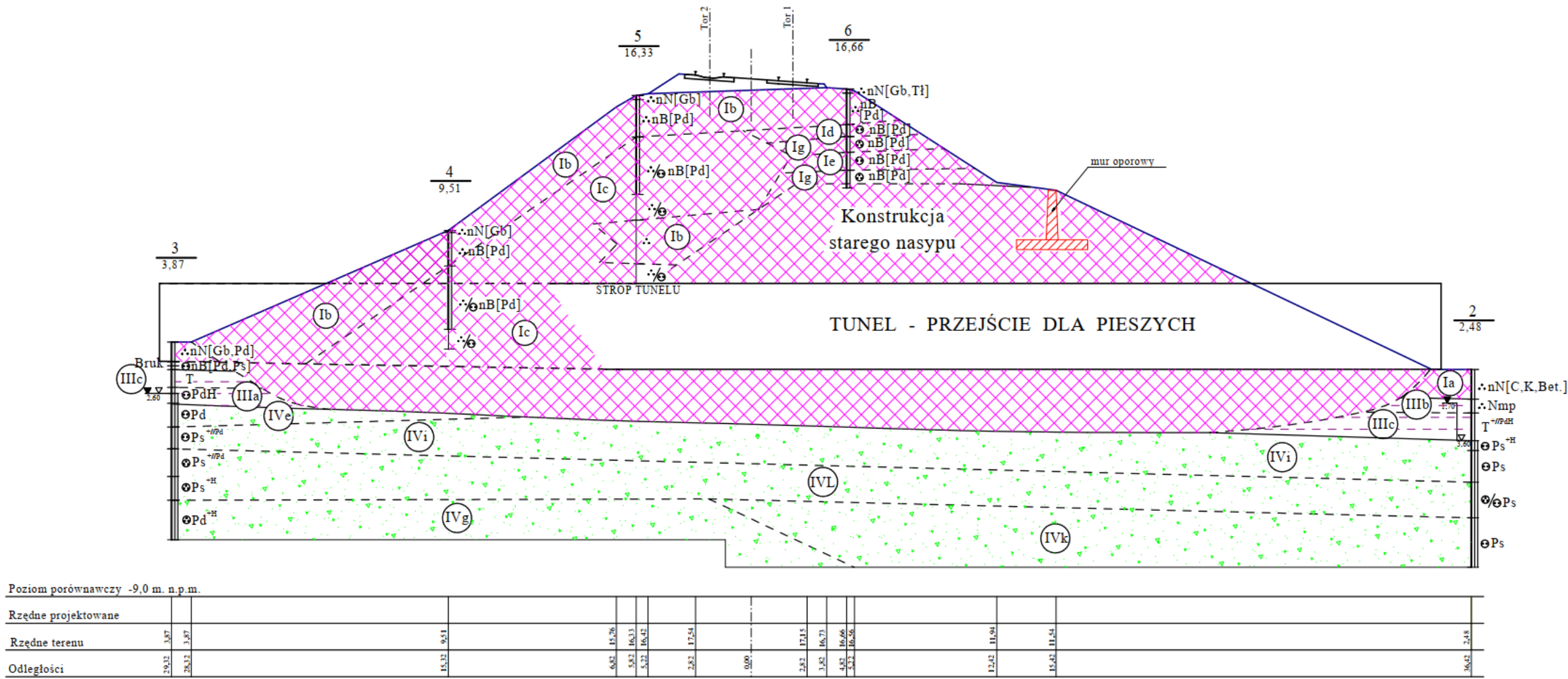
W trakcie prowadzonych wierceń w otworach nr 1, 2, 16, 21, 25 stwierdzono zwierciadło wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatycznym na głębokości od 4,40m do 2,20m od powierzchni terenu, tj. na rzędnych od -1,78m do 0,62m n.p.m., które stabilizowało się na głębokości od 2,70m do 1,60m od powierzchni terenu tj. na rzędnej od -0,08m do 0,30m n.p.m.

Natomiast w otworach nr 3, 7, 11, 17, 18, 23 stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokości od 15,70m do 2,60m od powierzchni terenu tj. na rzędnej od 1,45m do 1,27m n.p.m. Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić od +1,00 m do -1,00 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych.



Ryc. 2. Plan sytuacyjny rozmieszczenia miejsc badawczych LK Szczecin Dąbie – Świnoujście, km 86,000 – 86,500

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY I - I

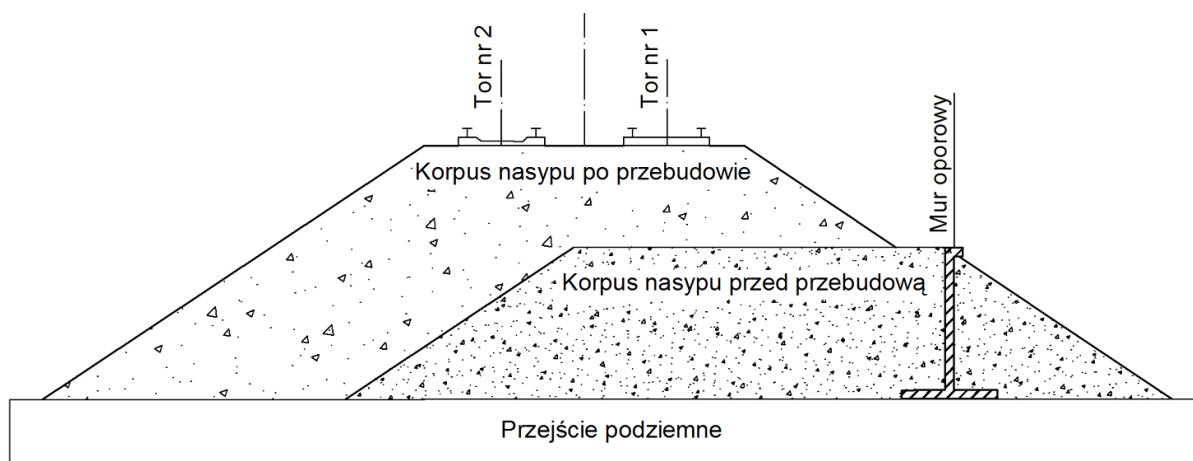


Ryc. 3. Przekrój geotechniczny I-I w km 86,581

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

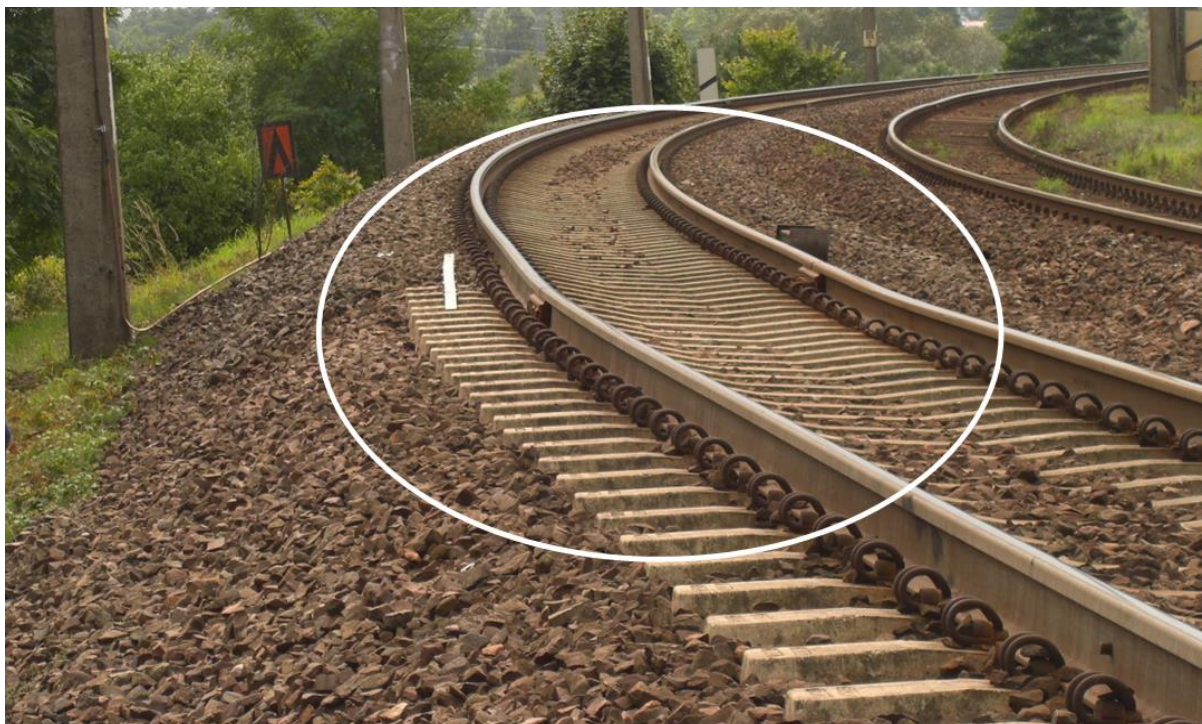
Stan istniejący - przyczyny niestabilności

Linia kolejowa, na tym odcinku jest linią dwutorową, zbudowaną na nasypie. W trakcie modernizacji wykonano zmianę promieni łuku, dobudowano fragmenty nasypu na istniejącym nasypie, o ok. 4,0m niższym, związane z przedłużeniem równi stacyjnej stacji Międzyzdroje. Zastosowano tor bezстыkowy. Obecnie nasyp osiąga wysokość do 15,0m. W związku z koniecznością zwiększenia promienia łuku poziomego, nastąpiła korekta nasypu w planie oraz poszerzenie jego podstawy. Schemat przebudowy nasypu w newralgicznym punkcie deformacji toru można przedstawić jak na ryc. 4.



Ryc. 4. Schemat nasypu na analizowanym odcinku

Z powodu zaistniałej awarii, w październiku 2010 roku, wykonano badania geotechniczne. Korpus nasypu linii kolejowej, zarówno w części nowo budowanej jak i w części starego nasypu, zbudowany jest przede wszystkim z piasków drobnych. Piaski te, są pochodzenia wodnolodowcowego i zwydmione charakteryzujące się bardzo niską wartością wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U , który dla gruntów wbudowanych w korpus nasypu wynosi $C_U = 1,7 \div 2,3$.



Fot. 1. Strefa odkształcenia toru nr 2 w km 86,570 - brak ławy torowiska i odsłonięte czoła podkładu

Powyższy zakres wartości wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U oznacza, że należy do gruntów jednorodnie uziarnionych, słabo zagęszczalnych, a praktycznie do gruntów niezagęszczanych. Dodatkowo, na skutek działania impulsów zewnętrznych: drgań czy uderzeń dynamicznych, łatwo ulegają rozgęszczeniu. Wyniki sondowań sondami dynamicznymi, wykazały znaczne, rozluźnienie korpusu nasypu jak i stref skarpowych. Wymagania dotyczące wartości wskaźnika zagęszczenia, zawarte w obowiązujących przepisach kolejowych, instrukcja Id-3, wynoszą odpowiednio $I_s \geq 1,00$ oraz $I_s \geq 0,95$, natomiast w korpusie nasypu w rzeczywistości stwierdzono średnie uogólnione wartości odpowiednio $I_s \geq 0,92$ oraz $I_s \geq 0,91$. Wymagania powyższych przepisów nie spełniono w żadnym punkcie badawczym. Jednorodność uziarnienia, a w konsekwencji brak możliwości zagęszczenia nasypu powoduje, że wewnątrz korpusu oraz w strefie przypowierzchniowej skarp, ulega on znacznemu rozluźnieniu (dezintegracja granularna) na skutek powierzchniowego przemarzania i odprężenia, spływu wód opadowych, a w istotny sposób także przez ruch osób i zwierząt na dziko wydeptanych ścieżkach na skarpach (antropopresja). Wyżej wymienione czynniki oraz prace bieżące (remonty) spowodowały, że przy torze nr 2 została zniszczona ława torowiska.

Nasyp nie wykazywał symptomów rozwoju ruchów osuwiskowych, jedynie degradację powierzchniową skutkującą utratą geometrii normatywnej.

Największe deformacje, zauważone w czasie prowadzonych prac badawczych (wrzesień, październik 2010r.) polegały na odkształceniu toków szynowych zarówno w planie jak i profilu.



Fot. 2. Odkształcenia pionowe toków szynowych toru nr 2 oraz widoczny brak obsypki czoła podkładów

Skarpa nasypu od strony toru nr 2, mimo iż jego wysokość osiąga ponad 15,0m ma prawie jednostajne nachylenie. Zgodnie ze sztuką inżynierską nasyp, którego wysokość przekracza 6,0m, musi mieć skarpy zaprojektowane wg normowych wymagań. Skarpy, co 6,0m wysokości powinny mieć półkę o szerokości 1,0-2,0m ze spadkiem na zewnątrz lub zmienne nachylenie, zaczynając od dolnej krawędzi skarpy od nachylenia małego do nachylenia większego w górnej części skarpy.

Prawdopodobny mechanizm deformacji skarpy

Nasyp zbudowany z gruntów trudno zagęszczalnych ulegał rozluźnieniu na skutek wyżej opisanych przyczyn. Przyczyny te spowodowały, że lokalnie od strony toru nr 2 została zniszczona ława torowiska. Brak ławy torowiska (Fot.1) spowodował osypywanie się tłucznia, co skutkowało lokalnym osiadaniem toru nr 2. Prace utrzymaniowe polegające na nasunięciu i podbiciu toru w planie i profilu, spowodowały podniesienie toru przy jednoczesnym zwiększeniu warstwy tłucznia. Osłabienie toru (na łuku zewnętrznym) uruchomiło dodatkowy czynnik destrukcji linii kolejowej, a mianowicie dynamiczne uderzenia taboru przejeżdżają-

cego po nierównościach toru przy jednocześnie działających siłach odśrodkowych w kierunku na zewnątrz, czyli w kierunku skarpy. Permanentnie trwające i harmonicznie powtarzające się procesy niszczące, spowodowały odsłonięcie czoła podkładów w tej strefie, co zwiększyło niestateczność torów w planie oraz zwiększyło dynamiczne uderzenia. Stan torów mimo stale prowadzonych zabiegów naprawczych nie spełniał wymogów technicznych, ponieważ brak ławy torowiska uniemożliwia stabilizowanie podsypki tłuczniowej.

Kolejnym czynnikiem, który przyspieszał destrukcję jest zastosowanie toru bezстыkowego. Tor bezстыkowy jest stabilny, gdy ma dostatecznie i starannie zasypane czoła podkładów. Problem powstał tylko w miejscu, gdzie zabrakło ławy w torowisku, czyli tam gdzie brakuje odpowiedniego zasypiania czoła podkładów. Zjawisko zaistniało na odcinku od strony tor nr 2, a nie występuje po stronie toru nr 1.

Siły odśrodkowe działają na zewnątrz łuku. Tor nr 1 jest torem wewnętrznym, to siła odśrodkowa w tym torze jest równoważona przez zasypkę tłuczniową zalegającą w międzytorzu i tor nr 2. Taki opór jest aż nadto wystarczający do stabilizowania toru. Czoła podkładu do wewnątrz łuku są zasypane ponad wymagania normowe.

Kolejnym elementem decydującym o stabilności linii kolejowej jest podłoże gruntowe. Po stronie toru nr 2, w podłożu gruntowym, w obrębie strefy niestatecznej nasypu nie stwierdzono gruntów organicznych albo innych silnie odkształcalnych gruntów. Można, więc wykluczyć udział podłoża gruntowego w deformacji skarpy południowo-wschodniej i toru nr 2. Po stronie północno-zachodniej w otworach badawczych stwierdzono występowanie warstwy gruntów organicznych, ale ich udział w deformacji korpusu nasypu wydaje się być mało prawdopodobny.

Nowy nasyp wybudowano na starym fragmencie nasypu, który w przypadku pozostawienia gruntów organicznych w podłożu przez tak długi czas (ponad 130 lat) i przy tak sprzyjających warunkach (piaski pod torfami i piaski nad torfami) spowodowałby ich pełną konsolidację, czyli wystarczające wzmocnienie gęstościowe podłoża.

Skarpa starego nasypu od podłoża gruntowego do muru oporowego oraz na odcinku muru oporowego w kierunku stacji nie wykazuje znamion deformacji. Mur oporowy występuje na odcinku największej deformacji toru nr 2 i jako taki nie wykazuje znamion zniszczenia czy odkształcenia.

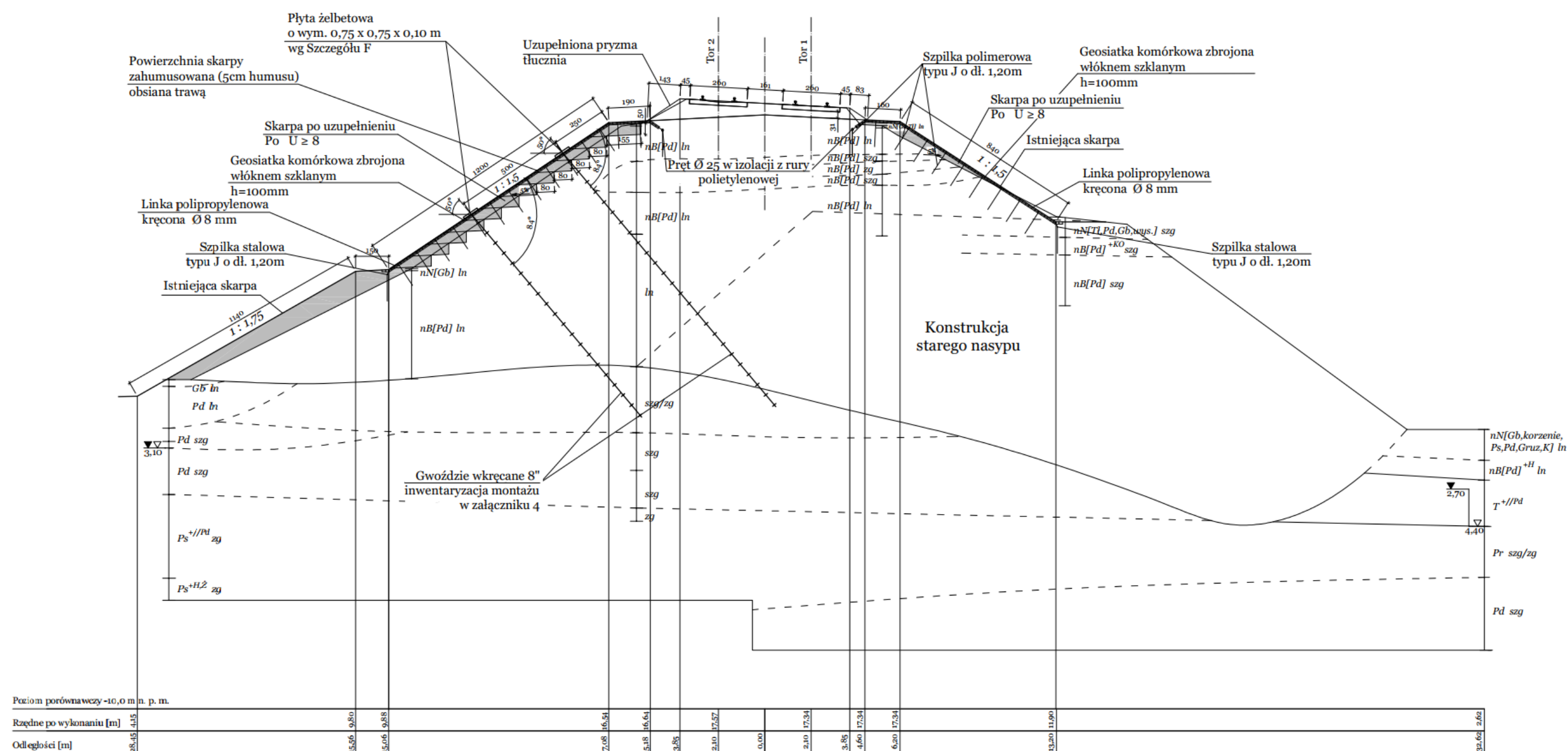
Powyższy opis pozwala na sformułowanie tezy o małym prawdopodobieństwie udziału stwierdzonych warstwy gruntów organicznych w deformacji nasypu [Materiały własne].

ROBOTY NAPRAWCZE

Naprawcze roboty budowlane zostały zrealizowane w terminie od sierpnia do października 2013 roku. Odbudowa geometrii nasypu nastąpiła poprzez uzupełnienie gruntów w obrębie skarpy. Związanie nowego materiału gruntowego z istniejącym nasypem wykonano przez zestopniowanie istniejącej skarpy. Na odbudowaną skarpe została rozłożona geosiatka komórkowa o wysokości 100 mm, kotwiona do skarpy linką polimerową oraz systemem szpilek polimerowych (zastosowanie polimerów ma uzasadnienie z uwagi na prądy błędzące występujące w obszarze podtorza.). W skarpie od strony toru nr 2 dla wzmocnienia korpusu nasypu, wprowadzono system gwoździ wkręcanych beziniekcyjnych typu „Chance” zamocowanych w konstrukcji „starego nasypu”.



Fot. 3. Skarpa nasypu pod wykonaniu naprawy



Ryc. 5. Przekrój III-III w km 86,555 z dokumentacji powykonawczej stabilizacji nasypu kolejowego

1.2. Linia kolejowa nr 401, km 84,800 ÷ 85,050

Lokalizacja

Skarpa przekopu od strony toru nr 1, linii kolejowej nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście Port w km 84,800÷85,050 odcinek szlakowy pomiędzy stacją Warnowo, a stacją Międzyzdroje, w sąsiedztwie stacji kolejowej Międzyzdroje (województwo zachodniopomorskie, powiat kamieński, gmina Międzyzdroje). Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest w przekopie, którego głębokość dochodzi do ok.10,0 m.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście Port została wybudowana jako linia jednotorowa i oddawana do użytku odcinkami. Całkowita długość to 99,971km. Budowę rozpoczęto na stacji kolejowej Szczecin Dąbie i pierwszy odcinek (Szczecin Dąbie – Goleniów) otwarto 1. stycznia 1882 roku, całość oddana do użytku 1. czerwca 1901 roku. W latach 1975-1980 linia została rozbudowana o drugi tor. W trakcie modernizacji linii wykonano zmianę promieni łuku, dobudowano fragmenty nasypu związane z przedłużeniem równi stacyjnej oraz dokonano elektryfikacji. [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Omawiany teren jest w obrębie jednostki fizjograficznej Wyspy Uznam i Wolin (313.21). Rzeźba obszaru omawianych arkuszy ma tylko sobie właściwe cechy. Zaznaczają się one w postaci kontrastu jaki tworzą niskie, rozległe i płaskie obszary Bramy Świny z urozmaiconą powierzchnią wysoczyzny wyspy Wolin i Uznam. Te dwa zespoły form rzeźby są różnego wieku. Obniżenie jest w całości młodo holocenne, podczas gdy rzeźba obszarów wysoczyznowych została ostatecznie ukształtowana w czasie zaniku ostatniego lądolodu [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Obie mają nie tylko urozmaiconą rzeźbę i budowę. W zachodniej części obszaru występują równiny akumulacji rzecznej i nadmorskiej natomiast we wschodniej, wysoczyzny pagórkowate. Zbudowane są one z osadów zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej w

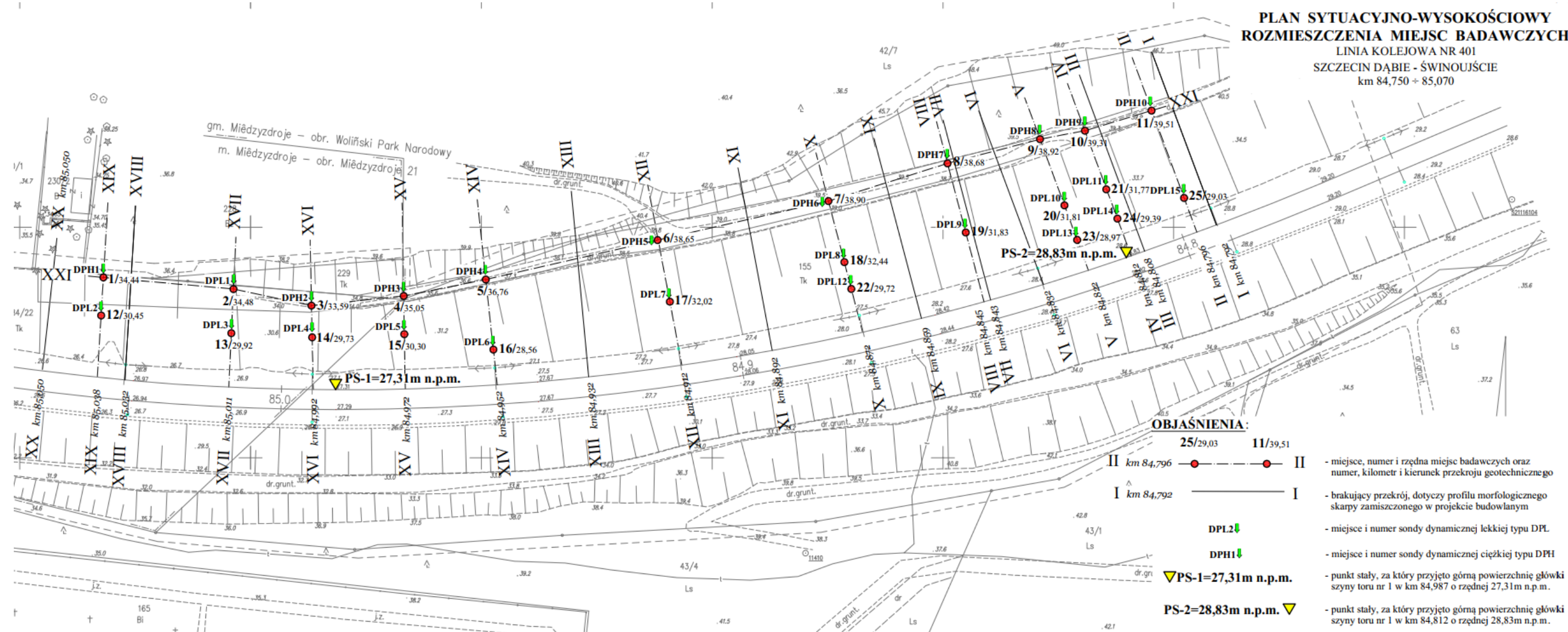
postaci spiętrzonych moren, oraz form akumulacji eolicznej i morskiej. Wzgórza czołowo morenowe na wyspie Wolin osiągają wysokość do 115,0 m n.p.m. (Góra Grzywacz). Formy eoliczne natomiast, występują w postaci licznych wałów uszeregowanych regularnie. Do wzgórz morenowych przyrosły od zachodu i od wschodu szeregi piaszczystych wałów brzegowych, porozcinanych erozyjnie i przekształconych eolicznie w niewysokie wydmy. Wzgórza z kolei podcinają falezy (klify), w szczególności od strony Zatoki Pomorskiej jak również Zalewu Szczecińskiego. Procesy te są nadal aktywne [Kondracki, 1988].

W listopadzie 2013 roku przeprowadzono badania geotechniczne:

- odwiercono 25 otworów badawczych o głębokości od 2,00 m do 13,50 m razem odwiercono 156,7 mb,
- wykonano 15 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 1,50m do 4,20m, łącznie 41,3 mb,
- wykonano 10 sondowań sondą dynamiczną ciężką typu DPH o głębokości od 4,00m do 11,90m, łącznie 80,5 mb,

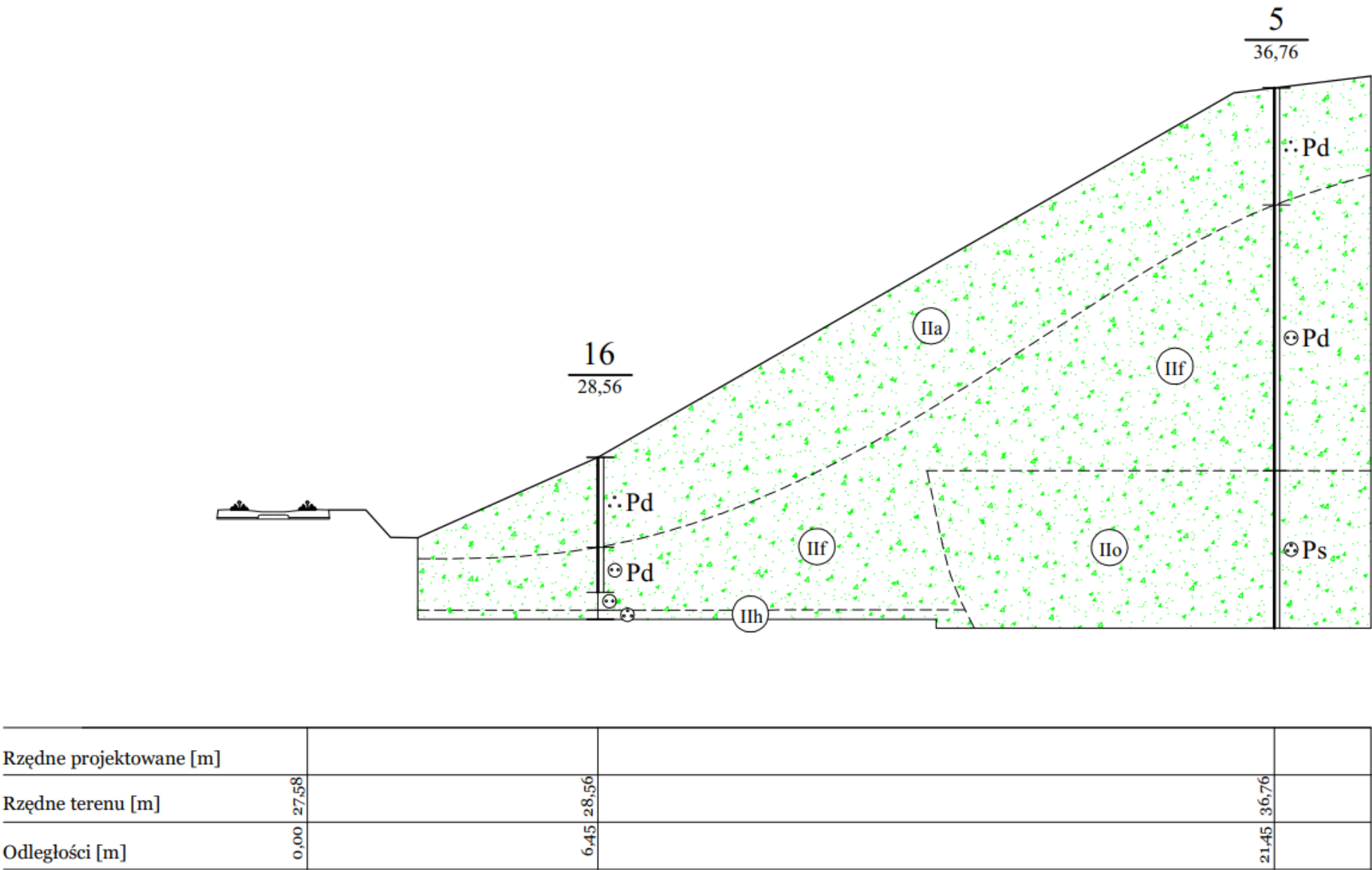
Pod cienką warstwą gleby w otworze nr 25 i nasypów niebudowlanych w otworze nr 24 lub bezpośrednio od powierzchni terenu w pozostałych otworach, zalegają osady akumulacji wodnolodowcowej (kemy) i nadmorskiej zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_D=0,20-0,80$) wykształcone w postaci piasków drobnych, piasków średnich. Osadów nie przewiercono do badanej głębokości 13,50 m od powierzchni terenu.

W trakcie prowadzonych wierceń w żadnym z 25 otworów nie stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej do badanej głębokości 13,5m od powierzchni terenu.



Ryc. 6. Plan sytuacyjno – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 406 Szczecin Dąbie – Świnoujście, km 84,750 ÷ 85,070

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY XIV - XIV



Ryc. 7. Przekrój geotechniczny XIV-XIV w km 84,952

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Z powodu erozji skarpy przekopu, w listopadzie 2013 roku zostały wykonane badania geotechniczne oraz opracowano projekt budowlany. Roboty budowlane były zrealizowane dwu-etapowo: pierwszy etap zakończono w październiku 2014 roku, natomiast drugi etap w grudniu 2016 roku.

Stan istniejący- przyczyny niestabilności

Linia kolejowa nr 401 Szczecin Dąbie – Świnoujście Port na analizowanym odcinku została zmodernizowana jako linia dwutorowa, którą wybudowano w przekopie ustabilizowanej wydmy. Przekop na badanym odcinku osiąga głębokość do ok. 10,0m. Przekop wykazywał wyraźnie cechy deformacji w postaci rozcięć erozyjnych o głębokościach nawet do 2,0m, fragmentami całkowite zniszczenie geometrii skarpy. Stan taki jest permanentnym stanem skarpy, która wielokrotnie ulegała lokalnym procesom osuwiskowym, bezpośrednio zagrażając bezpieczeństwu ruchu kolejowego na tej linii.

Prawdopodobny mechanizm zniszczenia skarpy

Destrukcja skarpy jest wynikiem sumowania się zjawisk i procesów egzogenicznych występujących w obrębie podłoża gruntowego, historii budowy, modernizacji i utrzymania linii, a także przy udziale procesów zoogenicznych polegających na mechanicznym rozdeptywaniu skarpy przekopu w obrębie szlaków migracyjnych zwierząt – zwłaszcza, że strefa zniszczenia jest w obrębie Wolińskiego Parku Narodowego. Zjawiska i procesy występujące w obrębie tej budowli mają charakter obiektywny.

Przekop na badanym odcinku linii kolejowej, wykonany został w obrębie piasków drobnych zwydmionych. Osady te charakteryzują się bardzo niską wartością wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U , który dla tych gruntów wynosi w granicach ok. $C_U = 2,0$. Ten zakres wartości wskaźnika jednorodności uziarnienia C_U oznacza, że grunt z którego jest zbudowany przekop należy do gruntów jednorodnie uziarnionych, słabo zagęszczalnych a jednocześnie łatwo rozgęszczalnych. Grunty jednorodnie uziarnione - łatwo rozgęszczalne są gruntami, które na skutek działania impulsów zewnętrznych: drgań, uderzeń dynamicznych ulega-

ją rozgęszczeniu, a działanie wód opadowych bardzo intensywnie eroduje powierzchnie skarpy. Przykładowe wyniki sondowań sondami dynamicznymi wykazały stany luźne do znacznej głębokości poniżej powierzchni terenu.

Strefa przypowierzchniowa skarpy ulega permanentnemu, znacznemu rozluźnieniu (dezintegracja granularna) na skutek powierzchniowego przemarzania i odprężenia, braku roślinności (ekspozycja południowa intensywnie nasłoneczniana zwłaszcza w okresie letnim), spływu wód opadowych a w istotny sposób przez ruch dzikich zwierząt po powierzchni skarpy. Udział dzikich zwierząt w destrukcji skarpy polega również na budowie systemu nor podziemnych w jej obrębie. „Skanalizowany” w jednym miejscu, spływ wody opadowej oraz ruch dzikich zwierząt właśnie w rozcięciach erozyjnych są zasadniczymi przyczynami niestaczejności skarpy.



Fot. 4. Leje erozyjne wraz z wypłukanym materiałem drobno-piaszczystym

Skarpa przekopu od strony toru nr 1, mimo, iż jego głębokość osiąga ponad 10,0m ma prawie jednostajne nachylenie. Zgodnie z wymogami, skarpa której wysokość przekracza

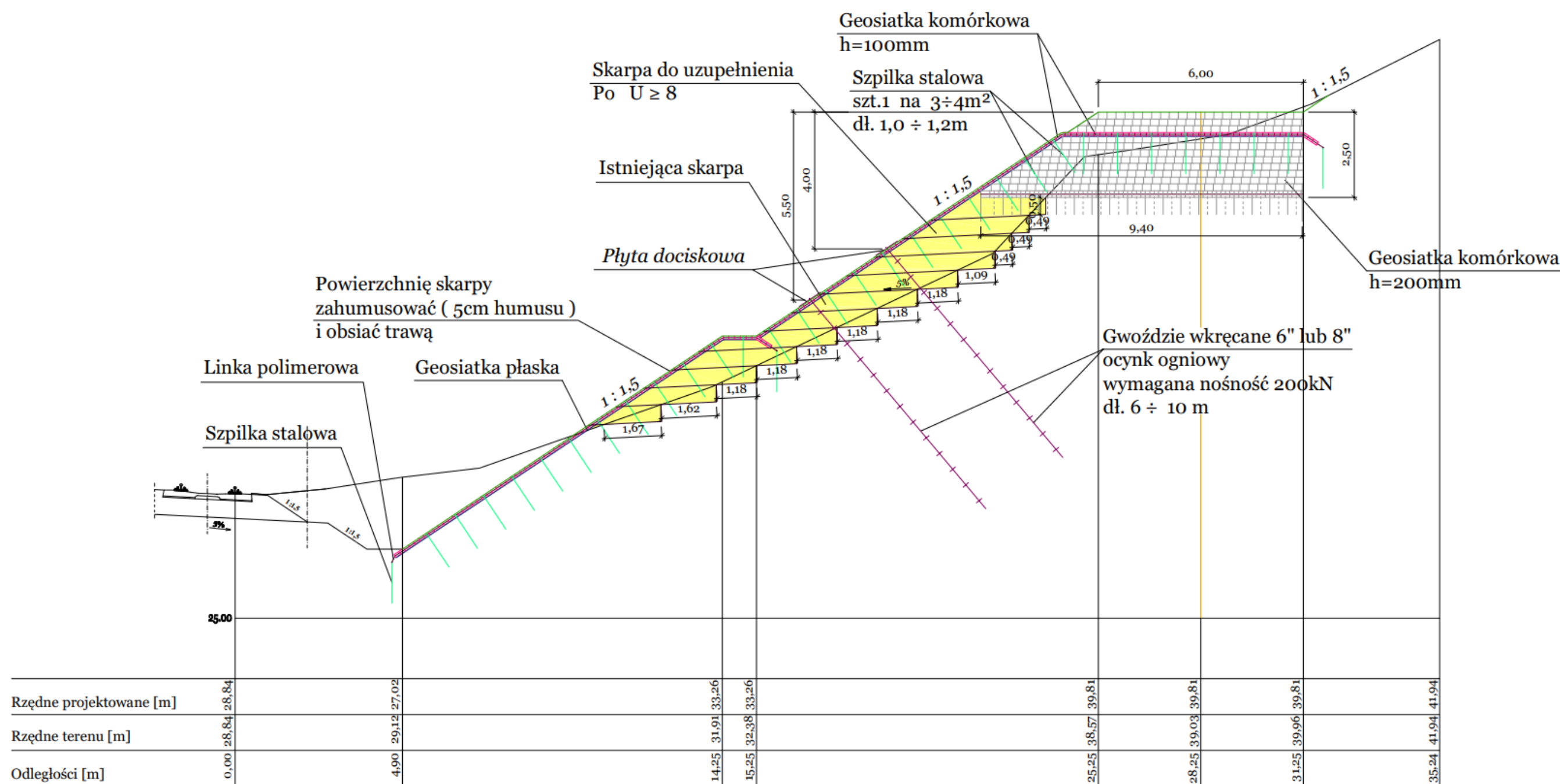
6,0m, powinna mieć, co 6,0m wysokości półkę o szerokości 1,0-2,0m ze spadkiem na zewnątrz lub zmienne nachylenie, zaczynając od dolnej krawędzi skarpy, od nachylenia małego do nachylenia większego w górnej części skarpy.

ROBOTY NAPRAWCZE

Odbudowa geometrii nasypu została wykonana poprzez uzupełnienie gruntów w rozcięciach erozyjnych w obrębie skarpy. Wzmocnienie górnej krawędzi skarpy przekopu w strefach głębokich rozcięć erozyjnych wykonano przy zastosowaniu zbrojenia gruntu warstwami geosiatki komórkowej. Wybudowano studnie chłonne dla przechwycenia wód opadowych z wysoczyzny. Na odbudowaną skarpe została rozłożona geosiatka płaska i geosiatka komórkowa o wysokości 100mm, kotwiona do skarpy systemem szpilek i linki polimerowej. Od strony toru nr 1 dla wzmocnienia powierzchni skarpy przekopu wprowadzono system usztywniający za pomocą beziniekcyjnych gwoździ wkręcanych zamocowanych w strefie nienaruszonej, dobrze zagęszczonej. Zakończeniem naprawy była odbudowa odwodnienia wzdłuż torów od strony naprawianej skarpy.



Fot. 5. Naprawa skarpy przekopu – układanie i zasypywanie geosiatki komórkowej



Ryc. 8. Przekrój poprzeczny IV-IV w km 843,812 z projektu budowlanego skarpy przekopu

1.3. Linia kolejowa nr 202, km 178,000 ÷ 178,100

Lokalizacja

Skarpa nasypu kolejowego od strony południowej w km 178,000÷178,100 linii kolejowej nr 202 Gdańsk – Stargard w obrębie stacji kolejowej Wiekowo (województwo zachodniopomorskie, powiat sławieński, gmina Darłowo). Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest w nasypie, którego wysokość dochodzi do 4,0 m.

Historia budowy linii kolejowej

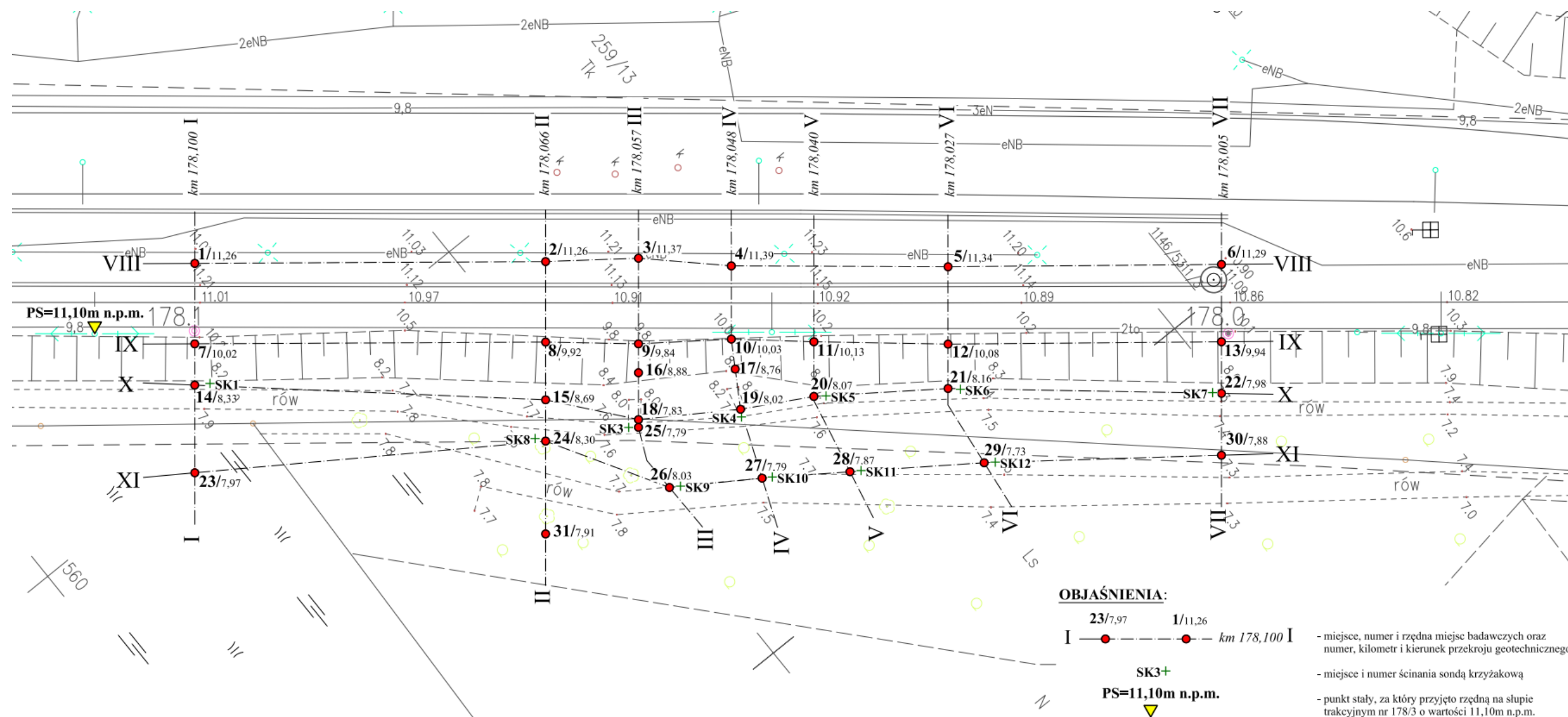
Linia kolejowa nr 202 Gdańsk Główny - Stargard została wybudowana i oddawana do użytku odcinkami jako linia jednotorowa w latach 1859-1870. Szlak Sławno – Koszalin oddano do użytku 01.07.1869r. Całkowita długość linii kolejowej LK 202 Gdańsk Główny - Stargard wynosi 334,263 km. Linia ta odcinkami została przebudowana na linię dwutorową, jednak w strefie awarii została nadal jako linia jednotorowa. W latach 1957-1989 linia została zelektryfikowana [Atlas linii kolejowych, 2014].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Miejsce badań to obszar 313.43 Równiny Słupskiej. Jest on przedłużeniem Równiny Białogardzkiej oddzielonym przez wał Wzgórz Koszalińskich, osiągających ponad 100m. Powierzchnia terenu jest jednak mało urozmaicona, miejscami zupełnie płaska i wznosi się od 40 do 60 m. Zbudowana jest z gliny morenowej, piasków glacyfluwalnych oraz ilów i mułków glacylimnicznych, w szczególności między dolnym biegiem Wieprzy i Grabowej. W północnej części równiny ciągnie się pasmo moren czołowych pochodzących z ostatniej fazy (Gradzieńskiej) zlodowacenia północnopolskiego [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Przeprowadzone w lutym 2015 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 31 otworów badawczych o głębokości od 1,1 do 9,0 m, razem odwiercono 133,9 mb,
- wykonano 12 sondowań sondą dynamiczną typu ITB-ZW z końcówką krzyżakową, oraz 16 badań ścinania sondą krzyżakową,

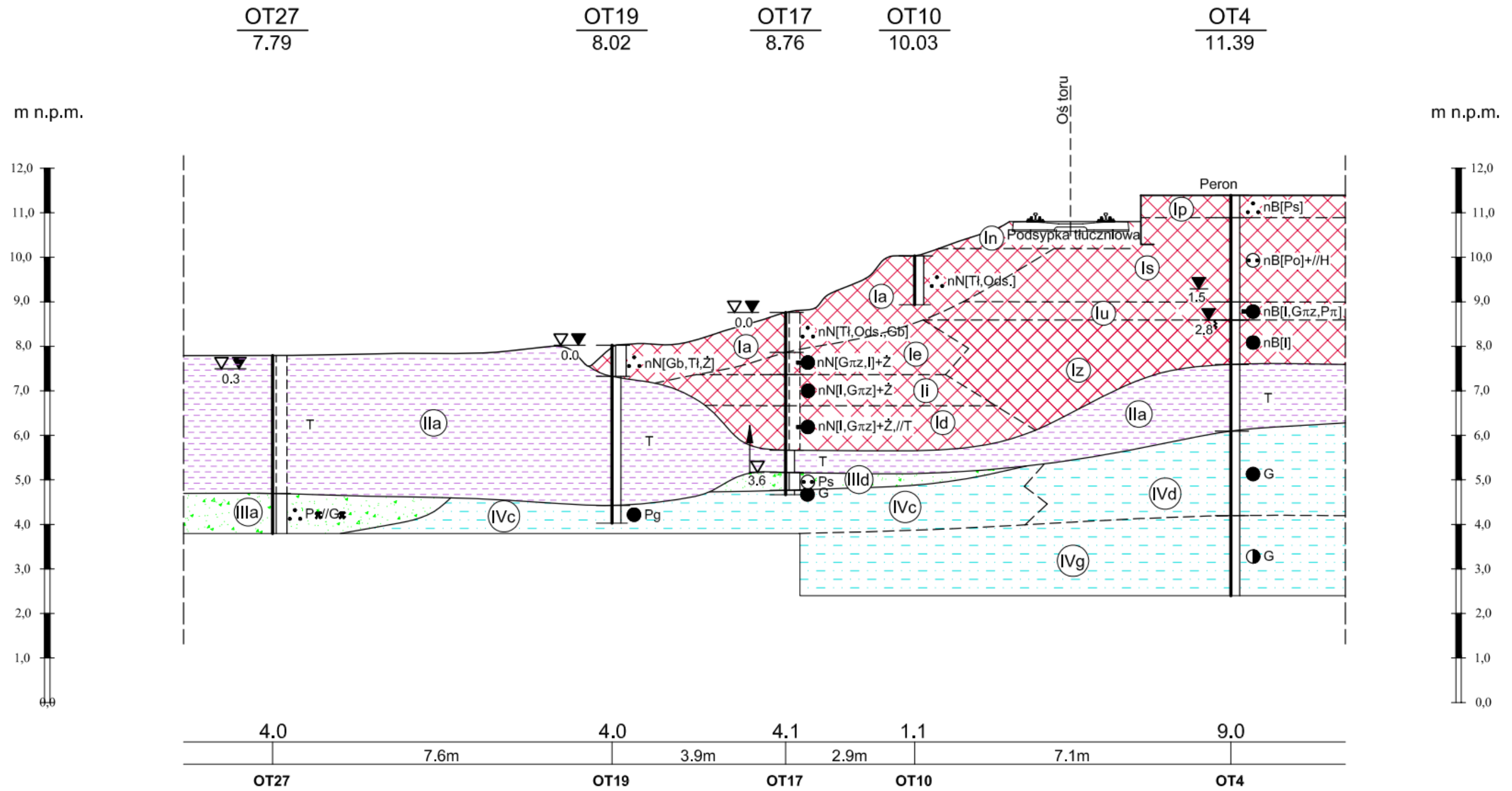


Ryc. 9. Plan sytuacyjno – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 202, km 178,100 – 178,000

Pod warstwą nasypów budowlanych (o wartościach $I_D=0,20\div0,60$ oraz $I_L=0,60\div0,35$) i nasypów niebudowlanych (o wartościach $I_D=0,20$ oraz $I_L=0,75\div0,35$), miejscami nieprzewierconych, występują osady akumulacji bagiennej wykształcone w postaci torfów, namulów piaszczystych oraz namulów gliniastych. Osady te zdeponowane zostały na osadach akumulacji rzecznej (o wartościach $I_D=0,20\div0,35$) wykształconych w postaci piasków drobnych, piasków pylistych oraz piasków średnich lub na osadach zastoiskowych o charakterze warwopodobnym zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_L=0,60\div0,10$). W ujęciu genetycznym zaliczane są do gruntów spoistych nieskonsolidowanych o symbolu „C”. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 9,0 m poniżej powierzchni terenu.

W trakcie prowadzonych wierceń stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej w otworach nr 1, 8, 9, 13, 14, 16 ÷ 20, 22, 23, 25 ÷ 31, na głębokościach od 1,90 m do 0,00 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnych od 9,76 m n.p.m. do 7,38 m n.p.m. Otwór nr 25 wykonywany był w wodzie, natomiast w otworze nr 17, 19, 31 woda stagnowała na powierzchni terenu. W otworach nr 2, 3, 6, 12, 17, 18, 21, 22, 24 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatyczny na głębokości od 5,50 m p.p.t. do 0,60 m poniżej powierzchni terenu, które stabilizowało się na głębokościach od 2,05 m do 0,20 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnej od 9,22 m n.p.m. do 7,63 m n.p.m. W otworach nr 2, 5, 7, 11, 15 stwierdzono sączenia wody gruntowej w obrębie gruntów spoistych na głębokości od 2,80 m do 2,20 m p.p.t., które stabilizowało się na głębokości od 2,00 m do 1,50 m p.p.t., czyli na rzędnej od 9,89 m n.p.m. do 8,13 m n.p.m. W otworze numer 10 do głębokości 1,10 m p.p.t. nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić miejscami od +1,00 m do -0,50 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych. Spływ wód gruntowych odbywa się w kierunku południowym.



Ryc. 10. Przekrój geotechniczny IV-IV w km 178,048

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

Nasyp, w miejscu wystąpienia awarii, linii kolejowej nr 203 został wybudowany na początku XX wieku z gruntów miejscowych. Po wykonanych badaniach geotechnicznych w marcu 2015 stwierdzono, że jako materiał gruntowy wykorzystany do budowy nasypu zastosowano grunty spoiste, pylaste również przemieszane z gruntami piaszczystymi. W obrębie awarii stwierdzono wysoki poziom wody gruntowej. Tak uwarstwiony nasyp jest konstrukcją bardzo łatwo ulegającą uplastycznieniu oraz bardzo wrażliwą na procesy wysadzinowe. Będzie on stabilny jeżeli będzie miał zapewnione dobre i niezawodne odwodnienie. W przypadku braku kontroli nad wodami infiltrującymi w głąb konstrukcji, nasyp ulega znacznemu uplastycznieniu.

Z wywiadu terenowego z pracownikami PKP wynika, że procesy destrukcyjne rozpoczęły się w latach 80-tych ubiegłego wieku od momentu, kiedy w obrębie stacji kolejowej przeprowadzono procesy modernizacyjne wraz z wbudowywaniem słupów trakcji elektrycznej. Na skutek przeprowadzonych prac modernizacyjnych, został zniszczony system drenażowy stacji. Z uwagi na wysokie stany wody gruntowej, w przeszłości był on poddawany dużym wahaniom zwierciadła wody gruntowej w strefie kontaktowej (nasyp/grunty naturalne) oraz zjawiskom podtapiania. W roku 2014r. takie zjawisko było inicjatorem istotnych dla konstrukcji procesów. Podczas intensywnych i długotrwałych opadów atmosferycznych nastąpiła wyraźna deformacja konstrukcji linii kolejowej uniemożliwiająca bezpieczną eksploatację linii. [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Stało się to początkiem rozwoju procesu destrukcyjnego nasypu. Grunt wbudowany w nasyp jest gruntem o dużej wrażliwości strukturalnej, a więc gruntem podatnym na uplastycznienie lub upłynnienie na skutek drgań i wibracji. Drgania i wibracje są stałym elementem towarzyszącym eksploatacji linii kolejowej, którego nie można wyeliminować.

Konstrukcja nasypu kolejowego wg. dzisiejszych standardów i przy obciążeniach podtorza nie spełnia wymagań statecznościowych.

Prawdopodobny mechanizm zniszczenia skarpy

Na skutek zniszczenia systemu drenującego następowało nawadnianie gruntów podtorza. Proces ten, przy istnieniu w podtorzu gruntów wrażliwych strukturalnie spowodował, że na skutek drgań od przejeżdżających pociągów, grunty podtorza uległy upłynnieniu i rozluźnieniu. Grunt nasypu jest gruntem wysadzinowym, dlatego w okresach zimowych na skutek tworzenia się soczewek lodowych w strefie zamrozu, dodatkowo powodowało to dylatowanie materii gruntowej. Zdylatowana materia gruntowa nasypu chłoneła intensywniej wodę, co przy drganiach (pochodzących od przejazdu pociągów) powodowało zwiększenie uplastycznienia, a co zatem przyczyniało się do znaczącego pogorszenia parametrów wytrzymałościowych podtorza. W następstwie osłabienia podtorza, ulegało ono pełzającemu wypieraniu, które powodowało permanentną destrukcję nawierzchni kolejowej. Stan permanentnego niszczenia podtorza był stanem trwającym od lat 80-tych ubiegłego stulecia do dnia naprawy. Powodowało to konieczność stałego podbijania torów (z częstotliwością średnio raz na miesiąc). Ponadto istniało stałe zagrożenie bezpieczeństwa ruchu pociągów.



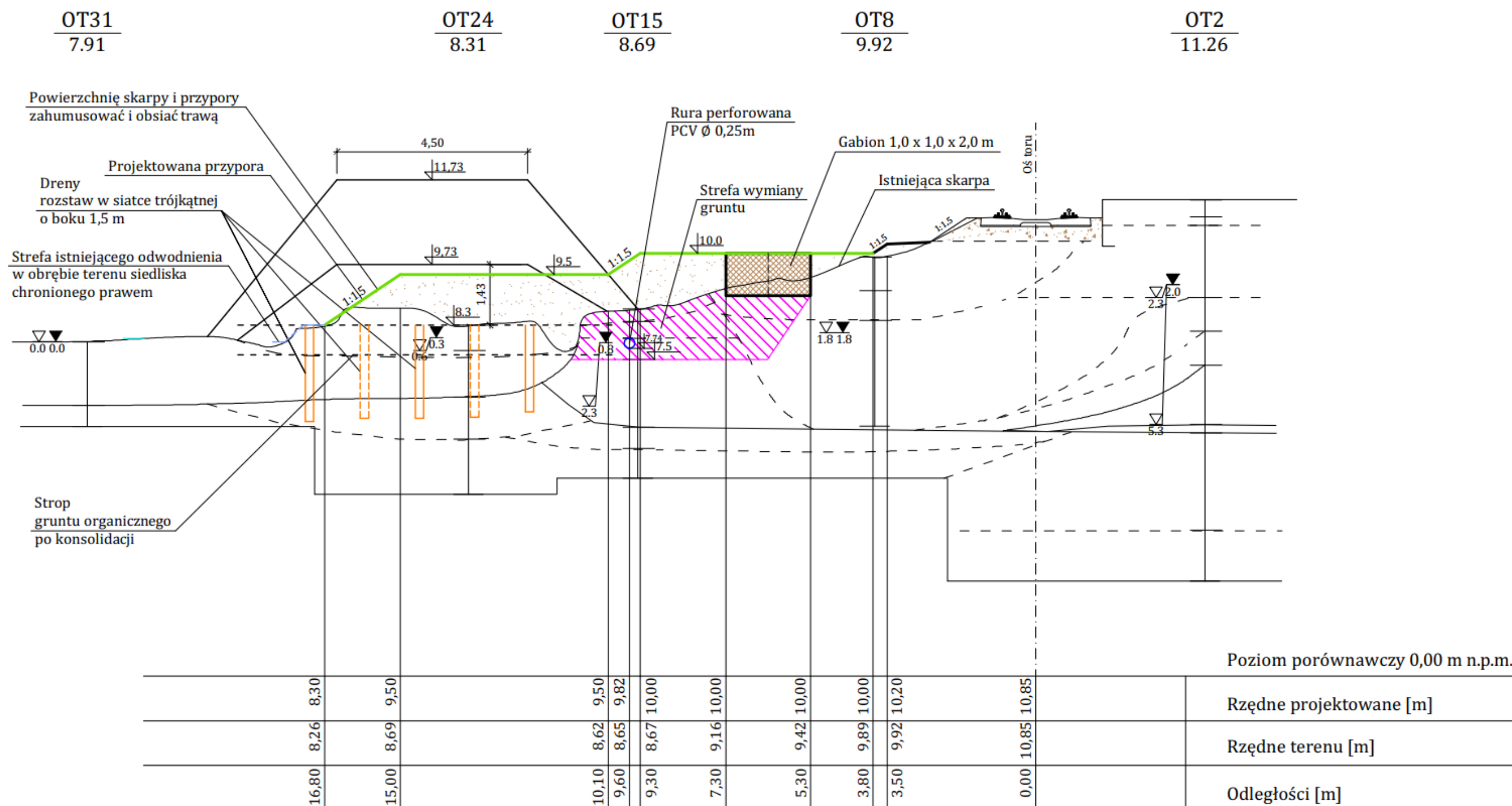
Fot. 6. Rozlewisko przy nasypie



Fot. 7. Wyciek wody powierzchniowej z nasypu u podstawy nasypu

ROBOTY NAPRAWCZE

Naprawcze roboty budowlane prowadzono w okresie maj-grudzień 2015 roku. Odbudowa geometrii nasypu i stabilizowanie skarp nastąpiło po zakończonym procesie konsolidacji podłoża torfowego. Konsolidacja realizowana była w dwóch schematach; jeden z wykorzystaniem tylko nasypu konsolidującego a drugi z wykorzystaniem nasypu konsolidującego i piaskowych drenów pionowych. W strefie koluwium osuwiskowego wykonano wymianę gruntów silnie uplastycznionych na grunty gruboziarniste lub kamieniste. W krawędzi przyskarpowej w strefie osuwiskowej przewidziane zostało usztywnienie w postaci konstrukcji gabionowej.



Ryc. 11. Przekrój projektowy naprawy skarpy



Fot. 8. W trakcie naprawy - nasyp konsolidujący oraz konstrukcja gabionowa

1.4. Linia kolejowa nr 273, km 291,160 ÷ 291,190.

Lokalizacja

Korpus nasypu oraz powierzchnia skarpy od strony toru nr 1 linii, kolejowej nr 273 Wrocław Gł. - Szczecin Gł. w km 291,160÷291,190, odcinek szlakowy pomiędzy stacją Godków, a przystankiem Witnica Chojńska (województwo zachodniopomorskie, powiat gryfiński, gmina Chojna). Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest w nasypie, którego wysokość dochodzi do ok. 5,0 m.

Historia budowy linii kolejowej

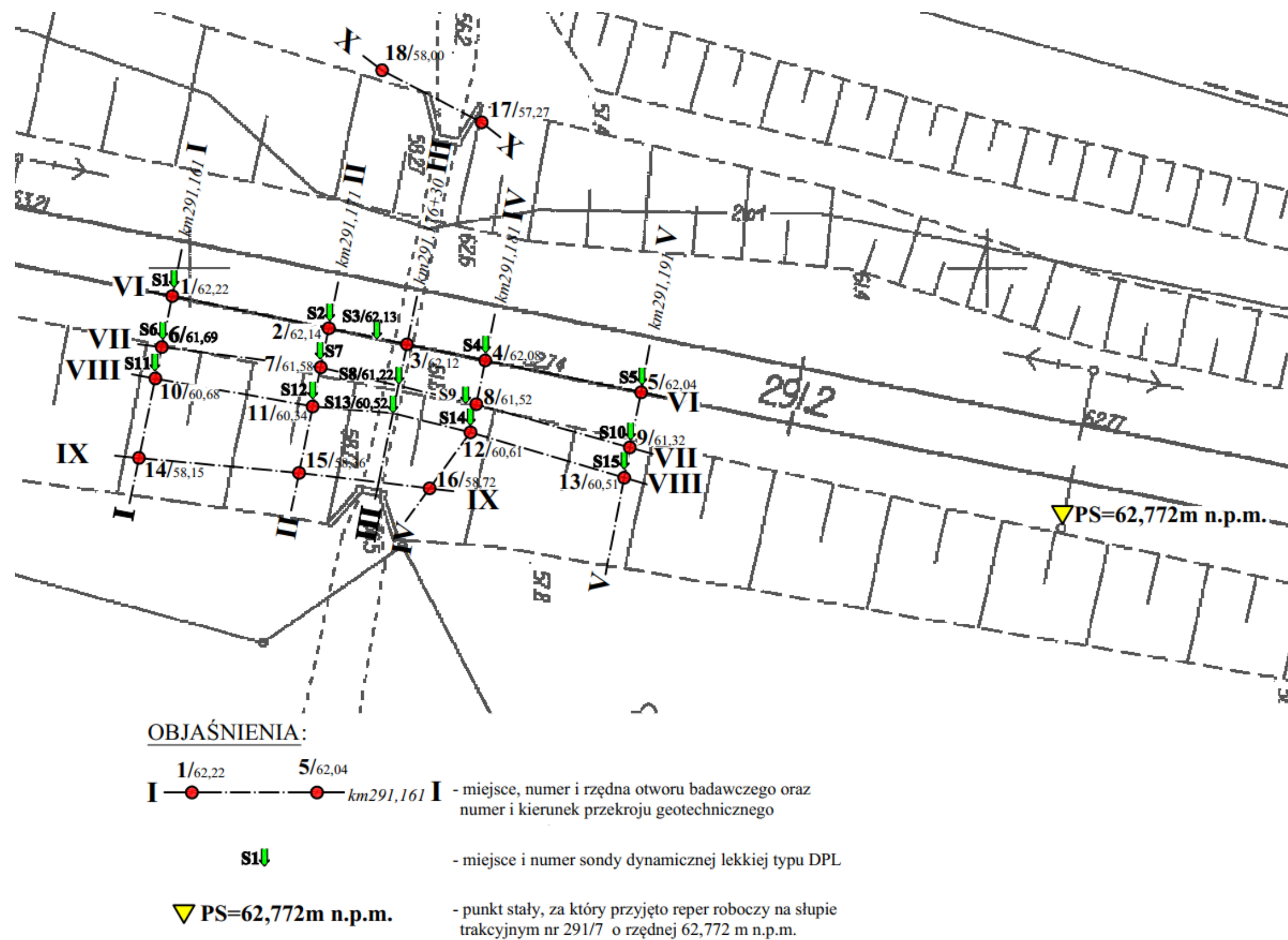
Linia kolejowa nr 273 Wrocław Główny - Szczecin Główny została wybudowana i oddawana do użytku odcinkami jako linia jednotorowa w latach 1871-1877, natomiast szlak Kostrzyn - Chojna oddano 16.11.1876r. Całkowita długość linii kolejowej nr 273 Wrocław Główny - Szczecin Główny wynosi 356,125 km. Linia ta odcinkami została przebudowana na linię dwutorową, a na szlaku Kostrzyn - Chojna dobudowa drugiego toru zakończyła się w roku 1975r. Szlak Kostrzyn - Chojna został zelektryfikowany w 1985 roku [Atlas linii kolejowych, 2014].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Pojezierze Myśliborskie (314.41) zajmujące powierzchnię ok. 1810 km² przedstawia zespół form glacialnych związanych z wysuniętym najdalej na południe zasięgiem fazy pomorskiej zlodowacenia północnopolskiego. Wzgórza morenowe tylko w niewielu miejscach przekraczają wysokość 100 m n.p.m., przy wysokościach względnych od 20 do 40 m. Występują liczne jeziora, które są przeważnie małe, natomiast większych, powyżej 1 ha jest ok. 200, m. in. Jezioro Myśliborskie, Chłop, Morzycko, Barlineckie. Wysięki i młaki występują dość licznie i znajdują się głównie u podnóża i w skarpach wysoczyznowych, w miejscach wychodni warstw. Wpływają one niekorzystnie na warunki geologiczno-inżynierskie. Z wysiękami i młakami są związane często podmokłości i grunty organiczne [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Przeprowadzone od lutego do marca 2016 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 16 otworów badawczych o głębokości od 2,50 m do 9,00 m razem odwiercono 89,00 mb,
- wykonano 15 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 0,80 m do 6,00 m, łącznie 59,80 mb,



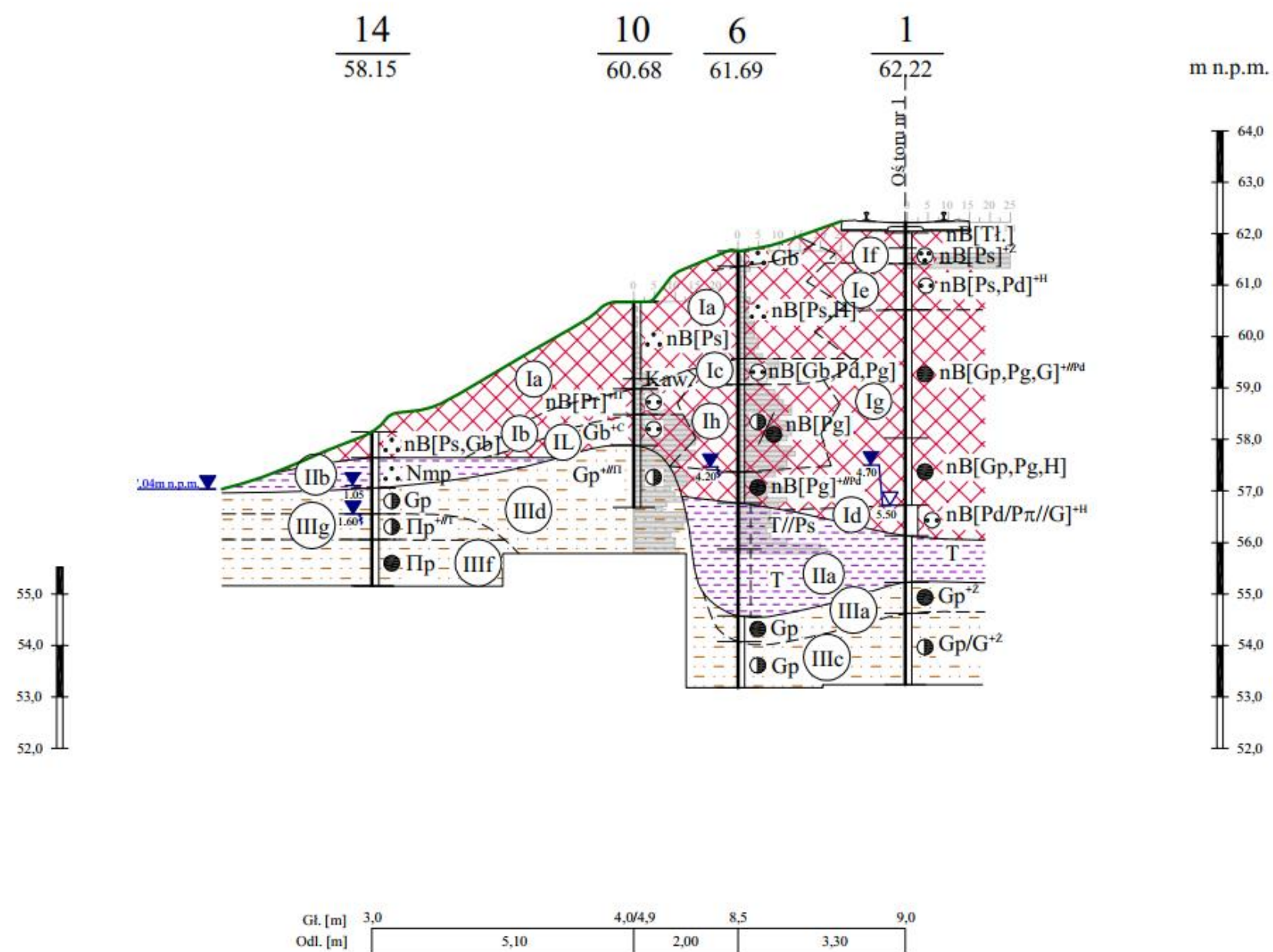
Ryc. 12. Plan sytuacyjny – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 273, km 291,160 – 291,190

W miejscach badań występują warstwy nasypów budowlanych, nasypów niebudowlanych, zbudowanych z gruntów spoistych (o wartościach $I_L=0,30\div0,20$) – glin piaszczystych, glin, piasków gliniastych oraz gruntów niespoistych (o wartościach $I_D=0,20\div0,70$) – piasków średnich, grubych, drobnych, pylastych, pospólek oraz gleby, o miąższości dochodzącej do 6,10 m od powierzchni terenu. W rejonie otworów 1, 2, 6, 7, 11, 12, 14, 15, 16 pod warstwą nasypów budowlanych i nasypów niebudowlanych zalegają utwory akumulacji bagienno-rzecznej wykształcone w facji bagiennej w postaci torfu, namulów piaszczystych oraz w facji rzecznej (o wartościach $I_D=0,35\div0,20$) w postaci piasków pylastych próchnicznych, piasków drobnych. Niżej, oraz w pozostałych otworach bezpośrednio pod warstwą nasypów niebudowlanych, nasypów budowlanych i gleby zalegają osady bezpośredniej akumulacji łądłodu zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_L=0,40\div0,10$) wykształcone w postaci glin piaszczystych, glin, glin piaszczystych na pograniczu glin. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 9,00 m od powierzchni terenu.

W trakcie prowadzonych wierceń w otworach nr 1, 11, 15 stwierdzono zwierciadło wody gruntowej pod ciśnieniem na głębokości od 5,50 m do 2,10 m od powierzchni terenu, które stabilizowało się na głębokości od 4,70 m do 1,30 m od powierzchni terenu tj. na rzędnej od 57,52 m n.p.m. do 57,06 m n.p.m. W otworze nr 16 stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokości 1,90 m od powierzchni terenu, czyli na rzędnej 56,82 m n.p.m. W otworach nr 6, 7, 8, 14 stwierdzono sączenie wody gruntowej na głębokości od 5,70 m do 1,60 m, czyli na rzędnych od 55,88 m n.p.m. do 57,49, która w otworach nr 7 i 14 ustabilizowała się na głębokości 4,40 m i 1,05 m, czyli na rzędnej 57,18 m n.p.m. i 57,10 m n.p.m. Z kolei w otworach nr 2 ÷ 5, 9, 10, 12, 13 nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej do badanych głębokości od powierzchni terenu.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić od +1,5 m do -1,00 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych.

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY I - I



Ryc. 13. Przekrój geotechniczny I-I w km 291,161

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH.

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

Na linii kolejowej nr 273 Wrocław Gł. - Szczecin Gł. w latach 1974÷1976 została przeprowadzona modernizacja na analizowanym odcinku, która polegała na dobudowie drugiego toru, czyli toru nr 1 oraz wydłużeniu i zmianie konstrukcji przepustu. W istniejący przepust ceglany o sklepieniu łukowym, wprowadzono konstrukcję ramowego przepustu żelbetowego S-150x150 o długości 22,5m. Z wywiadu terenowego z pracownikami PKP pamiętającymi modernizację oraz po przeprowadzeniu badań geotechnicznych w kwietniu 2016 roku na awaryjnym odcinku wynikało, że sposób prowadzenia robót ziemnych, a zwłaszcza „wzmocnienie istniejącego przepustu” nie spełniał wymagań inżynierskich.

W rejonie awaryjnym, po przeprowadzeniu badań geotechnicznych stwierdzono, że w podłożu występują grunty organiczne, które nie zostały wymienione ani odpowiednio skonsolidowane. Nasyp pod torem nr 1 zbudowano z gruntów, gliniastych i piaszczystych w różnych stanach, w różnych proporcjach oraz wbudowanych w zupełnie przypadkowe miejsca. Nasyp toru nr 1 z uwagi, na jakość wbudowanych gruntów, stanowi konstrukcję, która łatwo podlega oddziaływaniu atmosferycznemu takiemu jak zawilgocenie czy wysadziny w strefie przyskarpowej – zwłaszcza, że jest to odcinek w rejonie rozlewisk. Dodatkowo drgania od sprzętu ciężkiego, który był używany przy modernizacji toru nr 2, wpłynęły destrukcyjnie na stan techniczny toru nr 1. Obecnie nasyp na omawianym odcinku, którego wysokość waha się w granicach 4÷5m, wykazuje wyraźne cechy deformacji w postaci rozpełzania się skarp, lokalnych rozcięć erozyjnych o niewielkich głębokościach. Dodatkowo stwierdzono deformacje nasypu o charakterze lokalnego leja sufozyjnego, który spowodował znaczne rozluźnienie nasypu zwłaszcza pod tokiem zewnętrznym toru nr 1. Rozluźnienie to charakteryzuje się również powstaniem kawern (obszarów pustek) w korpusie nasypu.



Fot. 9. Deformacja skarpy - brak ławy torowiska i odsłonięte czoła podkładów



Fot. 10. Brak ławy torowiska i odsłonięte czoła podkładów

Odsłonięcia czoła podkładów są skutkiem zniszczenia – braku ławy torowiska i dowodzą istnienia permanentnego procesu rozpełzania się skarpy. Z dużym prawdopodobieństwem można postawić tezę, że jednym, ale nie jedynym, z czynników sprawczych, stanu awaryjnego nasypu są procesy sufozyjne, polegające na systematycznym wymywaniu cząstek gruntu, powodując wzrost porowatości, czyli rozluźnienie korpusu nasypu, a w konsekwencji powstanie niestatecznej konstrukcji ziemnej.

W przeszłości występowały wysokie stany wody gruntowej, nasyp był podtapiany i poddawany dużym wahaniom zwierciadła wody gruntowej wywołującym zjawiska o znacznej wartości ciśnienia spływowego. Ostatnie takie zjawisko, przed awarią, było w roku 2014 i miało ono bardzo istotny wpływ na pogorszenie jakości technicznej nasypu. Po intensywnych i długotrwałych opadach atmosferycznych, nastąpiła wyraźna deformacja konstrukcji linii kolejowej uniemożliwiająca bezpieczną jej eksploatację. [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Nasyp taki z łatwością poddaje się oddziaływaniom procesów zewnętrznych - egzogenicznych takich jak: deszcz, zamórz, insolacja, drgania, wysadziny i grawitacja, które potęgują i przyspieszają procesy deformacji skarpy.

Zupełnie odrębnym zagadnieniem jest stan techniczny przepustu ceglanego z roku 1876. Na stropie przepustu ceglanego posadowiony jest tor nr 2 oraz częściowo tor nr 1. Przepust łukowy - sklepiony wykonany w konstrukcji murowanej z cegły, wykonany został podczas budowy linii jednotorowej w roku 1876. W istniejący przepust ceglany wprowadzono w latach 1974 ÷ 1976 konstrukcję ramowego przepustu żelbetowego S-150x150, o długości 22,5 m.

Dla przeprowadzenia oględzin przepustu ceglanego, a przede wszystkim stanu technicznego jego sklepienia odsunięto część ziemi. Po odsłonięciu gruntu i uzyskaniu możliwości sprawdzenia sklepienia stwierdzono, że przestrzeń między sklepieniem, a wypełniającym przepust gruntem jest pusta oraz, że na sklepieniu zauważa się pęknięcia i rysy.

Istnienie wolnej przestrzeni pomiędzy gruntem a sklepieniem dowodzi, że całe obciążenie od ruchu pociągów przenosi konstrukcja ceglana z 1876r. Spękania w węzłowie sklepienia świadczą o znacznym wyężeniu konstrukcji starego przepustu. Konstrukcja nowego przepustu, który przenosi niewielkie obciążenie ciężaru własnego i ciężaru części nasypu toru nr 1, nie wykazuje żadnych zniszczeń. Przy ocenie wizualnej nie stwierdzono pęknięć konstrukcji czy nierównomiernego osiadania prefabrykowanych ram żelbetowych.



Fot. 11. Deformacja skarpy – powstanie leja sufozyjnego, odsłonięte czoła podkładów



Fot. 12. Przepust ramowy żelbetowy prefabrykowany zainstalowany w przepuscie sklepionym –cegłany z 1876r. Widok od strony toru nr 2



Fot. 13. Wewnętrzna część sklepienia przepustu ceglanego z 1876 roku

Prawdopodobny mechanizm deformacji korpusu nasypu i skarpy

Destrukcja techniczna skarpy jest wynikiem sumowania się zjawisk i procesów egzogenicznych występujących w obrębie podłoża gruntowego oraz historii budowy, modernizacji i utrzymania linii. Zjawiska i procesy występujące w obrębie tej budowli mają charakter obiektywny. Natomiast historia budowy i modernizacji oraz jakość utrzymania linii mają charakter całkowicie subiektywny, co znaczy, że przy zachowaniu właściwych standardów technicznych, stan linii na tym odcinku byłby inny.

Nasyp toru nr 1 na badanym odcinku zbudowany został z gruntów gliniastych i piaszczystych w różnych stanach, w różnych proporcjach oraz wbudowanych w zupełnie przypadkowe miejsca. W korpusie nasypu dominują przede wszystkim grunty mało i średnio spoiste, które zgodnie z tablicą „Podział gruntów pod względem wysadzinowości” zawartej w Instrukcji [Instrukcja Badań Podłoża..., 1998], oraz w oparciu o normę PN-86/B-02480 [Grunty budowlane..., 1986] są gruntami wysadzinowymi i bardzo wysadzinowymi. Ponieważ awa-

ryjny odcinek nasypu występuje w rejonie rozlewiska i w dodatku od strony wody naporowej, to na skutek podsiąkania kapilarnego w okresie mrozów realizował się proces wysadzinowości. Powtarzające się procesy zamrozu skutkowały permanentnym rozluźnianiem się strefy przyskarpowej na głębokość do ok. 1,0m.

Drugim elementem istotnie decydującym o mechanizmie deformacji korpusu nasypu i skarpy na tym odcinku linii kolejowej jest skład rodzajów gruntów wbudowanych w nasyp, w którym oprócz gruntów mineralnych występują elementy antropogeniczne takie jak: drewno (podkłady drewniane), cegła i kamienie. Układ mineralno-antropogeniczny daje możliwość powstania przesklepienia w górnej strefie korpusu nasypu. Przesklepienie takie ma ograniczoną, stosunkowo niewielką nośność, która mogła być przekroczona na skutek wprowadzenia ciężkiego sprzętu budowlanego, emitującego duże drgania przy robotach naprawczych toru nr 2.

W przeszłości na skutek naturalnego tworzenia żeremi bobrowych (obszar oddziaływania Natura 2000), następowało spiętrzenie wody w przylegającym rozlewisku. Spiętrzenie było od strony toru nr 1, co powodowało nadmierne zawilgocenia, a więc i uplastycznienie nasypu właśnie od strony toru nr 1. Taki stan sprzyjał procesom rozpełzania i wymywania drobnej frakcji gruntu. Uplastyczniona i dociążona wodami kapilarnymi skarpa, poddana drganiom od przejeżdżających pociągów, ulegała zgodnie z siłą grawitacji rozpełzaniu się, czyli zmianie geometrii. Zmiana geometrii nasypu w tym niszczenie, a miejscami likwidacja ławy torowiska, podstawowej konstrukcji stabilizującej pryzmę tłucznia, powodowała niestacność toru.

Kolejnym ważnym elementem jest fakt występowania w podłożu warstwy torfów. Rok 2015 należał do lat bardzo suchych, w którym wody gruntowe opadły miejscami o ponad 1,5m. Suchy okres umożliwił obniżenie zwierciadła wody gruntowej do pozycji, w której odsłoniły się grunty organiczne, w naszym przypadku torfy. Na odsłonięte torfy działają bakterie tlenowe powodując „błyskawiczny” w stosunku do bakterii beztlenowych, rozkład organicznej materii pochodzenia fitogenicznego – roślinnego.

Te wyżej opisane mechanizmy spowodowały, że nasyp został wewnętrznie mocno zdylatowany nawet do stanu, w którym zostały utworzone kawerny i rozluźnienia do głębokości kilku metrów.

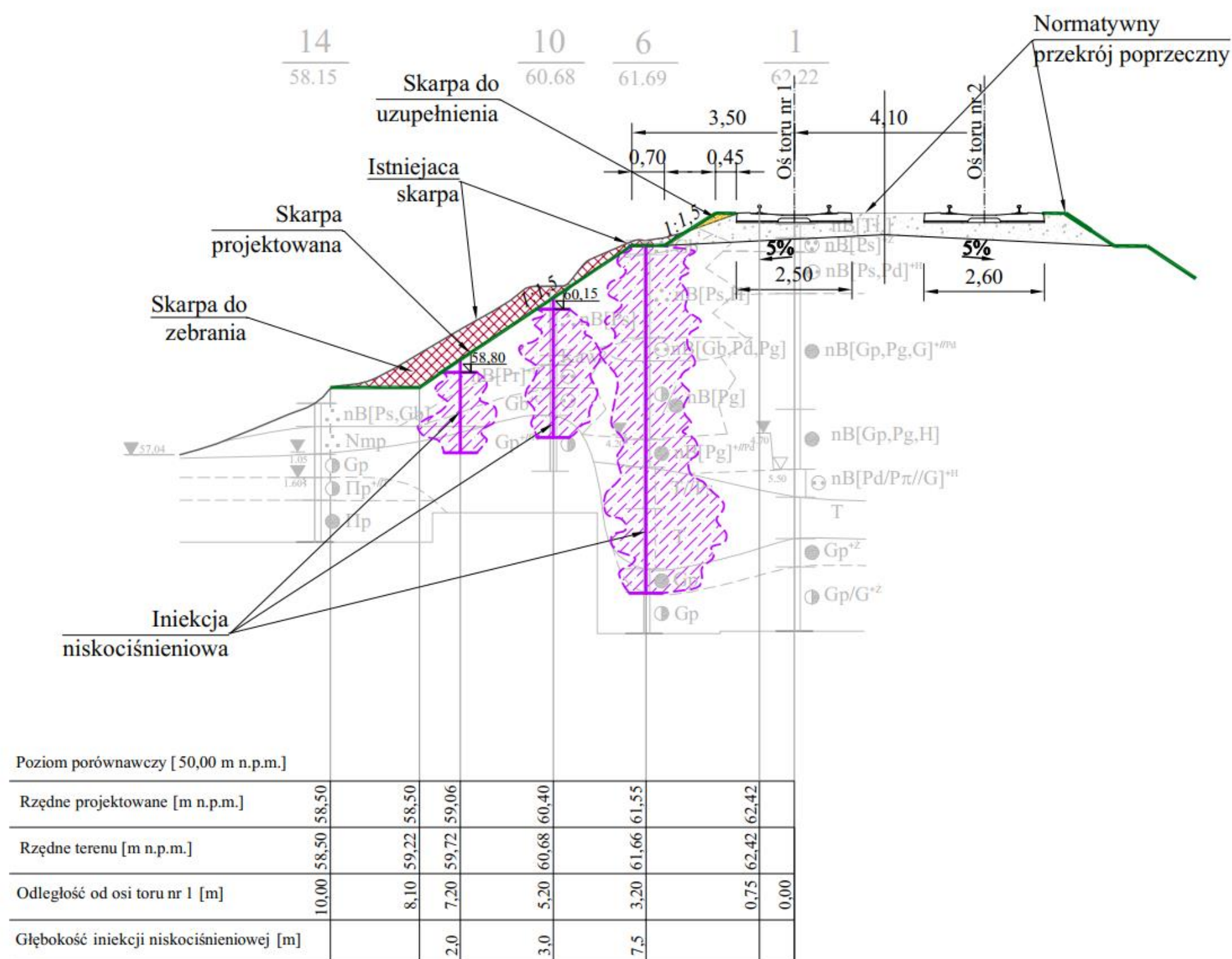
Prowadzone prace modernizacyjne i remontowe na torze nr 2 na przełomie 2015 i 2016 roku, spowodowały konieczność wprowadzenia ciężkiego sprzętu emitującego znaczne drga-

nia. Drgania te prawdopodobnie spowodowały załamanie się naturalnych sklepień gruntowych, pod którymi występuje wolna przestrzeń lub bardzo rozluźnione grunty. Nasyp w takim stanie został poddany procesowi spływającej wody z topniejącego śniegu oraz wód opadowych. Spływ wód jest zgodny z naturalnym nachyleniem stropu gruntów spoistych. Spływające wody wywołały procesy sufozyjne. Strefy przestrzeni sufozyjnych nie można było ustalić mimo napełniania leja sufozyjnego wodą. Prawdopodobnie woda uchodziła w strefie zniszczonych drenów-rowów odpływowych podłużnych. [Materiały własne]

ROBOTY NAPRAWCZE

Wzmocnienie korpusu nasypu, również w obrębie skarpy zostało wykonane technologią pionowej iniekcji niskociśnieniowej. Wzmocnienia przepustu, w strefie między stropem żelbetowej konstrukcji ramowej, a konstrukcją ceglanego przepustu sklepionego, wykonano przez zasypanie przestrzeni tej gruntem z jednoczesnym zastosowaniem technologii poziomej i pionowej iniekcji niskociśnieniowej. Odbudowano geometrię nasypu poprzez uzupełnienie gruntów w obrębie skarpy.

Z uwagi na zbyt małe światło i rozmycie skarpy nasypu kolejowego przy przepuszczeniu, zaprojektowano w istniejącym przepuszczeniu ceglanym, zabudowę trzech rur $\varnothing 500$, powiększając światło przepustu i w przypadku wysokich stanów wody w cieku pozwalającą na większy przepływ wody.



Ryc. 14. Przekrój poprzeczny I-I w km 291,161 przedstawiający sposób naprawy nasypu i skarpy



Fot. 14. Naprawcze roboty budowlane – wykonywanie iniekcji niskociśnieniowej

1.5. Linia kolejowa nr 405, km 75,100 - 75,300

Lokalizacja

Linia kolejowa LK 405 km 75,100 ÷ 75,300 jednotorowa, na odcinku awarii posadowiona jest w trawersie zbocza o znacznym nachyleniu. Awaryjny fragment linii znajduje się między stacją Szczecinek a przystankiem Gwda Mała i przylega do znacznego kompleksu leśnego. W bezpośredniej bliskości linii kolejowej istniało ok. 11ha stawów hodowlanych. W latach 1980-tych i 1990-tych obniżało się zwierciadło wody gruntowej i stawy zaczęły wysychać. [Atlas linii kolejowych, 2014].

Historia budowy linii kolejowej

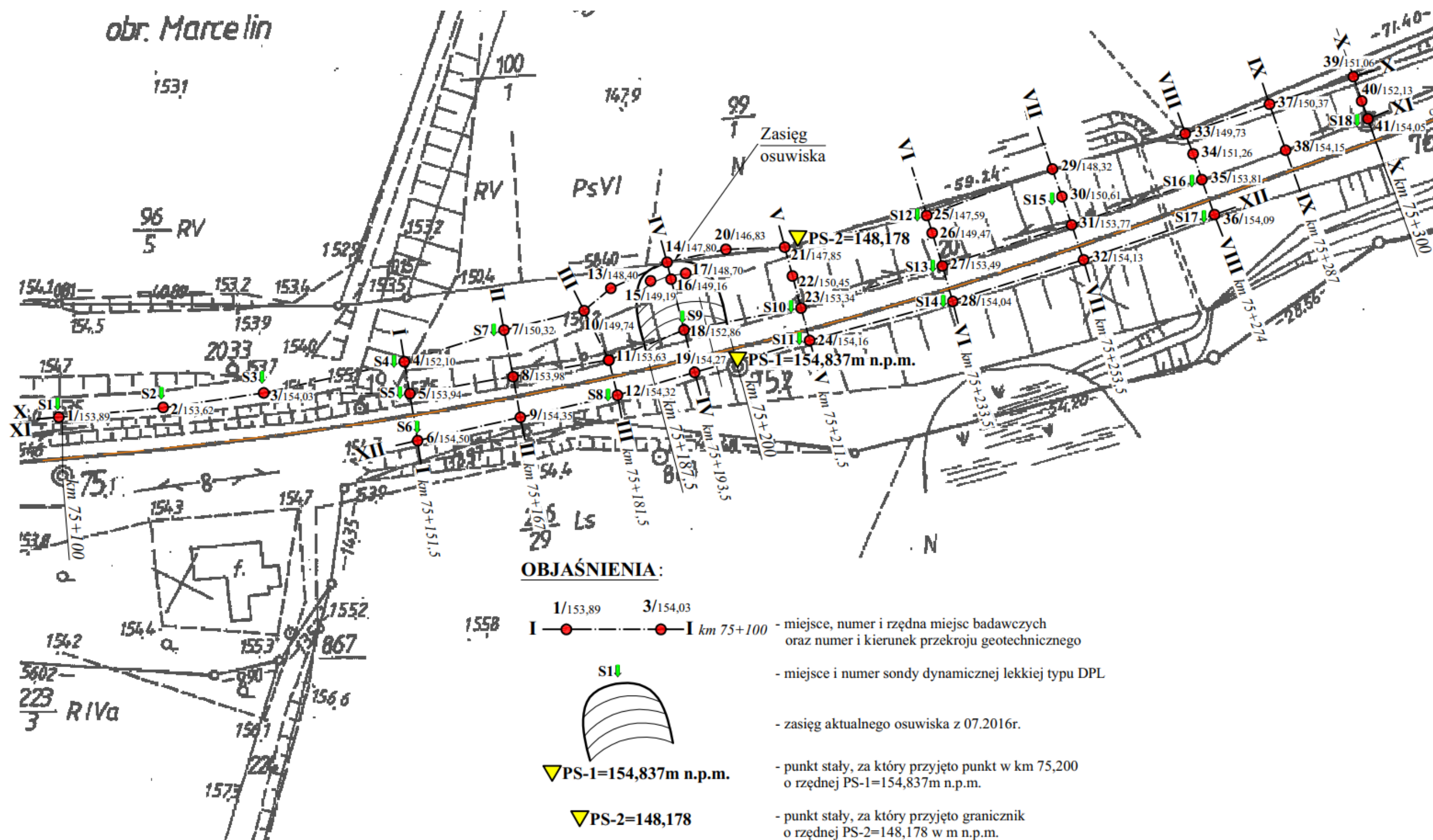
Linia kolejowa została wybudowana w latach 1875÷1878 z gruntów miejscowych. Linia nr 405 na odcinku Szczecinek – Korzybie została otwarta 01.10.1878r jako linia jednotorowa. Na odcinku awarii posadowiona jest w trawersie zbocza o znacznym nachyleniu [Atlas linii kolejowych, 2014].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Na wschód i północ od Pojezierza Myśliborskiego znajduje się obręb jednostki fizjograficznej - Pojezierze Szczecineckie (314.66). Pojezierze Szczecineckie jest wysoczyzną morenową położoną na zewnątrz moren czołowych fazy pomorskiej, pomiędzy sandrem Równiny Wałeckiej na zachodzie i Doliną Gwdy na wschodzie. Na Pojezierzu Szczecineckim zaznaczają się dwa pasma moren czołowych o wysokościach do 205 m n.p.m. (m.in. Skotna Góra). W krajobrazie regionu dominuje powierzchnia moreny dennej, pokrytej mnóstwem małych jezior; największym jest Pile (980 ha), z którego wypływa rzeka Piława (dopływ Gwdy). Całość terenu jest bogata w liczne zbiorniki wodne. Jest to mezoregion o charakterze pagórkowatej moreny dennej, położonej pomiędzy kolejnymi ciągami recesyjnych moren czołowych fazy pomorskiej stadiału górnego zlodowacenia Wisły. Na północnym zachodzie występuje piaszczysta, płaska równina erozyjno-akumulacyjna wód roztopowych, która w górnym odcinku Parsęty określana jest mianem sandru dolinnego. Na południu i północnym-wschodzie obszaru równinę sandrową tworzą piaski wodnolodowcowe, urozmaicają — mniej lub bardziej głębokie misy jezior [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Przeprowadzone w lipcu i sierpniu 2016 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 41 otworów badawczych o głębokości od 2,00 m do 10,50 m, łącznie odwiercono 245,80 mb,
- wykonano 18 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 1,90 m do 7,80 m, łącznie 87,50 mb,



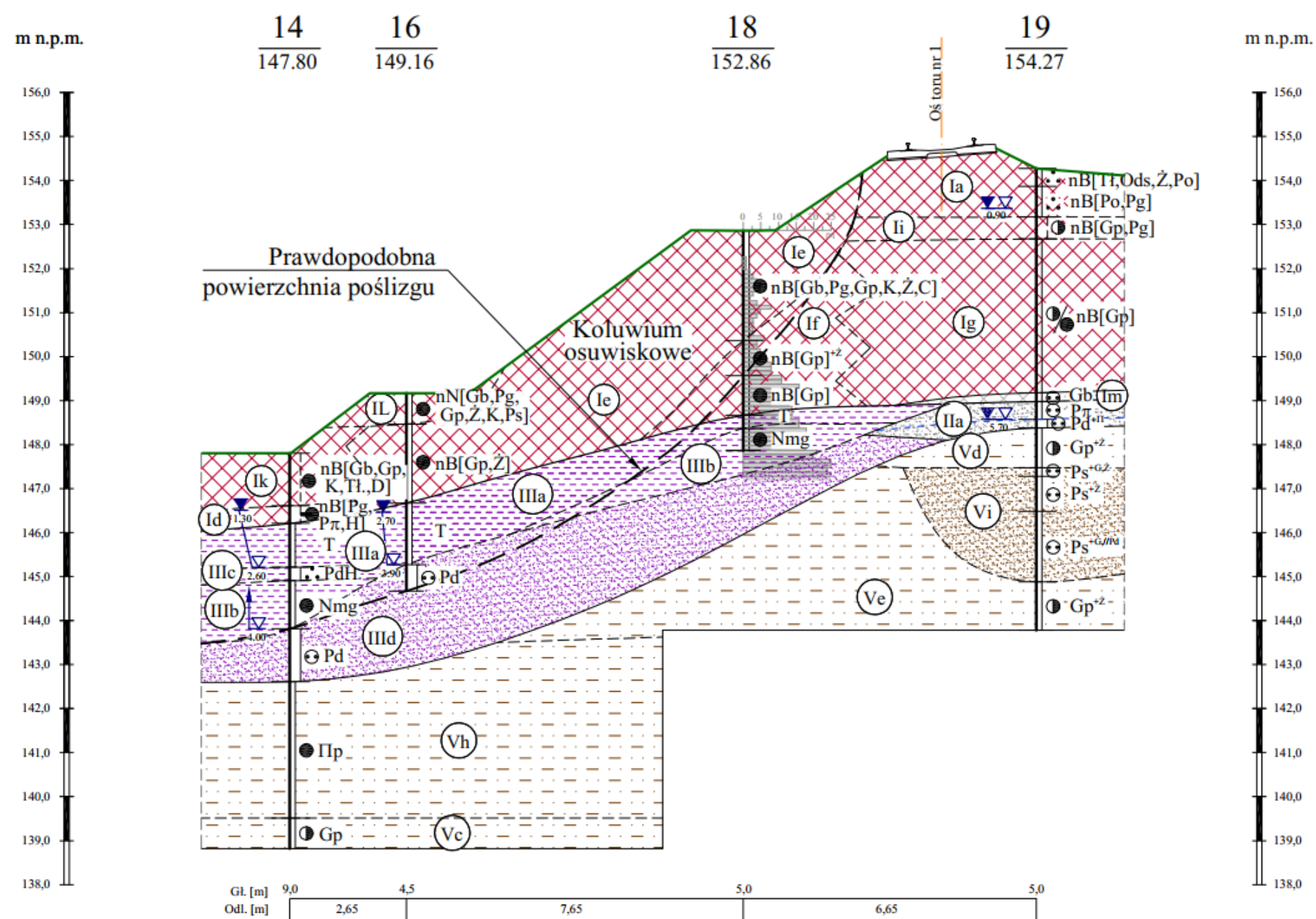
Ryc. 15. Plan sytuacyjno – wysokościowy z lokalizacją obszaru badań LK 405, km 75,100 – 75,300

W miejscach badań występują warstwy nasypów budowlanych zbudowanych z gruntów spoistych (o wartościach $I_L=0,35\div0,20$) – glin piaszczystych, glin, piasków gliniastych oraz gruntów niespoistych (o wartościach $I_D=0,20\div0,45$) – piasków średnich, drobnych, pylastych oraz nasypów niebudowlanych i gleby, o miąższości dochodzącej do 6,40 m od powierzchni terenu. W rejonie otworów 1 ÷ 12 pod warstwą nasypów budowlanych i gleby zalegają utwory akumulacji wodnolodowcowej zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_D=0,20\div0,60$) wykształcone w postaci piasków drobnych, piasków średnich, pospólek, piasków grubych na pograniczu pospólek z przewarstwieniami osadów spoistych (o wartościach $I_L=0,35\div0,10$). Otwory nr 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 25, 28, 32 to strefa występowania osadów akumulacji bagienno-rzecznej wykształconych w facji bagiennej w postaci torfu, namulów gliniastych, piasków drobnych próchnicznych, oraz w facji korytowej (o wartościach $I_D=0,30\div0,50$) piasków drobnych, piasków średnich. W otworach 19, 29, 33, 36, 37 występują piaski pokrywowe (o wartościach $I_D=0,40\div0,70$). Niżej, oraz w pozostałych otworach bezpośrednio pod warstwą nasypów niebudowlanych, nasypów budowlanych i gleby zalegają osady bezpośredniej akumulacji lądolodu zlodowacenia północnopolskiego fazy poznańsko-dobrzyńskiej (o wartościach $I_L=0,35\div0,00$) wykształcone w postaci glin piaszczystych, glin, glin piaszczystych na pograniczu glin, piasków gliniastych z soczewkami osadów piaszczystych. W otworach nr 24, 25, 28, 29, 32, 33, 36, 37, 39 pod osadami bezpośredniej akumulacji lądolodu występują osady akumulacji wodnolodowcowej zlodowacenia północnopolskiego fazy poznańsko – dobzyńskiej (o wartościach $I_D=0,20\div0,50$) wykształcone w postaci piasków pylastych, piasków drobnych, piasków średnich. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 10,50 m od powierzchni terenu.

W trakcie przeprowadzonych wierceń w otworach nr 13, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 24, 28, 32, 36 nawiercono zwierciadło wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatycznym na głębokości od 10,20 m do 2,60 m poniżej powierzchni terenu, tj. na rzędnej od 141,63 m n.p.m. do 146,39 m n.p.m., które stabilizowało się na głębokości od 8,70 m do 0,70 m poniżej powierzchni terenu tj. na rzędnej od 145,39 m n.p.m. do 146,59 m n.p.m.

W otworze nr 33, 37 stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokości od 4,20 m do 4,40 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnej odpowiednio 145,53 m n.p.m. i 145,97 m n.p.m.

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY IV - IV



Ryc. 16. Przekrój geotechniczny IV-IV w km 75+193,5

W otworze nr 10, 19, 28, 32 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej w postaci wody zawieszanej na gruntach spoistych, na głębokości odpowiednio 1,30 m, 0,90 m i 5,70 m, 6,20 m, 8,10 m p.p.t., czyli na rzędnych od 146,03 m n.p.m. do 153,37 m n.p.m.

W otworach nr 1 ÷ 9, 11, 12, 18, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 34, 35, 38 ÷ 41 nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej do badanych głębokości poniżej powierzchni terenu.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić od +2,00 m do -1,00 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych [Materiały własne].

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

Przyczyny rozwoju procesów destrukcyjnych skarpy nasypu kolejowego w km 75,100÷75,300 linii kolejowej nr 405 Piła Główna – Ustka, (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Szczecinek, a przystankiem Gwda Mała) należy upatrywać w wielu aspektach techniczno-eksploatacyjnych, hydrologicznych, geologicznych, egzogenicznych i biogenicznych. Nasyp kolejowy zbudowany z gruntów miejscowych, na analizowanym odcinku, posadowiony jest w trawersie zbocza o znacznym nachyleniu. Po przeprowadzonych badaniach geotechnicznych w październiku 2016 roku, stwierdzono że nasyp zbudowany jest z gruntów piaszczystych i gliniastych, mało spoistych w różnych stanach, w różnych proporcjach oraz wbudowanych w zupełnie przypadkowe miejsca. Grunty te są przede wszystkim gruntami spoistymi zaliczanymi do gruntów wysadzinowych i bardzo wysadzinowych.

Prawdopodobny mechanizm deformacji korpusu nasypu i zniszczenia skarpy

W latach 1980-tych i 1990-tych w bezpośredniej bliskości linii kolejowej istniało ok. 11ha stawów hodowlanych. W końcu lat 90-tych na skutek zabiegów technicznych prowadzonych w lasach przylegających do linii kolejowej, zostały zmienione diametralnie warunki hydrologiczne wód powierzchniowych, które wg. relacji mieszkańców, spowodowały odcięcie dopływu wód do istniejących stawów hodowlanych. Ten suchy okres umożliwił obniżenie zwierciadła wody gruntowej do pozycji, w której czasowo odsłoniły się grunty organiczne, w

omawianym przypadku torfy. Skutkiem tego był wzrost bakterii tlenowych (aerobowych), które przyspieszyły proces biochemicznego rozkładu masy organicznej. Taki rozkład podłoża organicznego, skutkował osiadaniem podłoża w strefie podparcia skarpy. To z kolei wpłynęło na rozpełzywanie skarpy nasypu, która straciła realne podparcie na nieskonsolidowanym podłożu organiczno-mineralnym. Obniżanie się strefy podparcia skarpy, uruchomiło proces rozluźnienia gruntów w obrębie skarpy i zwiększyło jego porowatość. Czas deformacji i destrukcji skarpy to ostatnie 30-lat. Skarpa na tym odcinku osiągnęła stan równowagi chwiejnej.

Drugim bardzo istotnym elementem procesu osuwiskowego był stan techniczny samego nasypu.

Nasyp na analizowanym odcinku zbudowany jest z gruntów piaszczystych i gliniastych, mało spoistych w różnych stanach, w różnych proporcjach oraz wbudowanych w zupełnie przypadkowe miejsca. Grunty te, przede wszystkim są gruntami spoistymi zaliczanymi do gruntów wysadzinowych i bardzo wysadzinowych, a ponieważ występują w rejonie rozlewiska to dzięki podsiąkaniu kapilarnemu w okresie mrozów realizował się proces wysadzinowości.

Grunty gliniaste mało spoiste i spoiste znajdujące się w dolnych partiach konstrukcji nasypu, w okresach zimowych poddawane są harmonicznemu przemarzaniu, co tworzy wysadziny i dylatuje strefę przypowierzchniową skarpy. Powtarzające się procesy zamrozu skutkowały permanentnym rozluźnianiem się strefy przyskarpowej na głębokość do ok. 1,0m. Przy takich zjawiskach następuje znaczne zwiększenie porowatości i zmniejszenie spójności międzygranularnej. Wzrost porowatości w wyniku procesu biochemicznego rozkładu masy organicznej oraz procesy dylatujące strefę przypowierzchniową skarpy, spowodowały zmniejszenie spójności i kąta tarcia wewnętrznego gruntów budujących skarpe. Wystarczyło, by skarpa została dodatkowo obciążona wodami opadowymi, które znalazły miejsce w zwiększonej porowatości, aby nastąpiła awaria w postaci osuwiska. Awaria powstała właśnie po okresach intensywnych i stosunkowo długotrwałych opadach atmosferycznych. Zmniejszenie tych parametrów geotechnicznych jest bezpośrednią przyczyną powstania osuwiska. Powierzchnia osuwiskowa zaistniałego ruchu masowego jest zgodna z naturalnym nachyleniem zbocza. Ponadto, istnieje stałe zagrożenie bezpieczeństwa ruchu pociągów. Destrukcja techniczna skarpy jest wynikiem sumowania się zjawisk i procesów techniczno-eksploatacyjnych, hydrologicznych, geologicznych, egzogenicznych i biogenicznych występujących w obrębie

podłoża gruntowego oraz historii budowy, modernizacji i utrzymania linii. Zjawiska i procesy występujące w obrębie tej budowli mają charakter obiektywny.



Fot. 15. Miejsce awarii – tymczasowe zabezpieczenie nasypu. Na zdjęciu widoczna założona konstrukcja odcciążająca z wiązek szyn dla utrzymania stabilności toru i awaryjnej przejezdowości toru



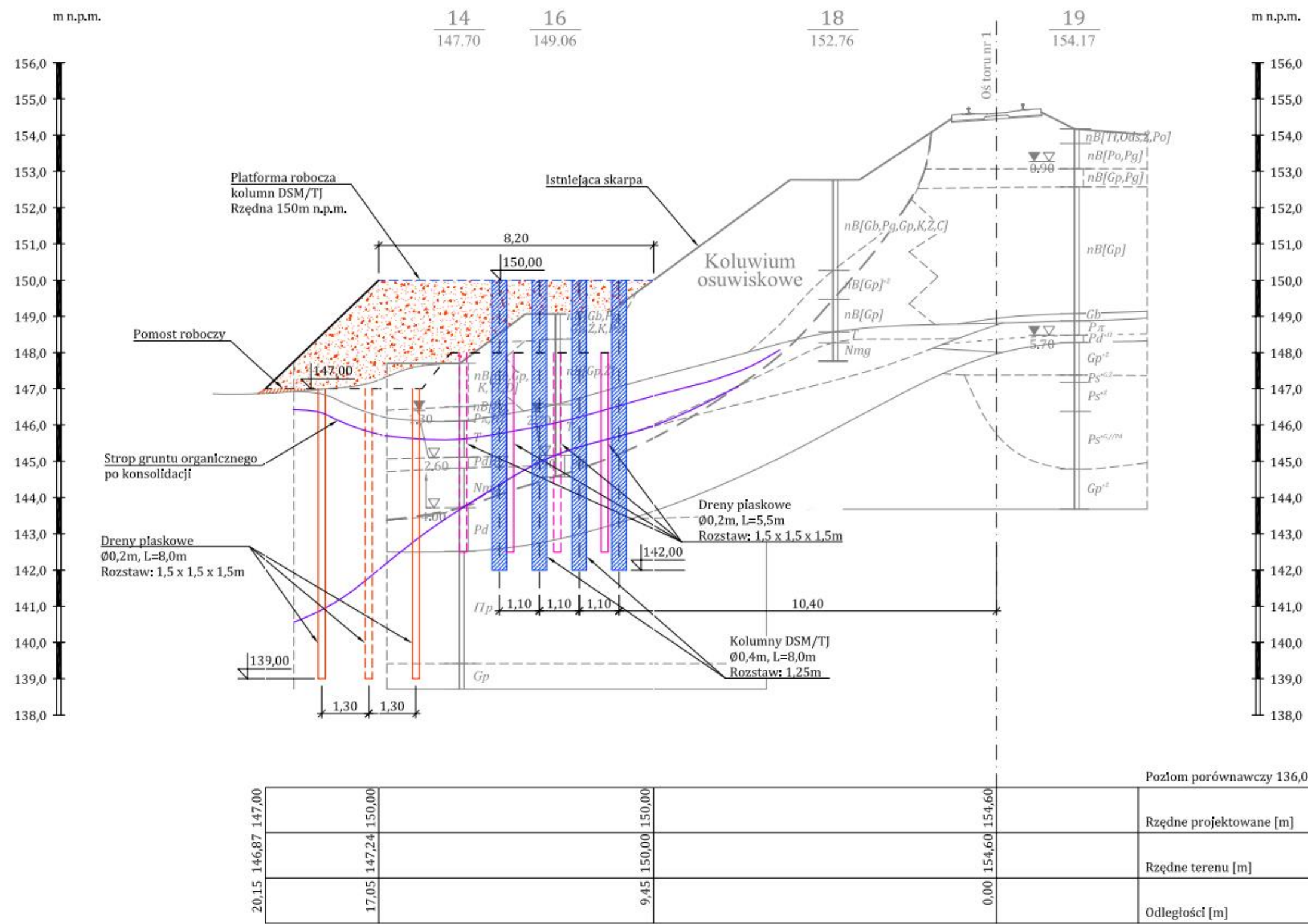
Fot. 16. Spękania widoczne na tymczasowym zabezpieczeniu nasypu, świadczą o pełzającym osuwisku

ROBOTY NAPRAWCZE

Naprawcze roboty budowlane prowadzono w okresie listopad 2016 - maj 2017 roku. Naprawę skarpy nasypu podzielono na dwa etapy. Pierwszy polegał na przeprowadzeniu procesu konsolidacji podłoża torfowego z wykorzystaniem nasypu konsolidującego i piaskowych drenów pionowych. Po zakończonym procesie konsolidacji w etapie II wykonano kolumny gruntowo-cementowe DSM oraz przyporę gruntową. W krawędzi przyskarpowej w strefie zagrożonej osuwiskami wykonano dodatkową konstrukcję oporową w postaci ściany gabionowej.



Fot. 17. Zakończone prace naprawcze



Ryc. 17. Przekrój poprzeczny w km 75+193,5 z elementami naprawy skarpy

1.6. Linia kolejowa nr 203, km 290,600 ÷ 290,720.**Lokalizacja**

Skarpa nasypu kolejowego od strony południowej w km 290,600÷290,720 linii kolejowej nr 203 Tczew – Kostrzyn, odcinek szlakowy pomiędzy stacją Gorzów Wielkopolski Wschodni, a stacją Santok (województwo lubuskie, powiat gorzowski). Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest jako linia dwutorowa w nasypie, którego wysokość dochodzi do 6,0 m.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 203 Tczew-Kostrzyn na odcinku Krzyż - Gorzów Wlkp. została wybudowana i oddana do użytku jako linia jednotorowa 12.10.1857 roku. Dobudowa drugiego toru odbyła się w latach 1864 ÷ 1868. Na tym odcinku nie została zelektryfikowana. We fragmencie awaryjnym jest posadowiona w trawersie zbocza w bezpośredniej bliskości rzeki Warty, [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Na południowy wschód od Pojezierza Myśliborskiego znajduje się teren osuwiska, który zgodnie z podziałem na jednostki fizjograficzne zaliczany do Kotliny Gorzowskiej (315.33) będącej fragmentem pradoliny Toruńsko – Eberswaldzkiej. W szczegółowym podziale geomorfologicznym mieści się w obrębie zbocza holocénskich teras Warty: (terasa ponadzalewowa) i (terasa denno zalewowa) według podziału B. Krygowskiego [Krygowski, 1961]. Poziomy terasowe holocénskie oraz wyżej położone plejstocénskie terasy zostały wypreparowane w wysoczyźnie morenowej obrzeżającej północne zbocze pradoliny. Osady terasy holocénskiej (zalewowej) składają się z aluwów rzecznych wykształconych w trzech facjach: rozlewiskowej (mady rzeczne), bagiennej (torf), korytowej (piaski).

Przeprowadzone w latach 2003 i 2017 badania geotechniczne:

- odwiercono 6 otworów badawczych o głębokości od 3,0 do 6,5m, łącznie 27mb (2003 rok)

- odwiercono 5 otworów badawczych o głębokościach od 2,0m do 3,0 m, łącznie odwiercono 12,90 m (2017rok)

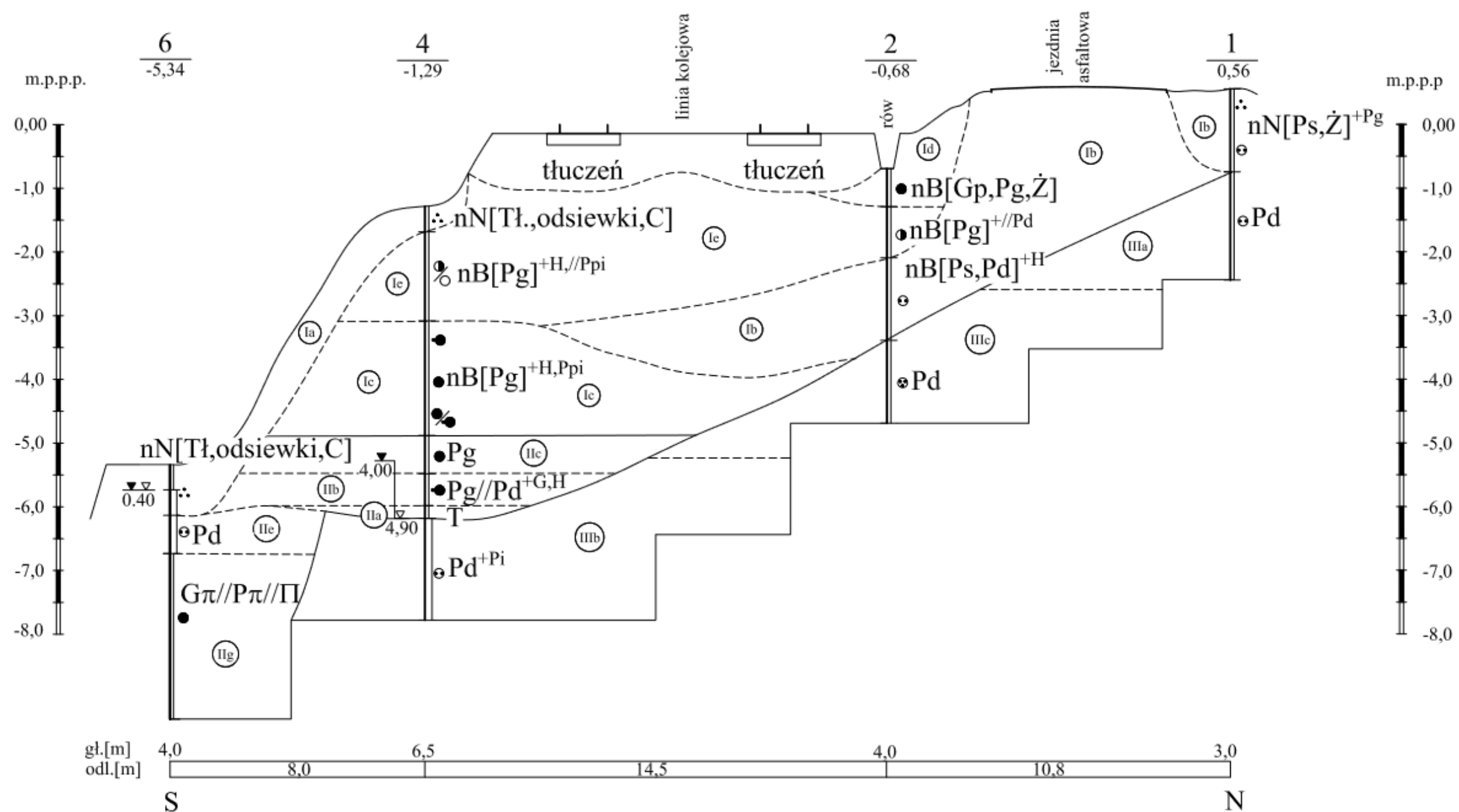
Budowa geologiczna badanego terenu jest prosta i zależy od procesów glacialnych zachodzących na tym terenie. Pod warstwą gleby występują osady akumulacji rzecznej wykształcone w facji bagiennej w postaci namulów piaszczystych i namulów gliniastych, facji rozlewiskowej i powodziowej reprezentowanej przez pyły piaszczyste przewarstwione piaskami pylastymi przewarstwione pyłami (o wartości $I_L=0,40$), piaski gliniaste próchniczne (o wartościach $I_L=0,40\div 0,30$), oraz facji korytowej zbudowanej z piasków pylastych, piasków drobnych, piasków średnich (o wartościach $I_D=0,40$). Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 3,00 m.

W trakcie prowadzonych wierceń w dwóch otworach badawczych stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokości 0,40 m p.p.t., czyli na rzędnych od 19,79 m n.p.m. do 19,98 m n.p.m.

Ponadto w trzech otworach stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatycznym na głębokości od 1,30 m p.p.t. do 2,50 m p.p.t., które ustabilizowało się na głębokości od 0,45 m p.p.t. do 0,70 m p.p.t. czyli na rzędnych 19,33 m n.p.m. do 19,83 m n.p.m.

W dwóch otworach stwierdzono również występowanie sączenia wody gruntowej na głębokości 0,50 m p.p.t. oraz 0,60 m p.p.t.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić od +1,00 m do -3,00 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych [Materiały własne].



Ryc. 18. Przykładowy przekrój geotechniczny

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

Na podstawie przeprowadzonej analizy wyników badań geotechnicznych podtorza kolejowego, historii linii, a przede wszystkim historii powstawania w tym rejonie osuwisk, ustalono, że powstałe osuwisko skarpy ma charakter permanentny, ponieważ pierwszy fragment nasypu kolejowego badano i stabilizowano w km 290,698÷ 290,665 już w roku 2003. Wtedy zwracano uwagę na zbyt ograniczony zakres naprawy, z czego wnioskowano o możliwym rozwoju procesu osuwiskowego. Zgodnie z przewidywaniami nowe osuwisko (rozwiniecie starego) powstało w roku 2017. Podobnie jak przy pierwszym osuwisku awarii uległa skarpa południowa nasypu oparta na gruntach organicznych i madach rzecznych doliny powodziowej rzeki Warty. Bliskość rzeki (kilkadziesiąt metrów) powoduje harmoniczne wahania wody gruntowej, okresami o katastrofalnie dużej amplitudzie, regularne podtapianie konstrukcji nasypu, a zwłaszcza jej dolnej strefy skarpy.

Skarpa nasypu w części przypowierzchniowej przysypana jest luźną warstwą odsiewek. Głębiej skarpe budują niejednorodne grunty spoiste o cechach sprzyjających przenikaniu mrozu i tworzeniu się wysadzin. Ekspozycja południowa skarpy, umożliwiająca nadmierne jej przesuszanie w okresie letnim powodując pęknięcia, w następstwie których intensyfikują się procesy wysadzinowe. Nadmierne nachylenie skarpy dochodzące do ok. 1:0,6 oraz uplastycznienie dolnej partii nasypu zbudowanego z gruntów spoistych w stanie miękkoplastycznym i plastycznym, sprzyjały procesowi destrukcji. Procesowi destrukcji sprzyjały również: budowa geologiczna podłoża gruntowego zalegającego pod skrajną częścią nasypu w postaci osadów akumulacji rzecznej wykształconych jako ściśliwe mady ($P_g \div G_\pi$) oraz organiczne (torfy). Okresowe występowania wyraźnie wysokich stanów wód gruntowych, a przede wszystkim odmarzania gruntów po okresie zimowym, infiltracja wilgoci w głąb korpusu, powstanie powierzchni osłabienia w zboczu w wyniku powstałych wysadzin, brak drożnych rowów bocznych i drgania od taboru kolejowego przekazywane na korpus nasypu kompleksowo przyczyniły się do powstania awarii.

Prawdopodobny mechanizm deformacji korpusu nasypu i zniszczenia skarpy

Mechanizm utraty stateczności skarpy polegał na rozwoju procesu osuwiskowego od podstawy nasypu w kierunku ławy torowiska. W roku 2003, powstałe w ten sposób wyluszczenie obejmowało rozległy płat na długości ok. 33,0 m i grubości ok. 1,0 m. Wielkość przemieszczenia w płaszczyźnie poziomej wynosiła na ławie torowiska ok. 50÷70 cm. W roku 2017, osuwisko obejmowało długość ok. 20,0 m i spowodowało bezpośrednio osunięcie gruntów spod toru.

Należy przypuszczać, że kompleksowym przyczynkiem aktywizującym proces osuwiska depłasywnego jest wpływ :

- infiltracji wód opadowych poprzez piaszczyste przewarstwienia nasypu w głąb spoistego podtorza,
- wysokie okresowe stany wód na rzece Warcie podtapiające podstawę nasypu,
- zjawiska mrozowe w strefie przypowierzchniowej skarpy, polegające na powstaniu wysadzin w obrębie tej powierzchni.

Rekonstruując proces rozwoju powstania osuwiska, można opisać go w sposób następujący. Korpus nasypu zbudowany z gruntów spoistych, łatwo ulegających uplastycznianiu, dodatkowo na skutek niekorzystnego uwarstwienia nasypu- warstwa nasypów piaszczystych, zdeponowana na stropie warstwy nasypów gliniastych. W wyniku odwilży, opadów atmosferycznych, spływu wód powierzchniowych i gruntowych, zboczami doliny w kierunku rzeki Warty przez korpus nasypu infiltrowała woda powodując uplastycznienie gruntów spoistych. Odmarznienie strefy przypowierzchniowej skarpy oraz powstanie zdylatowania powierzchni na granicy zasięgu zamrozu (w wyniku działania procesów wysadzinowych) czyli ok. 0,80 m. do 1,0 m., spowodowało wyraźnie osłabienie tej powierzchni. Dodatkowe dociążenie powierzchni skarpy, stosunkowo ciężkim materiałem odsiewkowym i tłuczniowym, przy wyraźnie nadmiernie nachylonej skarpie dochodzącej do ok. 1: 0,6, działało niekorzystnie na stan równowagi skarpy, która znalazła się w stanie chwiejnym. W takich warunkach, drgania pochodzące od taboru kolejowego powodują, wypieranie w kierunku skarpy, uplastycznionych gruntów spoistych spoczywających na odkształcalnym podłożu. Rozwinięcie się procesu osuwiskowego spowodowało: ruch uplastycznionej warstwy w kierunku skarpy, odkształcanie się podłoża gruntowego zbudowanego z gruntów akumulacji rzecznej wykształconego

jako ściśliwe mady ($Pg \div G\pi$) oraz organiczne (Torfy), przy wysokim stanie wody w rzece (stan powodziowy), stan chwiejny skarpy dociążonej odsiewkami, nadmiernie nachylonej i zdylatowanej wysadzinami skarpy oraz drgania pochodzące od taboru kolejowego.

Splot tych niekorzystnych zjawisk przyrody i procesów geologicznych uznano za przyczyny powstania osuwiska.



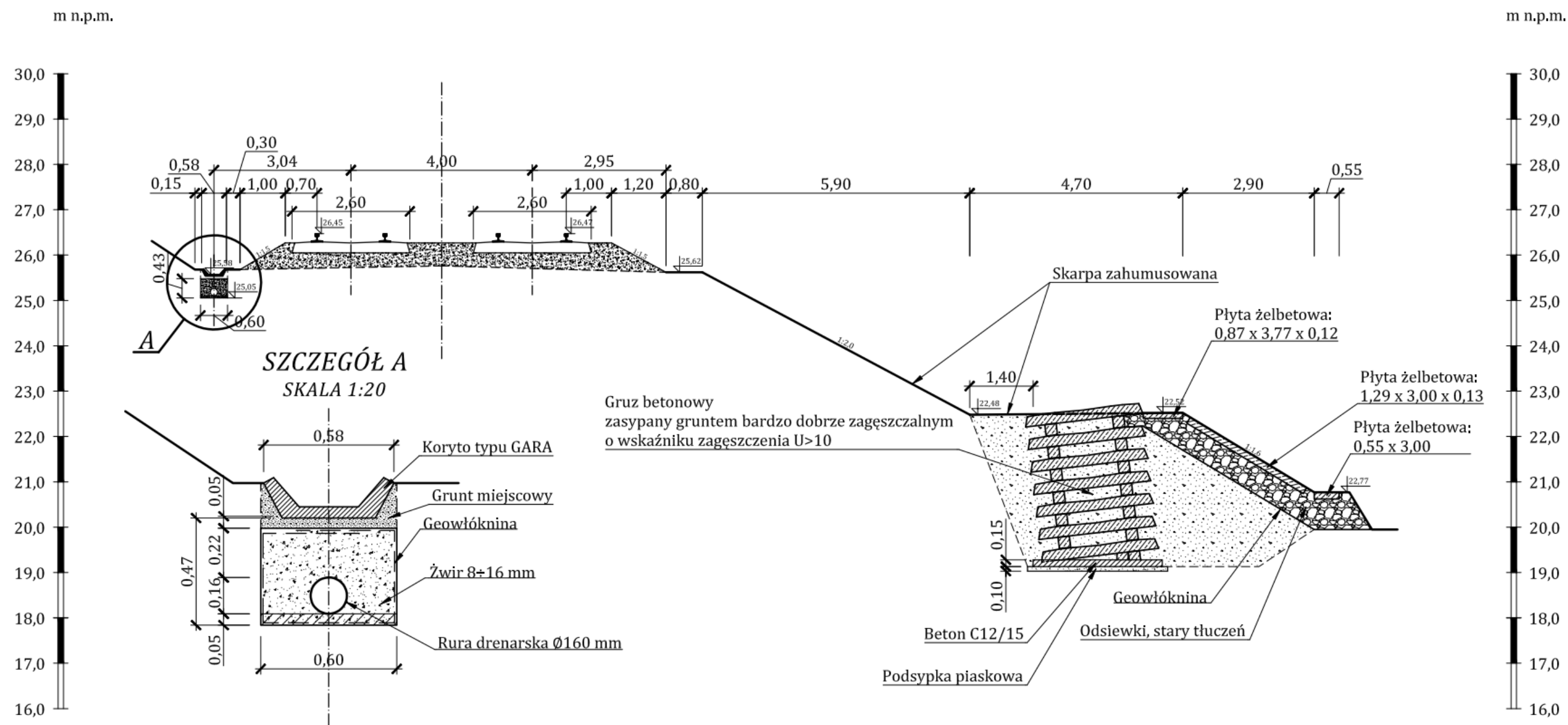
Fot. 18. Miejsce awarii – rozcięcie erozyjne wraz z lejem u podstawy skarpy. Widoczne podkłady kolejowe nie mające oparcia

ROBOTY NAPRAWCZE

Roboty budowlane prowadzono od sierpnia do listopada 2017 roku. Naprawę rozpoczęto od założenia konstrukcji odciażającej typu szwajcarskiego z wiązek szyn. Miejsce awarii tymczasowo zabezpieczono materiałem gruntowym (pospółka) wraz z jego zagęszczeniem. Następnie wykonano naprawę i wzmocnienie rowu bocznego przy torze nr 1. Kolejnym etapem było przygotowanie podłoża gruntowego, wykonanie warstwy podbudowy z chudego betonu i układanie konstrukcji kaszycowej. Skarpę konstrukcji kaszycowej zabezpieczono staroużytecznymi płytami przejazdowymi. Odbudowano geometrię nasypu z uwzględnieniem ławy torowiska. Wyprofilowano skarpę z obsianiem trawą.



Fot. 19. Miejsce awarii po docelowej naprawie



Ryc. 19. Przekrój z dokumentacji projektowej powykonawczej

1.7. Linia kolejowa nr 351, km 140,700 ÷ 141,200

Lokalizacja

Stan awaryjny skarpy nasypu kolejowego powstał w km 140,700÷141,200 linii kolejowej nr 351, Poznań Główny – Szczecin Główny szlak Choszczno - Dolice. Miejsce to zlokalizowane jest ok 1,5 km na północ od stacji Choszczno. Dotyczył skarpy i korpusu nasypu od strony południowej na odcinku o długości około 500m. Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana jest jako linia dwutorowa, w nasypie, którego wysokość dochodzi do 4,0 m. w strefie okresowo stagnujących wód powierzchniowych.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 351 Poznań Gł. - Szczecin Gł. w km 140,700÷141,200 została wybudowana około roku 1847 jako linia jednotorowa. W latach 1948÷1950 została przeprowadzona modernizacja linii, a na analizowanym odcinku wykonano dobudowę drugiego toru. W roku 1978 linia ta została zelektryfikowana. Fragment awaryjny (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Choszczno, a przystankiem Ziemomyśl) jest odcinkiem linii usytuowanym w obrębie zatorfionego rozlewiska. [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Omawiany obszar położony jest na południowy wschód od Szczecina prawie w bezpośredniej bliskości Choszczna (awaria rejon miejscowości Stawin) należy do obrębu jednostki fizjograficznej Równiny Pyrzycko-Stargardzkiej nr 313.33, w której można wyróżnić: wysoczyznę morenową występującą na północ od doliny rzeki Iny, przebiegającą równoleżnikowo dolinę Iny oraz wysoczyznę morenową z silnie rozwiniętą siecią dolin wód roztopowych. Największym z wyróżnionych obszarów jest płaska i falista wysoczyzna morenowa rozciągająca się na północ od doliny Iny. Powierzchnia wysoczyzny, zbudowanej z silnie piaszczystych glin zwałowych i piasków lodowcowych, ukształtowana została w trakcie deglacjacji arealnej fazy pomorskiej zlodowacenia Wisły. Najwyższe wzniesienie w tym rejonie osiąga 100,3 m n.p.m. Większe zróżnicowanie morfologii terenu jest związane z występowaniem

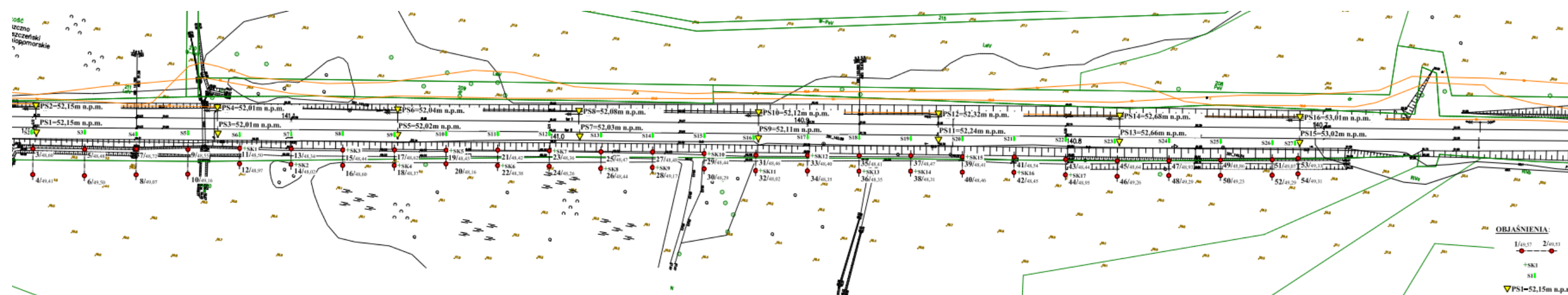
dużych form erozyjnych — rynien lodowcowych i akumulacyjnych — ciągów ozów. Równina torfowa zajmująca dno doliny Iny wznosi się na wysokości około 25–30 m n.p.m. [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Przeprowadzone w grudniu 2017 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 54 otwory badawcze sprzętem do wierceń ręcznych przy użyciu świdera okienkowego lub spiralnego o średnicy 3 cale (wiercenia okrętne) w przekrojach co ok. 20 m, o głębokości od 1,1 m do 2,8 m, razem wykonano 108,90 mb,
- wykonano 27 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości 4,0 m każde, razem wykonano 108,0 mb,
- wykonano 17 badań ścinania sondą krzyżakową FVT w gruntach organicznych przy otworach badawczych,

Pod warstwą nasypów niebudowlanych oraz gleby występują osady akumulacji bagienno - rzecznej wykształcone w facji bagiennej reprezentowane przez torf, torf przewarstwiony piaskiem średnim, torf na pograniczu namułu gliniastego, namuł gliniasty, namuł piaszczysty, w facji rozlewiskowej (o wartościach $I_L=0,40\div0,10$) reprezentowanej przez pyły, pyły piaszczyste, piaski gliniaste, pyły przewarstwione piaskami gliniastymi, gliny piaszczyste, gliny pylaste przewarstwione glinami piaszczystymi i facji powodziowej oraz facji korytowej (o wartościach $I_D=0,30$) wykształcone w postaci piasków średnich. Poniżej zalegają osady akumulacji wodnolodowcowej zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_D=0,50$) reprezentowane przez piaski średnie i pospółki. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 2,80 m.

W trakcie prowadzonych wierceń stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej w otworach nr 1-11, 13-50, 52-54, na głębokościach od 0,70 m do 0,00 m p.p.t, czyli na rzędnych od 48,06 m do 49,13 m n.p.m. Otwory nr 14, 28, 32 i 38 wykonywane były w wodzie. W otworze nr 12 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatyczny na głębokości 1,00 m p.p.t., które stabilizowało się na głębokości 0,70 m p.p.t, czyli na rzędnej od 48,27 m n.p.m. W otworach nr 45 oraz 51 stwierdzono występowanie sączenia wody gruntowej w obrębie gruntów spoistych na głębokości od 0,60 m do 0,20 m p.p.t., które stabilizowało się na głębokości od 0,20 m do 0,10 m p.p.t., czyli na rzędnej od 48,54 m do 48,87 m n.p.m.[94].

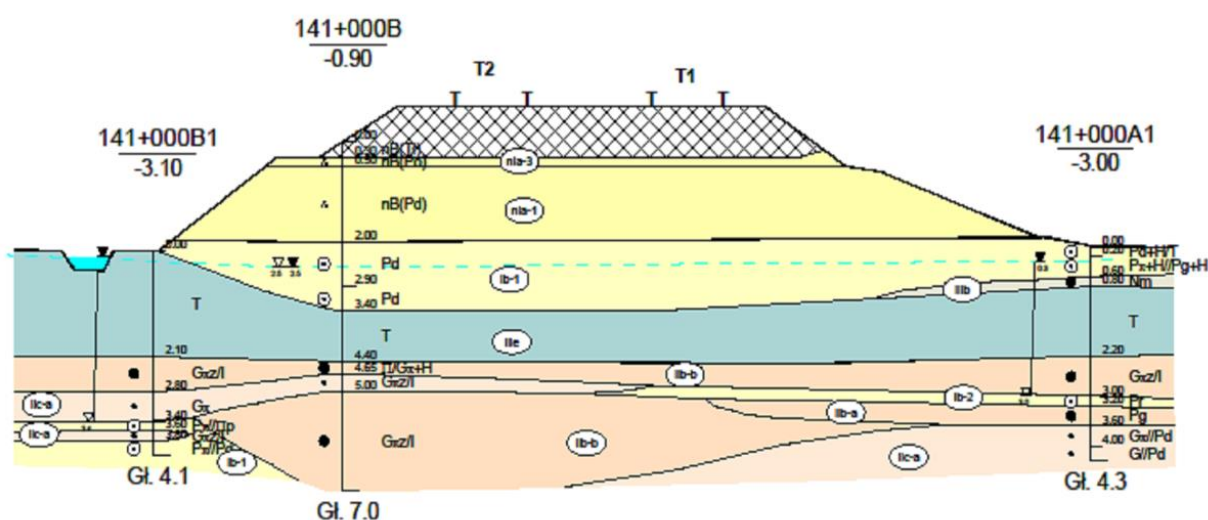


Ryc. 20. Plan sytuacyjny – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 351

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

W związku z prowadzoną naprawą linii kolejowej, polegającą na wymianie nawierzchni, wykonano badania geotechniczne, z których wynika, że na awaryjnym odcinku nasypu linii kolejowej występują w podłożu budowlanym grunty organiczne w postaci torfów o miąższościach do ponad 2,0m.



Ryc. 21. Przykład budowy geologicznej w podłożu gruntowym

Podłoże z gruntów organicznych nie zostało wymienione ani odpowiednio skonsolidowane zwłaszcza w strefie krawędziowej nasypu kolejowego od strony toru nr 2.

Nasyp kolejowy zarówno po stronie toru nr 1 jak i toru nr 2, z uwagi na jakość podłoża budowlanego, wysoki poziom wody gruntowej oraz rodzaj wbudowanych gruntów w korpus nasypu [Pd, P π , +H], stanowi konstrukcję, która łatwo podlega oddziaływaniu procesom egzogenicznym. W wyniku tego, nastąpił wzrost zawilgocenia korpusu nasypu oraz wysadziny w strefie przyskarpowej – zwłaszcza, że jest to odcinek w rejonie rozlewisk. Dodatkowo drgania od sprzętu ciężkiego, który był używany przy modernizacji toru nr 2, wpłynęły destrukcyjnie na stan techniczny korpusu nasypu pod torem nr 2. Obecnie nasyp na omawianym odcinku, którego wysokość waha się w granicach 3,0÷4,0 m, wykazuje wyraźne cechy deformacji w postaci pęknięć w ławie torowiska.



Fot. 20. Zapadlisko i odspojenia nasypu

Stwierdzono również deformacje nasypu o charakterze lokalnym w postaci wielu lei sufozycznych, które spowodowały znaczne rozluźnienie nasypu zwłaszcza pod tokiem zewnętrznym toru nr 2. Rozluźnienie to charakteryzuje się również powstaniem kawern (obszarów pustek) w korpusie nasypu.

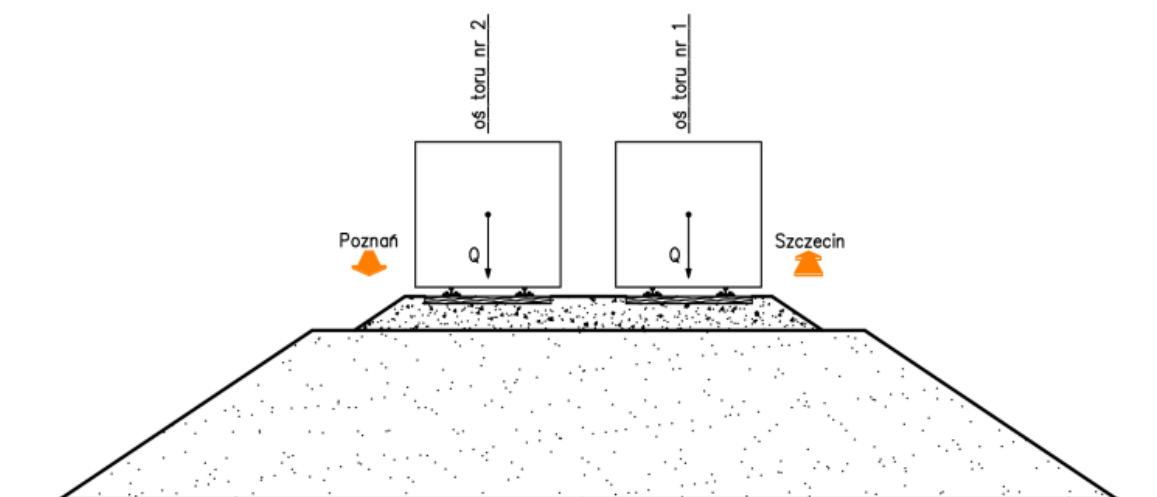
Prawdopodobny mechanizm deformacji skarpy

Po przeanalizowaniu historii budowy linii kolejowej, relacji nadzoru kolejowego, po dokonaniu wizji lokalnej oraz po analizie wyników pomiarów i badań geotechnicznych, ustalono prawdopodobny mechanizm zniszczenia korpusu nasypu i skarpy na odcinku w km 140,700÷141,200 od strony toru nr 2, linii kolejowej nr 351 Poznań Gł. - Szczecin Gł.

Destrukcja techniczna skarpy jest wynikiem sumowania się skutków działania kilku zjawisk i procesów egzogenicznych, biogenicznych, geologicznych, geomorfologicznych, hydrogeologicznych i hydrograficznych występujących w obrębie podtorza i podłoża gruntowego oraz historii budowy, modernizacji i utrzymania linii. Zjawiska i procesy egzogeniczne oraz budowa geologiczna występujące w obrębie tej budowli mają charakter obiektywny. Natomiast historia budowy i modernizacji oraz jakość utrzymania linii mają charakter całkowicie subiektywny, co znaczy, że przy zachowaniu właściwych standardów technicznych podczas budowy i eksploatacji, stan linii na tym odcinku mógłby być inny.

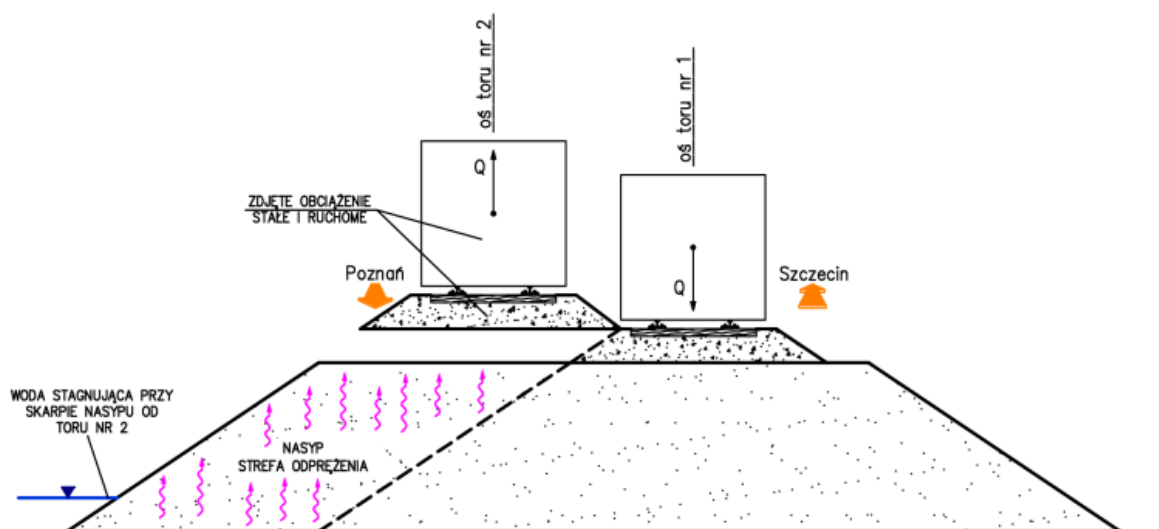
Przed przystąpieniem do robót budowlanych polegających na wymianie nawierzchni, stan konstrukcji podtorza oraz stan techniczny korpusu nasypu wraz z podłożem gruntowym był ustabilizowany dla istniejących obciążeń stałych i eksploatacyjnych.

Po demontażu i zdjęciu nawierzchni, na korpus nasypu oraz podłożę gruntowe przestało działać obciążenie eksploatacyjne i obciążenie stałe od konstrukcji nawierzchni. Działo się to w okresie intensywnych opadów atmosferycznych, których w danym roku było zdecydowanie ponad stany normowe. Odciążenie spowodowało proces systematycznego jednostronnego odprężania się korpusu nasypu wraz z podłożem gruntowym.



Ryc. 22. Schemat konstrukcji nasypu i podtorza przed robotami nawierzchniowymi

Analizowany fragment linii kolejowej znajduje się w obrębie obniżenia terenu, gdzie w podłożu stwierdzono występowanie gruntów organicznych w postaci torfów. Obniżenie terenowe z podłożem torfowym jest naturalnym zbiornikiem okresowo stagnującej wody ponad powierzchnią terenu.



Ryc. 23. Odprężanie nasypu i podtorza

Wyjątkowo wysokie stany wód gruntowych, a w naszym przypadku stagnujących ponad powierzchnią terenu, na skutek działania prawa Archimidesa – „prawa wyporu”, zintensyfikowały proces odprężenia. Proces ten spowodował istotne pod względem technicznym zwiększenie porowatości $n_0 < n_1$. Zwiększona porowatość prowadzi do większego chłonięcia wody. Wzrost porowatości powoduje obniżenie wartości stopnia zagęszczenia I_D co skutkuje zmniejszeniem wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ , który jest głównym parametrem wytrzymałościowym decydującym o stateczności nasypu.

$$n_0 < n_1 \Rightarrow I_D^0 > I_D^1 \Rightarrow \phi^0 > \phi^1$$

gdzie:

n_0 – porowatość początkowa ; I_D^0 – początkowa wartość stopnia zagęszczenia

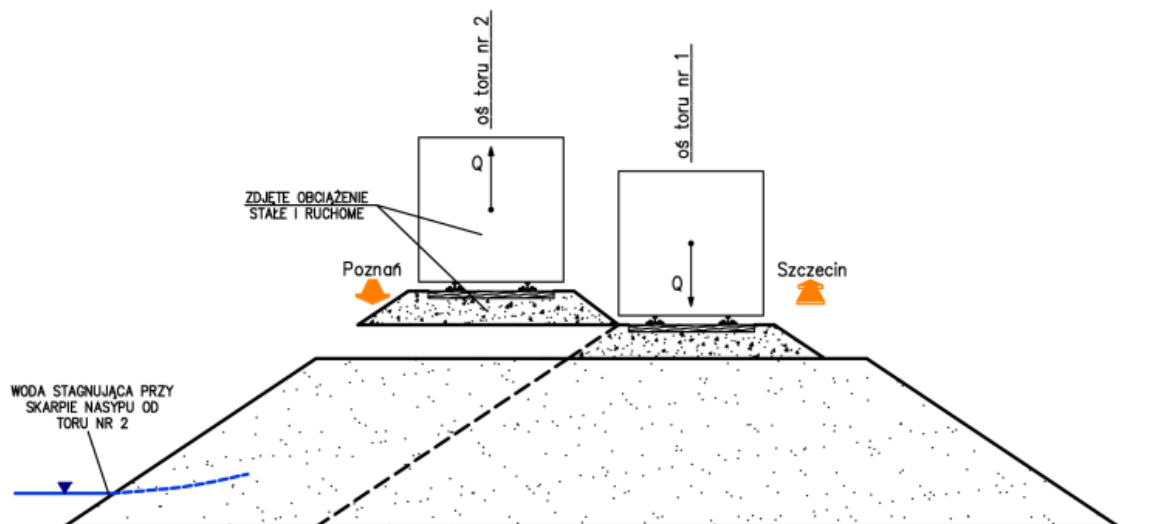
n_1 – porowatość końcowa ; I_D^1 – końcowa wartość stopnia zagęszczenia

ϕ^0 – początkowa wartość kąta tarcia wewnętrznego

ϕ^1 – końcowa wartość kąta tarcia wewnętrznego

Wzrost porowatości – rozluźnienie korpusu nasypu, drgania od maszyn budowlanych, grunty w postaci piasków drobnych i pylastych wbudowane w korpus nasypu, podtopienie odprężonego nasypu, intensywne i systematycznie powtarzające się opady atmosferyczne, spowodowały nadmierne nasycenie wodą korpusu nasypu.

W podtorzu, korpusie nasypu oraz podłożu gruntowym nastąpiło istotne pogorszenie geotechnicznych parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych.



Ryc. 24. Nasiąkanie wodą odprężonego nasypu i podtorza

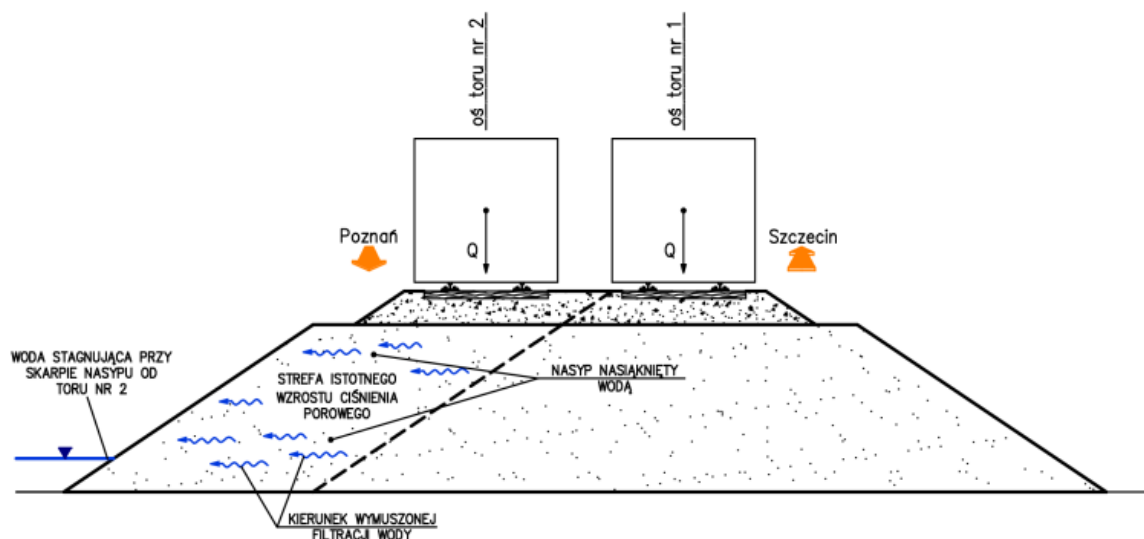
Na tak rozluźnione i nasycone wodą podtorze i podłoże gruntowe, wprowadzane jest ponownie obciążenie stałe od nawierzchni i obciążenie ruchome od ruchu pociągów. To obciążenie wywołuje zjawisko wyciskania nadmiaru wody z korpusu nasypu. Przy wymuszonym zjawisku wyciskania wody z korpusu nasypu (zjawisko wymuszonej filtracji wody) następuje wzrost ciśnienia porowego w wodzie filtrującej z korpusu nasypu. Ciśnienie to wywołuje zjawisko sufozji (wymiwanie drobnych cząstek gruntu) oraz lokalnie nawet zjawisko kurzawki. Procesy sufozyjne i lokalnie kurzawkowe, przy braku bocznego oparcia (skarpa nasypu opiera się na stagnującym ponad teren zwierciadło wody opadowej i na nieskonsolidowanym podłożu torfowym) wywołuje dalsze deformacje i zniszczenie spójności wewnętrznej nasypu. Procesy sufozyjne i lokalnie kurzawkowe, fragmentami mogą być zintensyfikowane przez nory i korytarze wykonane przez bobry zasiedlające strefę rozlewiska.



Fot. 21. Stagnowanie wody w obrębie postawy nasypu



Fot. 22. Stagnowanie wody w obrębie postawy nasypu



Ryc. 25. Wywołanie ciśnienia porowego

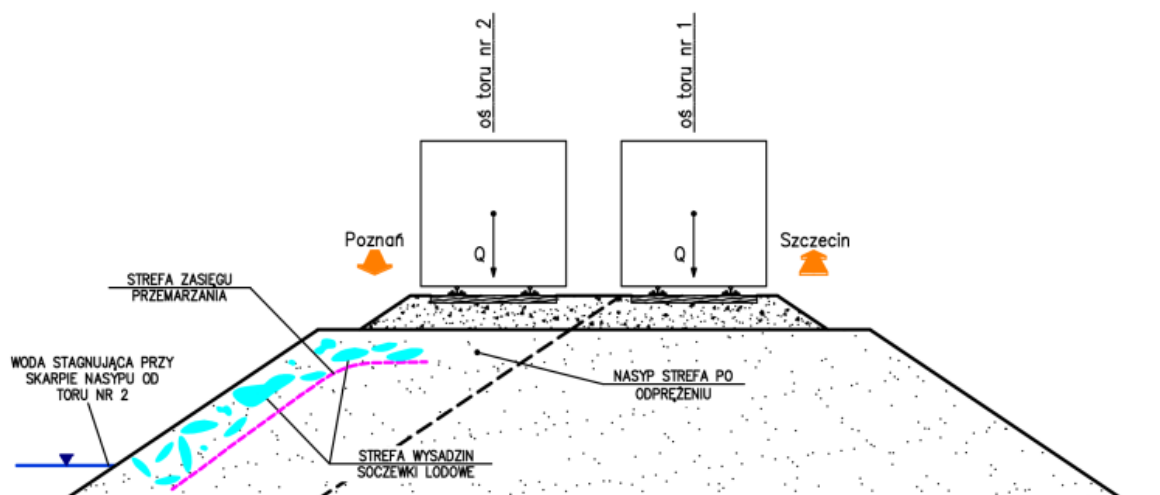
Z dużym prawdopodobieństwem można postawić tezę, że czynnikami sprawczymi, (ale nie jedynymi) stanu awaryjnego nasypu oprócz odprężenia, podtopienia, i nadmiernego zawilgocenia korpusu są procesy sufozyjne, polegające na systematycznym wymywaniu cząstek gruntu. Procesy te powodują wzrost porowatości, czyli rozluźnienie korpusu nasypu, a w konsekwencji powstanie niestatecznej konstrukcji ziemnej. Nasyp taki z łatwością poddaje się oddziaływaniom procesów zewnętrznych - egzogenicznych takich jak: deszcz, zamórz, insolecja, drgania, wysadziny i grawitacja, które potęgują i przyspieszają procesy deformacji skarpy i destrukcje korpusu nasypu.

Stan techniczny nasypu kolejowego, zgodnie z przedstawionym opisem, zaliczono do stanu równowagi chwiejnej, która w każdej chwili może zamienić się w gwałtowny kinematyczny proces osuwiskowy.

Do wywołania procesu osuwiskowego o charakterze katastrofy może nastąpić np. podczas intensywnych opadów atmosferycznych w połączeniu z drganiami.

Prawdopodobieństwo zaistnienia katastrofy zwiększa się po okresie zimowym (w przypadku temperatur ujemnych trwających minimum 1 miesiąc). Nasyp, odcinkami zbudowany z piasków pylastych i piasków pylastych z domieszkami części próchnicznych [$P\pi$, $P\pi+H$], umożliwi w korpusie nasypu powstanie zamrozu. Ponieważ awaryjny odcinek nasypu występuje w rejonie rozlewiska i w dodatku od strony wody naporowej, to na skutek podsią-

kania kapilarnego w okresie mrozów realizował będzie się proces wysadzinowości, który skutkować będzie utworzeniem w korpusie nasypu soczewek lodowych, a następnie powstaniem wysadzin. Powtarzające się procesy zamrozu, skutkować będą permanentnym rozluźnianiem się strefy przyskarpowej na głębokość do ok. 1,0m.



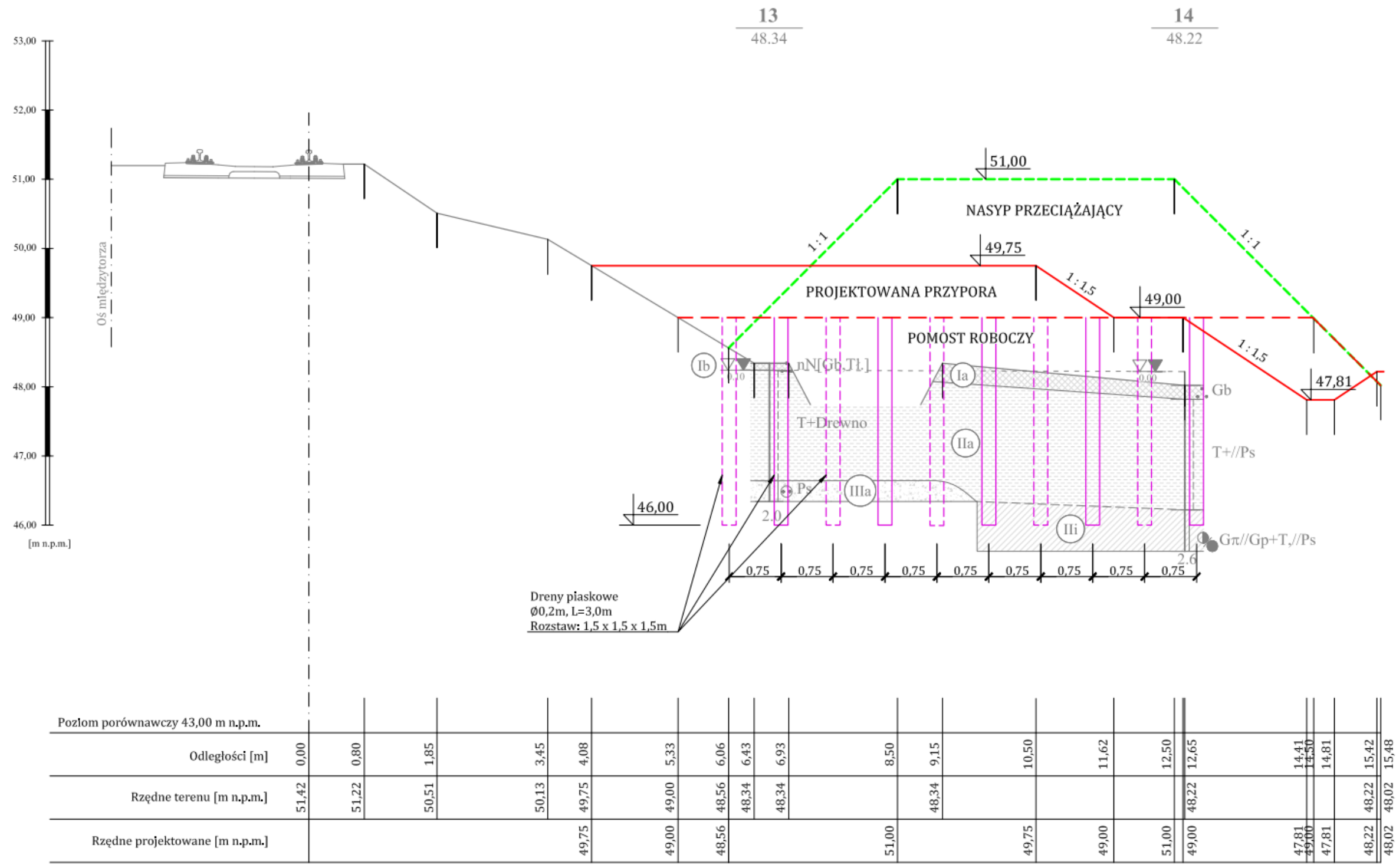
Ryc. 26. Strefa wysadzin

Na wiosnę soczewki lodowe stopnieją i wytworzy się strefa zdylatowana w strefie przemarzania. Grunt nasypu traci cechy wytrzymałościowe w strefie zdylatowanej i zostanie dodatkowo obciążony wodami z topniejących soczewek lodowych.

Wyżej opisane mechanizmy spowodują, że nasyp zostanie wewnątrz mocno zdylatowany nawet do stanu, w którym zostaną utworzone kawerny i rozluźnienia do głębokości kilku metrów. Jeżeli w początkowym etapie (w okresie przed zimowym) możemy jeszcze mówić o deformacji pełzającej, to po okresie zimowym bardzo prawdopodobnym staje się zaistnienie osuwiska o charakterze gwałtownym – czyli katastrofa budowlana.

ROBOTY NAPRAWCZE

Naprawcze roboty budowlane, w pierwszym etapie, polegały na konsolidacji podłoża torfowego z wykorzystaniem piaskowych drenów pionowych oraz nasypu konsolidującego. Po zakończonej konsolidacji podłoża organicznego wykonano przyporę gruntową oraz odbudowano wzdłuż całej przypory rowy drenujące wysoczną. Wyprofilowano skarpy przypory wraz z obsianiem trawą. Roboty budowlane zakończyły się w lipcu 2018 roku.



Ryc. 27. Sposób naprawy skarpy nasypu

1.8. Linia kolejowa nr 351, km 121,840 ÷ 121,950.**Lokalizacja**

Nasyp kolejowy linii nr 351 Poznań Główny – Szczecin Główny, w km 121,840÷121,950, w sąsiedztwie stacji kolejowej Rębusz (województwo zachodniopomorskie, powiat choszczeński). Linia kolejowa na tym odcinku zbudowana została na nasypie, którego wysokość waha się w granicach ok. 2,0÷4,0 m.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 351 Poznań Główny – Szczecin Główny została wybudowana około roku 1847 jako linia jednotorowa. W latach 1948 ÷ 1950 została przeprowadzona modernizacja linii, która polegała na dobudowie drugiego toru. W roku 1978 linia ta została zelektryfikowana. Linia kolejowa nr 351 jest linią magistralną o długości 213,500 km. Położona jest na obszarze trzech województw: wielkopolskiego, lubuskiego i zachodniopomorskiego. Na odcinku obejmującym obszar badań w km 121,840 ÷ 121,950 (odcinek szlakowy pomiędzy stacją Rębusz, a stacją Słonice) tory biegną w nasypie o wysokości ok. 3,0÷4,0 m. [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Omawiany teren znajduje się w obrębie Pojezierza Dobiegniewskiego - jednostki fizjograficznej (314.62) rzędu subregionu [33]. Pojezierze to znajduje się pomiędzy dwiema równinami sandrowymi: Gorzowską (Myślańską) na zachodzie i Drawską na wschodzie. Na południowy-zachód i południe od Dobiegniewa zaczyna się pasmo moren czołowych subfacji krajeńskiej, poprzedzającej fazę pomorską zlodowacenia północnopolskiego (wiślańskiego). Stanowi ono fragment rzeźby glacialnej z kilkoma jeziorami i wałem morenowym, sięgającym kilkadziesiąt metrów wysokości względnej z kulminacjami 118 m i 121 m. Są to formy starsze od fazy pomorskiej ostatniego zlodowacenia [Kondracki, 1988]. W obrazie morfologicznym podobną rolę odgrywają zarówno wysoczyzny morenowe jak i równiny sandrowe

oraz wodnolodowcowe. Obszary przez nie zajmowane, porożcinane są przez rynny subglacjalne. Rozpiętość wysokości względnych na obszarze arkusza wynosi 60,0 m.

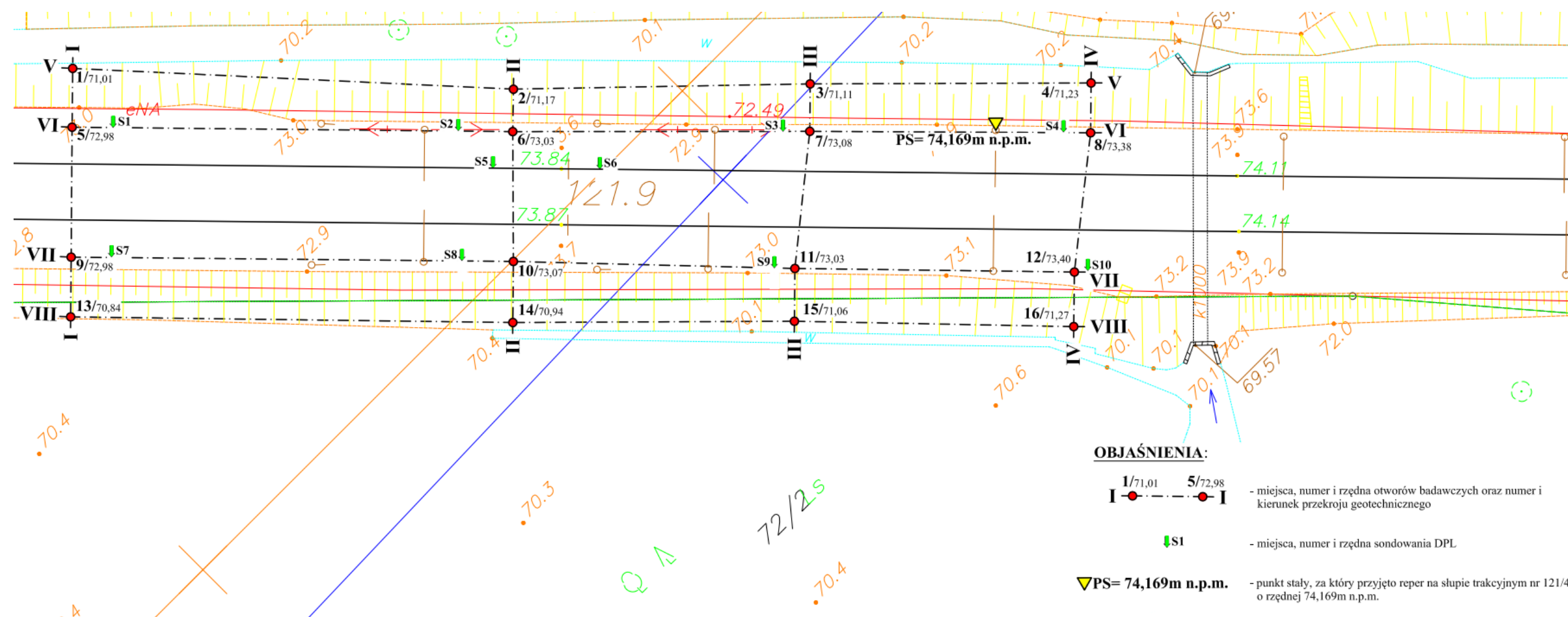
Obszar badań wg szczegółowego podziału Niziny Wielkopolskiej na regiony i subregiony geomorfologiczne [Krygowski, 1961], zaliczane jest do Pagórków Myśliborskich. Sądząc po sytuacji morfologicznej (przedział rzędnych) oraz budowie geologicznej, teren badań znajduje się w obrębie równin torfowych. Równiny torfowe zajmują znaczne obszary i lokują się w dnach rynien subglacjalnych oraz rozległych obniżeniach [Piotrowski, 1991] .

Przeprowadzone w lutym 2019 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 16 otworów badawczych o głębokości od 2,5m do 5,5m, łącznie odwiercono 57,70mb,
- wykonano 10 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 3,3m do 4,8 m, łącznie 41,00mb,

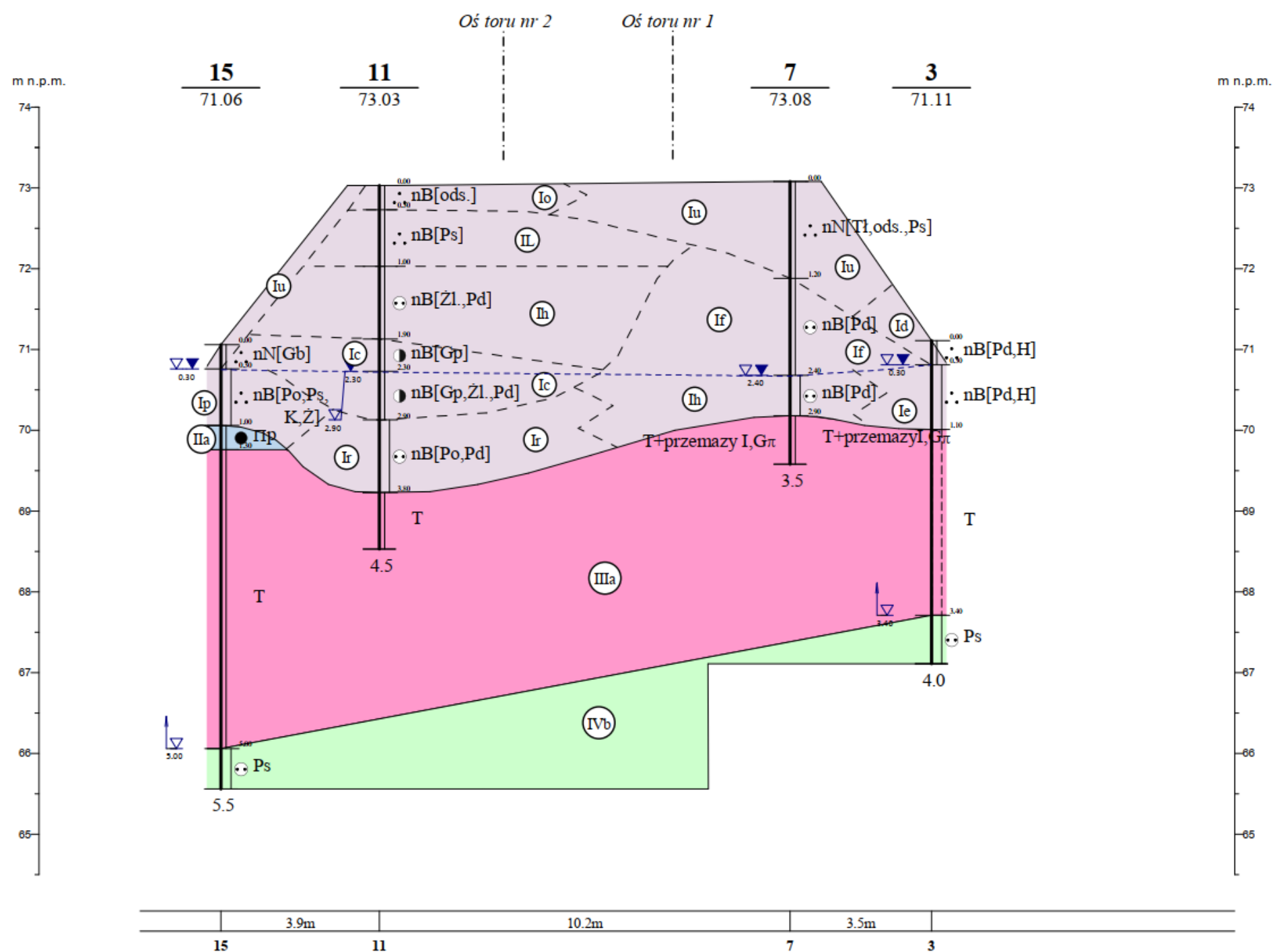
Pod warstwą nasypów niebudowlanych i budowlanych (o wartościach $I_D=0,20\div0,45$ oraz $I_L=0,35\div0,15$), występują osady akumulacji bagiennej – rzecznej wykształcone w facji: rozlewiskowej i powodziowej (o wartościach $I_L=0,30\div0,25$), reprezentowane przez pyły piaszczyste, gliny piaszczyste, gliny na pograniczu glin zwięzłych oraz facji bagiennej wykształcone w postaci torfów oraz namulów piaszczystych przewarstwionych torfami. Niżej zalegają osady akumulacji wodnolodowcowej zlodowacenia północnopolskiego fazy pomorskiej (o wartościach $I_D=0,50$) wykształcone jako piaski drobne, piaski średnie, piaski średnie na pograniczu pospółek. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 5,50m od powierzchni terenu.

W trakcie prowadzonych wierceń w otworach badawczych nr 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 12, 13, 14, 15, 16 stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokości od 2,80m p.p.t. do 0,00m p.p.t. czyli na rzędnych 70,58m n.p.m. do 70,84m n.p.m. W otworach badawczych nr 2, 3, 11, 13, 14, 15, 16 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatycznym na głębokości od 5,0m p.p.t. do 1,4m p.p.t. czyli na rzędnych 66,06m n.p.m. do 70,13m n.p.m., które stabilizowało się na głębokości od 2,50m p.p.t. do 0,00m p.p.t. czyli na rzędnych 70,53m n.p.m. do 70,84m n.p.m. Ponadto w otworze nr 10 stwierdzono występowanie niewielkiego sączenia wody gruntowej na głębokości 1,00m p.p.t. czyli na rzędnej 72,07m n.p.m.[Materiały własne].



Ryc. 28. Plan sytuacyjno – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 351, km 121,840 – 121,950

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY III - III



Ryc. 29. Przykład budowy geologicznej w podłożu gruntowym

W otworze nr 9 do głębokości 2,5m p.p.t. nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej. Rzędna lustra wody w strumyku od strony toru nr 2 LK 351 pomierzona w dniu 26.02.2019r. wynosiła 70,75m n.p.m. Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić od +2,0m do -1,0m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych.

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyny niestabilności

W związku ze stwierdzeniem niestateczności podtorza i korpusu nasypu kolejowego linii kolejowej nr 351 Poznań Główny – Szczecin Główny, na odcinku w km 121,840÷121,950, od strony toru nr 1 oraz nr 2, w marcu 2019 roku zostały przeprowadzone: wizja terenowa, wywiad terenowy wraz z oceną stopnia zagrożenia związanego z zaistnieniem procesu osuwiskowego, badania geotechniczne, które umożliwiły szczegółowe rozpoznanie podłoża gruntowego pod nasypem kolejowym na w/w odcinku linii kolejowej. Tory zbudowano na nasypie, którego wysokość sięga w granicach między 2,0 a 3,0m.

Z wywiadu terenowego oraz na podstawie opinii toromistrza wynika, że na odcinku tym były obserwowane nieznaczne odkształcenia skarp i korpusu nasypu oraz deformacje nawierzchni kolejowej, jednak odcinek ten nie był zaliczony do fragmentów linii, które należałoby częściej nadzorować. Dopiero ujawnienie zapadlisk w międzytorzu i strefach pod nawierzchniowych zwróciło uwagę na konieczność ustalenia przyczyn ich powstania oraz zakresu destrukcji wewnętrznej w korpusie nasypu [Materiały własne].

Przeprowadzone badania geotechniczne wykazały, że w rejonie awarii, podłoże pod nasypem kolejowym, stanowią grunty organiczne, tj. torfy o miąższości lokalnie przekraczającej 5 m, które nie zostały wymienione ani odpowiednio skonsolidowane, zwłaszcza w strefie krawędziowej nasypu kolejowego, zarówno od strony toru nr 1 jak i toru nr 2. Przeprowadzone badania wykazały również znaczną niejednorodność materiału wbudowanego w korpus nasypu oraz wysoki poziom wód gruntowych. Korpus nasypu został wykonany z różnego rodzaju gruntów, to jest: piasku drobnego, piasku średniego i piasku pylastego z domieszkami humusu, żuźla, gliny piaszczystej, gliny, pospółki gliniastej, pospółki i tłucznia. Wyniki sondowań dynamicznych wykazały, że piaski wbudowane w nasyp są w stanie luźnym i średnio zagęszczonym o wartości stopnia zagęszczenia w przedziale $I_D = 0,20 \div 0,50$. Grunty spoiste

występujące w obrębie nasypu, są w stanie twardoplastycznym i plastycznym o wartości stopnia plastyczności w przedziale $I_L = 0,20 \div 0,35$.

W analizowanym przypadku, mamy do czynienia zarówno z niejednorodnym materiałem wbudowanym w nasyp, procesem konsolidacji torfu, permanentnym podtapianiem nasypu (w roku 2016 woda sięgała ławy torowiska toru nr 2), procesami sufozyjnymi i lokalnie kurzawkowymi, destrukcyjnymi działaniami zoogenicznymi w postaci korytarzy i kawern bobrowych oraz dynamicznym oddziaływaniem przekazywanym przez ruch pociągów. Nasyp na omawianym odcinku, wykazywał wyraźne cechy deformacji nawierzchni, geometrii korpusu.



Fot. 23. Zapadliska w torze nr 1



Fot. 24. Zapadliska w skarpie nasypu toru nr 1

Prawdopodobny mechanizm utraty stabilności

Destrukcja techniczna korpusu nasypu i skarpy jest wynikiem sumowania się skutków działania zjawisk i procesów geologicznych, morfologicznych, biogenicznych, hydrologicznych i egzogenicznych, występujących w obrębie podtorza i podłoża gruntowego oraz historii budowy, modernizacji i utrzymania linii. Zjawiska i procesy geologiczne, morfologiczne, biogeniczne, hydrologiczne i egzogeniczne występujące w obrębie tej budowli mają charakter obiektywny. Natomiast historia budowy ma charakter całkowicie subiektywny, co znaczy, że przy zachowaniu właściwych standardów technicznych podczas budowy i eksploatacji, stan linii na tym odcinku mógłby być inny [Materiały własne].

Nasyp o wysokości 2,0 m÷3,0 m zbudowany z gruntów spoistych takich jak gliny piaszczyste, gliny, pospółki gliniaste, niespoistych o zdecydowanie zróżnicowanym uziarnieniu, od piasków pylastych do pospółek i żużla, posadowiony został na podłożu torfowym w obrębie terenu okresowo podtapianego.

Podtapianie powodowało rozluźnianie korpusu nasypu. Jakość materiałów gruntowych zastosowanych przy budowie nasypu można zaliczyć do gruntów od bardzo wysadzinowych do mało wysadzinowych, co w okresach jesienno-zimowych powodowało powstawanie wysadzin w strefach skarp. Wysadziny powodowały dylatowanie gruntu w strefie skarp i dodatkowe jej rozluźnianie. Tak rozluźniona strefa skarp ulegała podczas każdego deszczu procesowi rozmywania powierzchniowego czyli erozji powierzchniowej.

Kolejnym procesem w bardzo istotny sposób decydującym o zaistniałym stanie przed awaryjnym, było podtopienie nasypu od strony toru nr 2 w roku 2016, które to podtopienie sięgało wysokości ławy torowiska. Stan ten przedstawia ryc.30.

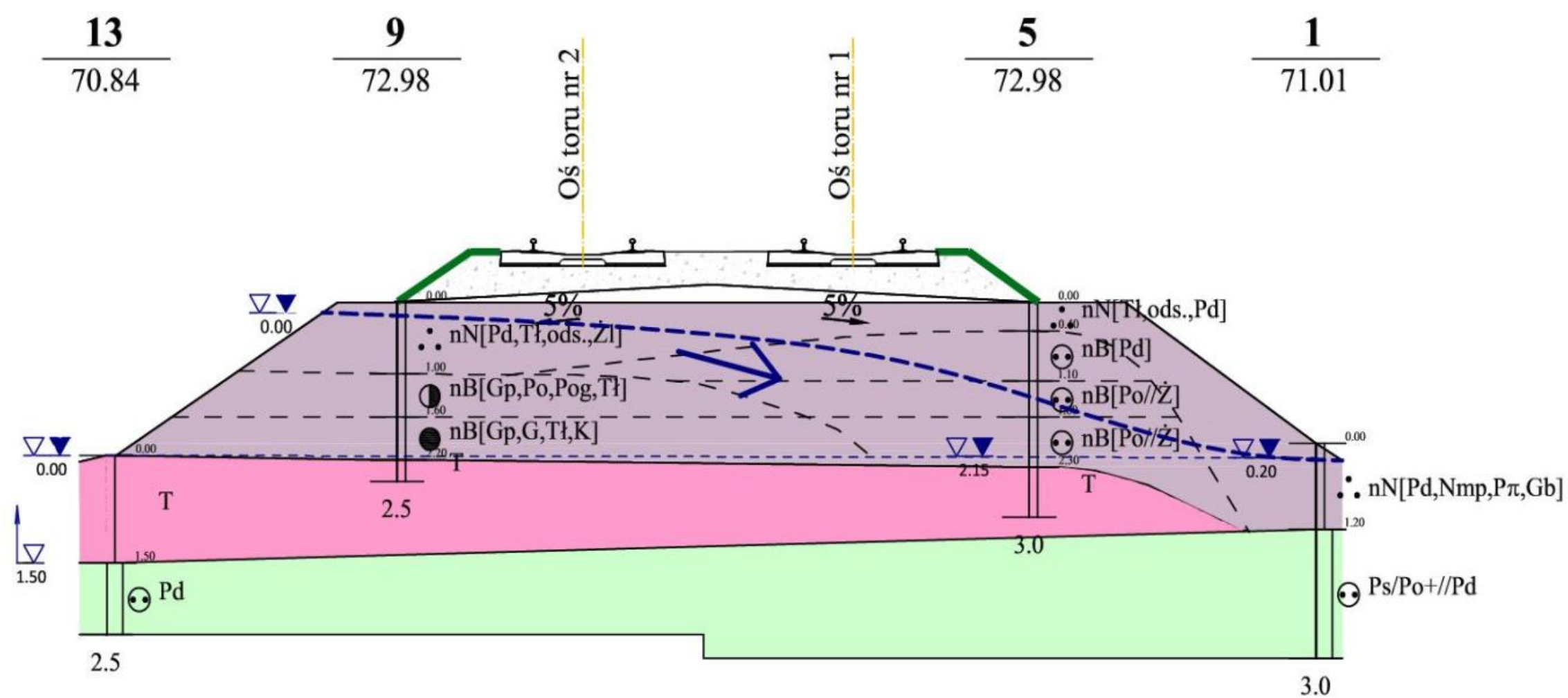
Wynikiem powyższego, wewnątrz korpusu nasypu uruchomiły się procesy sufozyjne polegające na wypłukaniu drobnej frakcji pylastej i piaszczystej. Było to możliwe, ponieważ został wytworzony spadek hydrauliczny, który wywołał ciśnienia spływowe na kierunku od toru nr 2 do toru nr 1. Spadek hydrauliczny w tego rodzaju gruntach powoduje zjawisko sufozji w wyniku, którego następowało zwiększenie porowatości $n_0 < n_1$. Wzrost porowatości powoduje obniżenie wartości stopnia zagęszczenia I_D co skutkuje zmniejszeniem wartości kąta tarcia wewnętrznego ϕ , który jest głównym parametrem wytrzymałościowym decydującym o stateczności nasypu.

$$n_0 < n_1 \Rightarrow I_D^0 > I_D^1 \Rightarrow \phi^0 > \phi^1$$

Dodatkowo wysokie stany wód gruntowych, a w naszym przypadku stagnujących ponad powierzchnią terenu, na skutek działania prawa Archimedesesa – „prawa wyporu”, zintensyfikowały proces odprężenia.

Kolejnym zjawiskiem jakie zostało uruchomione w procesie podtopienia nasypu były lokalne wystąpienia procesu kurzawki. Kurzawka rozumiana jako upłynnienie nasyconego wodą gruntu na skutek znacznego ciśnienia spływowego. Upłynnienie, to zjawisko przejścia nawodnionej masy sypkich osadów (głównie piasków i pyłów) w stan przypominający ciecz w wyniku nagłego wzrostu ciśnienia porowego i nagłej utraty wytrzymałości na ścinanie.

W naszym przypadku wzrost ciśnienia porowego powstawał w okresie podtopienia nasypu od strony toru nr 2 podczas każdorazowego przejazdu pociągu. Wzrost ciśnienia porowego był tym większy, im cięższy przejeżdżał pociąg i im większą miał prędkość.



Ryc. 30. Stan podtopienia nasypu w 2016 roku

Opisane powyżej procesy deformacji filtracyjnych, procesy sufozyjne i lokalnie kurzawkowe, przy braku bocznego oparcia (skarpa nasypu opiera się na stagnującym w rowach zwierciadle wody powierzchniowej - opadowej i na nieskonsolidowanym podłożu torfowym) wywołuje dalsze deformacje i zniszczenie spójności wewnętrznej nasypu [Materiały własne].

Wynikiem tych procesów są widoczne zewnętrznie leje sufozyjne oraz rozcięcia kurzawkowe w skarpach nasypu.



Fot. 25. Osunięcie i odchylenia słupów trakcyjnych

Wzrost porowatości – rozluźnienie korpusu nasypu, drgania od przejeżdżających pociągów, grunty w postaci piasków drobnych i pylastych wbudowane w korpus nasypu, podtopienie odprężonego nasypu, intensywne i systematycznie powtarzające się opady atmosferyczne, spowodowały w podtorzu i korpusie nasypu oraz podłożu gruntowym istotne pogorszenie geotechnicznych parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych.

Stan słupów trakcyjnych – wyraźne odchylenie od pionu i podejmowane próby ich stabilizowania na całym analizowanym odcinku dowodzi faktu o długim okresie trwania procesów destrukcyjnych.

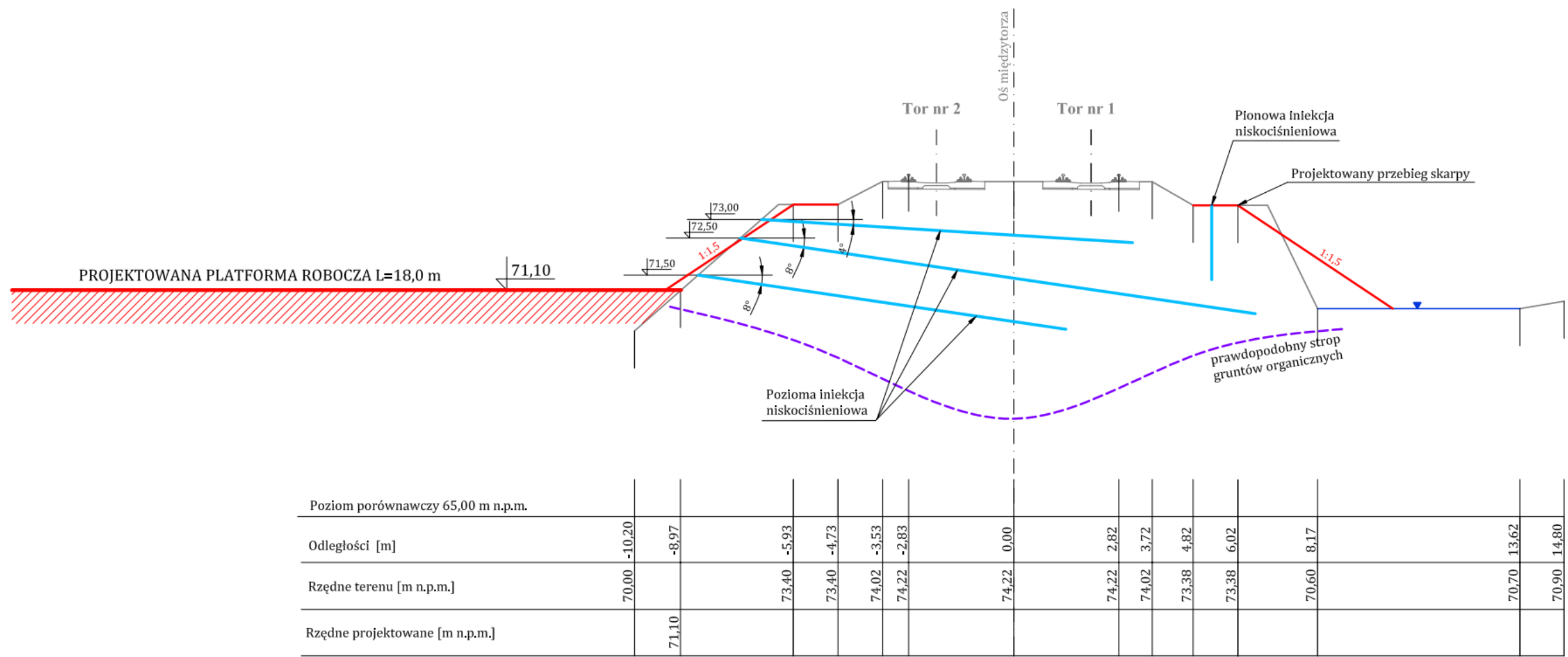
Taka konstrukcja nasypu kolejowego wg. dzisiejszych standardów i przy dzisiejszych obciążeniach podtorza nie spełnia wymagań statecznościowych. Jeżeli w początkowym etapie (w okresie przedzimowym) możemy jeszcze mówić o deformacji pełzającej to po okresie zimowym może powstać osuwisko o charakterze gwałtownym.

ROBOTY NAPRAWCZE

Prace naprawcze awaryjnego odcinka zrealizowano pomiędzy majem a październikiem 2019 roku. W ramach robót budowlanych wykonano wzmocnienie gruntów w obrębie korpusu nasypu z zastosowaniem technologii iniekcji niskociśnieniowej poziomej i pionowej. Następnie wykonano przypory boczne po stronie toru nr 1 i nr 2 oraz uregulowano rów boczny po stronie toru nr 1. Odbudowano geometrię skarpy wraz z odbudową ławy torowiska. Podbito tory na odcinku naprawy.



Fot. 26. Skarpa nasypu od strony toru nr 2 po wykonaniu naprawy



Ryc. 31. Przekrój projektowy odcinka naprawy

1.9. Linia kolejowa nr 3, km 409,000 ÷ 409,940.**Lokalizacja**

Nasyp kolejowy na linii nr 3 Warszawa Zachodnia – Kunowice na odcinku od km 409,000 do km 409,940. Miejsce to jest zlokalizowane na zachodniej granicy miasta Świebodzin, odcinek szlakowy pomiędzy stacją Świebodzin, a przystankiem Wilkowo Świebodzińskie. Newralgiczny odcinek wymagający szczególnej uwagi znajduje się między kilometrami 409,200 ÷ 409,550. Przedmiotowy odcinek linii kolejowej nr 3 posiada rozkładowe prędkości wynoszące: dla pociągów pasażerskich 160 km/h oraz dla pociągów towarowych 120 km/h. i nie są zastosowane ograniczenia prędkości ruchu pociągów.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 3 Warszawa Zachodnia – Kunowice jest w ciągu komunikacyjnym E-20 drugiego Paneuropejskiego Korytarza Transportowego Zachód – Wschód łączącego Berlin z Moskwą. Linia kolejowa na odcinku od km 409,000 do 409,940 została oddana do użytku 26.06.1870r., jako linia jednotorowa Kolei Marchijsko-Poznańskiej. Drugi tor oddano do użytku w 1899r, a zelektryfikowana została w 1984 roku. [Atlas linii kolejowych, Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Analizowany teren na odcinku linii kolejowej 3 km 409,000÷409,940 (rejon m. Świebodzin), znajduje się w obrębie Pojezierza Łagowskiego (315.42). Jest to potężny kompleks moreny czołowej spiętrzonej (spiętrzony starszy plejstocen i trzeciorzęd). Teren pagórkowaty, wznoszący się na ogół powyżej 100 m n.p.m. Najwyższy punkt położony jest na szczycie wzgórza morenowego na południe od Smardzewa - 142,9 m n.p.m. [29, 4]. Na przeważającym obszarze zaznacza się tu zróżnicowanie litologiczne rzeźby-dolinki „strukturalne” w utworach spoistych, grzbiety strukturalne w utworach sypkich – „przezierające” spod cienkiej pokrywy z gliny morenowej bałtyckiej, spoczywającej niezgodnie na zaburzonym podłożu. Pod względem urzeźbienia omawiany teren przedstawia się, jako obszar pagórkowaty, choć nierzadko są również, zwłaszcza w części wschodniej i południowej, fragmenty płaskiej lub

falistej równiny morenowej, z gliniastą moreną denną zlodowacenia północnopolskiego na powierzchni.

Przeprowadzone od grudnia 2020 roku do marca 2021 roku badania geotechniczne i geologiczno-inżynierskie:

- odwiercono 38 otworów badawczych o głębokości od 3,0 do 25,0 m, razem odwiercono 287,5 mb, (otwór numer 409,350/3 oraz 409,400/2 odwiercone zostały odpowiednio w osi toru nr 2 oraz w osi toru nr 1. Wiercenia odbyły się w porze nocnej przy zamknięciu odpowiednio torów nr 2 i nr 1, ograniczonej prędkości poruszających się pociągów po czynnym torze oraz przy wyłączonej trakcji.)
- wykonano 19 sondowań sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości od 3,0 do 7,0 m, łącznie 79,7mb,
- wykonano 7 sondowań sondą dynamiczną typu ITB-ZW z końcówką krzyżakową, oraz 11 badań ścinania sondą krzyżakową.

Pod warstwą nasypów budowlanych (o wartościach $I_D=0,30\div 0,70$ oraz $I_L=0,30\div 0,20$) i nasypów niebudowlanych o zróżnicowanym składzie oraz gleby, od km 409,000 do km 409,100 występują osady w morenach spiętrzonych zlodowacenia południowopolskiego (o wartościach $I_L=0,35\div 0,05$) wykształcone, jako gliny pylaste zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe przewarstwione pyłami, pyły piaszczyste, iły o charakterze warwopodobnym. Dalej od km 409,200 do km ok. 409,500 występują osady akumulacji bagiennej wykształcone w postaci torfów oraz gytii. Osady te zdeponowane zostały na osadach akumulacji wodnolodowcowej oraz piaskach kemów (o wartościach $I_D=0,35\div 0,80$) wykształconych w postaci piasków drobnych, piasków pylastych, piasków średnich, pospółek) przewarstwionych osadami spoistymi (o wartościach $I_L=0,40-0,10$) wykształconymi jako pyły, pyły piaszczyste, gliny pylaste, gliny piaszczyste, piaski gliniaste oraz w otworze 409,800/1 torf przewarstwiony piaskiem pylastym. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 25,0 m poniżej powierzchni terenu [95].

W trakcie prowadzonych wierceń stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej w różnej postaci.

W otworach nr 409,100/1; 409,100/4; 409,300/1; 409,350/1; 409,350/4; 409,400/1; 409,400/4; 409,450/1; 409,450/2; 409,450/4; 409,500/1; 409,550/1; 409,550/4; 409,600/4; 409,700/4; 409,719/1; 409,800/4; 409,900/1; 409,900/4 stwierdzono występowanie swobod-

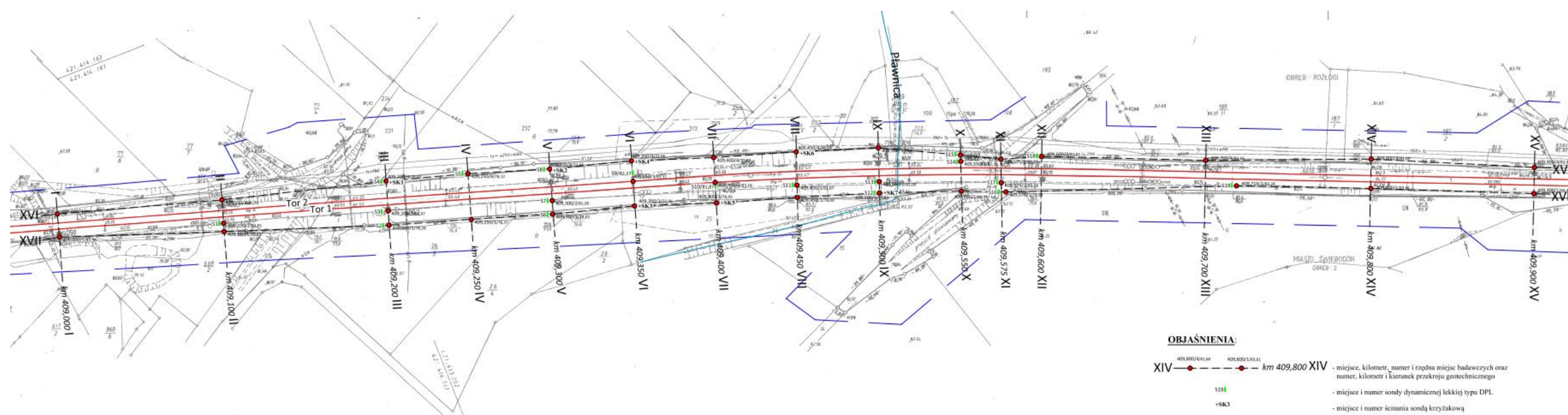
nego zwierciadła wody gruntowej na głębokościach od 5,70 m do 0,10 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnych od 77,01 m n.p.m. do 79,00 m n.p.m.

W otworach nr 409,200/1; 409,200/4; 409,250/1; 409,250/4; 409,300/4; 409,350/1; 409,350/3; 409,350/4; 409,400/1; 409,400/2; 409,400/4; 409,450/1; 409,450/4; 409,500/1; 409,500/4; 409,578/1; 409,800/1 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatyczny na głębokości od 23,00 m p.p.t. do 1,20 m poniżej powierzchni terenu, które stabilizowało się na głębokościach od 6,00 m do 0,10 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnej od 77,07 m n.p.m. do 78,91 m n.p.m.

W otworach nr 409,400/2; 409,500/4; 409,900/4 stwierdzono sączenia wody gruntowej w obrębie gruntów spoistych na głębokości od 7,00 m do 1,30 m p.p.t., czyli na rzędnej od 76,18 m n.p.m. do 81,10 m n.p.m.

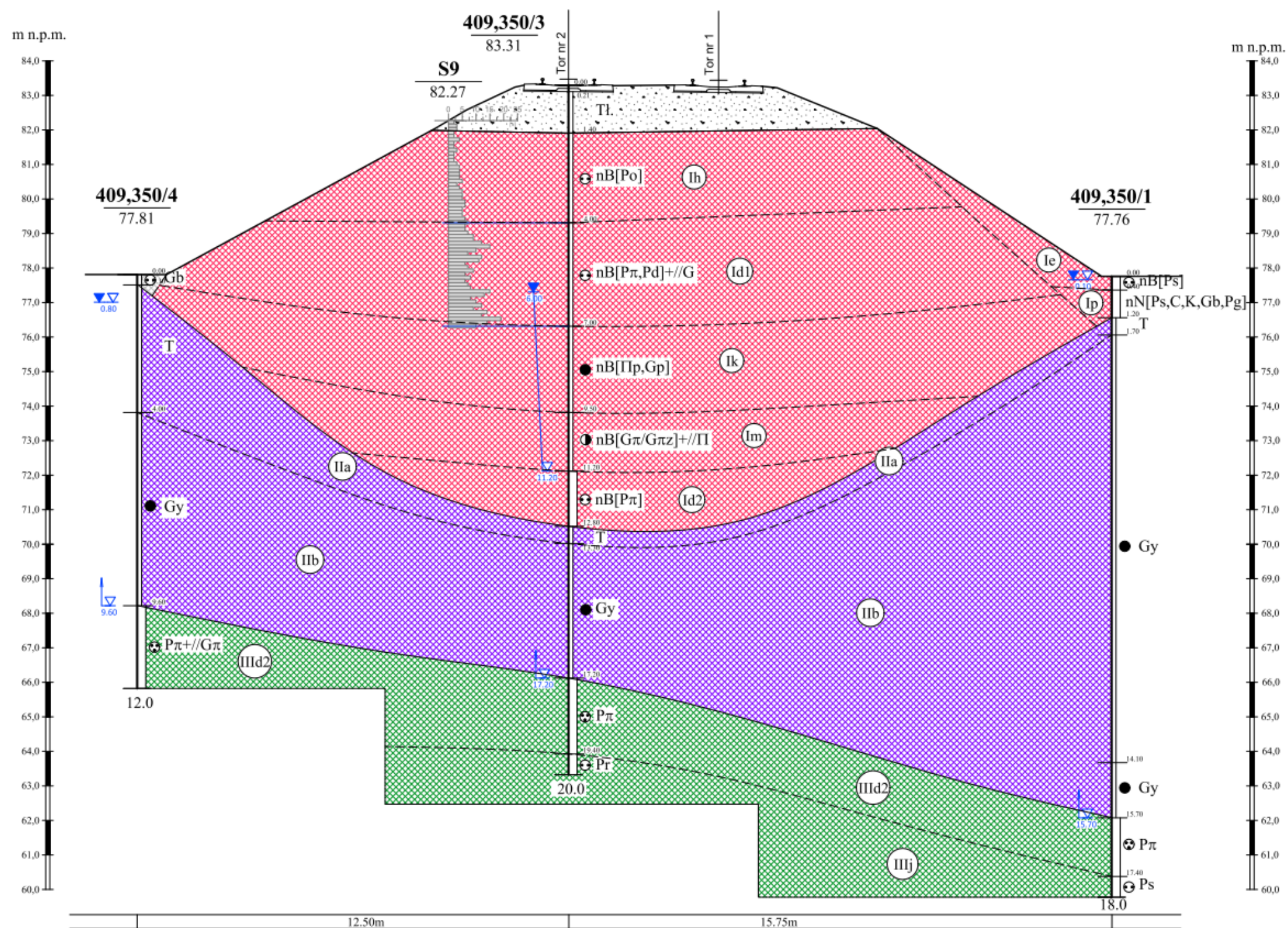
W otworach numer 409,000/1; 409,000/4; 409,100/2; 409,200/2; 409,300/2; 409,500/2; 409,500/3; 409,575/2; 409,575/4 do badanej głębokości nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić miejscami od +1,00 m do -0,50 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych. Spływ wód gruntowych odbywa się w kierunku rzeki Pławnicy [Materiały własne].



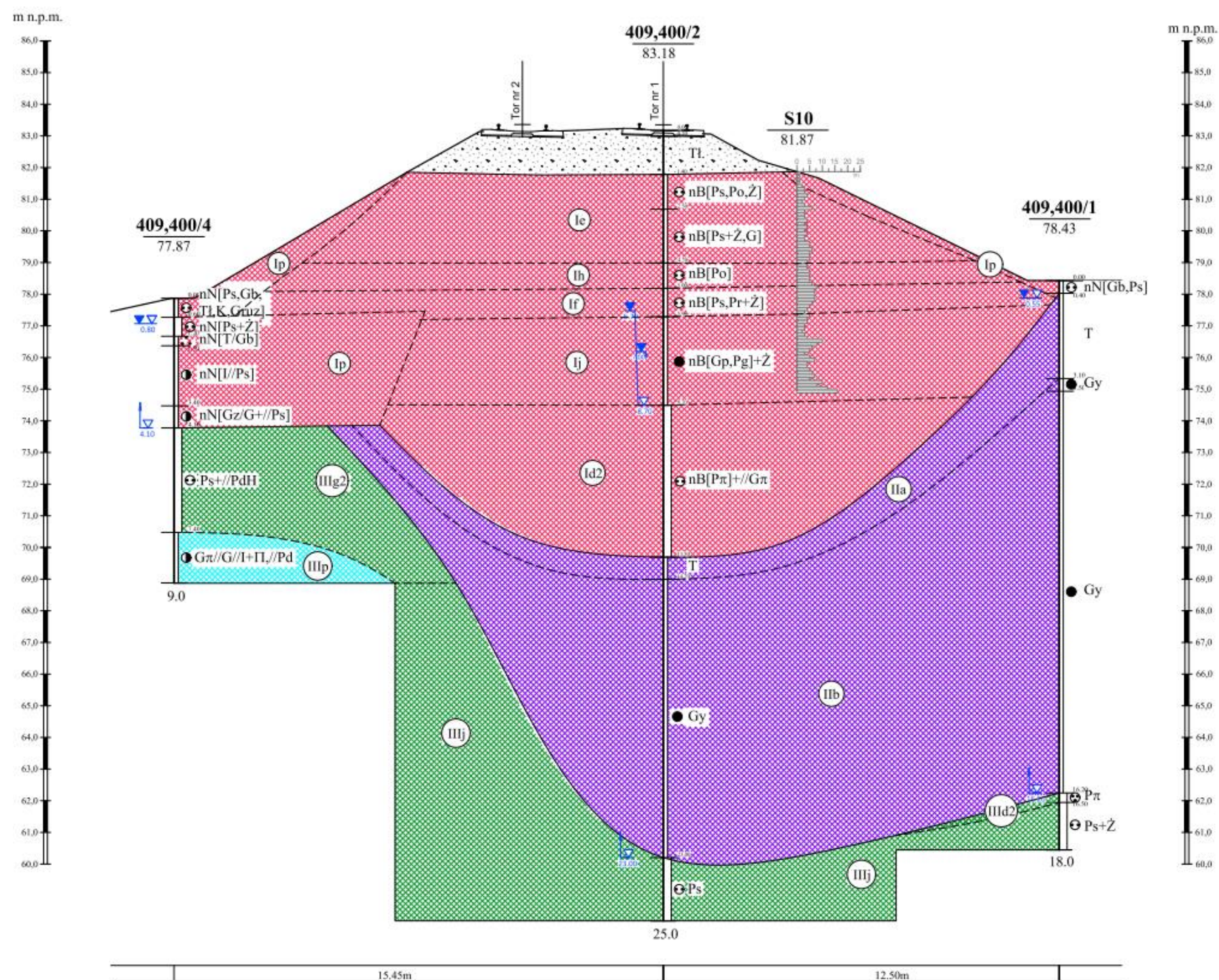
Ryc. 32. Plan sytuacyjno – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 3, km 409,000 – 409,940

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY VI - VI



Ryc. 33. Przekrój geotechniczny VI-VI

PRZEKRÓJ GEOTECHNICZNY VII - VII



Ryc. 34. Przekrój geotechniczny VII-VII

OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

Stan istniejący – przyczyn niestabilności

Linia kolejowa nr 3 od km 409,000 do 409,940 na omawianym odcinku zbudowana jest w nasypie, którego wysokość dochodzi do ok. 5,0 m w strefie okresowo stagnujących wód powierzchniowych związanych ze stanami powodziowymi rzeki Pławnicy. Badania geotechniczne zawarte w ekspertyzie technicznej dla ustalenia przyczyn niestabilności torów, stanu technicznego podtorza i podłoża gruntowego oraz możliwości wykonania naprawy niestabilnego odcinka wykonano w kwietniu 2021 roku.

Z wywiadu terenowego wynikało, że odcinek, ze względu na znaczenie i brak stabilności, jest pod stałym nadzorem diagnostycznym. Na omawianym odcinku zarówno od toru nr 1 jak i 2, nie jest zachowana normatywna ława torowiska, a fragmentami nie istnieje. Stwierdzona grubość tłucznia wynosiła pod torem nr 1 od 0,40 m do 1,50 m, pod torem nr 2 od 0,30m do 1,40 m bez wyraźnych warstw wzmacniających.

Od km 408,900 do 409,200 km, zarówno tor nr 1 jak i tor nr 2 wybudowany został w nachyleniu podłużnym 0,3 %, od km 409,200 do 49,495 km w nachyleniu podłużnym 0,1 %, W km 409,200 oraz km 409,495 na linii zastosowano łuk pionowy o $R=10000$ m.

Teren badań znajduje się w obrębie wysoczyzny morenowej płaskiej, doliny wód roztopowych, wypełnionej równiną torfową na pograniczu z kemami. Maksymalna deniwelacja terenu określona rzędnymi otworów badawczych wynosi 6,62 m. Budowa geologiczna badanego obszaru wykazuje wyraźne zróżnicowanie i jest ściśle związana z procesami glacialnymi i rzecznyymi zachodzącymi na tym terenie oraz w strefie powierzchniowej z procesami antropogenicznymi.

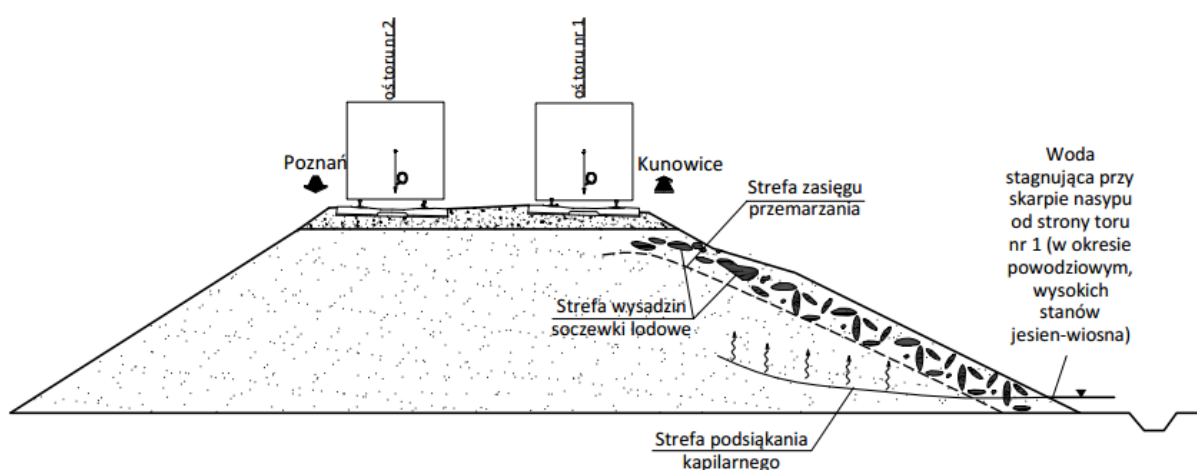
Pod warstwą nasypów budowlanych i nasypów niebudowlanych o zróżnicowanym składzie oraz warstwą gleby, od km 409,000 do km 409,100 występują osady w morenach spiętrzonych zlodowacenia południowopolskiego wykształcone, jako gliny pylaste zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe przewarstwione pyłami, pyły piaszczyste, iły o charakterze warwopodobnym. Dalej od km 409,200 do km ok. 409,500 występują osady akumulacji bagiennej wykształcone w postaci torfów oraz gytii. Osady te zdeponowane zostały na osadach akumulacji wodnolodowcowej oraz piaskach kemów wykształconych w postaci piasków drobnych, piasków pylastych, piasków średnich, pospólek przewarstwionych osadami spoistymi wykształ-

conymi, jako pyły, pyły piaszczyste, gliny pylaste, gliny piaszczyste, piaski gliniaste oraz torf przewarstwiony piaskiem pylastym. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 25,0 m poniżej powierzchni terenu [Materiały własne].

Prawdopodobny mechanizm destrukcji

W okresie jesienno-wiosennym występuje wysoki poziom wody w rzece Pławnica, która okresowo występuje z brzegów. Przyczyny wysokich stanów wody można upatrywać przede wszystkim w ilości opadów, ale także w regularnych przeszkodach/tamach budowanych przez bobry, w zbyt małym świetle przepustu (być może również z powodu zamulenia przepustu), drenującym charakterowi rzeki Pławnicy oraz charakterze ukształtowania terenu. To wszystko powoduje, że w okresie wysokiego poziomu wód gruntowych, często występuje stagnowanie wody na powierzchni, która opiera się na skarpie i korpusie nasypu. Zalewanie i podtapianie nasypu, powoduje wzrost wilgotności w jego podstawie. Osłabienie postawy skarpy przy jej nawodnieniu, powoduje uruchomienie procesów masowych w postaci deformacji geometrii korpusu, rozpełzywanie skarpy, zsuwów, spływów, czy osuwisk.

Korpus nasypu zbudowany jest z gruntu zaliczanego do grupy gruntów wysadzinowych. W takich gruntach występuje możliwość podsiąkania kapilarnego nawet do kilku metrów. W okresach temperatur ujemnych powstaje zjawisko zamrozu w strefie przypowierzchniowej skarpy.



Ryc. 35. Schemat wysadzin w podtapianej skarpie

W strefie zamrozu, czyli do ok. 1 m głębokości od powierzchni skarpy powstają wysadziny, które powodują zdylatowanie gruntu w strefie zamrozu, a więc osłabienie materiału gruntowego, poprzez zmniejszenie spójności i kąta tarcia wewnętrznego. Pogorszenie parametrów geotechnicznych skutkuje niestabilnością zarówno skarpy jak i korpusu nasypu.

Dodatkowo zwiększenie skutków niestabilności jest wywołane ruchem pociągów, który powoduje wzrost ciśnienia porowego w nawodnionym materiale gruntowym. Harmonicznie powtarzający się, od ruchu pociągów, wzrost ciśnienia porowego wewnątrz korpusu nasypu oraz zjawisko wysadzin w strefie zamrozu, powodują rozluźnienie materiału w skarpach i korpusie nasypu, skutkiem czego następuje dodatkowa deformacja geometrii konstrukcji nasypu w przekroju poprzecznym.

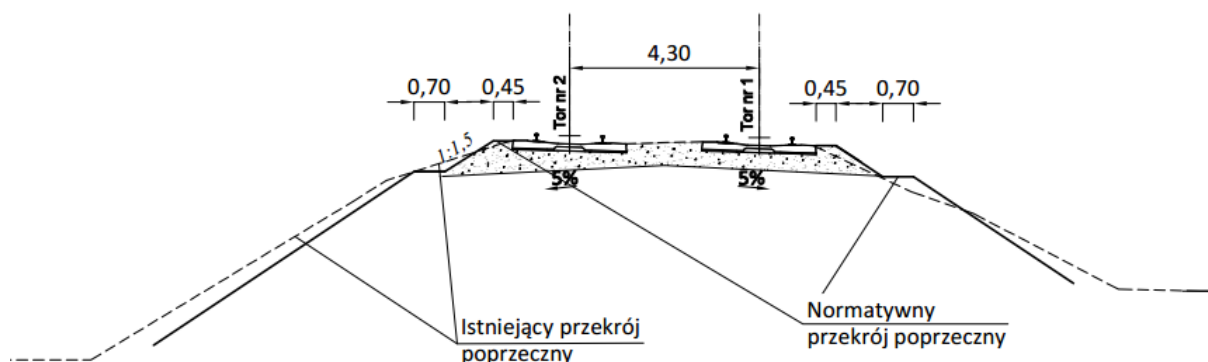
Deformacja geometrii w przekroju poprzecznym nasypu zwiększa się dodatkowo na skutek osiadania i konsolidacji podłoża organicznego. Istotne oddziaływanie na wielkość osiadania podłoża gruntowego mają występujące w jego obszarze grunty organiczne (torfy, gytie), których miąższość miejscami dochodzi nawet do 17m. Konsolidacja podłoża organicznego zbudowanego z torfu i gytii może wynosić od 20% nawet do 50% miąższości warstwy organicznej. Ponieważ na badanym odcinku nie była prowadzona kontrola osiadania podłoża po wybudowaniu linii, to o wielkości osiadania możemy spekulować w oparciu o wyniki przeprowadzonych badań geotechnicznych.

Za kryterium przyjęto wielkość tłucznia pod podkładami torów zlokalizowanych w strefie oddziaływania podłoża organicznego. Wielkość osiadania podłoża gruntowego w newralgicznych miejscach, czyli miejscach o największej miąższości warstw organicznych (na podstawie grubości tłucznia pod podkładami) wynosiła ok. >1,40m. Taka wielkość osiadania dla warstwy o miąższości ok. 17,0m do możliwej miąższości warstwy po zakończonej konsolidacji szacowanej nawet na 9,0m, dowodzi, że proces konsolidacji się nie zakończył i może trwać jeszcze wiele lat.

Proces konsolidacji podłoża organicznego prawdopodobnie się nie zakończył z dwóch istotnych powodów: braku zastosowania technologii przyspieszającej konsolidację oraz stale zwiększające się obciążenie ruchem, na które reaguje podtorze i podłoże organiczne. Wiercenia wykonane w torze nr 1 i torze nr 2 wykazały, że wielkość osiadania podłoża organicznego przez ponad 130 lat wynosiła odpowiednio ok. 9,0m i ok. 7,0÷8,0m zależnie od przyjętego poziomu odniesienia. Osiadanie podłoża organicznego nastąpiło bezpośrednio w strefie dzia-

łania obciążenia od ruchu pociągów, co oznacza, że strefa podparcia skarpy jest nieskonsolidowana i stanowi krytyczną strefę stabilności nasypu. Prognoza ta została potwierdzona przez obliczenia stateczności skarp. W takiej sytuacji bezwzględnie koniecznym jest przyspieszenie procesu konsolidacji podłoża organicznego właśnie w strefie podparcia skarp o podłoże organiczne. Z uwagi na wielkość przewidywanego skonsolidowania, by zachować bezpieczeństwo ruchu pociągów, realizacja przeciążenia i wzmocnienia gęstościowego musi być stosownie rozciągnięta w czasie przy precyzyjnie kontrolowanym przeciążeniu.

Skutkiem wyżej przedstawionych procesów deformacji geometrii linii w przekroju poprzecznym, linia ta na odcinku występowania podłoża organicznego, straciła ławy torowiska po obu stronach toru. Utrata ław torowiska, niezwykle istotnych dla zachowania stabilności torów w planie i profilu jest jednym z zasadniczych elementów, które decydują o zmniejszeniu bezpieczeństwa przy eksploataowaniu linii kolejowej. Przedsięwzięciem technicznym, które mogło dodatkowo przyczynić się do utraty ław torowiska było elektryfikowanie linii kolejowej. Przy elektryfikacji była konieczność rozsunięcia osi torów z 3,50m do 4,0m, co odbywało się zwykle kosztem istniejącej ławy.

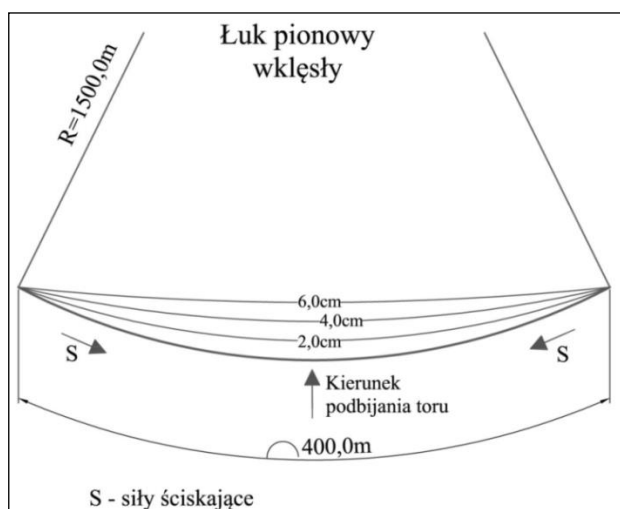


Ryc. 36. Przykładowy przekrój geotechniczny z brakiem ław torowiska i jego porównanie do przekroju normatywnego

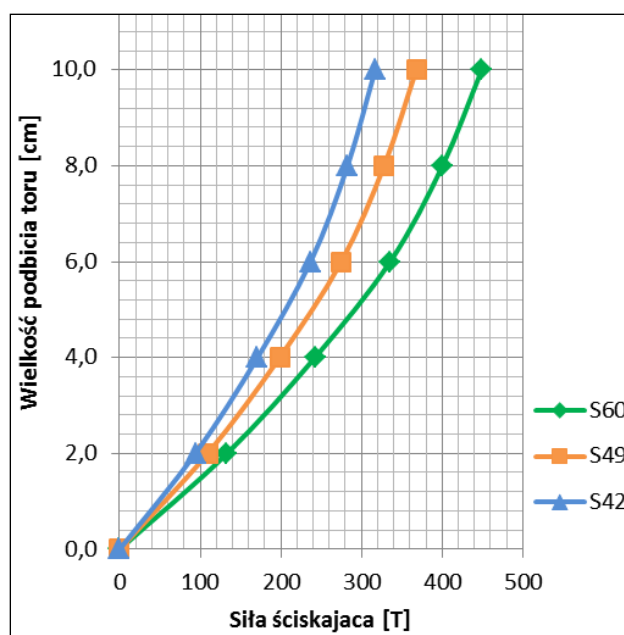
Podstawowym technicznym zabiegiem utrzymaniowym przy osiadaniu podłoża gruntowego i podtorza jest podbijanie torów. Tory na tym odcinku są zarówno w łuku poziomym jak i w łuku pionowym wklęsłym. Zabieg techniczny w postaci podbijania torów jest zabiegiem, tylko chwilowym i bardzo doraźnym, na krótki czas, polepszającym warunki jazdy pociągów. Ponieważ tory były regularnie podbijane to straciły projektowaną niweletę. Permanentne podbijanie toru skutkowało skróceniem długości toru, a więc wywołaniem naprężeń

wewnętrznych ściskających. Naprężenia te przy braku odpowiedniej zasypki czoła podkładów (z powodu braku ławy torowiska) skutkowały wybočeniem toru.

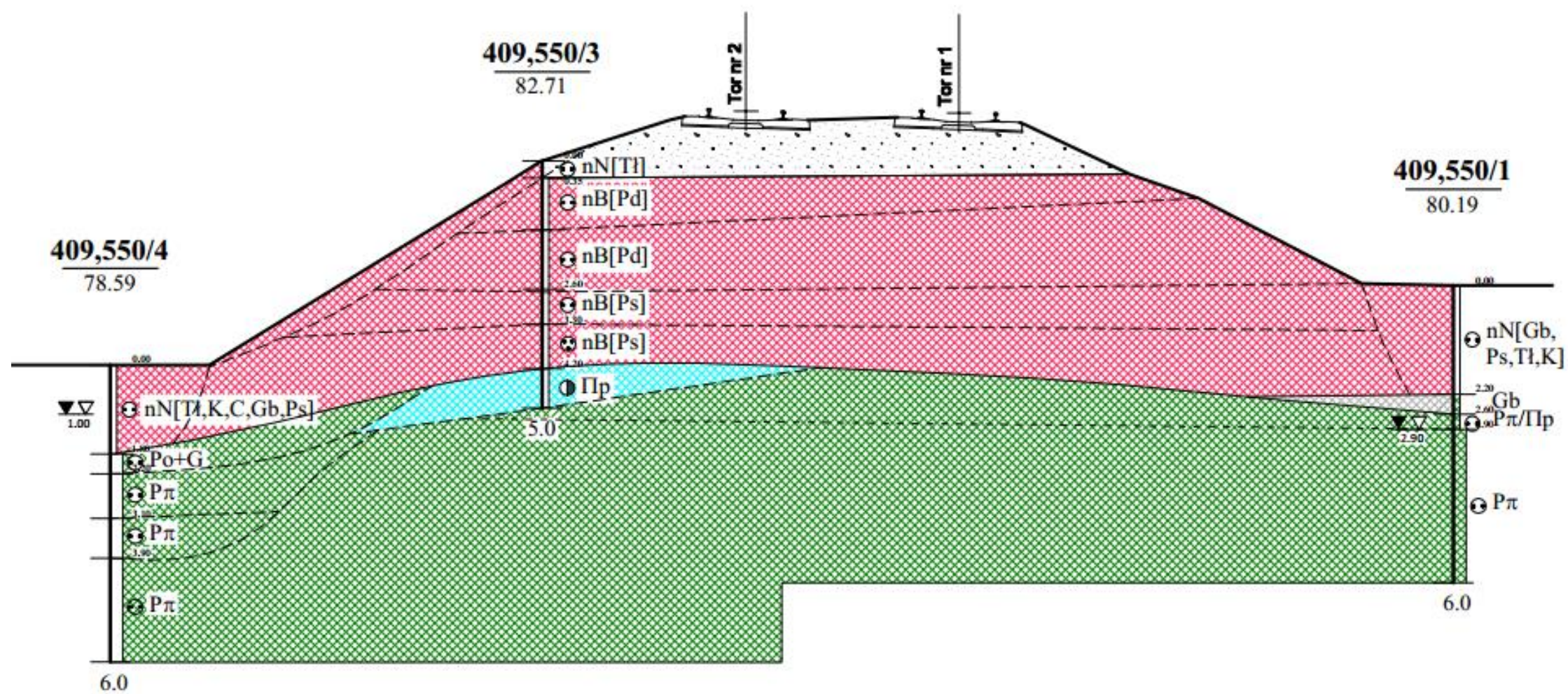
Schemat mechanizmu powstania wyboczenia toru przedstawia poniższy wykres [Ryc.37]. Przykładowe obliczenia powstałych sił ściskających przeprowadzono dla promienia łuku pionowego $R=1500\text{m}$, długości odcinka kołowego 400m , wielkości podbijania $2,0$; $4,0$; $6,0$; $8,0$; $10,0$ cm, alternatywnie dla szyn S60, S49, S42. Wartość sił ściskających, skutkujących powstaniem wyboczenia toru pokazuje poniższy wykres [Ryc.38].



Ryc. 37. Łuk pionowy wklęsły [materiały własne]



Ryc. 38. Wykres sił ściskających powstałych przy podbijaniu toru – dla szyn: S60, S49, S42, przy łuku wklęsłym o $R=1500,0\text{m}$ [Materiały własne]



Ryc. 39. Przykładowy przekrój geotechniczny z brakiem ław torowiska

Brak ławy torowiska powoduje, że pryzma tłucznia, która osiągnęła miejscami $>140\text{cm}$ nie ma oparcia i się osypuje. Dodatkowo, jeżeli podbicie torów jest ponad profil projektowany nawet o $1\div 2\text{ cm}$, to siły wewnętrzne powstające w torach wypychają tor na zewnątrz łuku poziomego w kierunku działania sił odśrodkowych wywołanych przez tabor. Brak oparcia czoła podkładów o pryzmę tłucznia (ponieważ pryzma tłucznia się osypała) zwiększa niestabilność torów.

W wybranych lokalizacjach w międzytorzu, pomierzono rozsuniecie osi torów w łuku i stwierdzono wartości równe $4,50\text{m}$. To znacznie przekracza wymagania normowe poszerzenia na łuku, które wg rozporządzenia i standardów technicznych powinny wynosić w granicach $4,11\text{m} \div 4,17\text{m}$. Ten fakt jest również potwierdzeniem zjawiska niestabilności toru.



Fot. 27. Widok na dolinę rozlewiskową oraz rzekę Pławnica od strony toru nr 1. Widoczne wychylenia słupów trakcyjnych

Kolejnym czynnikiem negatywnie działającym na stabilność toru jest uzupełnianie tłucznia podczas podbijania torów, które dodatkowo dociąża odkształcane podłoże organiczne.

Na skarpie, przede wszystkim po stronie toru nr 1, stwierdzono liczne ślady działalności bobrów i zwierząt budujących nory w korpusie nasypu.



Fot. 28. Widok na dolinę rozlewiskową rzeki Pławnica od strony toru nr 1. Podtapianie podstawy nasypu.



Fot. 29. Nory zwierzęce w skarpie nasypu od strony toru nr 2

ROBOTY NAPRAWCZE

Zakład Linii Kolejowych w Zielonej Górze wykonał naprawę omawianego odcinka, ale autorowi dysertacji nie jest znany zakres i sposób naprawy.

1.10. Linia kolejowa nr 273, km 237,000 ÷ 237,400**Lokalizacja**

Linia kolejowa nr 273 na odcinku od km 237,000 do km 237,400 znajduje się pomiędzy przystankami kolejowymi Radów i Laski Lubuskie, gmina Gorzyca, powiat ślubicki, województwo lubuskie.

Historia budowy linii kolejowej

Linia kolejowa nr 273 na analizowanym odcinku została oddana do użytku 2.01.1875r., jako linia jednotorowa Kolei BFSE (Breslau-Freiburg-Schweidnitz Eisenbahn) Wrocławsko-Świebodzko-Świdnicka. Cała linia została wykonana w latach 1843÷1884. W roku 1976 na analizowanym odcinku dobudowano drugi tor (tor nr 1), a zelektryfikowana została do 28.05.1985r. Obecnie jest to linia magistralna, dwutorowa, zelektryfikowana na całej długości. Linia kolejowa na odcinku od km 237,000 do km 237,400, odcinek szlakowy pomiędzy przystankiem Radów, a przystankiem Laski Lubuskie, posiada rozkładowe prędkości pociągów pasażerskich wynoszące 160 km/h oraz 120 km/h dla pociągów towarowych. Na tym odcinku od km 237,090 do km 237,140 zostały zastosowane ograniczenia prędkości ruchu pociągów do wartości $V=50\text{km/h}$ [Atlas linii kolejowych, 2014; Materiały własne].

Budowa geologiczna, morfologia terenu oraz warunki hydrogeologiczne

Na wschód od doliny Odry rozciąga się Pojezierze Łagowskie (315.42). Pod względem morfologicznym obszar ten można podzielić na dwie części, północną i południową. Część północną stanowi wysoczyzna morenowa falista. Na niej występują zagłębienia po martwym lodzie. Z analizy geomorfologicznej całego rejonu wynika, że jest to pradolina, która odprowadzała wody roztopowe w kierunku południowym do pradoliny warszawsko-berlińskiej, we wczesnej fazie pomorskiej, w okresie gdy blokowany był odpływ przez przełom w Eberswalde.

Obszar na południe od Starkowa i Golic jest to strefa marginalna fazy poznańskiej z charakterystycznymi ciągami wzgórz morenowych. Wyróżnić można dwie strefy moren czo-

łowych. Jedna przebiega w kierunku SW–NW, druga strefa moren czołowych zaznacza się w formie łuku, o kierunku SE–N, od Nowych Biskupic po Golice. Wysokość tych moren jest na ogół niewielka, wynosi od kilku do kilkunastu metrów. Długość ich przeważnie nie przekracza kilkuset metrów. Najdłuższy wał morenowy ma długość 5,5 km i osiąga szerokość 300,0 m. W strefie marginalnej wyróżniono wzniesienia kemowe, które towarzyszą morenom czołowym. Moreny czołowe i pagórki kemowe związane są ze stopniowym wycofywaniem się krawędzi lądolodu podczas deglacjacji i akumulacją osadów w wałach czołowo-morenowych i lokalnych zbiornikach zastoiskowych. Na południe od linii moren czołowych fazy poznańskiej rozciąga się szeroka powierzchnia sandru, należąca do IV poziomu tarasowego. W obrębie strefy marginalnej między Nowymi Biskupicami, a Golicami zaznacza się szereg poziomów sandrowych związanych ze stopniowo wycofującą się krawędzią lądolodu. W południowej części badanego obszaru zaznaczają się rynny subglacjalne, a średnia głębokość rynien waha się od 5,0 do 15,0 m. Dno rynien jest urozmaicone, w ich obrębie znajdują się liczne wyniosłości i progi [Kaczyński, 2017; Kondracki, 1988].

Przeprowadzone w maju 2021 roku badania geotechniczne:

- odwiercono 24 otwory badawcze o głębokości od 2,0 do 6,5 m, razem odwiercono 119,5 mb,
- wykonano 1 sondowanie sondą dynamiczną lekką typu DPL o głębokości do 3,0 m, łącznie 3,0mb,
- wykonano 1 sondowanie sondą dynamiczną typu ITB-ZW z końcówką krzyżakową, oraz 2 badania ścinania sondą krzyżakową.

Pod warstwą nasypów budowlanych (o wartościach $I_D=0,30\div0,50$ oraz $I_L=0,30\div0,15$) zbudowanych od góry z pospółki, niżej z glin piaszczystych, glin, pisaków gliniastych, pospółek gliniastych i nasypów niebudowlanych o zróżnicowanym składzie oraz gleby, od km 237,000 do km 237,230 występują osady akumulacji bagienno-rzecznej wykształcone w facji:

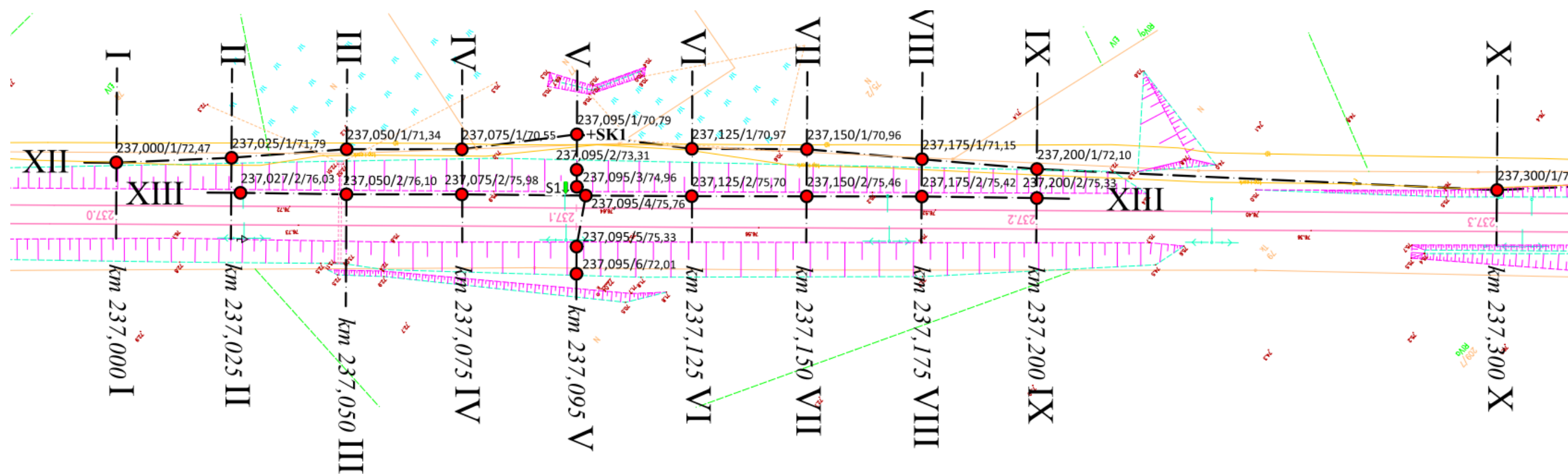
- bagiennej – wykształcone w postaci torfów, gytii, namulów gliniastych, namulów pylastych, namulów gliniastych przewarstwionych torfami,
- korytovej – wykształcone w postaci piasków pylastych (o wartościach $I_D=0,40$),
- zastoiskowej – wykształcone w postaci glin pylastych, glin piaszczystych, pyłów, pyłów piaszczystych, pyłów piaszczystych przewarstwionych pyłami (o wartościach $I_L=0,45\div0,10$),

W otworach w km 237,300 i 237,400 nawiercono piaski pylaste. Osady akumulacji bagienno-rzecznej oraz piaski pokrywowe, zdeponowane na osadach bezpośredniej akumulacji lądolodu zlodowacenia północnopolskiego – Wisły (o wartościach $I_L=0,20\div0,10$). wykształconych jako gliny piaszczyste, gliny, gliny na pograniczu glin piaszczystych, piaski gliniaste. Osadów tych nie przewiercono do badanej głębokości 6,5 m poniżej powierzchni terenu.

W trakcie prowadzonych wierceń stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej w różnej postaci.

W otworze nr 237,000/1 oraz w 237,400/2 stwierdzono występowanie swobodnego zwierciadła wody gruntowej na głębokościach odpowiednio 0,60 m i 0,30 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnych 71,87 m n.p.m. i 75,21 m n.p.m. W otworach nr 237,025/1; 237,095/1; 237,095/6; 237,125/1; 137,150/1; 237,175/1; 237,200/1 stwierdzono występowanie zwierciadła wody gruntowej pod ciśnieniem hydrostatycznym na głębokości od 4,10 m p.p.t. do 0,90 m poniżej powierzchni terenu, które stabilizowało się na głębokościach od 1,80 m do 0,60 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnej od 70,90 m n.p.m. do 70,19 m n.p.m. W otworach nr 237,050/1; 237,075/1; 237,075/2; 237,095/2; 237,095/6; 237,125/2; 237,400/1; 237,400/2 stwierdzono sączenia wody gruntowej w obrębie gruntów spoistych na głębokości od 5,30 m do 1,60 m p.p.t., które stabilizowało się na głębokościach od 5,30 m do 0,60 m poniżej powierzchni terenu, czyli na rzędnej od 69,95 m n.p.m. do 75,10 m n.p.m. W otworach numer 237,027/2; 237,050/2; 237,095/3; 237,095/4; 237,095/5; 237,150/2; 237,175/2; 237,200/2; 237,300/1 do badanej głębokości nie stwierdzono występowania zwierciadła wody gruntowej.

Przewiduje się, że wahania zwierciadła wody gruntowej w cyklu rocznym mogą wynosić miejscami od +1,50 m do -0,50 m zależnie od intensywności opadów atmosferycznych.



OBJAŚNIENIA:

II —●— 237,025/1/71,79 —●— 237,027/2/76,03 — km 237,025 II

S1↓

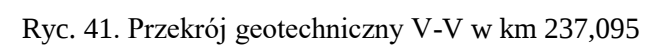
+SK1

- miejsce, kilometr, numer i rzędna miejsc badawczych oraz numer, kilometr i kierunek przekroju geotechnicznego

- miejsce i numer sondy dynamicznej lekkiej typu DPL

- miejsce i numer ścinania sondą krzyżakową

Ryc. 40. Plan sytuacyjno – wysokościowy rozmieszczenia miejsc badawczych LK 273, km 237,000 – 237,400



OPIS MECHANIZMÓW ROZWOJU PROCESÓW DESTRUKCYJNYCH

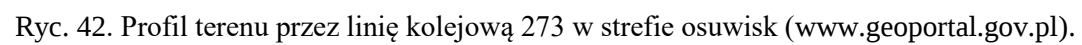
Stan istniejący – przyczyny niestabilności

Linia kolejowa nr 273 jest to linia magistralna, dwutorowa, zelektryfikowana na całej długości. Tory szlakowe nr 1 i nr 2 przebiegają na wspólnym torowisku. Na omawianym odcinku od toru nr 2 nie jest zachowana normatywna ława torowiska, a geometria w przekrojach poprzecznych jest wyraźnie zdeformowana. W profilu podłużnym na badanym odcinku, linia ma spadek zgodny ze wzrastającą kilometracją. Po stronie toru nr 2, w km 237,095 stwierdzono oś koluwium osuwiskowego, świadczącą o aktywnych procesach masowych (aktywne osuwisko). Występowanie strefy osuwiskowej można szacować od km ok. 237,060 do km ok. 237,130.

Podtorze i konstrukcja nasypu (pod obecnym torem nr 2) powstała ponad 130 lat temu, stąd materiał zastosowany do jego budowy zwłaszcza w torze nr 2, zdecydowanie nie odpowiada obecnym wymaganiom technicznym i nie jest w stanie bezpiecznie przenieść tak dużego obciążenia. Ponadto w podłożu występują grunty organiczne w postaci torfów i namulów. Po przeprowadzonych pomiarach geodezyjnych oraz badaniach geotechnicznych w czerwcu 2021 nie stwierdzono konstrukcji warstw wzmacniających podtorze.

Na odcinku od km 237,000 do 237,400 od strony toru nr 2 nie ma uregulowanych stosunków wodnych. Istniejące rowy boczne, strefy występowania gruntów organicznych i stagnowania wód bezpośrednio przy nasypie, zdecydowanie pogarszają stan techniczny korpusu nasypu. W km 237,045 zlokalizowany jest przepust, który po remoncie przestał spełniać swoje podstawowe zadanie. Od strony toru nr 1 sytuacja jest bardzo podobna.

Na tym odcinku linia kolejowa poddawana była jednostronnemu naporowi wody opadowej akumulowanej z wysoczyzny. Napływ wody opadowej napierającej na nasyp od strony toru nr 1 to wody zbierane ze zlewni o powierzchni ok. 160ha przy różnicy wysokości do 16,0m [ryc.42]. Przyjmując, że powierzchnia terenu zlewni jest nieprzepuszczalna, co najwyżej słabo przepuszczalna, a do analizy ogólnej przyjęto pojawienie się opadu 10mm to przy 160ha otrzymano 16000 m^3 wody opadowej, niech 40% z tego ulegnie infiltracji to pozostaje ok. $10\,000 \text{ m}^3$ parcia wody na nasyp.



Prawdopodobny rozwój procesu niestabilności nasypu.

Z wywiadu terenowego przeprowadzonego w marcu 2021 roku z pracownikami PKP wynika, że po zaistnieniu osuwiska, które wystąpiło dopiero po wybudowaniu toru nr 1, podbijanie toru nr 2 na badanym odcinku odbywa się z częstotliwością jeden raz na kwartał. Założono również, że bardziej osiada tok wewnętrzny toru nr 2. W rejonie istniejącego przepustu od dawna obserwowano istotne odkształcenia toru, które ograniczały ruch pociągów.

Czynniki oraz procesy, które zadecydowały o niestateczności

Po wszechstronnej analizie wyników z wykonanych badań geotechnicznych, ocenie stanu odwodnienia badanego odcinka linii kolejowej, historii budowy, rozbudowy, modernizacji i elektryfikacji linii, wytypowano zasadnicze czynniki, które miały wpływ na niestateczność korpusu nasypu na badanym odcinku linii kolejowej.

Nasyp na odcinku od km 237,000 do km 237,230 posadowiono na osadach akumulacji bagienno-rzecznej. To właśnie osady facji bagiennej stanowią słaby element posadowienia, dlatego że jest to podłoże organiczne nadmiernie odkształcalne o małych wartościach parametrów wytrzymałościowych. Natomiast osady warstwy zastoiskowej wykształcone w postaci pyłów piaszczystych, pyłów oraz glin pylastych w stanie plastycznym, są wrażliwe na wzrost wilgotności powodujący uplastycznienie i utratę wytrzymałości na ścinanie. Ponieważ są one podścielone nawodnionymi piaskami pylastymi, a harmoniczne oddziaływanie obciążenia od ruchu pociągów powoduje powstanie ciśnienia porowego i zjawiska w postaci tiksotropii i lokalnie kurzawek. Jest to prosty mechanizm szybkiego uplastyczniania się osadów zastoiskowych zwłaszcza tych o małym wskaźniku plastyczności I_p .

Stan techniczny korpusu nasypu, a raczej jakość materiału z jakiego został zbudowany w pełni odzwierciedla historyczny czas budowy nasypu. Pierwszy został zbudowany, w roku 1875 obecny tor nr 2. Ponieważ wiedza techniczna o budowie takich obiektów była znikoma, a obciążenie linii kolejowej było nieporównywalnie mniejsze niż obecnie, to przy budowie nasypu (obecnego toru nr 2) wykorzystano materiał gruntowy lokalny oraz z przekopu. Ten fakt spowodował, że nasyp jest zbudowany z mieszaniny gruntów średnio spoistych takich jak piaski gliniaste, gliny piaszczyste z domieszką piasków i żwirów oraz z soczewkami organicznymi. Materiał gruntowy, z którego został wykonany nasyp toru nr 2 jest gruntem zali-

czanym do gruntów bardzo wysadzinowych. W okresie zimowym przy temperaturach ujemnych następuje podsiąkanie wody gruntowej i opadowej nawet na wysokość 7,0m. Woda ta zamarza w strefie oddziaływania mrozu czyli ok 1,0 m i głębiej poniżej powierzchni skarpy tworząc między ziarnami soczewki lodu, który wiosną topnieje pozostawiając rozluźnioną - zdylatowaną strefę między ziarnami gruntu w strefie zamrozu. Zdylatowanie to obniża wytrzymałość – nośność nasypu od 50% nawet do 70%.

Stan techniczny nasypu pod torem nr 1, który był wybudowany w 1976 roku, odpowiada zupełnie innym wymaganiom zgodnym z wymogami technicznymi z czasów budowy. Jest on zbudowany z gruntów piaszczystych, średnio i grubo ziarnistych, w stanie średnio zagęszczonym.

Na badanym odcinku stwierdzono nie działający system odwodnienia. Powodu takiego stanu należy się doszukiwać w funkcjonującym przez 150 lat procesie biochemicznego rozkładu gruntów organicznych. Proces ten spowodował osiadanie podłoża organicznego na odcinku jego występowania pod torem. Osiadanie jest proporcjonalne do miąższości gruntów organicznych, to znaczy, że odbywało się ono nierównomiernie na zatorfionej niecce. W wyniku tego procesu nastąpiło takie osiadanie terenu przylegającego do linii kolejowej, że wlot przepustu przeprowadzającego wodę opadową gromadzącą się po stronie toru nr 1 na stronę toru nr 2, ma rzędną wyższą niż przyległy teren. Różnica wysokości między wlotem do istniejącego przepustu, a terenem przyległym od strony toru nr 1 wynosi ok. 1,5m (co oznacza, że wlot przepustu jest wyżej o 1,5m od najniżej położonego terenu). Ponadto system rowów bocznych łącznie z systemem rowów drenujących nieckę jest niedrożny lub słabo drożny.

Linia kolejowa na analizowanym odcinku została zbudowana w obrębie niecki wypełnionej gruntem organicznym. Linia ta pierwotnie była linią jednotorową z obecnym torem nr 2. Przeprowadzanie wód opadowych ze strony wschodniej na zachodnią odbywało się przepustem zlokalizowanym w km 237,045. Początkowo przy sprawnie działającym przepuscie i stosunkowo małym obciążeniu ruchem pociągów, nawet przy mało wytrzymałej konstrukcji korpusu nasypu nie ma informacji o złym jego funkcjonowaniu. Na skutek harmonicznego obciążenia korpusu nasypu wzrastającym ruchem pociągów, wahań zwierciadła wody gruntowej, podłoże gruntowe w tym, szczególnie zbudowane z gruntów organicznych, ulegało odkształceniu i konsolidacji. Proces ten, który trwał ok. 150 lat (czyli czas eksploatacji linii kolejowej) spowodował, że wybudowany w km 237,045 przepust przestał spełniać swoje

zadanie, ponieważ poziom jego wlotu znalazł się wyżej niż przyległy teren. Przylegająca do przepustu zlewnia wody opadowej, którą to wodę miał przerzucać przepust, ma powierzchnię ok.160ha. Wewnętrzna deformacja korpusu nasypu powstała na skutek istotnej różnicy technicznej między gruntem bardzo wysadzinowym i wysadzinowym, wbudowanym pod torem nr 2, gruntem piaszczystym, przepuszczalnym i niewysadzinowym wbudowanym pod torem nr 1.

Woda opadowa z terenu zlewni (ok.160ha) spływa w kierunku nasypu od strony toru nr 1. Nie mogąc się przedostać na drugą stronę (z uwagi na nieskuteczny istniejący przepust) infiltruje w nasyp, ponieważ od strony toru nr 1 jest on zbudowany z przepuszczalnych gruntów piaszczystych. W strefie toru nr 2 woda trafia na przeszkodę w postaci gruntów nie przepuszczalnych, z którego nasyp jest zbudowany. Zgromadzona w korpusie woda wywiera parcie na przegrodę z nieprzepuszczalnych gruntów. Nadmiernie nasiąknięty wodą korpus nasypu oraz intensywne i permanentne oddziaływanie statyczne, a przede wszystkim dynamiczne, powoduje, że sumaryczna siła tych oddziaływań skutkuje możliwością wystąpienia znacznych odkształceń podłoża gruntowego i korpusu nasypu do awarii linii kolejowej włącznie, co objawiło się osuwiskiem.

W okresie jesienno-wiosennym występuje wysoki poziom wody gruntowej. Okresowo gromadzi się ona w niecce torfowej przylegającej do nasypu zwłaszcza od strony toru nr 2, powodując jej występowanie z brzegów. Przyczyny wysokich stanów wody można upatrywać przede wszystkim w ilości opadów, ale także w nieczynnym drenażu terenu i złym utrzymaniu rowów odwadniających. To wszystko powoduje, że w okresie wysokiego poziomu wód gruntowych, często mamy stagnowanie wody na powierzchni, która opiera się na skarpie i korpusie nasypu. Zalewanie i podtapianie nasypu, powoduje wzrost wilgotności w jego podstawie. Osłabienie postawy skarpy przy jej nawodnieniu, uplastycznieniu oraz destrukcyjne działanie parcia od strony toru nr 1 powoduje uruchomienie procesów masowych w postaci zsuwów, spływów, deformacji geometrii korpusu czy osuwisk.

Korpus nasypu zbudowany jest z gruntu zaliczanego do grupy gruntów wysadzinowych (dotyczy to toru nr 2). W takich gruntach występuje możliwość podsiąkania kapilarnego nawet do kilku metrów. W okresach temperatur ujemnych powstaje zjawisko zamrozu w strefie przypowierzchniowej skarpy.

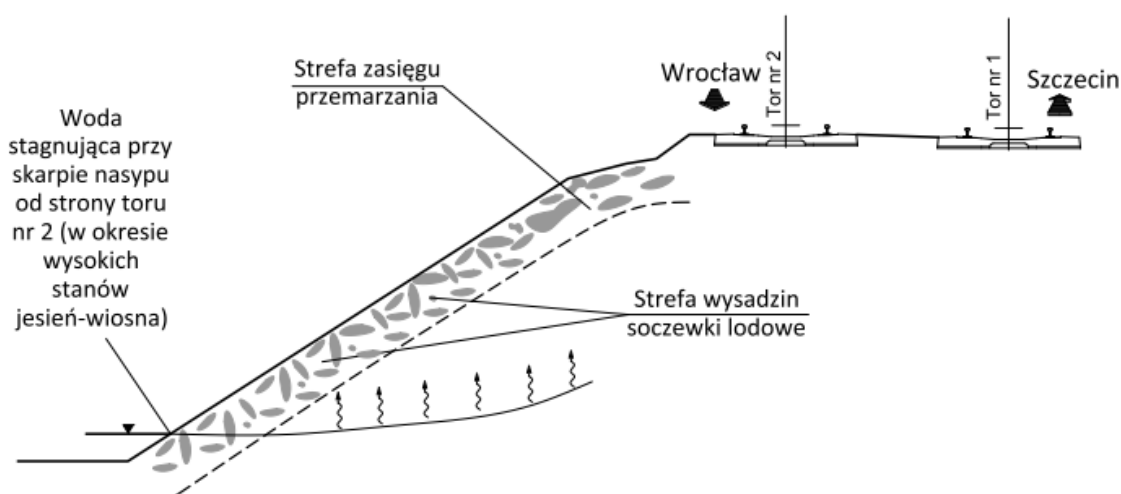
W strefie zamrozu, czyli do ok. 1m głębokości od powierzchni skarpy powstają wysadziny, które powodują zdylatowanie gruntu, a więc osłabienie materiału gruntowego, poprzez

zmniejszenie spójności i kąta tarcia wewnętrznego. Pogorszenie parametrów geotechnicznych skutkuje niestabilnością zarówno skarpy jak i korpusu nasypu.

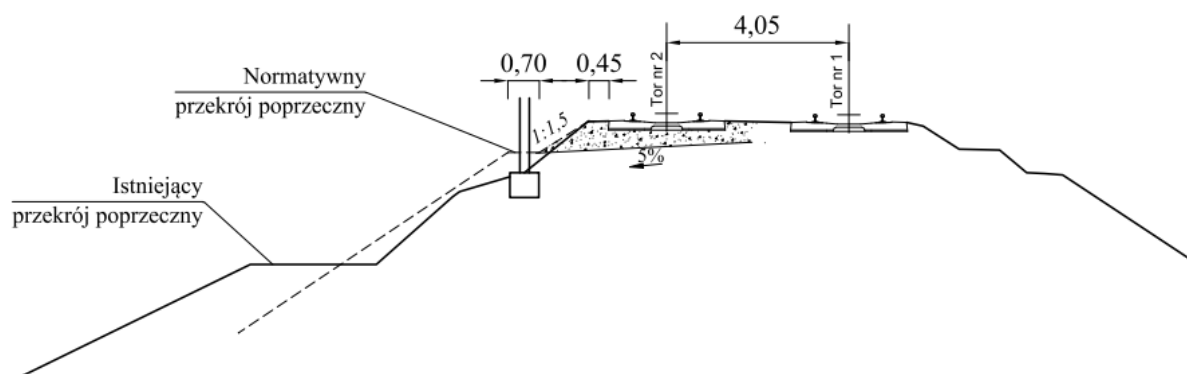
Dodatkowo zwiększenie skutków niestabilności jest wywołane ruchem pociągów, który powoduje wzrost ciśnienia porowego w nawodnionym materiale gruntowym. Harmonicznie powtarzający się od ruchu pociągów wzrost ciśnienia porowego wewnątrz korpusu nasypu oraz zjawisko wysadzin w strefie zamrozu, powodują rozluźnienie materiału w skarpach i korpusie nasypu, skutkiem czego następuje dodatkowa deformacja geometrii konstrukcji nasypu w przekroju poprzecznym.

Nadmierne osiadanie spowodowane jest, nie tylko procesem zagęszczania materii gruntowej nasypu, ale również jej uplastycznianiem i wypieraniem gruntów na skutek parcia wody napływowej ze zlewni.

Standardowym zabiegiem technicznym przy osiadaniu podłoża gruntowego i podtorza jest podbijanie torów, który dociąża niestateczny korpus nasypu. W sytuacji ograniczonych warunków eksploatacyjnych.



Ryc. 43. Schemat wysadzin w podtapianej skarpie



Ryc. 44. Przykładowy przekrój geotechniczny km 237,095 z brakiem ław torowiskowych i jego porównanie do przekroju normatywnego.

ROBOTY NAPRAWCZE

Zarządca przygotowuje inwestycję do realizacji na tym odcinku linii kolejowej nr 273.