

Zjawiska osuwiskowe na polskiej sieci kolejowej

Adam DĄBROWSKI¹, Krzysztof OCHOCIŃSKI², Eugeniusz SKRZYŃSKI³

Streszczenie

Ograniczenie zagrożeń podtorza osuwiskami obecnie jest szczególnie ważne, gdyż wraz z wejściem Polski w struktury Unii Europejskiej powstała konieczność dostosowania istniejącej infrastruktury dróg kolejowych do standardów unijnych, w tym do zwiększonych prędkości pociągów. W artykule omówiono przyczyny zjawisk osuwiskowych, metody wykrywania i badań osuwisk oraz sposoby postępowania w przypadku wystąpienia osuwiska na liniach zarządzanych przez PKP PLK S.A. Tematykę zilustrowano opisami kilku osuwisk podtorza. Stwierdzono, że w większości przypadków bezpośrednimi przyczynami wystąpienia osuwisk na eksploatowanych liniach kolejowych są błędy budowy i utrzymania, powodujące pogorszenie spływu wód lub zwiększenie obciążeń gruntów podtorza. Szybka ocena zagrożeń osuwiskami na wszystkich eksploatowanych liniach nie jest jednak możliwa. Dlatego konieczne jest zwrócenie większej niż dotychczas uwagi na możliwe działania zapobiegawcze, polegające m.in. na niedopuszczaniu do pogarszania się warunków pracy podtorza, wykorzystywaniu wyników pomiarów stanu toru i systemu eksperckiego DP do wczesnego wykrywania potencjalnych zagrożeń, wprowadzeniu zasady pełnego rozpoznania geotechnicznego podtorza przed modernizacją linii.

Słowa kluczowe: koleje, budowle ziemne, podtorze, osuwiska

1. Wstęp

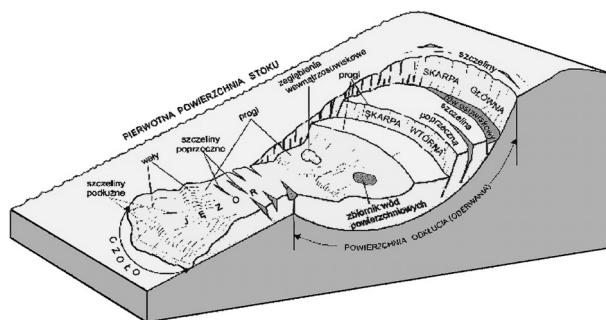
Proces osuwiskowy to jeden z niszczących procesów występujących w przyrodzie, charakteryzujący się naruszeniem równowagi pomiędzy naprężeniami ścinającymi od ciężaru odłamu a oporem gruntu przeciw ścinaniu. Przejawia się on w postaci przemieszczeń mas gruntu w kierunku mniejszego oporu, najczęściej w dół po tak zwanej powierzchni poślizgu. Niekiedy osuwiska występują nagle. Wówczas masy gruntu zsuwają się w ciągu kilku minut; w innych przypadkach ruch osuwiskowy może trwać od kilku godzin do kilku dni, a niekiedy nawet wiele lat. Wielkość mas objętych osuwiskiem może być różna – od niewielkich, o objętości kilkudziesięciu metrów sześciennych, do olbrzymich, sięgających tysięcy, a nawet milionów metrów sześciennych.

¹ Mgr inż., Instytut Kolejnictwa, e-mail: adabrowski@ikolej.pl.

² Mgr inż., Instytut Kolejnictwa, e-mail: kochocinski@ikolej.pl.

³ Dr inż., Instytut Kolejnictwa, e-mail: eskrzynski@ikolej.pl.

Zjawiska te najczęściej występują w terenach górskich i swoim zasięgiem obejmują duże obszary. Charakteryzują się głęboko zlokalizowanymi powierzchniami poślizgu i utworzeniem na powierzchni terenu wyraźnych form osuwiskowych (rys. 1). Z tego względu, zjawiska osuwiskowe na terenach górskich, najwcześniej stały się przedmiotem badań, co znajdzie odzwierciedlenie w wielu opracowaniach literaturowych. Wraz z rozwojem transportu lądowego, osuwiska pojawiły się również na zboczach sztucznie ukształtowanych przez człowieka, takich jak nasypy i przekopy kolejowe (rys. 2).



Rys. 1. Elementy osuwiska [20]



Rys. 2. Osuwisko nasypu kolejowego obejmujące zasięgiem jeden tor [mat. autorów]

Obecnie, pomimo zmniejszenia się przewozów na PKP, długość odcinków z wadami podtorza, w tym osuwiskami, nie maleje. Jest to spowodowane wieloletnimi zaległościami w kompleksowych naprawach dróg kolejowych, a także uszkodzeniami podtorza podczas robót nawierzchniowych oraz większymi obciążeniami przekazywanymi na podtorze w torach z podkładami betonowymi. Na kolei osuwiska najczęściej dotyczą nasypów. Jednak równie niebezpieczne, co utrata stateczności samego nasypu, jest zlokalizowanie go na terenie osuwiskowym.

Problem ten występuje zwłaszcza na terenie fliszu karpackiego (98% wszystkich osuwisk w Polsce znajduje się w Karpatach). W latach 1967–1970 liniom kolejowym na tym terenie zagrażało 49 osuwisk. Przy łącznej długości linii wynoszącej 850 km, zagrożonych osuwiskami było 86 km, zatem na 10 km przypadało jedno osuwisko [22].

2. Przyczyny osuwisk

Najczęściej osuwisko powstaje na skutek jednoczesnego działania wielu, niekiedy trudnych do określenia, czynników powodujących zwiększenie sił występujących w gruntach lub zmniejszenie wytrzymałości gruntów. Bezpośrednimi przyczynami osuwiska kolejowej budowli ziemnej są zazwyczaj:

- zwiększenie obciążeń podtorza (zwiększenie prędkości pociągów, zawilgoce nie gruntu, obciążenie odsiewkami, śniegiem itp.),
- podcięcie stoku wykopem, przekopem, na skutek falowania wód itp.,
- zmniejszenie się wytrzymałości gruntów na ścinanie, np. na skutek dopływu wód z wyżej położonych zbiorników, nagłego zawilgocenia gruntów makroporowatych lub niedogęszczonych itp.,
- odspojenie górnych warstw podłoża zbudowanego ze skał,
- wymywanie cząstek gruntu z dolnych warstw podłoża,
- mała wytrzymałość gruntu na styku warstw (np. na skutek zawilgocenia, przemarzania gruntu),
- upłynnienie się gruntu na skutek drgań.

Przyczyny występowania zjawisk osuwiskowych w dużej mierze są związane z lokalizacją budowli. Na terenach osuwiskowych, najczęściej terenach górskich oraz podgórskich, powstawanie osuwisk zazwyczaj jest związane z lokalnymi naturalnymi warunkami gruntowo-wodnymi podłoża oraz błędami budowlanymi, na przykład nieprawidłowym odwodnieniem, zastosowaniem niewłaściwych gruntów do budowy, niedostatecznym zagęszczeniem gruntów, zbyt stromym pochyle niem skarp. Często przyczyną powstawania procesów osuwiskowych jest szkodliwe działanie wody, polegające na zwiększeniu sił zsuwających (zwiększenie ciężaru gruntu, działanie ciśnienia sphywowego) i zmniejszeniu sił zapewniających stateczność (wzrost ciśnienia porowego i parcia hydrostatycznego).

Naruszenie równowagi zbocza i uaktywnienie przemieszczeń mas ziemnych może nastąpić również na skutek podjęcia zbocza przez przekop, odciążenia zbocza wskutek usunięcia jego nadkładu, odsłonięcia gruntów podatnych na erodowanie, zakłócenia warunków przepływu wód podziemnych lub powierzchniowych. W takich przypadkach, każda działalność budowlana wymaga bardzo dobrego rozpoznania geologicznego terenu. Niezbędna jest również prawidłowa

eksploatacja istniejących budowli ziemnych, w tym prowadzenie systematycznych kontroli, zwłaszcza zaś dbanie o drożność urządzeń odwadniających. Na terenach równin, w powstawaniu zjawisk osuwiskowych w podtorzu, większą rolę odgrywa działalność człowieka i popełnione błędy budowy i utrzymania (rys. 3, 4).



Rys. 3. Niedrożny przepust [mat. autorów]



Rys. 4. Podtopienie podtorza z powodu niewłaściwego odwodnienia [mat. autorów]

Warto tu zauważyć, że około 83% obecnych dróg kolejowych PKP wybudowano przed I wojną światową, a więc w okresie rozbiorów. Po odzyskaniu niepodległości doprowadzono do scalenia sieci kolejowej i wielokrotnie zmieniano przepisy, nie zawsze jednak dokonywano zmian kształtu lub konstrukcji podtorza w celu dostosowania go do nowych wymagań. Na skutek braku wzmocnień torowisk lub niszczenia ich przez oczyszczarki tłucznia oraz zwiększonych obciążeń

toru, powstawały odkształcenia torowisk sprzyjające gromadzeniu się wód opadowych i osuwiskom skarp. Do pogorszenia stanu przyczyniła się dobudowa podtorza pod drugie tory, wykonywana bez należytego rozpoznania geotechnicznego. Z tego powodu, w wielu przypadkach układy gruntów w podtorzu są niekorzystne i sprzyjają gromadzeniu się wód opadowych. Zaostrzenie wymagań w zakresie układu geometrycznego toru (większe promienie łuków poziomych, szersze międzytorza, mniejsze pochylenia) powodowało też, że istniejące zapasy wytrzymałości podtorza były szybko wyczerpywane. Uważa się, że znikają one już po poprzecznym przesunięciu nawierzchni o 20–30 cm [17].

Na liniach obecnie modernizowanych, osuwanie się skarp nasypów może nastąpić nawet z powodu stosowania ciężkiego sprzętu udarowego lub wibracyjnego. Wykorzystanie takiego sprzętu, zwłaszcza do robót w częściach skarpowych nasypów (np. do wykonania fundamentów słupów trakcyjnych), wymaga udokumentowania stateczności podtorza.

Na terenach szkód górniczych osuwiska występują z powodu ciągłych i nieciągłych odkształceń terenu nad wyrobiskami górnictwami, na przykład rozpełzania gruntu podłoża przy przechodzeniu frontu robót podziemnych pod trasą kolejową. Przyczyną osuwisk są też przeciążenia podłoża coraz wyższych nasypów, sięgających nawet 40 m, a także podtopienia nasypów przez wody gromadzące się w zapadliskowych zagłębieniach terenu. Często występują również zawilgocenia gruntów wynikające z uszkodzeń urządzeń odwadniających podtorze lub zmianą kierunku przepływu wód w tych urządzeniach.

W przypadku podtorza eksploatowanego, istotnym czynnikiem wpływającym na jego stateczność są również umocnienia biologiczne, a zwłaszcza korzenie drzew i krzewów [6]. Dlatego w przypadkach koniecznych, przed karczowaniem drzew na skarpach należy sprawdzać stateczność skarp i zapewniać odpowiednie zagęszczenie gruntu po karczowaniu. Z dotychczasowych doświadczeń (między innymi z modernizacji trasy E-30) wynika bowiem, że usuwanie drzew wraz z korzeniami powoduje niekiedy trudne do opanowania osuwiska skarp i wycieki wody.

3. Wykrywanie i badania osuwisk

3.1. Wykrywanie osuwisk

Wykrywanie zagrożeń podtorza osuwiskami jest trudne. Wynika to z braku możliwości wykonania szczegółowych badań i oceny stateczności podtorza na wszystkich liniach. O powstawaniu lub wystąpieniu osuwiska mogą świadczyć między innymi takie objawy, jak:

- narastanie odkształceń toru (najczęściej osiadania lub przemieszczenia w kierunku spadku terenu),
- szczeliny w podłożu i podtorzu (zazwyczaj najwyżej położona szczelina ma kształt wypukłego łuku),
- uskoki i stopnie prostopadłe do kierunku ruchu mas gruntowych,
- wyrzuczenia skarpy lub podłoża nasypu,
- zmiany kształtu lub przemieszczenia podtorza,
- przemieszczenia, uszkodzenia lub zniszczenia urządzeń odwadniających (zwłaszcza rowów bocznych), budynków itp.,
- przechylanie się słupów i drzew, spękania pni drzew,
- zastoiska wody w górnej części stoku i wycieki wody w części dolnej,
- zawilgocenie skarp (np. roślinność charakterystyczna dla terenów podmokłych),
- przesunięcia kręgów w pobliskich studniach gospodarczych oraz nietypowe wahania poziomów wód w tych studniach.

W praktyce, podstawową metodą wykrywania osuwisk na liniach zarządzanych przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. są przeglądy, które wykonuje się w celu ustalenia stanu i stopnia zużycia poszczególnych elementów podtorza oraz zakresu robót niezbędnych do doprowadzenia tych elementów do stanu umożliwiającego prawidłowe funkcjonowanie linii kolejowej. Drugą metodą wykrywania zagrożeń są badania geotechniczne prowadzone na wybranych odcinkach linii modernizowanych. Przeglądy polegają na wizualnej ocenie stanu podtorza z poziomu toru i wykonaniu w razie potrzeby niezbędnych pomiarów. System przeglądów podtorza obejmuje [18]:

- oględziny,
- przeglądy bieżące,
- przeglądy okresowe,
- przeglądy specjalne (badawcze i awaryjne).

Podczas przeglądów zwraca się szczególną uwagę na:

- odkształcenia toru (np. osiadania, przesunięcia),
- podmycia i rozmycia torowiska,
- odkształcenia, uszkodzenia i zagrożenia stateczności skarp nasypów i przekopów oraz terenu w sąsiedztwie linii kolejowej (np. deformacje podtorza i terenu w sąsiedztwie drogi kolejowej, wycieki wody z podtorza i na przyległym terenie),
- uszkodzenia i drożność rowów bocznych (m.in. przedmioty, narzędzia i materiały, które zmniejszają drożność rowów),
- drożność przepustów (m.in. czystość wlotów i wylotów),
- zagrożenia stateczności podtorza i urządzeń odwadniających powodowane przez składowane materiały, pozostawiony sprzęt i inne przedmioty,

- wpływy ze studzienek drenarskich, kanalizacji miejskiej i przemysłowej itp. na torowiska i skarpy,
- oznaki braku stateczności murów oporowych,
- prace zagrażające budowli gruntowej, odwodnieniu toru, innym urządzeniom (np. wykopy, odkłady),
- zmiany poziomów wód w rowach melioracyjnych, potokach, rzekach (szczególnie zwiększenie poziomów),
- wszelkie inne oznaki wskazujące na pogarszanie się stanu podtorza lub jego elementów.

Przeglądy wykonuje się zgodnie z wymaganiami podanymi w „Warunkach technicznych” [18] oraz:

- gdy stan podtorza lub wyniki poprzedniego przeglądu wskazują na taką konieczność,
- po robotach, które mogły naruszyć elementy podtorza,
- po zjawiskach atmosferycznych lub zdarzeniach, mogących mieć wpływ na stan podtorza.

Wyniki przeglądów rejestruje się w odpowiednich dokumentach, w których podaje się m.in. opis dostrzeżonych nieprawidłowości, wyniki przeprowadzonych pomiarów, zalecenia dotyczące warunków eksploatacji, konieczności wykonania robót oraz potrzeby wykonania dodatkowego przeglądu. Jeśli to potrzebne, do dokumentacji dołącza się odpowiednie szkice, zdjęcia itp.

Jeżeli stan podtorza jest powodem wprowadzenia ograniczeń w eksploatacji linii kolejowej (ograniczenie prędkości, zmniejszenie nacisków osi, zamknięcie toru dla ruchu) lub istnieje obawa ich wystąpienia, dodatkowo sporządza się „kartę ewidencyjną słabego (zagrożonego) miejsca w podtorzu”, którą uaktualnia się do momentu zlikwidowania ograniczeń eksploatacyjnych. W karcie tej podaje się między innymi oznaczenie stwierdzonej wady podtorza. Zjawiska osuwiskowe, zależnie od ich zasięgu i przyczyny wystąpienia, zalicza się do grupy wad A.2 – uszkodzenia skarp oraz A.3 – uszkodzenia podtorza.

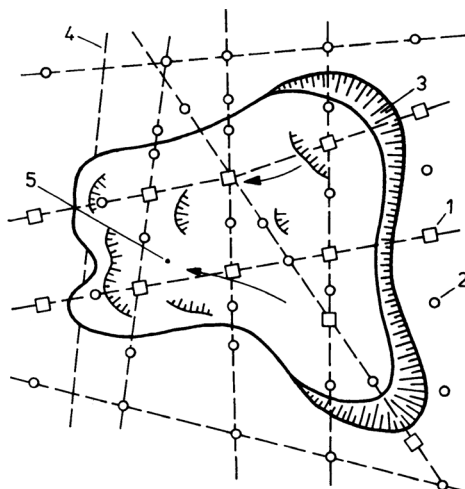
Należy zauważyć, że podczas przeglądów mogą być wykryte jedynie widoczne oznaki uszkodzeń lub zagrożeń podtorza (rys. 5). Okres od faktycznego wystąpienia wady podtorza do momentu podjęcia jego naprawy można by znacznie skrócić, wykorzystując wyniki pomiarów stanu toru (w tym celu konieczna jest odpowiednia modyfikacja oprogramowania drezyn pomiarowych). Wprawdzie uzyskiwane w ten sposób informacje nie byłyby w pełni wiarygodne, mogłyby jednak służyć do typowania odcinków do dalszych szczegółowych badań. Udaną próbę wstępnej oceny stanu podtorza na podstawie stanu toru przeprowadzono podczas przygotowań do naprawy głównej CMK. Analizą objęto wówczas całą linię, tj. około 4400 stumetrowych odcinków toru.



Rys. 5. Pęknięcie nasypu na ławie torowiska [mat. autorów]

3.2. Badania i pomiary osuwisk

W celu ustalenia zasięgu odkształcenia, tempa jego narastania i stopnia zagrożenia podtorza wykonuje się pomiary sytuacyjno-wysokościowe (rys. 6). Zazwyczaj prowadzi się je podczas długotrwałych badań czynnych osuwisk. Celowe jest wtedy założenie dziennika obserwacji, umożliwiającego systematyczne dokumentowanie uszkodzeń i deformacji terenu oraz stosowanych doraźnych zabezpieczeń.



Rys. 6. Rozmieszczenie otworów badawczych i punktów pomiarów w przypadku dużego osuwiska: 1) szyb badawczy, 2) otwór wiertniczy i punkt pomiaru sytuacyjno-wysokościowego, 3) cyrk osuwiskowy, 4) podstawa zbrocza, 5) jęzior osuwiska; strzałki wskazują kierunki przemieszczania się gruntu

Obserwacje i pomiary osuwisk najczęściej obejmują określenie zasięgu osuwiska, określenie zachodzących z upływem czasu zmian (przemieszczenia poziome i pionowe, zmiany kształtu i objętości osuwiska), wyznaczenie obszaru zagrożonego, zainstalowanie systemu pomiarowego mającego na celu zebranie podstawowych danych do opracowania metody stabilizacji osuwiska. Pomiary wykonuje się różnymi metodami.

Do pomiarów na powierzchni stosuje się najczęściej przyrządy geodezyjne. Określa się nimi zasięg osuwiska, kierunek ruchu i oszacowuje wielkości mas ziemnych. W ostatnich latach do pomiaru przemieszczeń wykorzystuje się nowe instrumenty i urządzenia takie, jak dalmierze elektrooptyczne, tachimetry elektroniczne, pochylomierze, tensometry i szczelinomierze oraz techniki z użyciem sztucznych satelitów.

Do pomiarów wglębnych stosuje się inklinometry i piezometry oraz studnie deformacyjne. Inklinometr jest przenośnym urządzeniem pomiarowym składającym się z sondy, bębna z kablem oraz miernika kąta odchylenia sondy. Ruch lub przemieszczenie poziome poszczególnych warstw gruntu są mierzone przez specjalne, wprowadzone w podłoże, podatne na deformacje gruntu rurki inklinometryczne. Za pomocą inklinometrów można precyzyjnie określić głębokość, wielkość, prędkość i kierunek deformacji podłoża. Dzięki temu można uściślić kształt krzywej poślizgu. Studnie deformacyjne umożliwiają zgrubne ustalenie zakresu i głębokości ruchu masywu gruntowego. Natomiast piezometry służą do obserwacji zmian poziomów zwierciadła wody gruntowej i pomiaru ciśnień porowych.

Do uzyskania ostatecznej diagnozy i danych do zaprojektowania odpowiednich wzmocnień, wykonuje się badania geotechniczne, polegające na wierceniach, sondowaniu i pomiarach poziomów wód, następnie zaś laboratoryjnych badaniach pobranych próbek gruntów. Badania te są nadal traktowane jako podstawowe, co wiąże się z największą wiarygodnością uzyskiwanych w ten sposób wyników. Wymagana głębokość badań podłoża jest uzależniona od rodzaju i wysokości budowli ziemnej.

W rejonach osuwiskowych powinny być prowadzone również stałe obserwacje poziomów wód i roślinności na danym terenie. Woda jako jeden z głównych czynników zagrożeń osuwiskowych jest podstawowym czynnikiem biotycznym, od którego zależy rozwój określonego gatunku roślin w rejonie osuwiska. Na podstawie zdjęć fitosocjologicznych (map roślinności) można więc rozpoznawać rodzaje gruntów w podłożu, określać głębokość występowania i rodzaj wód gruntowych.

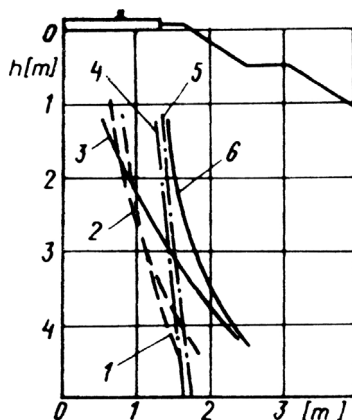
Znacznie rzadziej stosuje się metody geofizyczne. Przydatność tych metod wynika z wykorzystywanych w nich zjawisk fizycznych. Na przykład mikrograwimetria może być stosowana do lokalizacji pustek w podłożu. Metoda sejsmiczna pozwala określać granice warstw różniących się od siebie tzw. twardością akustyczną. Metoda geoelektryczna (elektrooporowa) umożliwia lokalizowanie miejsc

zawilgoconych, np. zwierciadeł wód, starych urządzeń odwadniających. Natomiast przy użyciu metody radarowej SIR (*Subsurface Interface Radar*) można wyodrębnić ośrodki o różnych stałych dielektrycznych.

Wyniki badań geofizycznych są jednak najczęściej bardzo trudne do interpretacji i skażone wieloma zakłóceniami. Z tych względów wykorzystuje się je w ocenie jednorodności budowli, co z kolei pozwala zmniejszyć liczbę potrzebnych otworów wiertniczych. Wyjątek stanowi metoda sejsmiczna, pozwalająca precyzyjnie lokalizować nieciągłości ośrodka gruntowego. W latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku ta metoda umożliwiła wykrycie wewnętrznych pęknięć wielu wysokich nasypów na liniach SŽD.

3.3. Ocena stateczności

Stateczność podtorza ocenia się najczęściej metodami równowagi granicznej, takimi jak metoda Felleniusa lub Bishopa, przy założeniu cylindrycznej powierzchni poślizgu. W przypadku obciążonych jednorodnych nasypów z gruntów gliniastych posadowionych na stabilnym podłożu, powierzchnia ta pokrywa się z linią największych osiadań podtorza, to znaczy sięga strefy podszynowej i stromo opada, odchylając się w stronę skarpy (rys. 7). Dokładniejsze oceny stateczności można uzyskać przy zastosowaniu metody elementów skończonych, która umożliwia również analizę wpływu na stateczność pogorszenia parametrów geotechnicznych gruntu w poszczególnych warstwach [21].



Rys. 7. Linie największych osiadań sprężystych nasypów obciążanych 1), 2) cysterną i lokomotywą, 3) węglarką, 4), 5) węglarką i lokomotywą, 6) lokomotywą [17]

Miarą stateczności jest współczynnik pewności (bezpieczeństwa) F obliczany z porównania sił utrzymujących i sił dążących do naruszenia tej równowagi, działających wzdłuż założonych powierzchni poślizgu. Minimalne wartości

współczynników pewności przy sprawdzaniu stateczności przyjmuje się w zależności od stosowanej metody obliczeń, ważności obiektu i dokładności wyznaczenia parametrów geotechnicznych, np. przy analizowaniu stateczności metodą Felleniusa 1,1–1,3, a uproszczoną metodą Bishopa 1,3–1,5 [19].

W przypadku skomplikowanej budowy podtorza, w celu uniknięcia dużych błędów, jego stateczność należy sprawdzić kilkoma metodami, na przykład metodą pasków lub bloków albo metodą numeryczną (najczęściej elementów skończonych), przy różnych założeniach albo innym sposobie przygotowania danych wejściowych.

Szczególnej ostrożności wymaga przyjmowanie wartości spójności gruntów. Z zasady, spójności w przypadku uplastycznionych gruntów spoistych powinny być przyjmowane jako efektywne (z odpływem wody) i zmniejszane ze względu na drgania, natomiast dla gruntów sypkich zastępowane spójnościami pozornymi⁴, wynikającymi z klinowania się ziaren gruntu.

Należy też zauważyć, że na wyniki oceny większy wpływ od stosowanych współczynników pewności mają przyjmowane parametry gruntów oraz dane o wodzie gruntowej. Z tego względu paradoksalnie najmniejsza niepewność w ocenach stateczności podtorza występuje w przypadkach osuwisk już istniejących, gdyż wtedy najczęściej można ustalić powierzchnię poślizgu, założyć że $F \approx 1$ i dokonać wstecznej analizy stateczności w celu określenia rzeczywistych parametrów gruntów [5].

Z wymienionych względów, przyjmowane w praktyce minimalne wartości współczynników pewności F są zróżnicowane i zawierają się w granicach 1,05–2,00 [15]. Zróżnicowanie to świadczy o tym, że te współczynniki są w dużej mierze wielkościami umownymi, charakteryzującymi jedynie prawdopodobieństwo wystąpienia osuwiska. Na przykład według prof. Lecha Wysokińskiego [7] wystąpienie osuwiska jest:

- bardzo mało prawdopodobne – gdy $F \geq 1,5$,
- mało prawdopodobne – gdy $1,3 \leq F < 1,5$,
- prawdopodobne – gdy $1,0 \leq F < 1,3$,
- bardzo prawdopodobne – gdy $F < 1,0$.

Proponowane wartości współczynników pewności F dla podtorza kolejowego podano w tabelicy 1. Wartości te uwzględniają dotychczasowe doświadczenia z ocen stateczności i umożliwiają racjonalne wykorzystanie do budowy podtorza najczęściej spotykanych gruntów.

⁴ Spójność pozorna: właściwość gruntów niespoistych (takich, jak np. czyste piaski), zależna głównie od sił kapilarnych w meniskach wody lub krystalizacji soli w porach gruntów.

Tablica 1

Proponowane minimalne wartości współczynnika pewności F [15]

Wiarygodność rozpoznania warunków wodno-gruntowych	Naprawa podtorza istniejącego dla $V \leq 250$ km/h	Podtorze nowo budowane i dobudowywane oraz przebudowa i modernizacja podtorza istniejącego
Przeciętna (niejednorodność konstrukcji podtorza, pojedyncze lub średnie oceny parametrów poszczególnych gruntów)	1,30 (1,40)	1,40 (1,50) – linie dla $V \leq 250$ km/h 1,50 (1,60) – linie dla $V > 250$ km/h
Dobra (szczegółowe badania lub duża jednorodność warunków wodno-gruntowych, pozwalająca na oszacowanie miarodajnych właściwości gruntów na poziomie ufności 95% lub dla dolnego fraktyla 5%)	1,20 (1,30)	1,30 (1,40) – linie dla $V \leq 250$ km/h 1,40 (1,50) – linie dla $V > 250$ km/h

Objaśnienia:

- przed nawiasami podano wartości przyjmowane do obliczeń stateczności metodą Felleniusa, natomiast w nawiasach wartości odpowiednie dla uproszczonej metody Bishopa lub innej metody uznanej za dokładną,
- dla nowo budowanego podtorza na liniach z nawierzchnią bezpodsypkową zaleca się przyjmować $F = 2,0$.

3.4. System Diagnostyka Podtorza DP

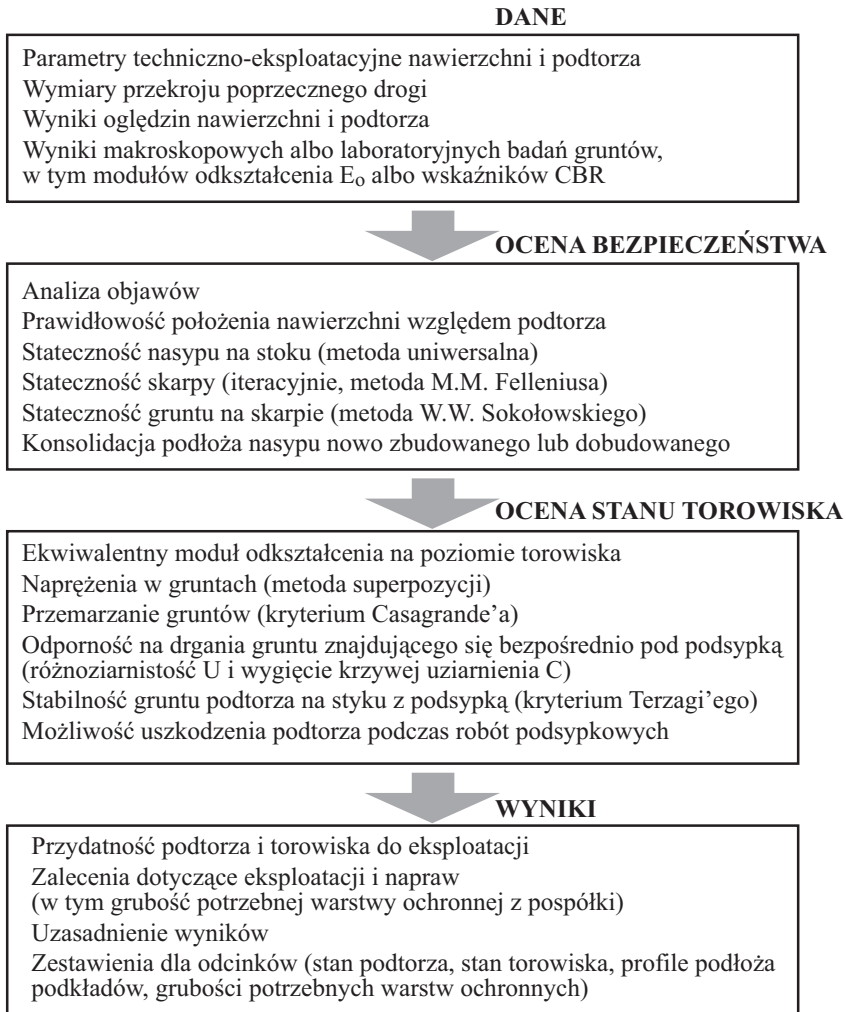
Praktycznym narzędziem do diagnozowania miejsc mogących stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa ruchu pociągów może być system „Diagnostyka Podtorza DP” opracowany w Zakładzie Dróg Kolejowych CNTK [12, 14, 16]. Wersja systemu DP-3.0 (rys. 8) uwzględnia obowiązujące wymagania dla podtorza przeznaczonego do ruchu pociągów z prędkościami do 250 km/h i umożliwia:

- ocenę przydatności podtorza do eksploatacji w założonych warunkach,
- identyfikowanie najczęściej spotykanych wad i zagrożeń podtorza,
- projektowanie gruntowych warstw ochronnych torowiska.

Dane do oceny podtorza na pewnym odcinku obejmują:

- podstawowe parametry techniczno-eksploatacyjne nawierzchni i podtorza takie jak obciążenie linii, maksymalna prędkość pociągów, typ szyn, typ podkładów,
- wymiary przekroju poprzecznego podtorza, nachylenie skarp itp.,

- wyniki oględzin oraz obserwacji eksploatacyjnych nawierzchni, podtorza i jego odwodnienia (m.in. oznaki odkształceń toru i podtorza, jego zawilgoce-
nie, poziomy wód itp.),
- wyniki makroskopowych albo laboratoryjnych badań gruntów.



Rys. 8. Schemat funkcjonalny systemu eksperckiego DP-3 [16]

Po wprowadzeniu danych, system poszukuje wad podtorza zagrażających bezpieczeństwu ruchu pociągów, określa rodzaje wad, ich zasięg i nasilenie. W wypadku, gdy nie ma zagrożeń dla bezpieczeństwa ruchu pociągów, program przechodzi do identyfikacji wad torowiska zwiększających nakłady na utrzymanie

nawierzchni. Na podstawie wyników analiz podtorze jest kwalifikowane do jednej z następujących klas przydatności do eksploatacji:

- 1) przydatność dobra,
- 2) przydatność zmniejszona ze względu na nieodpowiedni stan torowiska i zwiększone koszty utrzymania nawierzchni, w tym:
 - a) nieco zmniejszona (warstwa ochronna torowiska nie jest potrzebna),
 - b) zmniejszona (potrzebna jest cienka warstwa ochronna torowiska),
 - c) znacznie zmniejszona (potrzebna jest gruba warstwa ochronna torowiska),
- 3) przydatność ograniczona ze względu na bezpieczeństwo ruchu pociągów, w tym:
 - d) stateczność budowli niepewna (wskazany specjalny nadzór i szczegółowe rozpoznanie stanu budowli),
 - e) stateczność budowli mała (wskazane zmniejszenie prędkości jazdy pociągów),
 - f) budowla niestateczna (konieczne wstrzymanie ruchu pociągów lub zmniejszenie ich prędkości do 5 km/h).

Wyniki końcowe są podawane w trzech blokach, odnoszących się do:

- 1) przydatności podtorza do eksploatacji,
- 2) zaleceń co do dalszego postępowania (potrzeba zmniejszenia prędkości pociągów, wprowadzenia specjalnego nadzoru, poprawy odwodnienia, wzmocnienia torowiska itp.),
- 3) uzasadnienia podanej oceny (rzeczywista lub prawdopodobna wada albo zagrożenie, jej przyczyna itp.).

4. Postępowanie w przypadku wystąpienia osuwiska

Działania w przypadku wystąpienia osuwiska powinny polegać na:

- 1) ocenie zniszczeń oraz skutków eksploatacyjnych,
- 2) wprowadzeniu stosownych ograniczeń eksploatacyjnych,
- 3) zebrania informacji o kształcie geometrycznym i zasięgu wady,
- 4) ocenie wpływu poszczególnych czynników na wystąpienie wady, np. sił grawitacji, wód (rozmycie, wysoki poziom wód gruntowych, przepływ wód podziemnych), uplastycznienia lub rozgęszczenia gruntów, wietrzenia, obciążeń eksploatacyjnych.

Określenie zasięgu wady może wymagać przeprowadzenia pomiarów przemieszczeń powierzchni (np. szyn lub reperów, zmian pochyłości), przemieszczeń na pewnych głębokościach (np. osiadań lub powierzchni poślizgu za pomocą rur z tworzyw sztucznych), piezometrycznych poziomów wód i ciśnienia porowego. Przed przystąpieniem do trwałej naprawy podtorza należy rozważyć celowość

wykonania prac wstępnych, takich jak uszczelnienie pęknięć, zabezpieczenie przed wodami opadowymi, naprawa drenaży i odprowadzenie wód powierzchniowych, tymczasowe wzmocnienie w celu umożliwienia eksploatacji toru. Dalsze działania są uzależnione między innymi od:

- możliwości ograniczeń eksploatacyjnych,
- możliwości czasowego lub trwałego przesunięcia toru,
- możliwości zastosowania podpór, przypór, pali lub kotew,
- dostępności sprzętu,
- zasięgu uszkodzenia (zwłaszcza jego głębokości),
- poziomu wód gruntowych,
- stateczności podtorza i toru,
- wymaganych walorów estetycznych budowli.

Naprawa podtorza wymaga najczęściej uregulowania stosunków wodnych i biologicznego zagospodarowania zagrożonego rejonu. Sposoby naprawy mogą polegać między innymi na:

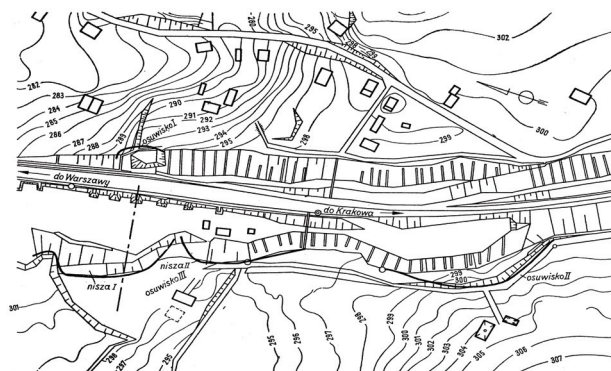
- zapobieganiu dopływowi wód do zagrożonego rejonu; zmniejszeniu wahań ich poziomów, usuwaniu masy osuwiskowej,
- zapobieganiu abrazji, sufozji i erozji, szczególnie w dolnej części stoku,
- wzmocnianiu gruntu spoiwami, elektrochemicznie lub przez jego wymianę,
- mocowaniu odłamów gruntu palami, kotwami, gwoździami itp.,
- podparciu stoku lub podtorza przyporami, murami, ścianami, rusztem żelbetowym, drenażami przyporowymi, kaszycami ze starych podkładów betonowych itp.,
- zmniejszeniu nachylenia skarpy lub stoku.

W uzasadnionych przypadkach stosuje się również ominięcie zagrożonego rejonu (zmiana trasy, estakada, tunel).

5. Przykłady osuwisk na polskich kolejach

5.1. Osuwisko na linii kolejowej nr 8 Warszawa – Kraków (1934) [8]

Osuwiska w Sadowiu na odcinku Niedźwiedź – Zastów ujawniły się natychmiast po oddaniu linii kolejowej do eksploatacji w 1934 r. Roboty ziemne zaprojektowano bez należytego rozpoznania warunków geologicznych. Przekop przez wzgórze o maksymalnej głębokości 18 m wykonano na odcinku około 600 m. Skarpy przekopu wykonano początkowo o nachyleniu 1:1,25 (rys. 9, 10).



Rys. 9. Osuwiska na linii kolejowej nr 8 w Sadowiu (szkic sytuacyjny) [8]

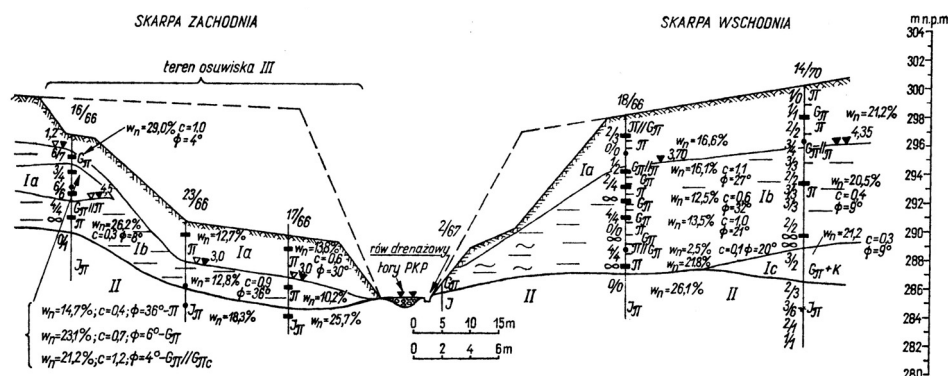


Rys. 10. Rejon osuwiska na linii kolejowej nr 8 na ortofotomapie [4]

Na odcinku przepokupu zagłębienie w starszym podłożu z margla jest wypełnione iłami mioceńskimi o miąższości do 30 m. Są to utwory dosyć jednolite litologicznie, twaroplastyczne i półzwarłe, nie wykazujące warstwowania, mające jednak sieć drobnych spękań (rys. 11). Przy średniej wilgotności naturalnej równej 26% mają kąt tarcia wewnętrznego $\Phi = 15^\circ$ i spójność $c = 1,1 \text{ daN/cm}^2$. Bezpośrednio na iłach leżą miejscami brunatne gliny ze żwirem, jako szczątkowy osad morenowy o niewielkiej grubości. Wyżej ily są przykryte zespołem osadów gruntów lessopodobnych, występujących w postaci glin pylastych i pyłów. Miąższość tej serii wynosi od kilku do kilkunastu metrów. W rejonie przepokupu występują dwa zasadnicze poziomy wodonośne:

- 1) wody szczelinowe w marglach i na kontakcie z iłami mioceńskimi,
- 2) wody w utworach czwartorzędowych:
 - a) wody o zwierciadle napiętym w spagu czwartorzędu,
 - b) wody o zwierciadle swobodnym w utworach lessopodobnych.

W 1934 r. osunięciu uległo wschodnie zbocze przekopu, mniej więcej w środkowej jego części (rys. 11). Osuwające się gliny pylaste zasypały tor i spowodowały wypchnięcie ku górze ilastego podłoża wraz z torowiskiem na wysokość około 1,0 m. Osuwiska w okresie przedwojennym powtarzały się często z różnym natężeniem i powodowały nieraz kilkudziesięciogodzinne przerwy w ruchu kolejowym. Prace ratunkowe w tym okresie polegały jedynie na usuwaniu mas ziemnych zasypujących torowisko. Objętość usuniętych koluwiów⁵ szacuje się na 100 tys. m³.



Rys. 11. Przekrój geologiczny przez obszar osuwiskowy na linii kolejowej nr 8 w Sadowiu [8]. Oznaczenia: II – pył, Gπ – glina pylasta, Iπ – il pylasty, w_n – wilgotność naturalna, c – spójność, Φ – kąt tarcia wewnętrznego

W latach 1938–1940 nastąpiło pewne uspokojenie ruchów zboczy aż do 4 października 1941 r., kiedy to bezpośrednio po przejeździe pociągu pospiesznego w południowej części przekopu osunęła się skarpa zachodnia na odcinku około 300 m.

W 1942 r. nisza osuwiskowa powstała również w skarpie zachodniej w jej północnej części (osuwisko III na rys. 11). Zalecono wtedy wykonanie odwodnienia u podłoża koluwiów. Zgodnie z tym zaleceniem w 1948 r. wybudowano dziewięć studni z kręgów betonowych o średnicy 1,5 m i głębokości 9,5 m. Siegnęły one do przesączen w obrębie łąw, nie odwodziły jednak koluwiów, a jedynie wpłynęły na poprawę stanu gruntów pod torowiskiem.

W 1953 r. nastąpiło dalsze osunięcie się gruntów w obrębie osuwiska III. Tor kolejowy na tym odcinku uległ wypchnięciu do góry i przesunięciu ku wschodowi. Kręgi studzienne zostały częściowo zgniecione lub przesunięte w górnych partiach. Woda ze studni przeciekła na torowisko, a ruch pociągów został wstrzymany na kilka dni. Po usunięciu mas ziemnych i przesunięciu torów o 8,0 m w kierunku wschodnim, odbudowano urządzenie odwadniające. Tym razem wykonano studnie żelbetowe i w tej postaci stały się dodatkowo elementami oporowymi.

⁵ Koluwiom: masy ziemne przemieszczone grawitacyjnie w procesie osuwiskowym.

W 1958 r. powstało niewielkie osuwisko na skarpie wschodniej. Miało ono charakter spłynięcia warstwy nawodnionych utworów pylastych po stropie łąków. Dalsze ruchy po stronie zachodniej zanotowano w maju 1962 r. po okresie intensywnych opadów. Powstały wtedy nowe szczeliny w obszarze III osuwiska. Podczas prac zapobiegawczych wykonano doraźne tamponowanie szczelin ildem.

W wyniku tych ruchów na skarpie zachodniej wystąpiły nisze osuwiskowe. Teren u podnóża niszy I ma wybrzuszenie charakterystyczne dla czoła osuwiska. Znajdujące się tu słupy telegraficzne, płoty i wybudowane żelbetowe studnie odwadniające przypominają „pijany las”. Ponadto na przedpolu osuwiska rozciąga się podłużny garb w miejscu, w którym znajdowały się tory kolejowe przed ich przełożeniem. Garb ten o wysokości 0,4 m jest wynikiem wypierania gruntu w tym rejonie. Skarpy osuwisk II i III oraz osuwiska na skarpie wschodniej umocniono przez wykonanie przypór sączkowych z kamienia łamanego, połączonych u dołu z sączkiem poziomym odprowadzającym wodę poza teren przekopu. Przypory te są w stosunkowo dobrym stanie i tylko lokalnie uległy niewielkim uszkodzeniom.

W 1963 r. teren osuwiska I pokryto szkłem wodnym. Jednak ten sposób nie okazał się skuteczny, gdyż obszar zasilania nie ograniczał się do powierzchni zajętej przez koluwia. Poza tym warstewka szkła wodnego została po pewnym czasie zniszczona i splukana przez wody opadowe.

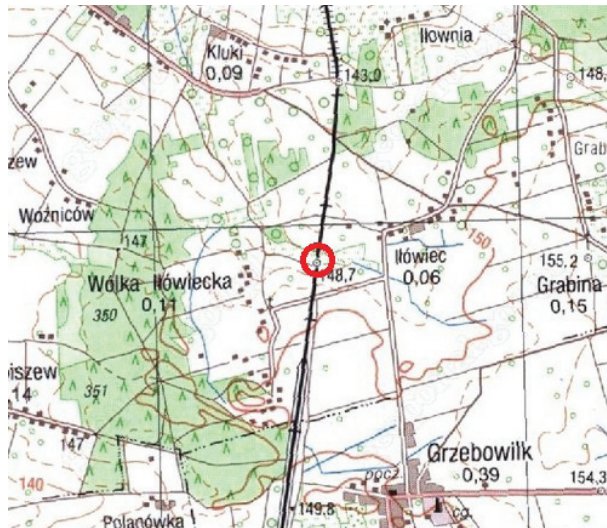
W końcu lat sześćdziesiątych aktualności nabrała sprawa drugiego toru na linii Tunel – Kraków, a w związku z tym poszerzenia przekopu i zagwarantowania bezpieczeństwa ruchu pociągów. Zrodziła się wtedy koncepcja wykonania pięciu ciągów drenażu głębokiego (dwóch po stronie wschodniej i trzech po zachodniej), zlokalizowanego wzdłuż przekopu i drenażu przemysłowo-rolniczego na zapleczu skarpy zachodniej. Zakładając, że drenaż głęboki spełni swoje zadanie, zaprojektowano zładogodzenie skarpy od strony wschodniej do nachylenia 1:3 i wybudowanie drugiego toru właśnie po tej stronie. Obecnie stateczność podtorza w rejonie osuwisk nadal nie jest pewna. Na przykład po powodzi w czerwcu 2010 r. na odcinku w km 299,650–299,800 wystąpiło wypieranie gruntu. Generalne przyczyny osuwisk w Sadowiu zostały podane przez S. Sokołowskiego już w 1947 r. Sprowadzają się one do:

- naruszenia równowagi mas ziemnych wskutek wykonania przekopu,
- rozcięcia głównego poziomu wodonośnego.

5.2. „Osuwisko” na linii kolejowej nr 13 Krusze – Pilawa (1973) [13]

Przyczyną podjęcia badań na linii kolejowej nr 13 Krusze – Pilawa w rejonie km 37,200–37,300 (szlak Pustelnik – Grzebowilk) były osiadania toru osiagające kilka centymetrów na dobę, występujące na długości kilkudziesięciu metrów na nasypie o wysokości około 3,0 m (rys. 12, 13). Wstępne oględziny wykazały, że nasyp był zbudowany z piasku. Stwierdzono ponadto znacznie zwiększoną

grubość warstwy czystej podsypki, poszerzenie torowiska w stosunku do szerokości na sąsiednich odcinkach i lokalne spływy gruntu, nisze osuwiskowe, jak również liczne wybrzuszenia na skarpach. Te oznaki wskazywały raczej na rozpląwanie się nasypu. Potwierdzeniem tego było podwijanie się darniny na krawędzi przecięcia się skarp nasypu i podłoża oraz luźny stan piasku na skarpie. Teren przy nasypie był płaski i podmokły, jednak nie wykazywał żadnych oznak odkształceń. Objawy te były więc niejednoznaczne, gdyż nasyp z piasku nie mógł się rozpląwać. Gdyby natomiast istniała płaszczyna poślizgu w podłożu nasypu, niewątpliwie widoczne byłyby wypieranie podłoża.

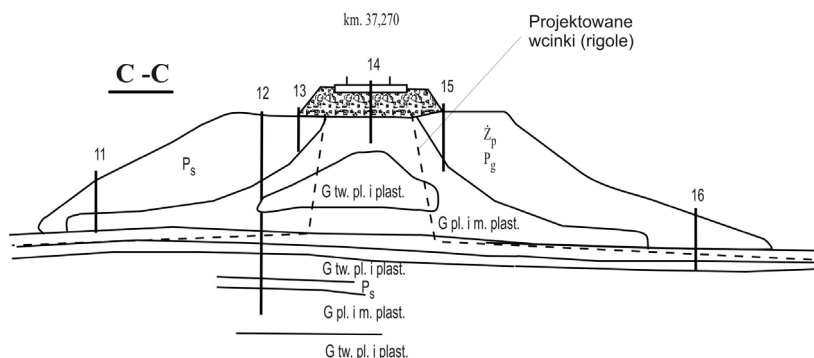


Rys. 12. Ogólna lokalizacja osuwiska na linii kolejowej nr 13 [3]



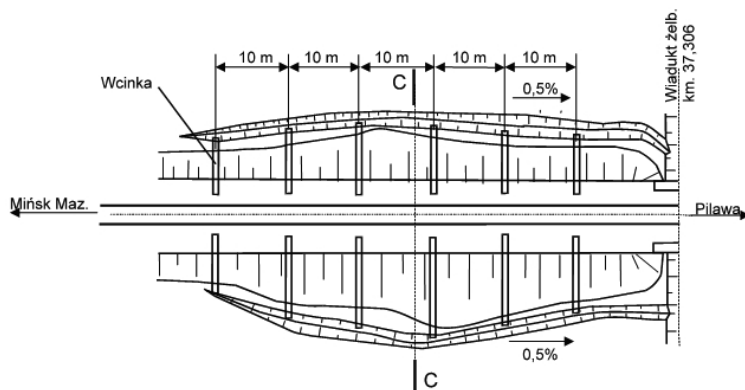
Rys. 13. Rejon osuwiska na linii nr 13 na ortofotomapie [3]

Zagadkę rozwiązano po wykonaniu 20 otworów badawczych, w tym 3 sondowań sondą udarowo-obrotową ITB-ZW. Stwierdzono, że w nasypie występują plastyczne oraz miękkoplastyczne gliny otoczone przez suche i mało wilgotne piaski średnie (rys. 14). Przyczyną zachodzących odkształceń były więc wody opadowe i powierzchniowe powodujące uplastycznianie się spoistych gruntów jądra nasypu.



Rys. 14. Przekrój poprzeczny odkształcającego się nasypu na linii kolejowej nr 13

W celu osuszenia gruntów nasypów i górnych warstw jego podłoża, zalecono wykonanie wciniek z drenami rurowymi wypełnionych gruboziarnistym materiałem filtracyjnym, rowów bocznych oraz ułożenie na torowisku warstwy filtracyjnej (rys. 15). Środki te zapobiegły dalszemu narastaniu odkształceń.



Rys. 15. Odwodnienie odkształcającego się nasypu na linii kolejowej nr 13

5.3. Osuwisko na linii kolejowej nr 33 Kutno – Brodnica (1982) [9, 19]

W 1982 roku doszło do uszkodzenia nasypu linii kolejowej nr 33 w okolicach Płocka. Powodem awarii była powódź, w wyniku której obie strony nasypu znalazły się pod wodą, a zamrożone krawędzie skarp i torowiska pokryły się kilku-

nastocentymetrową warstwą lodu. Powstał w ten sposób naturalny keson lodowy. Infiltracja wody z Wisły doprowadziła do podnoszenia się poziomu wody gruntowej i sprężenia powietrza pod kesonem. W pewnym momencie – w wyniku przekroczenia dopuszczalnego ciśnienia – doszło do „eksplozji”, czyli gwałtownego rozsadzenia całej konstrukcji. Nasyp został zniszczony w dwóch miejscach: w okolicach wiaduktu kolejowego (nasyp wysokości około 7 m na długości około 400 m) oraz przy przyczółku mostu kolejowo-drogowego przez Wisłę (nasyp wysokości około 15 m: na długości 120 m całkowite zniszczenie, na długości około 100 m zniszczenie częściowe). Po odbudowie nasypu zalecono stosowanie odpowiednich rurek odpowietrzających.

5.4. Osuwisko na linii kolejowej nr 51 Suwałki – Trakiszki – Granica Państwa (1992) [11]

Podtorze jednotorowej linii kolejowej nr 51 Suwałki – Trakiszki – Granica Państwa nie było eksploatowane przez około 20 lat. Ruch pociągów wznowiono w lipcu 1992 r. i wtedy nasyp o wysokości około 3,7 m w rejonie km 26,100, znajdujący się w bezpośrednim sąsiedztwie starych wyrobisk torfowych, zaczął się odkształcać (rys. 16, 17). Duże odkształcenia nasypu na odcinku 60 m wystąpiły jesienią 1992 r., następne zaś w grudniu 1992 r. Odkształcenia miały charakter nagłych osiadań torowiska pod wewnętrznym tokiem szynowym (od strony zachodniej). Tok szynowy obniżył się około 30 cm, przy czym drugie z odkształceń nastąpiło pod przejeżdżającym pociągiem. Z tego powodu wprowadzono ograniczenie prędkości jazdy pociągów do 15 km/h i zlecono wykonanie rozpoznania geologicznego.



Rys. 16. Ogólna lokalizacja osuwiska na linii kolejowej nr 51 [3]

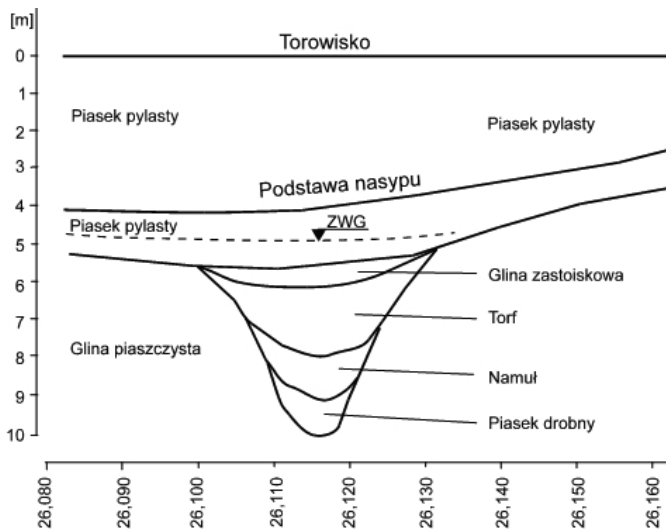


Rys. 17. Rejon osuwiska na linii nr 51 na ortofotomapie [3]

W wyniku rozpoznania stwierdzono, że:

- zachodnia skarpa nasypu jest posadowiona na gruntach bagiennych, pod którymi znajdują się uplastycznione gliny,
- powierzchnia tych glin pod zachodnią skarpą załamuje się ostro pod kątem około 30 stopni ku torfowisku, co stwarza niebezpieczeństwo poślizgu,
- pod nasypem znajduje się jego zatopiona część, wyraźnie wyrzuszająca się na zachód (nie stwierdzono jednakże czy ta część jest stabilna i co jest przyczyną odkształceń),
- poziom wód gruntowych jest bardzo wysoki.

Ogłędziny przeprowadzone maju 1993 r. przez pracowników CNTK wykazały, że powierzchnia terenu w km 26,060–26,120 tworzy rynnę, ze spadkiem w kierunku zachodnim, którą przegradza nasyp zbudowany z różnych gruntów, w tym także gruntów słabo przepuszczalnych (rys. 18). Najniższy punkt rynny znajduje się w km 26,115 i w tym właśnie kilometrze wystąpiły największe osiadania toru.

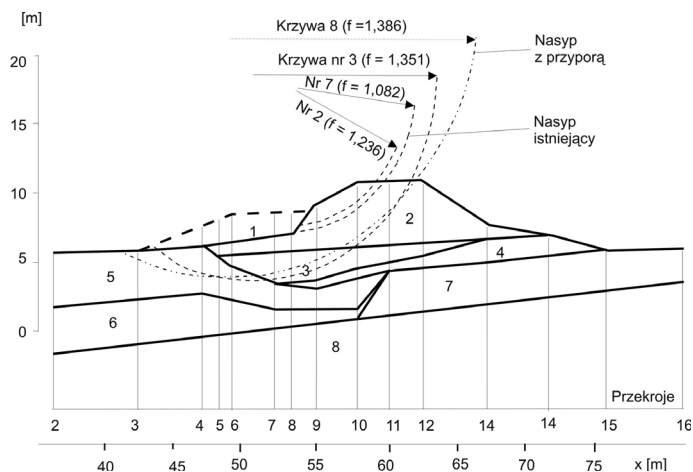


Rys. 18. Przekrój podłużny podtorza na linii kolejowej nr 51

Zachodnia skarpa nasypu była stroma, wybrzuszona na całej długości, a w kilku miejscach widoczne były nierówności świadczące o osuwaniu się gruntu, w innym zaś wklęsnięcie wskazujące raczej na zapadanie się całego nasypu. Oznak wypierania i poprzecznych przesunięć podłoża nasypu nie stwierdzono. Odształcenia nasypu były więc nasilone, jednak ich charakter i zasięg, mające podstawowe znaczenie dla doboru sposobu naprawy, nadal nie był znany. Z jednej bowiem strony dotychczasowe wyniki wskazywały na zapadanie się całego nasypu, z drugiej zaś – strome i wybrzuszone skarpy świadczyły raczej o rozplywaniu się nasypu i lokalnym wypieraniu jego podłoża wskutek uplastycznienia się gruntu w rejonie podstawy.

Określenie charakteru i zasięgu odształceń podtorza stało się możliwe dopiero po wykonaniu szczegółowych badań geotechnicznych i pomiarów przemieszczeń. Stwierdzono wówczas wyraźne osiadanie szyny, ławy torowiska i skarpy od strony zachodniej oraz wypieranie podłoża nasypu na szerokości około 15 m.

Stateczność podtorza określono za pomocą programu komputerowego STAT, umożliwiającego szacowanie prawdopodobnych parametrów gruntów oraz iteracyjne wyszukiwanie najmniej bezpiecznych powierzchni poślizgu dla dowolnego układu warstw (rys. 19). Następnie sprawdzono możliwość wzmocnienia nasypu przyporą i celowość całkowitej jego przebudowy. Stwierdzono, że zastosowanie niskiej i dość szerokiej przypory podpierającej skarpe i dociskającej podłożę zwiększy współczynnik pewności o 0,313, co można uznać za wystarczające, gdyż rzeczywisty współczynnik pewności istniejącego nasypu bez przypory zawierał się w granicach 0,95–1,00 (występowały odształcenia).



Rys. 19. Obliczenia stateczności nasypu na linii kolejowej nr 51: 1) pospółka, 2) piasek drobny, 3) piasek drobny, 4) namuł organiczny, 5) torf, 6) namuł organiczny, 7) piasek gliniasty, 8) piasek drobny (warstwy gruntów o tej samej nazwie wyodrębniono ze względu na ich różne właściwości)

Na tej podstawie zalecono budowę przepuszczalnej przypory o szerokości 4,5 m, wysokości 2,0 m i pochyleniu skarpy 1:3, zabezpieczenie podstawy nasypu od strony wschodniej przed dopływem wód (obudowany rów, profilowanie terenu przy nasypie ze spadkiem około 5% w kierunku rowu) oraz ograniczenie prędkości pociągów do 50 km/h do czasu ustabilizowania się podtorza.

5.5. Osuwisko na linii kolejowej nr 276 Wrocław – Międzyzlesie (1999) [10]

W dniu 15 lipca 1999 r. na linii kolejowej nr 276 Wrocław – Międzyzlesie w km 125,180–125,200, pomiędzy Domaszkowem i Międzyzlesiem, stwierdzono podłużne pęknięcie torowiska i gwałtowne odkształcenia toru wymagające korekty jego położenia (rys. 20, 21). Tor na tym odcinku znajduje się na nasypie o wysokości 18 m, położonym na stoku. W związku z tym podjęto obserwacje, a od 17 sierpnia 1999 r. także pomiary sytuacyjno-wysokościowe torowiska i skarpy.



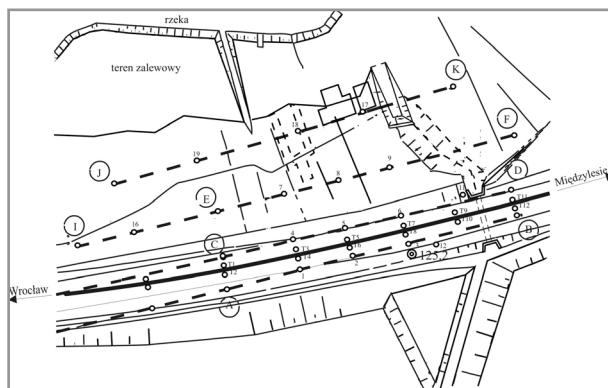
Rys. 20. Ogólna lokalizacja osuwiska na linii kolejowej nr 276 [3]



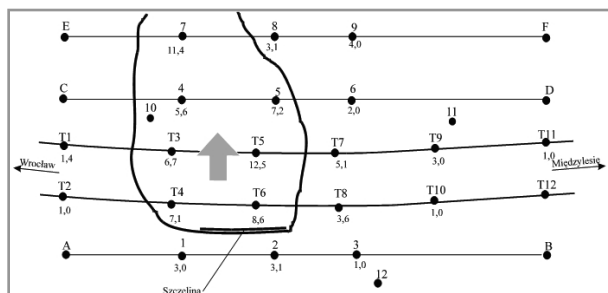
Rys. 21. Rejon osuwiska na linii nr 276 na ortofotomapie [3]

W dniu 30 września 1999 r. stwierdzono, że szczelina na torowisku osiągnęła szerokość około 10 cm i znacznie się wydłużyła. Tor wyraźnie osiadł i przesunął się w stronę skarpy. Zasięg osuwiska nie był jednak możliwy do ustalenia ze względu na całkowite zarośnięcie skarpy i liczne ślady dawnych osuwisk. Praw-

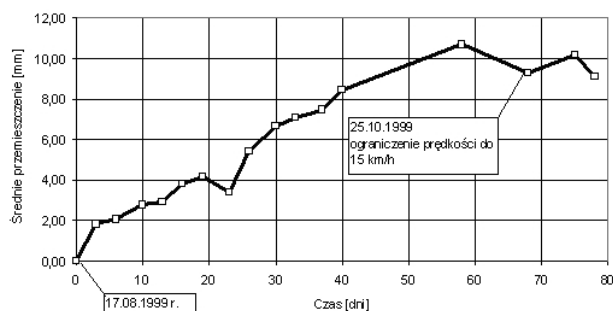
dopodobny zasięg osuwiska określono na podstawie wyników pomiarów sytuacyjno-wysokościowych (rys. 22, 23). Wykazały one, że osuwisko występuje na krótkim odcinku, obejmuje jednak cały tor i górną część nasypu, sięgając co najmniej 6 m poniżej torowiska. Średnie tempo przemieszczania mas ziemnych wynosiło około 0,2 mm / dobę (rys. 24).



Rys. 22. Plan sytuacyjny nasypu na linii Wrocław – Międzyzlesie



Rys. 23. Przesunięcia punktów pomiarowych w milimetrach w okresie 17.08.1999–27.09.1999 na linii Wrocław – Międzyzlesie (na rysunku zaznaczono kierunek osuwania się i prawdopodobny zasięg osuwiska)



Rys. 24. Przesunięcia punktów pomiarowych objętych osuwiskiem na linii Wrocław – Międzyzlesie

Do przyczyn wystąpienia osuwiska zaliczono:

- niekorzystne warunki geotechniczne (nasyp o wysokości 18 m na stoku, zbudowany prawdopodobnie z łupków ilastych),
- duże nachylenie skarpy nasypu, wynoszące miejscami 1:1,
- niekorzystny profil podłużny torowiska (w miejscu uszkodzenia torowisko znajduje się najniżej i podtorze dodatkowo zawilgacają wody opadowe spływające torowiskiem z przyległych odcinków),
- zawilgocone podłoże nasypu (przy podstawie nasypu przepływa rzeka).

Bezpośrednią przyczyną osuwiska było jednak – jak się wydaje – drastyczne pogorszenie się warunków eksploatacji podtorza na skutek:

- zwiększenia oddziaływań na podtorze po ułożeniu toru na podkładach betonowych,
- niewłaściwego utrzymania odwodnienia powierzchniowego (zarośnięty ziemny rów odprowadzający wody ze stoku i torowiska, nierówne torowisko powodujące zastój wód opadowych i ich wsiąkanie w nasyp),
- niewłaściwie prowadzonych robót nawierzchniowych (zanieczyszczenie ławy torowiska przez składowane odsiewki).

Z tych względów zalecono natychmiastowe działania zapobiegawcze mające na celu zmniejszenie sił działających na grunty i ich zawilgoconie przez wody opadowe, takie jak zmniejszenie prędkości pociągów do 15 km/h, wypełnienie szczeliny na torowisku gruntem nieprzepuszczalnym, usunięcie odsiewek z ławy torowiska, nadanie torowisku odpowiedniego spadku poprzecznego. Stwierdzono również konieczność wykonania szczegółowych badań geotechnicznych i zaprojektowania docelowych zabezpieczeń. Zaproponowane zmniejszenie prędkości pociągów wynikało z dwóch ocen:

- po przyjęciu wartości odkształceń toru zbliżonych do tych, które wystąpiły w pierwszej fazie ruchu osuwiskowego, tzn. pionowych nierówności toru równych 50 mm i wichrowatości 8 mm, z systemu eksperckiego „Decyzje o Naprawach Głównych nawierzchni kolejowej DONG 1.1” otrzymano ograniczenie do 20 km/h,
- obliczenia przy użyciu systemu eksperckiego „Diagnostyka Podtorza DP-3.0” i STAT dla nasypu o wysokości 18 m i pochyleniu skarpy 1:1, zbudowanego ze średnio zagęszczonej pospółki gliniastej wykazały, że wskazane jest wstrzymanie ruchu pociągów albo ograniczenie ich prędkości do 5 km/h; ta ocena została uzasadniona brakiem stateczności budowli, to jest współczynnikiem pewności skarpy równym 0,84 i najbardziej niebezpieczną teoretyczną powierzchnią poślizgu obejmującą tor i skarpe.

Osuwisko zlikwidowano w latach 2005–2007 podczas modernizacji linii kolejowej CE-59. Modernizacja na odcinku Domaszków – Granica Państwa objęła między innymi likwidację sześciu osuwisk i wzmocnienie nasypów. Podtorze w rejonach osuwisk wzmocniono za pomocą palisad kozłowych z pali o średnicy 600 mm i długości 6 m zwieńczonych oczepami o przekroju 1,2 x 1,1 m. Na omawianym osuwisku między Domaszkowem a Międzyzlesiem palisadę kozłową wykonano w koronie nasypu; zabudowano pale o średnicy 1000 mm i długości od 11,50 m do 15,5 m. Inne osuwisko zabezpieczono dzięki zbudowaniu na palach betonowej estakady przykrytej następnie gruntem. Skarpy nasypów wzmocniano dziewięciometrowymi żelbetowymi „gwoździami” o średnicy 100 mm, zwieńczanymi płytami żelbetowymi. W kilku miejscach wykonano zabezpieczenia z geokraty.

5.6. Osuwisko na linii kolejowej nr 275 Wrocław Muchobór – Gubinek (2005) [2]

Linia kolejowa nr 275 Wrocław Muchobór – Gubinek na odcinku Wrocław Główny – Legnica wpisuje się w międzynarodowy korytarz komunikacyjny E-30 i jest obciążona dużym ruchem kolejowym, w tym ruchem pociągów pomiędzy Polską i Niemcami. Zjawiska osuwiskowe zachodzą w nasypie w km 47,950–48,152, tj. na szlaku Malczyce – Szczedrzykowie. Jako ich przyczynę określono nadmierne zawilgocenie gruntu prowadzące do powstawania strefy poślizgu na uplastyczniającej się warstwie gliny, po której zsuwają się warstwy piaszczyste. Niekorzystne warunki hydrologiczne w okolicy (bliskie sąsiedztwo rzeki Cicha Woda) sprawiają, że teren, na którym jest zlokalizowany nasyp, wykazuje naturalną tendencję do powstawania licznych zjawisk osuwiskowych. Te okolice można by więc traktować jako dogodne miejsce wdrażania pilotażowych rozwiązań zabezpieczania nasypów kolejowych.

5.7. Osuwisko na linii kolejowej nr 278 Węgliniec – Zgorzelec (2010) [1]

Linia kolejowa nr 278 Węgliniec – Zgorzelec jest położona w ciągu korytarza transportowego E-30 i są na niej wykonywane przewozy m.in. w komunikacji między Polską i Niemcami. W latach 2005–2007 przeprowadzono modernizację tej linii z dostosowaniem jej do ruchu pociągów pasażerskich z prędkością 160 km/h. Roboty budowlane, związane między innymi z wykarczowaniem roślinności porastającej nasypy i usunięciem karpiny, w kilku miejscach doprowadziły do naruszenia stateczności nasypów – w trakcie i po zakończeniu prac pod torami nr 1 i 2 dochodziło do deformacji torowiska oraz korpusu nasypów. Przeprowadzone rozpoznanie geotechniczne wykazało złożoną konstrukcję korpusu

nasypu i jego podłoża, a w szczególności występowanie przemieszanych gruntów sypkich i spoistych, przy czym te drugie występowały w postaci nieregularnych brył gruntowych.

Uszkodzenia nasypów występowały w dwóch postaciach: ześlizgów glebowych oraz osunięć mas ziemnych wraz z poziomym przemieszczeniem. W celu ostatecznej naprawy powstałych osuwisk, podjęto decyzję o zastosowaniu przypór w postaci kaszyc z użyciem podkładów staroużytecznych, uzyskując w projekcie współczynnik stateczności na poziomie $F \geq 2,0$ zgodnie z „Warunkami technicznymi utrzymania podtorza kolejowego Id-3”. Ponadto uwzględniono niesprzyjające warunki wilgotnościowe w obrębie budowli, w związku z czym zastosowano system drenaży francuskich i sączków, mających odprowadzić wodę gromadzącą się w korpusie nasypu.

6. Podsumowanie

W większości przypadków bezpośrednimi przyczynami wystąpienia osuwisk na eksploatowanych liniach kolejowych są błędy budowy i utrzymania, powodujące pogorszenie spływu wód lub zwiększenie obciążeń gruntów podtorza. Szybka ocena zagrożeń osuwiskami na wszystkich eksploatowanych obecnie liniach nie jest jednak możliwa. Dlatego konieczne jest zwrócenie większej niż dotychczas uwagi na możliwe działania zapobiegawcze, polegające m.in. na niedopuszczaniu do pogarszania się warunków pracy podtorza, wykorzystywaniu wyników pomiarów stanu toru i systemu eksperckiego DP do wczesnego wykrywania potencjalnych zagrożeń, wprowadzeniu zasady pełnego rozpoznania stanu podtorza przed modernizacją linii.

Obecnie usuwanie zagrożeń osuwiskami jest szczególnie ważne, gdyż wraz z wejściem Polski w struktury Unii Europejskiej powstała konieczność dostosowania istniejącej infrastruktury dróg kolejowych do standardów unijnych, w tym do zwiększonych prędkości pociągów. Skuteczność tych prac i późniejsze bezpieczeństwo ruchu pociągów zależy od dostatecznie dokładnego rozpoznania geotechnicznego istniejącego podtorza.

W ocenie stateczności podtorza na długich odcinkach konieczne stają się stosowanie nieinwazyjnych metod badań (np. ocen wizualnych, wyników pomiarów stanu toru, metod geofizycznych), pozwalających na wybór odcinków do dalszych szczegółowych badań i obliczeń stateczności.

Literatura

1. Budka E. et alii: *Niestabilność korpusu nasypu kolejowego i naprawa osuwiska*, Geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 3/2012, Wydawnictwo INŻYNIERIA Sp. z o.o., Kraków, 2012.
2. Dzidowska K., Noga L.: *Warunki geologiczno-inżynierskie nasypu kolejowego w aspekcie procesów osuwiskowych*, Geoinżynieria drogi mosty tunele, nr 02/2007, Wydawnictwo INŻYNIERIA Sp. z o.o., Kraków, 2007.
3. Geoportal [online], [dostęp 6 sierpnia 2013 r.], dostępny na WWW.geoportal.gov.pl.
4. Google Maps [online], [dostęp 6 sierpnia 2013 r.], dostępny na WWW.maps.google.com.
5. Kłosiński B., Leśniewski Ł.: *O wymaganiach dotyczących stateczności zboczy i skarp*, Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK Oddział Kraków, Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym, Materiały Konferencyjne, nr 88, zeszyt 144, Kraków, 2009.
6. Najder T.: *Wpływ roślinności na stateczność zboczy*, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 2/2003, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2003.
7. *Posadowienie obiektów budowlanych w sąsiedztwie skarp i zboczy*, Instrukcja ITB nr 304, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa, 1991.
8. Rosiński B.: *Błędy w rozwiązaniach geotechnicznych*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, 1978.
9. Skrzyński E., Sikora R.: *Kolejowe budowle ziemne – tom I – utrzymanie i naprawy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990.
10. Skrzyński E., Zelek Z.: *Ocena stanu podtorza na linii Wrocław – Międzyzlesie w km 125,180–125,200*, Warszawa, 1999.
11. Skrzyński E., Zelek Z.: *Opracowanie sposobu naprawy nasypu kolejowego na linii Suwałki – Trakiszki – Granica Państwa w km 26,090–26,200*, CNTK, Temat nr 2289/27, Warszawa, 1993.
12. Skrzyński E.: *Diagnostyka podtorza*, Problemy Kolejnictwa, Warszawa, 1999, zeszyt 129.
13. Skrzyński E.: *Orzeczenie w sprawie stanu podtorza na linii Mińsk Mazowiecki – Pilawa w km 37,139–37,296 oraz koncepcja jego wzmocnienia*, Centralny Ośrodek Badań i Rozwoju Techniki Kolejnictwa, Warszawa, 1973.
14. Skrzyński E.: *Rozszerzenie istniejącego systemu Diagnostyka Podtorza o dodatkowe funkcje*, CNTK, Temat nr 2052/22, Warszawa, 1998.
15. Skrzyński E.: *Stateczność podtorza gruntowego*, Przegląd Komunikacyjny, Wrocław, nr 11/2012.

16. Skrzyński E.: *System ekspercki oceny stanu technicznego podtorza, wspomagający decyzje o naprawach*, CNTK, Temat nr 1889/27, Warszawa, 1993.
17. Titov V. P.: *Wzmacnianie podtorza długo eksploatowanych linii kolejowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990.
18. *Warunki techniczne utrzymania podtorza kolejowego Id-3*, Załącznik do Zarządzenia nr 9 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 4 maja 2009 r.
19. Wiłun Z.: *Zarys geotechniki*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2005.
20. Wójcik A.: *Kartografia geologiczna osuwisk*, Państwowy Instytut Geologiczny, Oddział Karpacki, Kraków, 2008.
21. Wysokiński L.: *Zasady poprawnej analizy obliczeń stateczności zboczy*, Materiały Konferencyjne SITK: Problematyka osuwisk w budownictwie komunikacyjnym, Kraków – Zakopane, 2000.
22. Zabuski L., Thiel K., Bober L.: *Osuwiska we fliszu Karpat polskich*, Wydawnictwo IBW PAN, Gdańsk, 1999.

Landslides on the Polish Railway Network

Summary

To reduce the risk of subgrade landslides is particularly important now, because with the Polish accession to the European Union there was a need to adapt existing railway infrastructure to EU standards, including the increased speed of trains. This article presents the cause of the landslide phenomena, methods of detection and study of landslides and the proper method of proceeding in the event of landslide occurrence on railway lines managed by PKP PLK S.A. The article presents also a description of several subgrade landslides in Poland. It was found that in most cases the direct causes of landslides on operating railways were construction and maintenance mistakes resulting in deterioration of water run-off and increasing the load of land substructure. Rapid assessment of landslide threats in case of all operating lines is not possible. Therefore, more attention should be paid to possible preventive actions, in particular to prevent the deterioration of working conditions of the substructure, use the results of measurements of the track and DP expert system for early detection of potential threats and implement the principle of full recognition of geotechnical subgrade before modernization the line.

Keywords: railways, earthen structures, subgrade, landslides

Оползневые явления на польской железнодорожной сети

Резюме

Защита земляного полотна от оползневых явлений особенно важна в настоящее время, так как наряду со вступлением Польши в структуры Европейского союза было необходимо адаптировать существующую железнодорожную инфраструктуру к стандартам ЕС, в этом к повышенным скоростям поездов. В статье обсуждены причины оползневых явлений, методы их обнаружения и изучения, а также способ и порядок действий в случае земляного обвала на линиях, управляемых «ОАО PKP PLK». Тематика проиллюстрирована описаниями нескольких обвалов земляного полотна. Установлено, что в большинстве случаев непосредственными причинами оползней на эксплуатируемых железнодорожных линиях являются ошибки по строительству и техническому обслуживанию, ведущие к ухудшению стока воды или увеличению нагрузки грунтов нижнего строения пути. Скорая оценка угрозы от оползней на всех эксплуатируемых линиях однако невозможна. Поэтому необходимо обращение большего чем до сих пор внимания на возможные профилактические действия, такие как: усилия, чтобы не допустить до ухудшения условий работы нижнего строения пути, использование результатов измерений по состоянию пути и инженерной системы для раннего выявления потенциальных угроз (DP), введение принципа полного геотехнического обследования нижнего строения пути перед модернизацией линии.

Ключевые слова: железные дороги, земляное сооружение, нижнее строение пути, оползни