



LESŁAW ZABUSKI, *lechu@ibwpan.gda.pl*
WALDEMAR ŚWIDZIŃSKI, *waldek@ibwpan.gda.pl*
MAREK KULCZYKOWSKI, *marek@ibwpan.gda.pl*
Instytut Budownictwa Wodnego Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku

OSUWISKO W NASYPIE PRZY PRZYCZÓŁKU MOSTU KOLEJKI WĄSKOTOROWEJ W KORONOWIE K. BYDGOSZCZY

LANDSLIDE IN THE EMBANKMENT BY THE BRIDGEHEAD OF THE NARROW-GAUGE RAILWAY IN KORONOWO NEAR BYDGOSZCZ

Streszczenie Przedmiotem referatu jest omówienie genezy i skutków katastrofalnego osuwiska w nasypie na lewym, zachodnim brzegu rzeki Brdy, przy przyczółku mostu nieczynnej kolei wąskotorowej linii Bydgoszcz–Koronowo. Przedstawiono strukturę i proces rozwoju osuwiska w czasie, omówiono przyczyny utworzenia się i progresji osuwiska, przedstawiono mechanizm zsuwu oraz wyniki analizy stateczności i procesu deformacji.

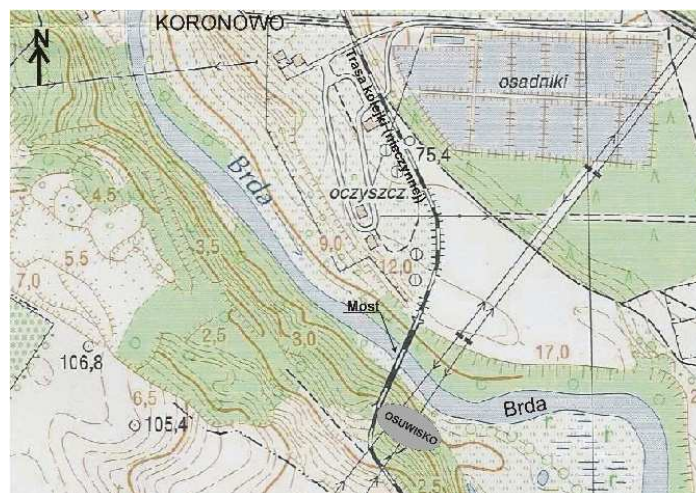
Abstract The paper presents the analysis of the reasons and effects of the catastrophic landslide in the embankment on the left, western bank of Brda river, located by the bridgehead of inactive narrow-gauge railway Bydgoszcz-Koronowo. The structure and process of the landslide development in time is presented, its reasons and mechanism are described. The results of the stability analysis and the deformation process are presented as well.

1. Wstęp

W referacie przedstawiono wyniki badań genezy i skutków katastrofalnego osuwiska w nasypie na lewym, zachodnim brzegu rzeki Brdy, przy przyczółku mostu nieczynnej kolei wąskotorowej linii Bydgoszcz–Koronowo (rys. 1). Most o długości 120 m, oddany do użytku w 1895 roku, usytuowano na południowy zachód od Koronowa, prostopadłe do głębokiej na ok. 18 m doliny Brdy. Kolejka obsługiwała ruch pasażerski do roku 1969, a do roku 1992 ruch towarowy. Następnie torowisko rozebrano i w ostatnim okresie most służył jedynie jako kładka dla pieszych dla ludności z pobliskich wsi. Likwidacja ruchu kolejowego była korzystna z punktu widzenia bezpieczeństwa samego mostu i stateczności przylegającego do niego nasypu, z uwagi na wyeliminowanie obciążeń dynamicznych, wcześniej wywoływanych przez przejeżdżające pociągi. Dzięki długoletnim obciążeniom, grunt nasypu został dobrze zagęszczony i skonsolidowany. Z tego względu geneza katastrofalnego osuwiska przy przyczółku wiaduktu była trudna do identyfikacji.

Teren w rejonie Koronowa charakteryzuje się generalnie podatnością na osuwanie. Sprzyja temu m.in. morfologia zboczy doliny Brdy oraz specyficzna budowa geologiczna ośrodka gruntowego. Szczególnie niekorzystne układy warstw geologicznych występują, gdy pod gruntami sypkimi (piaski, żwiry, także nasypy budowlane) zalegają bardzo słabo przepuszczalne grunty spoiste (iły, gliny). W takich przypadkach woda stosunkowo szybko przesącza się przez grunt sypki, po czym na powierzchni gruntu spoistego wytwarza się poślizgowa,

miękkoplastyczna lub półpłynna, „poślizgowa” warstwa gruntu. Taki układ warstw występuje w analizowanym przypadku.



Rys. 1. Lokalizacja mostu i osuwiska (na S od Koronowa)

Osuwisko utworzyło się w nasypie na kontakcie z przyczółkiem mostu kolejki, stanowiąc zagrożenie dla jego stabilności. Zsuw rozwijał się w przybliżeniu prostopadle do osi nasypu. Widoczna inicjacja ruchu osuwiskowego nastąpiła w lutym 2011, choć prawdopodobnie mniejsze ruchy występowały już wcześniej, lecz ich objawy nie były zauważalne. Znaczna progresja nastąpiła w marcu 2011.

2. Inicjacja, rozwój i struktura osuwiska

Oznaki przyszłego osuwiska pojawiły się w postaci szczelin i niewielkiego obniżenia na koronie nasypu w lutym 2011 (rys. 2).



Rys. 2. Widok korony nasypu – oznaki inicjacji ruchu osuwiskowego

W końcu lutego i w pierwszych dniach marca osuwisko rozwijało się powoli, po czym 13 marca nastąpiło gwałtowne przyspieszenie deformacji. W trzeciej dekadzie marca formy osuwiskowe były już wyraźne i w pełni rozwinięte (rys. 3 i 4). Na fotografiach zamieszczonych na rysunkach widoczny jest rejon niszy osuwiskowej. W tym czasie długość osuwiska wynosiła około 45 m, a jego czoło znajdowało się na poziomie doliny Brdy. W późniejszym okresie prędkość przemieszczenia znacznie się zmniejszyła, jednak masyw osuwał się w sposób ciągły. Jednocześnie nisza osuwiska stopniowo się rozszerzała, zaś formy osuwiskowe ulegały powolnemu „zacieraniu”.

Powstanie osuwiska spowodowało odsłonięcie się ścian przyczółka, zarówno od strony nasypu, jak i od strony mostu (rys. 5), co uznano za zagrożenie jego stateczności.



Rys. 3. Stan osuwiska w dniu 13 marca 2011

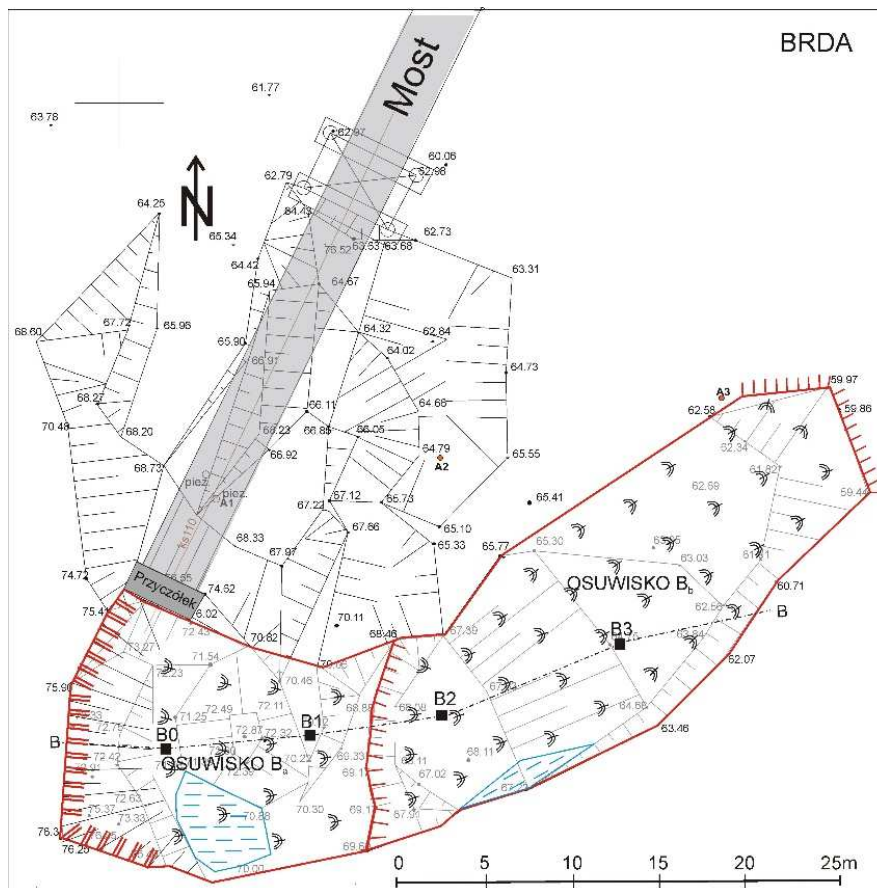


Rys. 4. Stan osuwiska w dniu 27 marca 2011

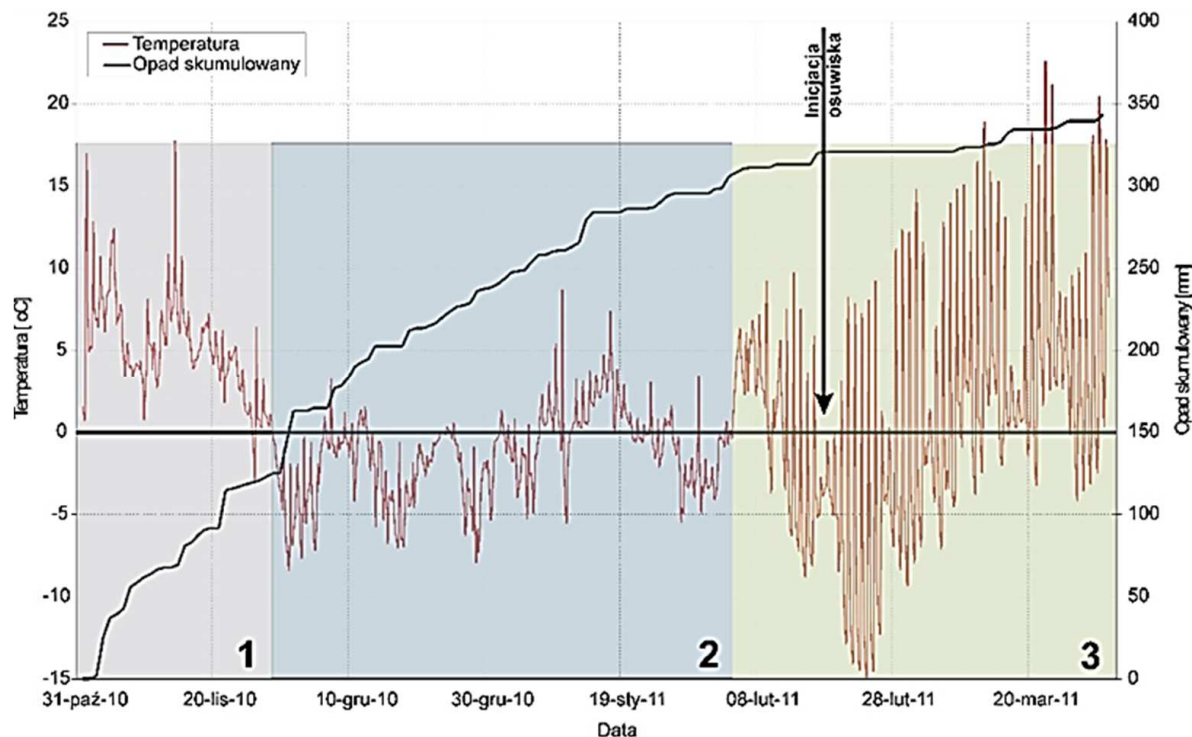


Rys. 5. Przyczółek mostu odsłonięty w wyniku osuwiska: widok od strony pld.-zach. i pld.-wsch.

Plan osuwiska pokazano na rysunku 6. W bryle zsuwu można było wyróżnić dwie części. Czoło części górnej (B_a) pokrywało się z niską skarpą wtórną (niszą) części dolnej (B_b). Obserwacje prowadzone w późniejszym okresie wskazywały, że ruch osuwiskowy był złożony i oprócz zsuwu całego osuwiska zachodziły tam niezależnie mniejsze zsuwy części B_a i B_b .



mierzony na stacji meteorologicznej w Koronowie w latach 2004÷2011 wynosił 727 mm, zaś w roku 2010 aż 976 mm. Jednakże dla powstania osuwiska decydujące znaczenie miał okres od listopada 2010, a więc poprzedzający jego inicjację o około trzy-cztery miesiące. Krzywe opadu skumulowanego i temperatury pokazano na rysunku 7.



Rys. 7. Krzywe wysokości opadów i temperatury w okresie poprzedzającym powstanie osuwiska

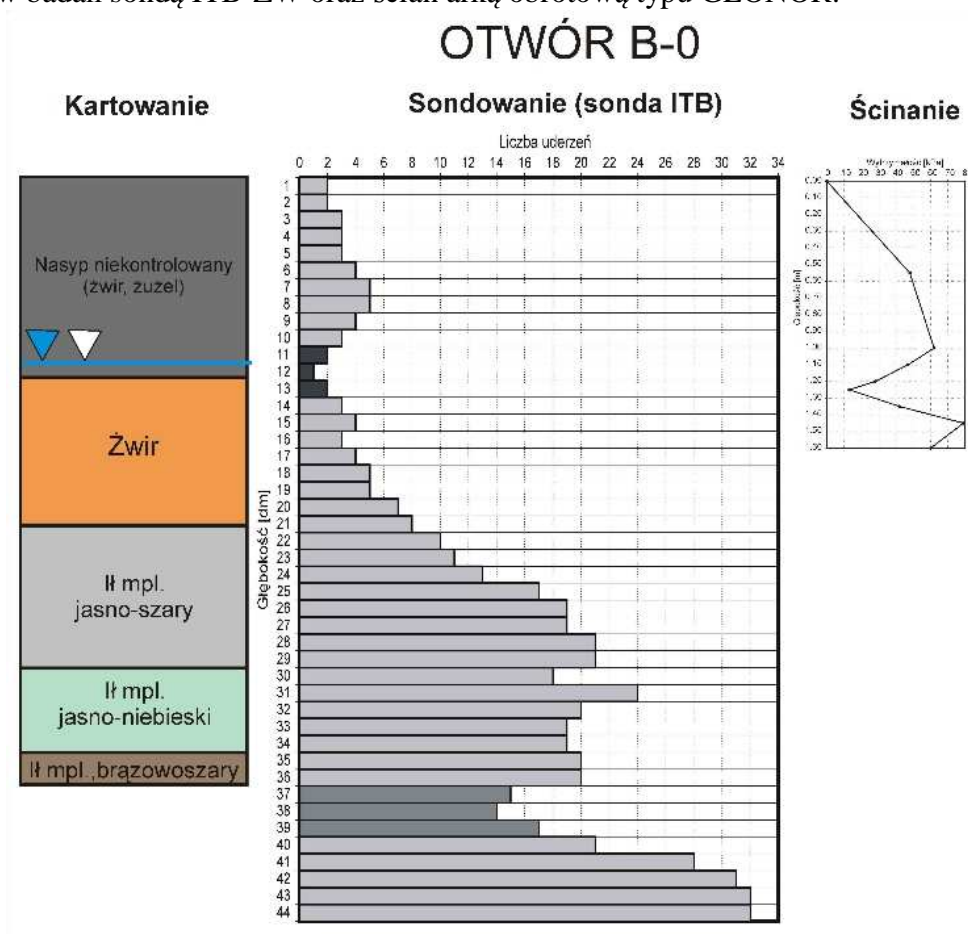
W listopadzie temperatura była dodatnia, a opady wysokie. Z uwagi na brak ewapotranspiracji, praktycznie cała woda opadowa gromadziła się w zboczu, infiltrując w głąb masywu. Dopływ wody do zbocza był ułatwiony, gdyż w roku 2005 wykonano w nasypie wykop i położono w nim kolektor ściekowy (widoczny na rys. 4 i 5). Wykop zasypano, nie zagęszczono jednak gruntu, przez co stworzono swego rodzaju dren.

Ujemne temperatury w grudniu i styczniu spowodowały przemazanie warstwy przypoверхniowej, przez co woda listopadowa została „uwięziona” w zboczu. Jednocześnie duże opady śniegu, szczególnie grudniowe, spowodowały utworzenie się pokrywy śniegowej o znacznej grubości. Wskutek wzrostu temperatury w lutym, wcześniej „uwięziona” woda została uwolniona, a woda z topniejącego śniegu dodatkowo zasilila zbocze. W efekcie doszło do bardzo dużego nawodnienia zbocza, co spowodowało uaktywnienie się deformacji osuwiskowych. Pierwsze szczeliny w koronie nasypu stworzyły drogę swobodnego dopływu wody do zbocza.

3. Geotechniczne badania osuwiska

Na osuwisku przeprowadzono kompleksowy program badań terenowych [2]. W wyznaczonym przekroju B-B wykonano cztery otwory badawcze, B0-B4 (rys. 6). Celem było rozpoznanie budowy geologicznej ośrodka, określenie położenia powierzchni poślizgu, a także pobranie próbek do badań laboratoryjnych właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów.

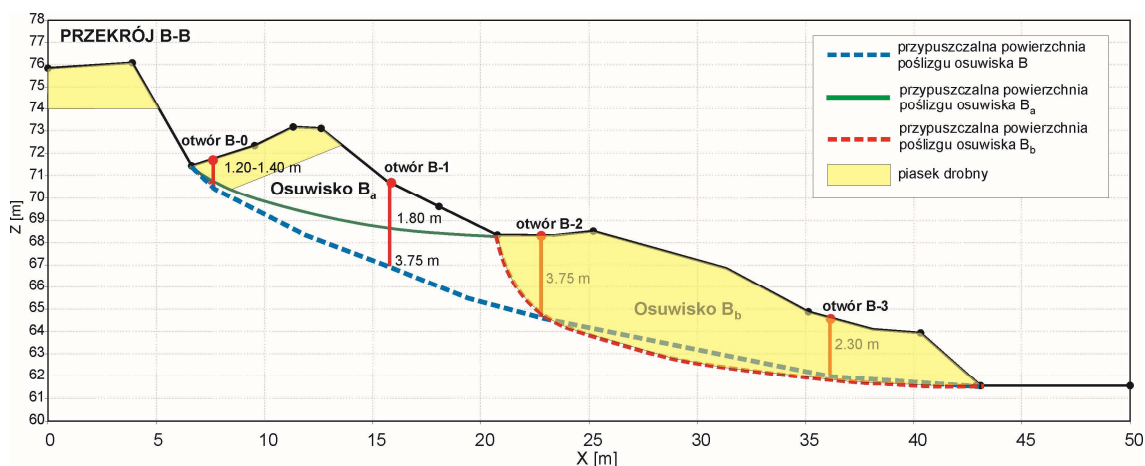
Przykładowe wyniki badań w otworze B0 przedstawiono na rysunku 8. Kartowanie pozwoliło na określenie rodzaju gruntów, zaś powierzchnię poślizgu zlokalizowano na podstawie wyników badań sondą ITB-ZW oraz ścian arką obrotową typu GEONOR.



Rys. 8. Wyniki badań terenowych w otworze B0

Na podstawie odśnieżeń oraz profili otworów sporządzono przekrój geotechniczny B-B (rys. 9) stanowiący podstawę do dalszych analiz, w szczególności obliczeń stateczności. Zaznaczono na nim położenie potencjalnych powierzchni poślizgu, interpretowanych na podstawie wyników powyższych badań. W przekroju wyróżniono dwa osuwiska. Osuwisko górne Ba stanowiło oczywistą i najbardziej aktywną część procesu deformacji i miało charakterystyczne, łatwe do interpretacji formy. W tym przypadku masyw z rejonu nasypu zsunął się, tworząc wyraźne wypiętrzenie. Natomiast nie było wiadome, w jakim okresie i na ile aktywne było dolne osuwisko Bb (oraz duże osuwisko B). Ślady zsuwów były widoczne w najniższej, czołowej części tych osuwisk w postaci szczelin, jednak nie był znany moment ich powstawania i rozwój przemieszczenia gruntu w tej strefie. Tym niemniej potencjalna aktywność tych osuwisk była brana pod uwagę przy dalszej analizie stateczności.

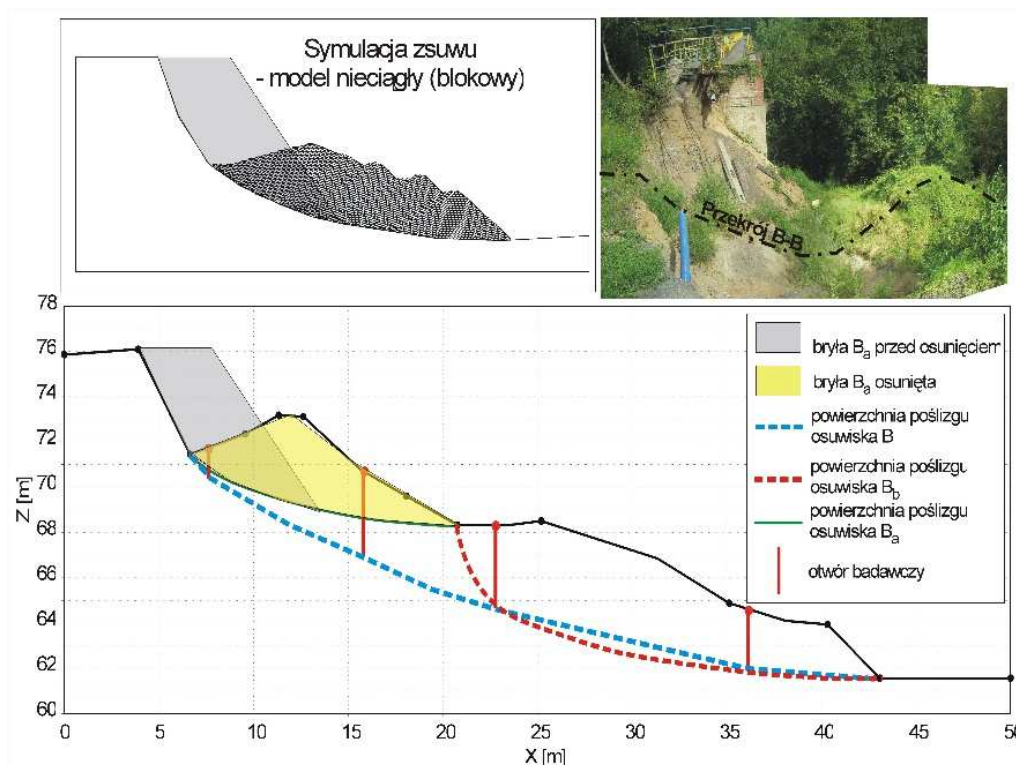
Podczas kartowania w otworach pobrano próbki gruntu NNS i NW do badań laboratoryjnych właściwości fizyczno-mechanicznych. Zasadniczym celem badań było określenie parametrów wytrzymałości – spójności i kąta tarcia wewnętrznego gruntu ze strefy poślizgu – tj. danych do analizy stateczności zbrocza. Badania przeprowadzono w aparacie trójosiowego ściskania, uzyskując następujące wyniki spójność $c = 11.08 \text{ kPa}$; $\phi = 25.5^\circ$. Ciężar objętościowy wynosił $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.



Rys. 9. Przekrój geotechniczny B-B przez osuwisko

4. Analiza stateczności

Przystępując do analizy stateczności oczekiwano potwierdzenia stanu równowagi granicznej osuniętego masywu gruntowego (tj. otrzymania współczynnika stateczności $F = 1.0$), tożsamego z wystąpieniem osuwiska. Jednakże przy parametrach wytrzymałości z badań laboratoryjnych współczynnik F okazał się znacznie większy od 1.0. Zatem konieczne było wyznaczenie wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów, spełniających warunki równowagi granicznej.

Rys. 10. Zasady symulacji procesu osuwiskowego bryły B_a programem UDEC

Proces osuwiskowy symulowano programem UDEC (ang. *Universal Distict Element Code*, [1]), poszukując takich parametrów, przy których dystans zsuwu osuwiska B_a będzie

identyczny, a kształt zsuniętej bryły zbliżony do rzeczywistości (rys. 10). Program UDEC bazował na metodzie elementów oddzielnych, które jako bryły sztywne mogą się dowolnie przemieszczać względem siebie, bez konieczności zachowania kontaktów z elementami sąsiednimi. Zastosowanie programu umożliwiło, metodą kolejnych przybliżeń, wyznaczenie rezydualnych parametrów wytrzymałościowych wzdłuż powierzchni poślizgu, które dla analizowanego przekroju B-B wyniosły odpowiednio: $c = 10$ kPa, $\phi = 6^\circ$, przy założonym ciężarze objętościowym $\gamma = 20$ kN/m³. Parametry te przyjęto następnie do dalszych analiz. Różniły się one znacznie od parametrów wyznaczonych w badaniach laboratoryjnych, co wynikało najprawdopodobniej z odmiennej wilgotności, efektu skali oraz możliwego naruszenia struktury gruntu.

Przy tak przyjętych parametrach gruntu wzdłuż powierzchni poślizgu, współczynnik stateczności F w osuwisku B, obliczony metodą równowagi granicznej Morgensterna-Price'a, wynosił $F = 1.077$, co było praktycznie równoznaczne z wystąpieniem stanu granicznego i powstaniem zsuwu.

5. Podsumowanie

Dokładna obserwacja rozwoju osuwiska od momentu jego powstania do stanu zaawansowanych deformacji, kompleksowe badania geotechniczne oraz analiza stateczności pozwoliły na prawidłowe odtworzenie procesu osuwiskowego i określenie przyczyn powstania osuwiska. Przyczyna pierwotna (czynnik bierny) wynikała ze struktury geologicznej ośrodka gruntowego – pod warstwą gruntu niespoistego zalegały warstwy gruntów spoistych. Zasadniczą przyczyną sprawczą (czynnikiem aktywnym) utworzenia się osuwiska była woda. W okresie poprzedzającym inicjację zsuwu warunki meteorologiczne były bardzo niekorzystne. Woda pochodząca z roztopów pokrywy śniegowej i zgromadzona wcześniej w zboczu pod przypowierzchniową warstwą przemarzniętego gruntu spowodowała nawodnienie warstwy łu i poślizg po stropie tej warstwy.

Wyniki rozpoznania i badań mogą służyć jako podstawa do opracowania koncepcji zabezpieczenia osuwiska i odbudowy nasypu.

Literatura

1. Itasca C.G: UDEC Manual, Minneapolis, 2004.
2. Zabuski L., Świdziński W., Kulczykowski M.: Ekspertyza geotechniczna dotycząca przyczyn powstania osuwiska nasypu kolejowego, wpływu osuwiska na stateczność prawobrzeżnego przyczółka mostu kolejki wąskotorowej w Koronowie oraz koncepcja jego zabezpieczenia, IBW PAN, Gdańsk, 2011.