



Inwestor: Zarząd Dróg Wojewódzkich w Krakowie
30-085 Kraków, ul. Głowackiego 56



Wykonawca: PRZEDSIĘBIORSTWO GEOLOGICZNE S.A.
30-079 Kraków, al. Kijowska 16a

DOKUMENTACJA BADAŃ PODŁOŻA GRUNTOWEGO
dla zadania inwestycyjnego pn.: „Wykonanie kontrolnych badań
geologicznych na uszkodzonym w wyniku ulewnych opadów deszczu
w dniu 30.08.2021 r. odcinku DW 971 w m. Żegiestów-Zdrój”

Miejscowość: **Żegiestów-Zdrój**
Gmina: **Muszyna**
Powiat: **nowosądecki**
Województwo: **małopolskie**

ZESPÓŁ DOKUMENTUJĄCY					
FUNKCJA	IMIE, NAZWISKO	SPECJALNOŚĆ	NR UPRAWNIENI	DATA	PODPIS
Geolog	Zbigniew Jaskólski	geologia inżynierska	upr. nr 070965	10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Łukasz Cempura	geologia inżynierska	nr upr. XI-0085	10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Mateusz Foryś	geologia inżynierska	nr upr. XI-0166	10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Agnieszka Kordyka	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Weronika Kawa	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	dr Joanna Kowalczyk-Szpyt	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Sabina Drózd	geologia złożowa	nr upr. II-1363	10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Anna Maniecka	hydrogeologia		10.2021 r.	
Geolog	mgr Dariusz Budziński	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Krzysztof Wiśniewski	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Piotr Skiba	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	lic. Bartosz Lelonek	geologia inżynierska		10.2021 r.	
Geolog	mgr inż. Marcin Wolnicki	geologia inżynierska		10.2021 r.	

Kraków, październik 2021

SPIS TREŚCI

1. Wstęp.....	4
2. Cel i zakres opracowania	4
3. Charakterystyka terenu badań.....	5
3.1. Lokalizacja i sposób użytkowania terenu	5
3.2. Położenie geograficzne oraz morfologia i hydrografia terenu badań	6
3.3. Budowa geologiczna terenu badań	9
3.4. Warunki hydrogeologiczne terenu badań	12
4. Opis wykonanych prac.....	14
4.1. Zakres rzeczowy	14
4.2. Prace geodezyjne	14
4.3. Kartowanie terenu badań	14
4.4. Wiercenia badawcze	15
4.5. Badania laboratoryjne	16
5. Charakterystyka wydzielonych warstw geotechnicznych wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów	19
6. Stopień skomplikowania warunków gruntowych oraz opis warunków geotechnicznych.....	23
7. Obliczenia stabilności skarpy metodą Sarney-Hoeka.....	35
8. Ocena warunków gruntowo-wodnych	38
9. Informacje na temat występowania zagrożeń geologicznych i górniczych	40
10. Wnioski i zalecenia dotyczące założeń projektowych.....	41
11. Podsumowanie - uwagi końcowe	44
12. Spis literatury i materiałów archiwalnych	47

SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

- 1.1 Wycinek mapy topograficznej z lokalizacją wykonanych badań w skali 1: 10 000
- 1.2 Mapa osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi w skali 1: 10 000 wraz z lokalizacją terenu badań
- 1.3 Wycinek Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski Arkusz Muszyna (1052) w skali 1: 50 000
- 2.1-2.2 Mapa dokumentacyjna w skali 1: 1000 oraz 1: 500
- 3.1-3.4 Karty i profile geotechniczne otworów i odkrywek w skali 1: 200, 1: 100 i 1: 50
- 4. Objasnienia do przekrojów geotechnicznych
- 5.1-5.4 Przekroje geotechniczne w skali 1: 100/100
- 6. Zbiorcze zestawienie wyników badań laboratoryjnych gruntów
- 7. Wyniki badań laboratoryjnych gruntów w postaci wykresu uziarnienia oraz tabelaryczne zestawienie not punktowych dla wskaźnika jakości górotworu RMR
- 8. Zestawienie wartości parametrów charakterystycznych dla wydzielonych warstw geotechnicznych
- 9. Wyniki obliczeń stateczności stoku metodą Sarney-Hoeka
- 10.1 Dokumentacja fotograficzna terenu badań
- 10.2 Dokumentacja fotograficzna odkrywek
- 11. Dokumentacja fotograficzna rdzeni wiertniczych
- 12. Karta rejestracyjna osuwiska

1. Wstęp

Przedmiotem opracowania jest wykonanie dokumentacji badań podłoża gruntowego w ramach zadania inwestycyjnego pn.: „Wykonanie kontrolnych badań geologicznych na uszkodzonym w wyniku ulewnych opadów deszczu w dniu 30.08.2021 r. odcinku DW 971 w m. Żegiestów-Zdrój”. Niniejsza dokumentacja została wykonana przez Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A, al. Kijowska 16a, 30-079 Kraków, na zlecenie Zarządu Dróg Wojewódzkich w Krakowie z siedzibą przy ul. Głowackiego 56, 30-085 Kraków.

2. Cel i zakres opracowania

Celem dokumentacji jest rozpoznanie i ocena warunków gruntowo-wodnych występujących w podłożu drogi wojewódzkiej DW 971, w miejscowości Żegiestów-Zdrój, gdzie powstało osuwisko o charakterze zsuwu doprowadzające do katastrofy budowlanej polegającej na oberwaniu się fragmentu chodnika w obrębie lewego pobocza jezdni

i osunięciu materiału gruntowego na stromym stoku poniżej, dochodzącym do rzeki Poprad.

Podstawą opracowania są badania terenowe i laboratoryjne.

Prace i badania wykonane w ramach niniejszej dokumentacji badań podłoża gruntowego objęły:

- szczegółową wizję terenową – kartowanie terenu badań,
- odwiercenie 2 otworów pełnordzeniowych,
- wykonanie 2 odkrywek badawczych,
- nadzór i dozór geologa przy wykonywaniu robót geotechnicznych,
- opis makroskopowy przewiercanych gruntów i skał w terenie i laboratorium,
- wykonanie badań laboratoryjnych pobranych próbek gruntów i skał,
- opracowanie dokumentacji badań podłoża gruntowego.

Do rozpoznania podłoża gruntowego posłużyły:

- wizja terenu,
- prace wykonane w terenie i laboratorium,
- materiały archiwalne,
- literatura geologiczna,
- norma PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, część 1: Zasady ogólne;
- norma PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego;

Wyniki wykonanych prac oraz zebrane informacje podczas ich wykonywania przedstawiono w przedmiotowej dokumentacji badań podłoża gruntowego, która została wykonana zgodnie z *Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych* (Dz. U. z 2012 roku poz. 463).

Rozpoznane i opisane w niniejszym opracowaniu warunki gruntowo-wodne będą podstawą dla doboru metody doraźnego, a w dalszym etapie rozpoznania docelowego zabezpieczenia drogi i skarpy drogowej w rejonie osunięcia oraz naprawy uszkodzonego fragmentu chodnika.

3. Charakterystyka terenu badań

3.1. Lokalizacja i sposób użytkowania terenu

Obszar wykonanych badań terenowych znajduje się w województwie małopolskim, powiecie nowosądeckim, gminie Muszyna, miejscowości Żegiestów-Zdrój, przy granicy polsko-słowackiej, wzdłuż drogi wojewódzkiej nr 971 oraz w jej najbliższej okolicy. W obrębie tego obszaru, na stromej skarpie, bezpośrednio poniżej wojewódzkiej drogi asfaltowej powstało osuwisko.

30 sierpnia 2021 r. na skutek ulewnych opadów deszczu doszło do uszkodzenia chodnika oraz barierek przydrożnych po lewej stronie jezdni przy DW 971 na 40 m odcinku, przy czym na odcinku o długości około 25 m materiał gruntowy wraz z oderwanym chodnikiem i barierkami uległ całkowitemu osunięciu w dół stoku. Na skutek tego doszło do odspojenia chodnika oraz materiału gruntowego i ich osunięcia po stromym stoku, dochodzącym do rzeki Poprad.

Powyżej górnej granicy osuwiska, w osi lewego pas jezdni został utworzony wał przeciwwodny, który przykryto folią, w celu zapobiegnięcia spływu wody na osuniętą skarpe. Opisywana sytuacja została udokumentowana na fotografiach zamieszczonych w załączniku 10.1.

Skarpa, na której powstało osuwisko była pokryta przez drzewa i krzewy, które w miejscu powstałego osuwiska oraz na kilkunastometrowych odcinkach po obu jego stronach zostały usunięte, a obecnie pokrywa ją roślinność niska. Teren okoliczny, stanowią tereny zielone, głównie lasy, a także nieliczne nieużytki. Po prawej stronie drogi, powyżej osuwiska znajdują się pojedyncze budynki będące obiektami zakwaterowania turystycznego. Jeden z

takich budynków występuje bezpośrednio w osi powstałego zsuwu, powyżej drogi wojewódzkiej.

Powyżej budynku występuje stroma, prawie pionowa skarpa odsłaniająca skały gruboławicowego piaskowca przewarstwionego łupkiem, przy której wykonano oporowy mur gabionowy, zabezpieczający ten budynek.

Poniżej stoku, na którym doszło do osunięcia, wzdłuż doliny Popradu biegnie linia torów kolejowych nr 96 z Nowego Sącza do Koszyc i Budapesztu z lokalnym odgałęzieniem od stacji w Muszynie w kierunku północno-wschodnim do Krynicy Zdroju nad Krynicańską.

Powstałe osuwisko zostało udokumentowane w Systemie Osłony Przeciwoświsiskowej (SOPO) pod numerem 122187 i posiada kartę rejestracyjną nr 12-10-115-122187.

Na południowy-wschód od miejsca, gdzie doszło do osunięcia, po wschodniej stronie DW 971 znajduje się udokumentowane w SOPO okresowo-aktywne osuwisko o powierzchni 0,355 ha, które posiada kartę rejestracyjną o numerze 12-10-115-041596.

Otwory geotechniczne O-1, O-2 oraz odkrywki/wkopy badawcze W-1, W-2 wykonane zostały w gminie Muszyna, miejscowości Żegiestów-Zdrój na działkach ewidencyjnych nr 584 (otwór O-1), 557/2 (otwór O-2) oraz 522 (odkrywki: W-1, W-2).

Ogólną lokalizację terenu badań przedstawiono na wycinku mapy topograficznej w skali 1: 10 000, stanowiącym załącznik 1.1 do niniejszego opracowania, a miejsca wykonania poszczególnych badań przedstawiono na mapach dokumentacyjnych w skali 1: 1000 oraz 1: 500, zamieszczonych w załączniku 2.1 oraz 2.2.

3.2. Położenie geograficzne oraz morfologia i hydrografia terenu badań

Teren wykonanych robót geotechnicznych, pod względem geograficznym, według podziału geomorfologicznego Karpat, zaproponowanego przez Starkla (1991), zalicza się do Beskidu Sądeckiego (Pasma Jaworzyny, w tym Kotlina Muszyny), natomiast według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski J. Kondrackiego (2002), zalicza się do makroregionu Beskidy Zachodnie (513.4-5), w obrębie którego wydziela się Beskid Sądecki (513.54).

Beskid Zachodnie to makroregion położony w obrębie Zewnętrznych Karpat Zachodnich (513). Od północy stykają się z Pogórzem Zachodniobeskidzkim, nad którym górują o kilkaset metrów osiągając wysokości od 700 do 1750 m n.p.m., od południa – z Centralnymi Karpatami Zachodnimi. W całości są zróżnicowanym, neotektonicznym antyklinorium, zbudowanym w znacznej części z odpornych na

denudację piaskowców magurskich, a w części północno-zachodniej z piaskowców godulskich płaszczowiny śląskiej (Kondracki, 2001).

Beskid Sądecki rozpościera się w granicach Polski na powierzchni około 670 km², pomiędzy doliną Dunajca na zachodzie, a dolinami Kamienicy, Mochnaczki i Przełęczą Tylicką na dziale wodnym bałtycko-czarnomorskim. Od północy opada kilkusetmetrowym progiem do Kotliny Sądeckiej, od południa sąsiaduje z Małymi Pieninami, od których dzieli go dolina Grajcarka. Na terenie Słowacji łączy się z nim pasmo między Kotliną Spiską nad Popradem, a granicznym odcinkiem doliny Popradu od Muszyny do Piwnicznej. Charakterystyczną cechą Beskidu Sądeckiego jest występowanie dwóch równoległych pasm górskich o kierunku ogólnym z północnego-zachodu na południowy-wschód, rozdzielonych podłużną doliną granicznego odcinka Popradu (Kondracki, 2001).

Morfologia

Teren badań znajduje się przy drodze wojewódzkiej DW 971. Jest to obszar charakteryzujący się znacznymi przewyższeniami terenu. Powstałe osuwisko zostało zarejestrowane w Systemie Osłony Przeciwosuwiskowej (SOPO) jako zsuw aktywny ciągle o powierzchni około 0,11 ha i posiada nr 122187. Stok, na którym powstało osuwisko jest nachylony pod kątem 33° i schodzi do doliny Popradu.

Analizowany teren znajduje się na obszarze Mapy Osuwisk i Terenów Zagrożonych Ruchami Masowymi (Oszczypko N., Oszczypko-Clowes M., 2012), która została zamieszczona w załączniku 1.2.

Badane osuwisko o charakterze zsuwu i ciągłym stopniu aktywności znajduje się na stromym stoku o ekspozycji SW. Długość osuwiska, schodzącego do rzeki Poprad, którego kraniec wyznacza miejsce, gdzie zatrzymało się koluwium, równa jest 41 m, natomiast szerokość na górze skarpy, wzdłuż drogi wynosi 40 m i zwęża się ku dołowi, przybierając kształt trapezowy i osiągając przy linii torów szerokość równą 17 m. Rozpiętość pionowa osuwiska wynosi 32 m. Skarpa główna osuwiska o wysokości 0,7 m wykazuje nachylenie równe 85°. Koluwium osuwiska nachylone jest pod kątem 39° i schodzi bezpośrednio do rzeki poniżej stoku, a jego długość dochodzi do 41 m. Do osunięcia materiału koluwalnego poniżej torów kolejowych doszło na skutek dużego nachylenia stoku, a podłoże nie zostało tu naruszone. Biorąc pod uwagę przemieszczone masy koluwium, czoło o wysokości dochodzącej do około 1,5 m schodzi bezpośrednio do rzeki Poprad, poniżej torów kolejowych. Powierzchnia poślizgu osuwiska kończy się u podnóża skarpy, powyżej torów kolejowych, co nie jest jednoznaczne z końcem zasięgu osuwiska, którego kraniec w nomenklaturze geologicznej wyznacza się w miejscu, do którego dochodzi koluwium osuwiskowe.

Osuwisko rozpoczyna się wyraźnym oderwaniem chodnika od lewego pasa jezdni asfaltowej na odcinku około 40 m, przy czym na odcinku około 25 m doszło do całkowitego

osunięcia materiału gruntowego wraz z chodnikiem w dół stoku. Granica wzdłuż której doszło do oderwania była miejscem, gdzie woda z opadów atmosferycznych infiltrowała w głąb podłoża. Powyżej tej granicy, na powierzchni dwupasmowej jezdni asfaltowej nie zaobserwowano żadnych uszkodzeń ani szczelin, jak również podmokłości czy wysięków wód gruntowych. Nie mniej jednak na odcinku, gdzie chodnik uległ spękaniu występuje duże prawdopodobieństwo postępu dalszych ruchów masowych i osunięciu się chodnika w dół stoku.

Skarpa, na której doszło do osunięcia dochodzi do torów kolejowych, biegnących wzdłuż rzeki Poprad. Podczas wizji terenowej, przeprowadzonej dzień po powstaniu osuwiska tj. 31.08.2021 zaobserwowano, że materiał koluwalny, który osunął się na tory kolejowe uniemożliwiający ich przejezdność został wybrany.

W sąsiedztwie analizowanego obszaru, w kierunku południowo-wschodnim występuje okresowo-aktywne osuwisko o powierzchni 0,355 ha, oznaczone w SOPO pod numerem 41596. Osuwisko o charakterze obrywu zlokalizowane jest po wschodniej stronie drogi wojewódzkiej. Osuwisko przejawia swoją aktywność. Ruch będzie zachodził do momentu ustalenia się nowego stanu równowagi na soku. Ruchom masowym sprzyjać będą przede wszystkim obfite opady deszczu i antropogeniczna, nieprzemyślana ingerencja stoku (Oszczypko N., 2010).

Granice powstałego osuwiska wraz z uszkodzonym fragmentem chodnika, zasięg występującego nieopodał osuwiska oraz grunty występujące przy powierzchni terenu zostały przedstawione na mapie dokumentacyjnej w skali 1: 1000 oraz 1: 500 w załącznikach 2.1-2.2.

Podczas prowadzenia obserwacji w najbliższym otoczeniu powstałego osuwiska nie stwierdzono występowania innych uszkodzeń drogi wojewódzkiej DW 971. Zaobserwowano natomiast lekkie wygięcie muru gabionowego znajdującego się przy skarpie, powyżej drogi, zabezpieczającego posadowiony tam obiekt budowlany.

Hydrografia

Zgodnie z informacjami zawartymi na mapie podziału hydrograficznego Polski, obszar badań znajduje się w dolinie rzeki Poprad (rzeka III rzędu), do którego od strony północno-zachodniej terenu badań wpływa Żegiestowski Potok. Między Starym, a Nowym Sączem Poprad uchodzi do Dunajca (rzeka II rzędu), który natomiast stanowi prawy dopływ Wisły (rzeka I rzędu).

Beskid Sądecki odznacza się obfitością źródeł mineralnych typu szczaw, w tym także w Żegiestowie nad Popradem, co związane jest z obecnością stref dyslokacyjnych tworzących system szczelin sięgający znacznych głębokości.

Podczas przeprowadzonej wizji terenowej/kartowania terenu badań nie zaobserwowano wysięków ani podmokłości.

Jak wynika z mapy obszarów zagrożonych podtopieniami, teren wykonanych robót geotechnicznych oraz jego pobliski obszar nie jest zagrożony wystąpieniem podtopień.

3.3. Budowa geologiczna terenu badań

Ogólne informacje o budowie geologicznej podłoża zaczerpnięto m.in. ze Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski, arkusz Muszyna w skali 1: 50 000 (Chrzastowski J., Niescieruk P., Wójcik A., 1991, Warszawa) oraz objaśnień do tej mapy, a także innych materiałów archiwalnych, których spis znajduje się w punkcie 12, a szczegółowe – z wykonanych badań terenowych i laboratoryjnych.

Obszar wykonanych badań zlokalizowany jest na terenie płaszczowiny magurskiej Zewnętrznych Karpat fliszowych. Jest to południowo-wschodnia część Beskidu Sądeckiego w Paśmie Jaworzyny Krynickiej (jej południowej części). Od południowego zachodu obszar ten ograniczony jest rzeką Poprad, która stanowi granice państwa ze Słowacją.

Pasma Jaworzyny Krynickiej, wznosi się do 1114 m n. p. m. i jest silnie rozczłonkowanym grzbieciem górskim. Północne skłony pasma rozdzielone są prostolinijnymi dolinami wciosowymi o przebiegu południowym. Południowe doliny są prawie dwukrotnie dłuższe od północnych i mają w dolnych odcinkach dobrze wykształcony system tarasów rzecznych.

Utwory geologiczne na omawianym obszarze to osady paleogeńskie (eocen), tworzące starsze piętro strukturalne, piętro młodsze to osady czwartorzędu. Ze względu na zróżnicowaną morfologię terenu, znaczne przewyższenia, zalesienie, teren jest pozbawiony miększej pokrywy zwietrzelinowej, natomiast czwartorzęd jest reprezentowany głównie przez osady aluwialne i materiał osuwiskowo-koluwalny.

Paleogen

Piaskowce gruboławicowe i łupki – piaskowce z Piwnicznej (warstwy magurskie). W ogniwie tym przeważają piaskowce litotypu magurskiego. Zazwyczaj są gruboławicowe (1-3 m), średnioziarniste, o nieuporządkowanym rozsortowaniu, rzadziej strukturze frakcjonalnej. Mają barwy jasnoszare do stalowoszarych lub zielonkawe (glaukonit). Zawierają ziarna kwarcu, domieszkę skaleni i materiału egzotykowego oraz muskowit. Piaskowcom towarzyszą łupki miąższości od 1 do 20 cm (w części stropowej i spągowej całego kompleksu). Są one barwy szaro-oliwkowej,

piaszczyste, mikowe, z sieczką roślinną. Kilkunastometrowe pakiety piaskowców są niekiedy przedzielone ławicami zlepieńców, zawierających egzotyki skał krystalicznych i węglanowych. Pomiarzy hieroglifów prądowych wskazują na transport z kierunku południowo-wschodniego. Niekiedy pojawiają się w obrębie piaskowców utwory osuwisk podmorskich, zawierające w piaszczysto-mułowcowym tle okruchy egzotyków, pakiety łożupków i fragmenty piaskowców fliszowych. Występujące hieroglify są zwykle pochodzenia prądowego i wlezeniowego. W stropowej części piaskowców coraz liczniej spotykane są liczne pakiety fliszu drobnorytmicznego, składające się z cienkoławicowych piaskowców hieroglifowych i oliwkowo-szarych marglistych łożupków (Chrzastowski J., Niescieruk P., Wójcik A., 1993).

Czwartorzęd

Osady rzeczne

W dolinie Popradu o szerokości od 150 do 350 m miąższość osadów rzecznych wynosi od 8 do 12 m. W dolinie Popradu występują osady rzeczne facji korytowej, a ich spągową partię tworzą otoczaki o średnicy do 20 cm, przykryte piaskami gruboziarnistymi, zazwyczaj dobrze wysortowanymi, z drobnym żwirem i pojedynczymi otoczakami, przykryte w stropie warstwą namulów rzecznych o grubości od 1 do 2,5 m. Opisane pokrywy osadów rzecznych należą do teras erozyjno-akumulacyjnych. Na mapie geologicznej arkusz Muszyna (Chrzastowski J. i in., 1993) wymieniane są następujące poziomy erozyjno akumulacyjne: 0,5–2,5, 2–5, 5–12, 15–18, 22, 25, 30–35 oraz około 70 m. Znaczenie dominujące mają terasy zalewowe o wysokości 0,5 do 2,5 m, terasy nadzalewowe o wysokości 2–5 m oraz terasy o wysokości 5–8 m, występujące zarówno w dolinach Popradu, Muszynki, Szczawnika i Jastrzębika (Oszczypko N., Oszczypko-Clowes M., 2012).

Rumosze skalne typu gołoborzy, zwietrzelinowe

Zaliczono tu osady występujące na stromych stokach, złożone z nie obtoczonego materiału gruzowego, zaglinionego i zapiaszczonego, o miąższościach nie przekraczających 2,5-3,0 m. Są to bloki i rumosze czasami luźno ułożone. Powierzchnie występowania tych obszarów są jednak niewielkie, a ich obecność związana jest z występowaniem w podłożu gruboławicowych piaskowców z Piwnicznej (Chrzastowski J. i in., 1993).

Iły, gliny i rumosze skalne oraz bloki i głazy (pakiety fliszu) – koluwalne

W okolicy omawianego obszaru pojawiają się utwory wykazujące charakter koluwium, będące pakietami fliszu. Stan zachowania form osuwiskowych, stosunek do

pokryw stokowych i terasów rzecznych oraz rozcięć erozyjnych wskazuje, że są to osady różnowiekowe. Do wydzielenia tego zaliczono materiał koluwalny różnych typów osuwisk. Miąższość jest zróżnicowana i wynosi od kilku do kilkudziesięciu metrów. Często pakiety fliszu tkwią w ilach i glinach, zawierających różnej wielkości bloki i głązy piaskowcowe. Czasem w koluwiach na powierzchni dominują blokowiska i głązowiska. W koluwiach występuje wymieszanie materiału skalnego ze zwietrzelinowym (Chrzastowski J., Niescieruk P., Wójcik A., 1993).

Warunki gruntowe stwierdzone w otworach i odkrywkach

Analizowany obszar leży w zasięgu aktywnego osuwiska o nr 122187 w bazie SOPO. Według karty rejestracyjnej podłoże osuwiska stanowią piaskowce gruboławicowe i łupki – ogniwo z Piwnicznej – warstwy magurskie (eocen) (Wódka M., Balicki L., 2021).

Bezpośrednio na badanym terenie, grunty czwartorzędowe wykształcone są jako cienkie warstwy zwietrzelin skał podłoża - piaskowca i łupka ilastego w postaci żwiru z iłem i piaskiem o brązowej barwie. Utwory zwietrzelinowe o miąższości 0,4m zostały stwierdzone w odkrywce W-2 wykonanej poniżej drogi DW 971 i prawdopodobnie pokrywają całą skarpe. Do utworów czwartorzędowych znajdujących się przy powierzchni terenu, w rejonie drogi należą także grunty antropogeniczne - nasypy (okruchy piaskowca wypełnionego pyłem z iłem i piaskiem oraz fragmentów betonu, cegieł, szkła, dachówki, papy i odpadów) o miąższości 0,6m. Stanowią one podbudowę pod drogę wojewódzką nr 971 jak również pod tory kolejowe biegnące u podnóża skarpy osuwiskowej.

Na terenie wykonanych robót geologicznych (odkrywka W-1) i w jej pobliżu grunty czwartorzędowe - zwietrzeliny piaskowca i łupka ilastego w postaci żwiru z iłem i piaskiem wraz z fragmentami oderwanego chodnika, starego muru oporowego oraz gruntów antropogenicznych (nasypu) uległy przemieszczeniu w dół stoku na skutek występujących tu ruchów masowych, tworząc kolumium, którego miąższość może dochodzić do około 2,0 m.

Poniżej utworów czwartorzędowych w obszarze badań stwierdzono występowanie piaskowców głównie średnioziarnistych rzadziej gruboziarnistych wieku paleogeńskiego, często występujących z przewarstwieniami i wkładkami mułowców i łupków ilastych, o miąższości do 4,0 m. Piaskowce te są barwy od brązowo-popielatej, popielato-brązowej, popielatej do ciemnopopielatej z licznymi rdzawymi przebarwieniami. Widoczne są ślady krążenia wody i cienkie żyłki kalcytowe.

Piaskowce paleogeńskie na ogół są silnie spękane pod kątem 45-50° - sporadycznie pionowo, a w górnych partiach profili - zwietrzałe oraz rozsypliwe z domieszką zwietrzałego łupka ilastego. Poniżej warstw słabych występują warstwy o wyższych parametrach wytrzymałościowych (naprzemianległe warstwy średnio mocne, mocne lub bardzo mocne). Skały piaskowca w wykonanych do głębokości 40 m otworach O-1 i O-2 nie zostały przewiercone.

W otworze O-2 na głębokości 11,4 m p.p.t. występuje 4,1 metrowa warstwa silnie zwietrzałego, rozsypliwego łupka ilastego o barwie ciemnopopielatej z przewarstwieniami łupka mułowcowego i okruchami piaskowca. Bezpośrednio poniżej, do głębokości 19,7 m p.p.t. występuje warstwa łupka mułowcowego o miąższości 4,3 m również z fragmentami piaskowca.

W obrębie rozpoznanych warstw często występują zlustrowania tektoniczne. Szczególnie mocno zaangażowane tektonicznie są warstwy piaskowca w otworze O-1 na głębokości 6,5-15,3 m p.p.t.

3.4. Warunki hydrogeologiczne terenu badań

Ogólne informacje o warunkach hydrogeologicznych zaczerpnięto z mapy hydrogeologicznej Polski arkusz (1052) Muszyna (Porwisch B. i in., 1997), objaśnień do tej mapy oraz innych opracowań archiwalnych.

Obszar badań zlokalizowany jest wzdłuż południowej granicy państwowej, którą stanowi rzeka Poprad, wzdłuż której przebiega Europejski Dział Wodny, między zlewnią Morza bałtyckiego, a Morza Czarnego. Obszar ten leży w obrębie zlewni III rzędu rzeki Poprad, do którego od strony północno-zachodniej terenu badań wpływa Żegiestowski Potok. Między Starym, a Nowym Sączem Poprad uchodzi do Dunajca (rzeka II rzędu), który natomiast stanowi prawy dopływ Wisły (rzeka I rzędu).

Jest to obszar należący do Zewnętrznych Karpat fliszowych w obrębie występowania utworów serii magurskiej. Dominuje tu piętro wodonośne w utworach fliszu karpackiego. Podrzędnie wody podziemne występują w utworach czwartorzędowych.

Według Mapy Hydrogeologicznej Polski arkusz Muszyna (1052) obszar badań zlokalizowany jest na pograniczu dwóch użytkowych pięter wodonośnych, czwartorzędowego oraz paleogeńskiego (fliszowego).

Czwartorzędowy poziom wodonośny

Użytkowy poziom wodonośny w utworach czwartorzędowych ma ograniczony

zasięg do dolin rzecznych. Występuje jedynie na niewielkich odcinkach doliny Popradu, w tym w rejonie Żegiestowa. Warstwa wodonośna zbudowana jest z otoczków, żwirów i piasków rzecznych z domieszką glin tarasów erozyjno-akumulacyjnych plejstocénskich oraz tarasów nadzalewowych holocénskich. Lokalnie zaznaczające się wkładki glin i ilów, nie stanowią ciągłej warstwy izolującej.

Utwory czwartorzędowe zasilane są w wodę głównie na drodze bezpośredniej infiltracji opadów atmosferycznych, w mniejszym stopniu również ze spływu podziemnego z wyżej morfologicznie zalegających utworów podłoża.

Zwierciadło wody jest przeważnie swobodne, a tylko lokalnie spotyka się słabo napięte, stabilizujące się przeważnie na głębokości od 0 do 5 m, lokalnie głębiej z wahaniami uzależnionymi od poziomu wody w rzekach. Miąższość czwartorzędowej warstwy wodonośnej wynosi do 5 m. Wydajności potencjalne studni wahają się od 5-49 m³/h. (Porwisz B., i in., 1997)

Poziom wodonośny w utworach fliszowych (paleogeński)

Utwory fliszowe wykazują znaczne zróżnicowanie wykształcenia litologicznego od piaskowców gruboławicowych i średnioławicowych z przewarstwieniami łupków do piaskowców cienkoławicowych oraz łupków i margli. Poziom związany jest głównie z piaskowcami gruboławicowymi, magurskimi, piaskowcami z Piwnicznej, rozciągającymi się w obrębie terenu badań.

Utwory fliszowe są zaburzone w różnego rodzaju fałdy, jak też poprzecinane szeregiem uskoków poprzecznych i podłużnych. Ze względu na tak skomplikowaną tektonikę Karpat skały te tworzą lokalne zbiorniki wód podziemnych typu szczelinowego lub podrzędnie szczelinowo-porowego. Wodonośność skał fliszowych jest związana prawie wyłącznie ze szczelinowatością co wynika z niewielkiej ich porowatości. Przeciętne współczynniki filtracji fliszu karpackiego, obliczane na podstawie pomiarów wydajności studni, mieszczą się w przedziale $n \cdot 10^{-7}$ do $n \cdot 10^{-6}$ m/s, osiągając niekiedy wartości od $n \cdot 10^{-8}$ do $n \cdot 10^{-7}$ m/s, a sporadycznie $n \cdot 10^{-4}$ m/s. Strefa aktywnej wymiany wód sięga zazwyczaj do głębokości 60-100 m, choć znane są rejonu występowania wód słodkich na znacznie większych głębokościach, dochodzących do 250 m.

Poziom wodonośny zasilany jest na drodze infiltracji opadów atmosferycznych oraz bezpośrednio na wychodniach lub poprzez warstwy czwartorzędowe. Ukształtowanie morfologiczne terenu, głębokie wcięcia erozyjne rzek i potoków

powodują silne drenowanie górotworu fliszowego. Przejawia się to występowaniem licznych źródeł wód zwykłych a także mineralnych. Wpływy powierzchniowe tych wód obserwuje się głównie na kontaktach serii piaskowców i łupków oraz w strefach silnie spękanych (Porwisz B., i in., 1997).

Wody mineralne i lecznicze

W miejscowości Żegiestów-Zdrój oraz w miejscowościach sąsiadujących wody mineralne objawiają się szeregiem naturalnych źródeł i wycieków. Są to wody głównie typu szczaw z zawartością CO_2 powyżej 1 g/dm^3 , których zbiornikami o charakterze szczelinowo-porowym są warstwy łuckie, piaskowce krynickie i piaskowce z Piwnicznej. Czynnikiem warunkującym występowanie źródeł wód mineralnych są strefy dyslokacyjne tworzące system szczelin sięgający znacznych głębokości. Migrujący z głębi ziemi niezależny od wody dwutlenek węgla nasycza wody infiltrujące, powodując powstanie wód mineralnych typu szczaw (Porwisz B., i in., 1997).

4. Opis wykonanych prac

4.1. Zakres rzeczowy

Prace wykonane na potrzeby niniejszej dokumentacji badań podłoża gruntowego obejmowały: prace geodezyjne, kartowanie terenu badań, odwiercenie 2 otworów geotechnicznych, wykonanie 2 odkrywek/wkopów badawczych, opis makroskopowy gruntów i skał w terenie oraz ponownie w laboratorium, a także wykonanie badań laboratoryjnych. Następnie przystąpiono do analizy wszystkich zebranych materiałów i opracowania wynikowej dokumentacji badań podłoża gruntowego, określającej warunki gruntowo-wodne terenu badań.

4.2. Prace geodezyjne

W ramach prac geodezyjnych wytyczono w terenie 2 otwory wiertnicze wzdłuż drogi wojewódzkiej DW 971 oraz 2 odkrywki/wkopy badawcze, na skarpie poniżej tej drogi. Następnie po ich wykonaniu, zamierzono je i zaniwelowano w obowiązującym państwowym systemie odniesień przestrzennych, tj. w układzie współrzędnych płaskich prostokątnych PL-2000, przy pomocy systemu GPS.

4.3. Kartowanie terenu badań

Na potrzeby niniejszego opracowania przeprowadzono szczegółową wizję terenową/kartowanie terenu badań, w wyniku której powstała mapa dokumentacyjna zamieszczona w załączniku 2.1-2.2.

Na mapę naniesiono miejsce oberwanego fragmentu chodnika przy DW 971, który rozpoczyna skarpe główną powstałego osuwiska oraz jego zasięg dochodzący do rzeki Poprad. Zaznaczono lokalizację wykonanych otworów geotechnicznych (O-1, O-2) oraz odkrywek badawczych (W-1, W-2), a także linie przekrojów geotechnicznych.

W trakcie wizji terenowej nie zaobserwowano innych elementów i form świadczących o świeżych ruchach masowych w obrębie drogi. Na obszarze otaczającym tj. powyżej drogi, przy odsłonięciu skał piaskowca, gdzie znajduje się gabionowy mur oporowy, w jego górnej części zaobserwowano lekkie wygięcie od pionu.

Na południowy wschód od powstałego uszkodzenia znajduje się kolejne osuwisko o numerze 41596, które zostało zarejestrowane w SOPO i posiada kartę rejestracyjną z 2010 r. o numerze 12-10-115-041596. Zasięg tego osuwiska naniesiono na mapę dokumentacyjną zamieszczoną w załącznik 2.1.

4.4. Wiercenia badawcze

W celu rozpoznania warunków gruntowo-wodnych na analizowanym terenie, w obrębie powstałego zsuwu oraz w jego najbliższym otoczeniu, po wschodniej stronie drogi wojewódzkiej DW 971 odwiercono 2 otwory geotechniczne o głębokości równej 40,0 m p.p.t. każdy. Wykonano również dwie odkrywki/wkopy badawcze, na skarpie poniżej drogi, do głębokości 2,0 oraz 1,6 m p.p.t. Przeprowadzono kartowanie terenu badań, a także opis makroskopowy przewiercanych gruntów i skał oraz wykonano badania laboratoryjne.

Wykonane otwory wiertnicze oznaczono na mapach dokumentacyjnych w skali 1: 1000 oraz 1: 500, zamieszczonych w załącznikach 2.1-2.2, symbolami O-1, O-2, a odkrywki symbolami W-1, W-2. Otwory O-1 oraz O-2 wykonano po prawej stronie drogi wojewódzkiej DW 971, natomiast odkrywki/wkopy na skarpie poniżej drogi, w obrębie osuwiska (W-1) oraz na SE od niego (W-2).

Zestawienie wykonanych otworów geotechnicznych oraz odkrywek/wkopów badawczych wraz z ich głębokością, rzędnymi w punktach ich wykonania oraz sposobem wiercenia zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wykonanych otworów/odkrywek.

L.p.	Nr wykonanego otworu/odkrywki	Wykonana głębokość otworu/odkrywki [m]	Rzędna otworu/odkrywki [m n.p.m.]	Współrzędna geodezyjna X:	Współrzędna geodezyjna Y:	Sposób wiercenia
				Układ 2000		
1	O-1	40,0	447,8	5469141,00	7486250,40	mechaniczno-obrotowy
2	O-2	40,0	449,0	5469096,30	7486267,50	mechaniczno-obrotowy
3	W-1	2,0	432,0	5469111,40	7486228,10	ręczny
4	W-2	1,6	439,0	5469089,80	7486244,70	reczny

Wykonane wiercenia, odkrywki/wkopy badawcze miały na celu określenie rodzajów i parametrów gruntów i skał występujących w podłożu drogi i w jej otoczeniu, a także na stoku poniżej drogi, w miejscu powstałego osuwiska. W trakcie wiercenia oraz wykonywania odkrywek prowadzono szczegółowy opis makroskopowy napotkanych gruntów i skał, zwracając uwagę na ich rodzaj, barwę, wilgotność, występowanie przewarstwień, laminacji, domieszek itp. oraz licznych zlustrowań tektonicznych, a także pobierano próby z każdej zmieniającej się litologicznie warstwy.

Po osiągnięciu planowanej głębokości, pobraniu prób i wykonaniu opisu makroskopowego, otwory zlikwidowano.

Wyniki wiercenia w postaci kart otworów geotechnicznych oraz dane uzyskane z wykonanych odkrywek w postaci kart i profili odkrywek badawczych przedstawiono w załączniku 3.1-3.4.

Lokalizację wykonanych otworów oraz odkrywek/wkopów badawczych przedstawiono na mapie dokumentacyjnej stanowiącej załącznik 2.1-2.2.

4.5. Badania laboratoryjne

Wszystkie pobrane w trakcie wierceń próby, bezpośrednio po przeprowadzeniu badań terenowych, zostały przekazane do Laboratorium Mechaniki Gruntów, gdzie wykonano ponowne, szczegółowe badania makroskopowe, zgodnie z Eurokodem 7 Projektowanie geotechniczne, Część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego oraz wytypowano próbki, na których przeprowadzono badania laboratoryjne gruntów i skał.

Badania laboratoryjne zostały wykonane zgodnie z metodyką i zasadami przedstawionymi w następujących normach:

- ✓ PKN 17892-1: 2009 Badanie geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczanie wilgotności.
- ✓ PKN 17892-2: 2009 Badanie geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów. Część 2: Oznaczanie gęstości gruntów drobnoziarnistych.
- ✓ PKN 17892-4: 2009 Badanie geotechniczne – Badania laboratoryjne gruntów. Część 4: Oznaczanie składu granulometrycznego.

Na wybranych próbkach reprezentatywnych gruntów przeprowadzono następujące badania laboratoryjne:

- oznaczenie składu uziarnienia – analiza granulometryczna [%] (metodą areometryczną i sitową) - sztuk 1,
- oznaczenie wilgotności naturalnej w_n [%] – sztuk 1,
- oznaczenie gęstości objętościowej gruntu ρ [g/cm³] – sztuk 140,
- oznaczenie gęstości właściwej szkieletu gruntowego ρ_s [g/cm³] - sztuk 43
- oznaczenie wytrzymałości skał na ściskanie R_c [MPa] - sztuk 141

Parametry wytrzymałościowe dla reprezentatywnych próbek foremnych skał tj. wytrzymałość na ściskanie wyznaczono za pomocą prasy hydraulicznej.

Nawiercone utwory skalne, na podstawie uzyskanego rdzenia, zostały dodatkowo poddane ocenie jakości górotworu według klasyfikacji RQD (Rock Quality Designation), polegającej na analizie podzielności rdzenia wiertniczego według D. U. Deere (1989) oraz geomechanicznej klasyfikacji właściwości górotworu RMR (Rock Mass Rating) według Z. T. Bieniawskiego (1989), zwanej również systemem oceny jakości górotworu.

Wartości wskaźników RQD i RMR zostały określone dla poszczególnych przelotów głębokości rdzeni skalnych o podobnej charakterystyce, w ilości 15 sztuk dla każdego z tych współczynników.

Wskaźnik podzielności rdzenia wiertniczego RQD, na potrzeby dokumentacji, obliczono na podstawie wzoru:

$$RQD = \frac{\sum L_k}{L} 100\%$$

gdzie:

L_k - suma długości kawałków rdzenia większych od podwojonej średnicy rdzenia (kawałki o długości – 20 cm i dłuższe),

L - długość rdzenia.

Geomechaniczna klasyfikacja właściwości górotworu (Fig.1.) polega na przyznaniu każdej próbce skały noty punktowej (na podstawie części A tabeli zamieszczonej poniżej –(parametry klasyfikacji i ich noty punktowe), która jest charakterystyczna dla każdego z pięciu parametrów skały (jednoosiowa wytrzymałość

na ściskanie, indeks jakości rdzenia wiertniczego RQD, odstęp spękań, charakterystyka nieciągłości, zawodnienie). Każdy zakres wartości parametru odpowiada konkretnej wartości noty punktowej.

W Laboratorium Mechaniki Gruntów Przedsiębiorstwa Geologicznego S.A. dla każdego przelotu warstwy skalnej, dla każdego parametru zadanego w części A tabeli, przydzielano noty punktowe, a następnie po zsumowaniu not, z części C tabeli (tj. klasy masywu skalnego, w zależności od uzyskanej noty punktowej), na podstawie uzyskanej całkowitej noty punktowej, odczytywano numer oraz opis klasy.

Wskaźnik jakości górotworu RMR wg Bieniawskiego

A. PARAMETRY KLASYFIKACJI I ICH NOTA PUNKTOWA									
Parametr			Zakres wartości						
1	Wytrzymałość nienaruszonego materiału skalnego	Indeks wytrzymałości punktowej	> 10 MPa	4+10 MPa	2+4 MPa	1+2 MPa	Poniżej 1 MPa stosuje się tylko test jednoosiowej wytrzymałości		
		Jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie	> 250 MPa	100+250 MPa	50+100 MPa	25+50 MPa	5+25 MPa	1+5 MPa	< 1 MPa
	Nota punktowa		15	12	7	4	2	1	0
2	Jakość rdzenia wiertniczego RQD		90%+100%	75%+90%	50%+75%	25%+50%	< 25%		
	Nota punktowa		20	17	13	8	3		
3	Odstęp spękań		> 2 m	0,6 m+2,0 m	0,2 m+0,6 m	0,06 m+0,2 m	< 0,06 m		
	Nota punktowa		20	15	10	8	5		
4	Charakter nieciągłości (patrz E)*		bardzo chropowate ścianki, nieciągłe, brak podzielnosci, niezwiertzałe	chropowate, podzielnosc do 1 mm, lekko zwiertzałe	chropowate, podzielnosc do 1 mm, mocno zwiertzałe	ciagle, gladkie ścianki szczelin lub szczeliny do 5 mm lub podzielnosc 1+5 mm	szczeliny szerokość powyżej 5 mm z wypełnione miękkim materiałem lub szczeliny powyżej 5 mm o ciągłych powierzchniach		
	Nota punktowa		30	25	20	10	0		
5	Zawodnienie	Dopływ na 10 mb wyrobiska	brak	< 10 l/min	10+25 l/min	25+125 l/min	> 125 l/min		
		Współczynnik: ciśnienie wody/napężenie główne	0	< 0,1	0,1+0,2	0,2+0,5	> 0,5		
		Warunki ogólne	zupełnie sucho	wilgotno	mokro	wykroplenia	dopływ stały		
	Nota punktowa		15	10	7	4	0		
B. POPRAWKA NA POŁOŻENIE PŁASZCZYZN NIECIĄGŁOŚCI (patrz F)									
Orientacja rozciągłości i upadu			bardzo korzystna	korzystna	przeciętna	niekorzystna	bardzo niekorzystna		
Nota punktowa	Tunele i wyrobiska		0	-2	-5	-10	-12		
	Fundamenty		0	-2	-7	-15	-25		
	Skarpy		0	-5	-25	-50	-60		
C. KLASY MASYWU SKALNEGO W ZALEŻNOŚCI OD UZYSKANEJ NOTY PUNKTOWEJ									
Całkowita nota punktowa			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Numer klasy			I	II	III	IV	V		
Opis			górotwór bardzo mocny	górotwór mocny	górotwór średnio mocny	górotwór słaby	górotwór bardzo słaby		

Fig. 1. Wskaźnik jakości górotworu RMR wg. Bieniawskiego

Podczas wiercenia otworów geotechnicznych nie nawiercono zwierciadła wody gruntowej, co uniemożliwiło pobranie próbki do badań laboratoryjnych.

Tabelaryczne zestawienie wyników badań laboratoryjnych dla poszczególnych próbek gruntów i skał, znajduje się w załączniku 6, a wyniki badań laboratoryjnych gruntów, w postaci wykresu uziarnienia oraz tabelaryczne zestawienie not punktowych dla wskaźnika jakości górotworu RMR, zamieszczono w załączniku 7.

Zestawienie parametrów charakterystycznych dla poszczególnych, wydzielonych warstw geotechnicznych, znajduje się natomiast w załączniku 8.

5. Charakterystyka wydzielonych warstw geotechnicznych wraz z oceną właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów

Charakterystykę gruntów zalegających na terenie badań, a także ich podział na warstwy geotechniczne, przeprowadzono na podstawie prac polowych, badań laboratoryjnych oraz analizy materiałów archiwalnych. Podłoże, w obrębie drogi zostało rozpoznane do maksymalnej głębokości równej 40,0 m p.p.t., natomiast w obrębie skarpy, na której powstało osuwisko do maksymalnej głębokości 2,0 m p.p.t.

Na terenie objętym przedmiotowymi badaniami, ze względu na genezę i rodzaj występujących tu gruntów i skał, wydzielono 5 warstw geotechnicznych:

- **warstwa I – utwory antropogeniczne (nasypy)**
- **warstwa II – utwory koluwalne (zwietrzeliny piaskowca i łupka)**
- **warstwa III – zwietrzeliny piaskowca i łupka**
- **warstwa IV – łupki ilaste i łupki mułowcowe**
 - IVa – klasa RMR III (średnio mocne)
 - IVb – klasa RMR IV (słabe)
- **warstwa V – piaskowce średnio i gruboziarniste**
 - Va – klasa RMR I , II (bardzo mocne i mocne)
 - Vb – klasa RMR III (średnio mocne)
 - Vc – klasa RMR IV (słabe) w tym piaskowce w postaci rumoszu

Opis nawierconych gruntów i skał przedstawiono na profilach otworów geotechnicznych i odkrywek badawczych w załącznikach 3.1-3.4. Przestrzenny układ warstw geotechnicznych ilustrują przekroje geotechniczne, zamieszczone w załącznikach 5.1-5.4. Zbiorcze zestawienie wyników badań laboratoryjnych zostało przedstawione w załączniku 6, wyniki badań laboratoryjnych w postaci wykresu uziarnienia oraz tabelarycznego zestawienia not punktowych dla wskaźnika jakości

górotworu RMR znajdują się w załączniku 7, a zestawienie parametrów charakterystycznych dla wydzielonych warstw geotechnicznych – w załączniku 8.

Warstwa I – to utwory antropogeniczne – nasypy, stanowiące podbudowę pod drogę wojewódzką nr 971 oraz jak wynika z przeprowadzonej wizji terenowej także podbudowę pod tory kolejowe biegnące u podnóża skarpy osuwiskowej. Grunty te nie zostały nawiercone w wykonanych otworach. Do warstwy tej zaliczono także grunty antropogeniczne rozpoznane w odkrywce W-2 o miąższości 0,6 m, które zbudowane są z okruszków piaskowca wypełnionego pyłem z iłem i piaskiem oraz fragmentów betonu, cegieł, szkła, dachówki, papy i odpadów. Utwory w obrębie tej warstwy to przekształcone przez człowieka grunty rodzime, które mogą zawierać strefy rozluźnień oraz pustki, jednak nasypy przystosowane do podbudowy będą miały lepsze parametry wytrzymałościowe niż te, które zostały rozpoznane na skarpie.

Warstwa II – to czwartorzędowe utwory zwietrzelinowe skał podłoża znajdujące się w obrębie koluwium osuwiskowego, zbudowane z gruntów niespoistych – zwietrzelin piaskowca i łupka ilastego w postaci żwiru z iłem i piaskiem rozpoznanych w stropie odkrywki W-1 do głębokości 0,9 m p.p.t. W obrębie koluwium znajdują się także fragmenty oderwanego od jezdni chodnika, starego muru oporowego wykonanego wzdłuż DW 971 oraz nasypu drogowego. Warstwa koluwium nie wykazuje znacznej miąższości, może ona sięgać do około 2,0 m p.p.t.

Warstwa geotechniczna II charakteryzuje się następującymi parametrami:

- wilgotność naturalna $w_n = 16,9\%$

Warstwa III – to czwartorzędowe zwietrzeliny piaskowca i łupka ilastego występujące poza koluwium. Są to grunty niespoiste, wilgotne, w postaci żwiru z iłem i piaskiem. Zostały rozpoznane w odkrywce W-2 na głębokości 0,6 m p.p.t, a ich miąższość sięga 0,4 m. Prawdopodobnie utwory te pokrywają większą część skarpy na której wykształciło się osuwisko i są stabilizowane przez system korzeniowy zarośli i krzewów pokrywających tę skarpe. Są to jednak grunty niestabilne, nasiąkliwe i podatne na przemieszczenia.

Warstwa IV – to paleogeńskie łupki ilaste i łupki mułowcowe nienaruszone przez ruchy osuwiskowe, w obrębie których, ze względu na klasę jakości górotworu RMR wydzielono dwie warstwy geotechniczne: warstwa IVa – III klasa RMR (średnio mocna) oraz warstwa IVb – IV klasa RMR (słaba). Warstwa IV została stwierdzona

jedynie w otworze O-2 na głębokości 11,4-19,7 m p.p.t. Na głębokości 11,4 m p.p.t. zalega 1,1 m, silnie zwietrzała, rozsypliwa warstwa łupka ilastego wykazująca przewarstwienia łupka mułowcowego oraz obecność okruchów piaskowca. Jest to skała słabej jakości wg klasy RMR. Powyżej tej warstwy zalegają utwory piaskowca, natomiast bezpośrednio pod nią występuje 4,2 m warstwa łupka mułowcowego o wyższej klasie jakości RMR – średnio mocna. Skały warstwy IV mają barwę ciemnopopielatą.

Ze względu na klasę jakości górotworu RMR wydzielono:

IVa – klasa RMR III (średnio mocne)

IVb – klasa RMR IV (słabe)

Warstwa geotechniczna IVa charakteryzuje się następującymi parametrami:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| - gęstość objętościowa | $\rho = 2,270 \text{ g/cm}^3$ |
| - gęstość szkieletu gruntowego | $\rho_s = 2,413 \text{ g/cm}^3$ |
| - Wytrzymałość na ściskanie | $R_c = 4,2 \text{ MPa}$ |
| - RQD | $RQD = 0 \%$ |

Warstwa geotechniczna IVb charakteryzuje się następującymi parametrami:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| - gęstość objętościowa | $\rho = 2,302 \text{ g/cm}^3$ |
| - gęstość szkieletu gruntowego | $\rho_s = 2,490 \text{ g/cm}^3$ |
| - Wytrzymałość na ściskanie | $R_c = 10,4 \text{ MPa}$ |
| - RQD | $RQD = 0 \%$ |

Warstwa V – to paleogeńskie skały podłoża nienaruszone przez procesy osuwiskowe. Tworzą ją średnio i gruboziarniste piaskowce niekiedy z cienkimi wkładkami zwietrzałego łupka ilastego i/lub mułowcowego. W obrębie tych skał występują bardzo liczne zlustrowania tektoniczne oraz spękania, często pojawiają się ślady krążenia wody. Utwory warstwy V zostały rozpoznane we wszystkich otworach odwierconych przy drodze wojewódzkiej jak również w wykonanych odkrywkach. Ze względu na klasę jakości RMR wyróżniamy tu skały: mocne i bardzo mocne, średnio mocne oraz słabe. Warstwy mocne i bardzo mocne oraz średnio mocne zalegają naprzemianlegle na całej głębokości profilu. Warstwy słabe zalegają w stropowych partiach otworów oraz w wykonanych na skarpie odkrywkach (przykryte gruntami czwartorzędowymi) i są reprezentowane przez piaskowce w postaci rumoszu z domieszką zwietrzałego łupka ilastego i zostały rozpoznane do maksymalnej głębokości 2,3 m p.p.t. w otworze O-2.

Ze względu na klasę jakości górotworu RMR wydzielono:

Va – klasa RMR I , II (bardzo mocne i mocne)

Vb – klasa RMR III (średnio mocne)

Vc – klasa RMR IV (słabe) w tym piaskowce w postaci rumoszu

Warstwa geotechniczna Va charakteryzuje się następującymi parametrami:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| - gęstość objętościowa | $\rho = 2,614 \text{ g/cm}^3$ |
| - gęstość szkieletu gruntowego | $\rho_s = 2,653 \text{ g/cm}^3$ |
| - Wytrzymałość na ściskanie | $R_c = 46,9 \text{ MPa}$ |
| - RQD | $RQD = 59,9 \%$ |

Warstwa geotechniczna Vb charakteryzuje się następującymi parametrami:

- | | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| - gęstość objętościowa | $\rho = 2,555 \text{ g/cm}^3$ |
| - gęstość szkieletu gruntowego | $\rho_s = 2,631 \text{ g/cm}^3$ |
| - Wytrzymałość na ściskanie | $R_c = 26,1 \text{ MPa}$ |
| - RQD | $RQD = 17,0 \%$ |

Warstwa geotechniczna Vc charakteryzuje się następującymi parametrami:

- | | |
|--------------------------------|----------------------------------|
| - gęstość objętościowa | $\rho = 2,376 \text{ g/cm}^3$ |
| - gęstość szkieletu gruntowego | $\rho_s = 2,2517 \text{ g/cm}^3$ |
| - Wytrzymałość na ściskanie | $R_c = 10,0 \text{ MPa}$ |
| - RQD | $RQD = 0 \%$ |

Ocena właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów i skał

Na podstawie szczegółowego opisu makroskopowego badań laboratoryjnych i analizy rdzeni oraz przyporządkowania nawierconych gruntów i skał do poszczególnych warstw geotechnicznych, a także kartowania terenu badań możliwe jest przeprowadzenie oceny właściwości fizyczno-mechanicznych gruntów.

Grunty warstwy I to utwory antropogeniczne (nasypy) stanowiące warstwy słabonośne, o niskich parametrach wytrzymałościowych. Utwory warstwy II stanowią koluwia osuwiskowe, które są słabonośne ze względu na ich charakter przemieszczeniowy. Warstwa III to zwietrzliny skał podłoża, które zostały rozpoznane w wykonanych odkrywkach, przy powierzchni terenu i poddane były jedynie ocenie makroskopowej. Nie należą one do podłoża nośnego, mogą być niestabilne i podatne na infiltrację wody opadowej. W obrębie utworów budujących podłoże omawianego terenu słabe są skały warstwy IVb reprezentowane przez zwietrzałe i rozsypliwie łupki ilaste,

podatne na rozłaskowania, o IV klasie jakości RMR zwiększające ryzyko wystąpienia ewentualnych ruchów osuwiskowych w przyszłości oraz skały warstwy Vc – silnie spękane, zrumoszone i zwiertzałe piaskowce z domieszka łupka ilastego należące również do IV klasy jakości RMR, przy czym zostały one rozpoznane jedynie w stropowych warstwach podłoża gruntowego, w tym w podłożu drogi wojewódzkiej. Pozostałe warstwy podłoża gruntowego stanowią utwory nośne.

6. Stopień skomplikowania warunków gruntowych oraz opis warunków geotechnicznych

Na podstawie wykonanych prac i badań, polegających na przeprowadzeniu wizji/kartowania terenu, odwierceniach otworów geotechnicznych, wykonaniu odkrywek badawczych oraz wykonaniu badań laboratoryjnych gruntów i skał, rozpoznano warunki geotechniczne występujące w obrębie fragmentu drogi wojewódzkiej, gdzie na stoku poniżej doszło do powstania osuwiska, w ramach zadania inwestycyjnego pn.: „Wykonanie kontrolnych badań geologicznych na uszkodzonym odcinku w wyniku ulewnych opadów deszczu w dniu 30.08.2021 r. odcinku DW 971 w m. Żegiestów-Zdrój”

Podłoże skalne na badanym terenie wykształcone jest w postaci utworów paleogenu (eocen) w postaci warstw silnie spękanych piaskowców i łupków, w obrębie których zalegają sporadycznie wkładki mułowców. W obrębie badanego obszaru, powyżej drogi wojewódzkiej skały te wychodzą na powierzchnię tworząc odsłonięcie gruboławicowego piaskowca o pomierzonym biegu i upadzie 60/35.

Paleogeńskie utwory skalne w obrębie drogi wychodzą na powierzchnię terenu w postaci silnie spękanych, zwiertzałych i zrumoszowanych skał, a ich rozpoznana miąższość sięga maksymalnie 2,3 m (otwór O-2). Na skarpie poniżej drogi, na której powstało osuwisko, na warstwach skalnych w postaci rumoszu zalegają utwory zwiertzelinowe (rozpoznane w odkrywkach). Grunty antropogeniczne w postaci nasypów, zalegające na zwiertzelinach bądź zrumoszowanych warstwach skalnych występują w obrębie drogi oraz części skarpy (w odkrywce W-2). Nasyp znajdujący się pod torami kolejowymi został utworzony z utworów in situ podczas niwelacji terenu przy budowie torów kolejowych i najprawdopodobniej zalega on bezpośrednio na podłożu skalnym.

Ze względu na zróżnicowaną morfologię terenu, duże przewyższenia, płytkie zaleganie skał podłoża oraz duże zalesienie utwory zwiertzelinowe wykazują tu

niewielkie miąższości. Rozpoznane podczas prac terenowych grunty czwartorzędowe, wykazują maksymalną miąższość 1,0 m (odkrywka W-2). Utwory koluwalne reprezentowane są przez zwietrzeliny piaskowca i łupka ilastego w postaci żwiru z iłem i piaskiem wraz z oderwanymi fragmentami chodnika, starego muru oporowego i gruntami antropogenicznymi (nasypem), będącymi podbudową drogi, których fragmenty uległy oderwaniu i osunięciu w dół stoku, i mogą osiągać miąższość do około 2,0 m.

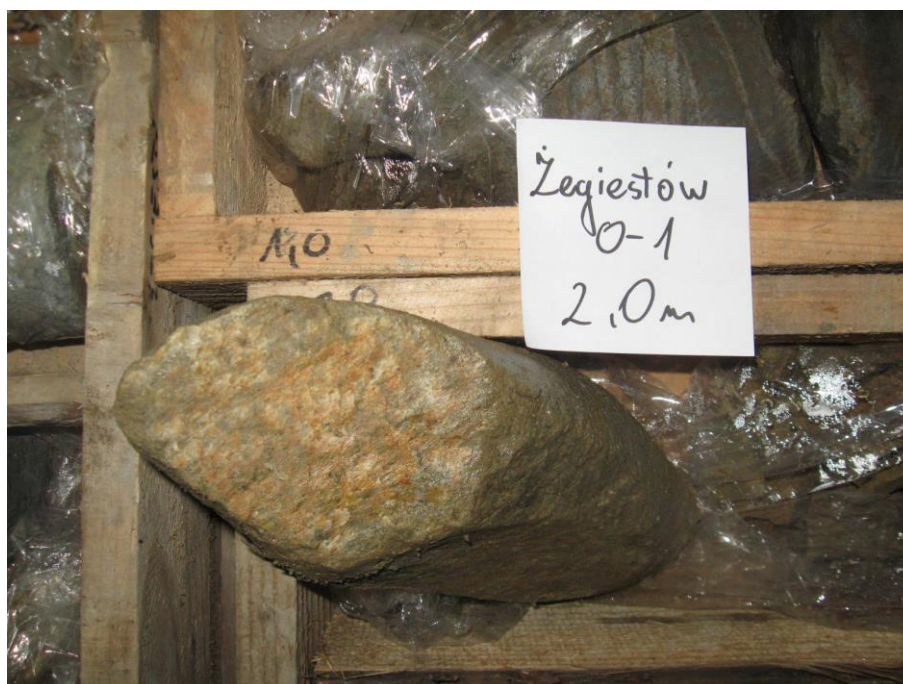
Utwory budujące podłoże DW 971 oraz obszar otaczający znajdują się w strefie silnego zaangażowania tektonicznego. Podczas wykonywania wierceń zarówno w otworze O-1 jak i w otworze O-2 rozpoznano bardzo liczne ślizgi tektoniczne, które zostały udokumentowane i przedstawione na fotografiach zamieszczonych poniżej. Powyżej drogi, na odsłaniających się skałach piaskowca widoczny jest uskok tektoniczny. W otworze O-1 na głębokości 6,5-15,3 m p.p.t występuje szczególnie silnie zaangażowana tektonicznie strefa o licznych zlustrowaniach tektonicznych, które występują także pojedynczo w całym profilu odwierconych otworów. Ponadto nieopodal badanego terenu występuje okresowo aktywne zwietrzelinowe osuwisko wykształcone w postaci obrywu.

Występujące w podłożu warstwy zalegają przeciwnie do nachylenia stoku, co powoduje, że rozwój osuwiska jest trudniejszy. Jednak ze względu na uwarunkowania tektoniczne, obejmujące zlustrowania, uskoki, zaburzenia fałdowe, silnie spękane, zwietrzałe i zrumoszowane skały podłoża rozpoznane w stropowych partiach otworów, zalegające w podłożu warstwy utworów fliszowych piaskowców i łupków, obecność znacznych przewyższeń i stromych skarp badany obszar stanowi dobre warunki do rozwoju oraz powstawania nowych osuwisk. Szczególnie należy wziąć pod uwagę zagrożenie powstawania osuwisk o charakterze zsuwu lub obrywu, na licznych, stromych skarpach, o płytkim zaleganiu warstw osuwiskowych, obejmujących utwory czwartorzędowe oraz silnie spękane i zrumoszowane skały podłoża warstwy Vc.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. (Dz. U. 2012 poz. 463) w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych, na opisywanym terenie zostały stwierdzone **skomplikowane warunki gruntowe**, ze względu zagrożenie ruchami masowymi, w tym zjawiskami osuwiskowymi. Dlatego też dla projektowanych zabezpieczeń drogi wojewódzkiej DW 971, skarpy poniżej drogi oraz odbudowy lewego pobocza jezdni **proponuje się przyjęcie III kategorii**

geotechnicznej. Ostateczną kategorię geotechniczną określi Projektant.

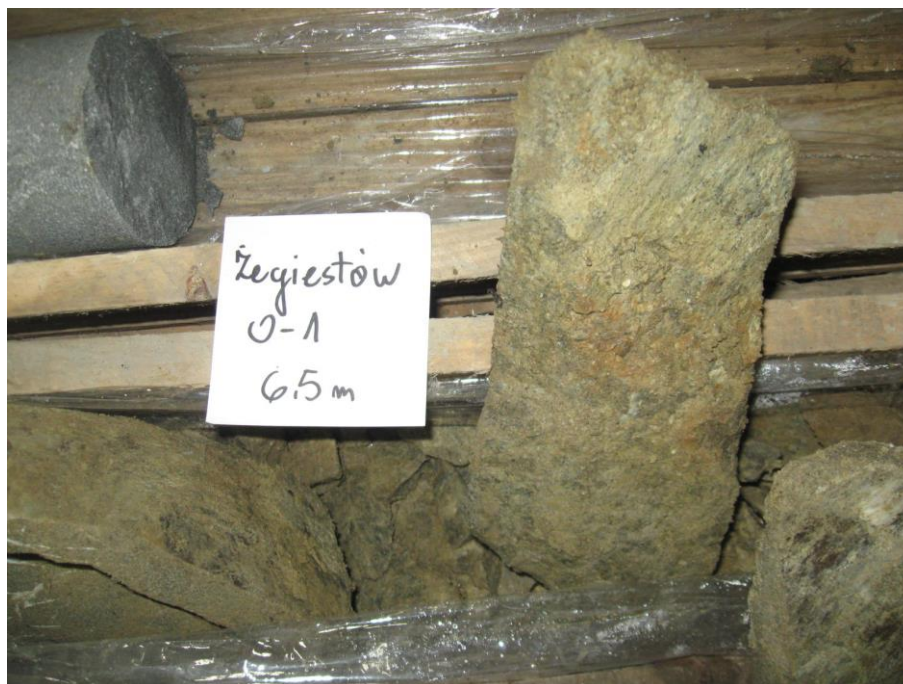
Poniżej zamieszczono fotografie wybranych powierzchni ścięcia – zlustrowań tektonicznych, zaobserwowanych w obrębie rdzeni. Pełna dokumentacja fotograficzna rdzeni wiertniczych znajduje się w załączniku 11.



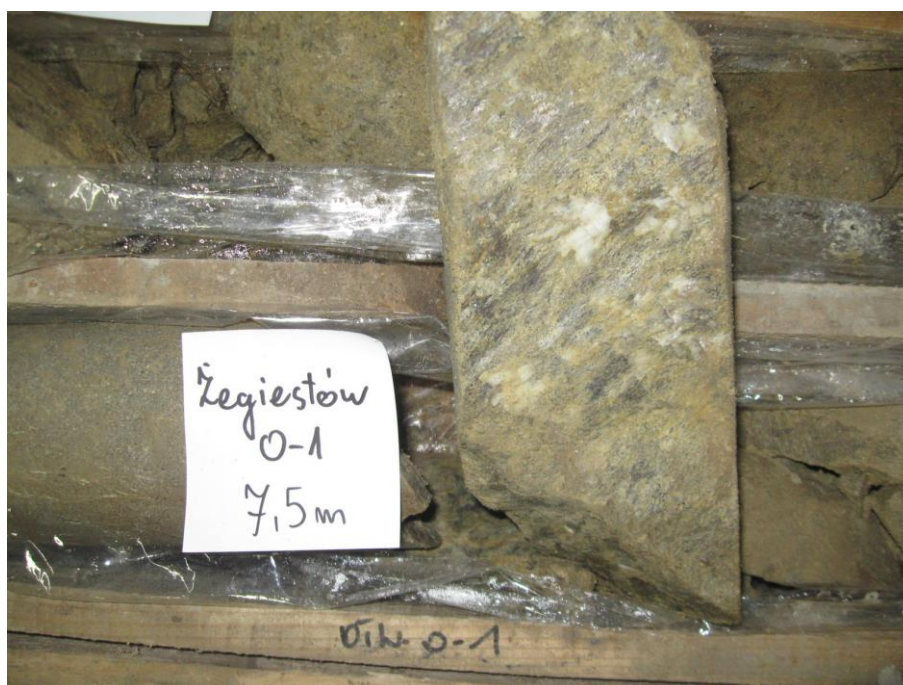
Fot. 1 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 2,0 m.



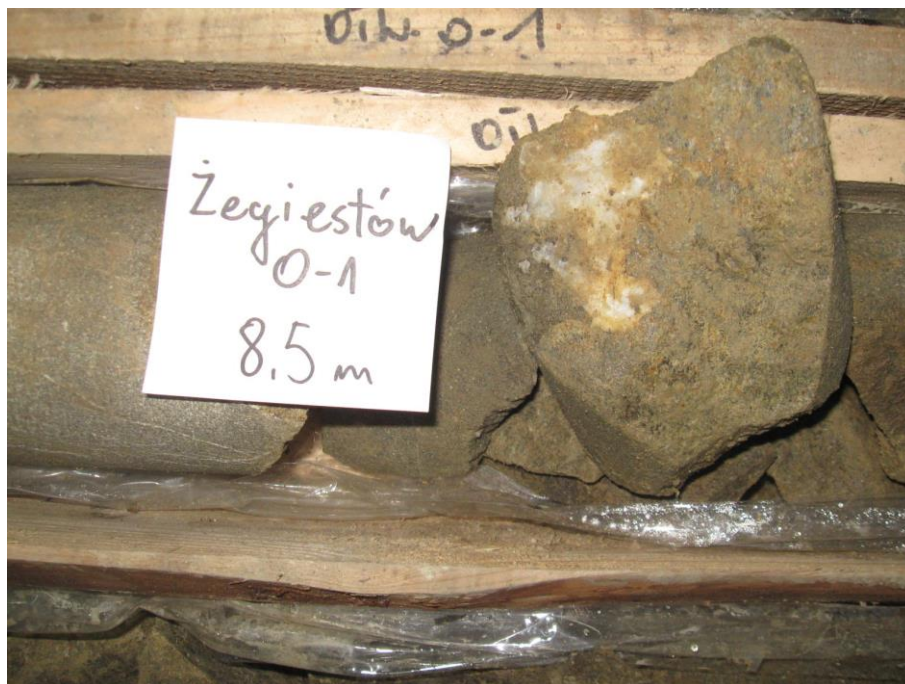
Fot. 2 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 3,7 m.



Fot. 3 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 6,5 m.



Fot. 4 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 7,5 m.



Fot. 5 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 8,5 m.



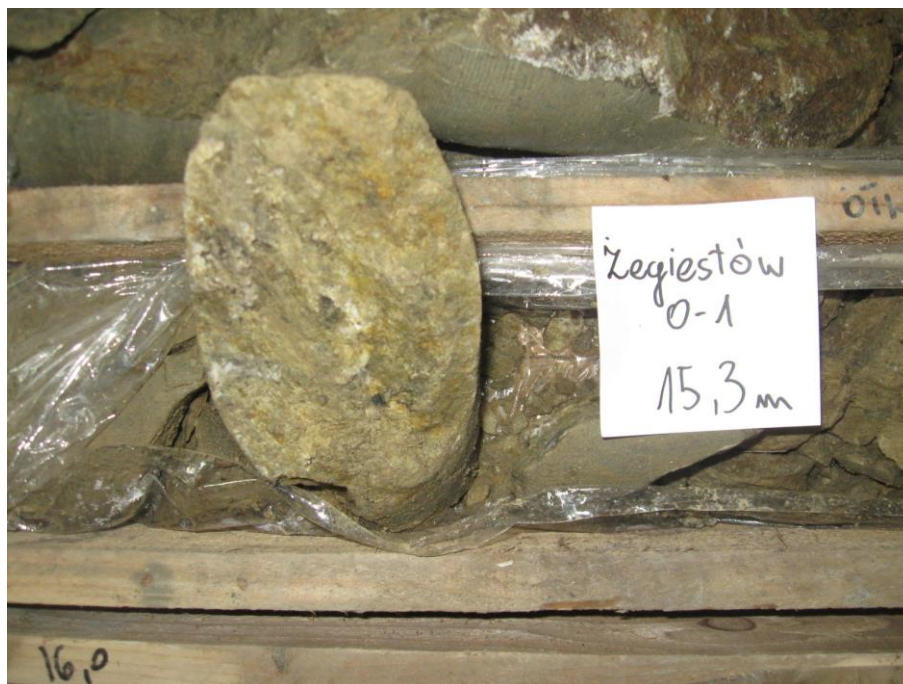
Fot. 6 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 10,0 m.



Fot. 7 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 11,9 m.



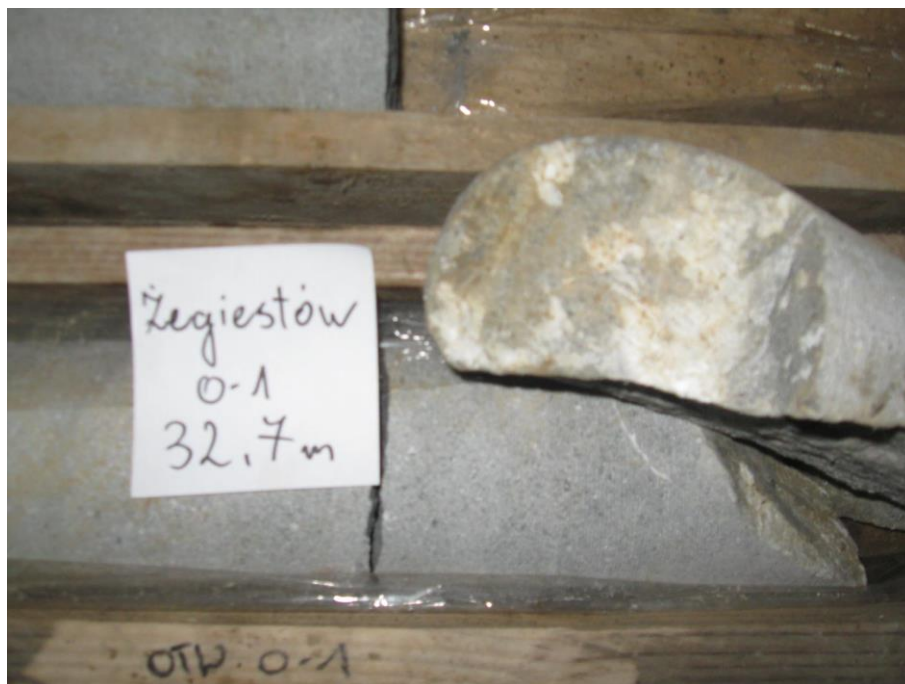
Fot. 8 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 13,4 m.



Fot. 9 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 15,3 m.



Fot. 10 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 25,3 m.



Fot. 11 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 32,7 m.



Fot. 12 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 36,3 m.



Fot. 13 Ślizg tektoniczny, otwór O-1, głębokość 37,6 m.



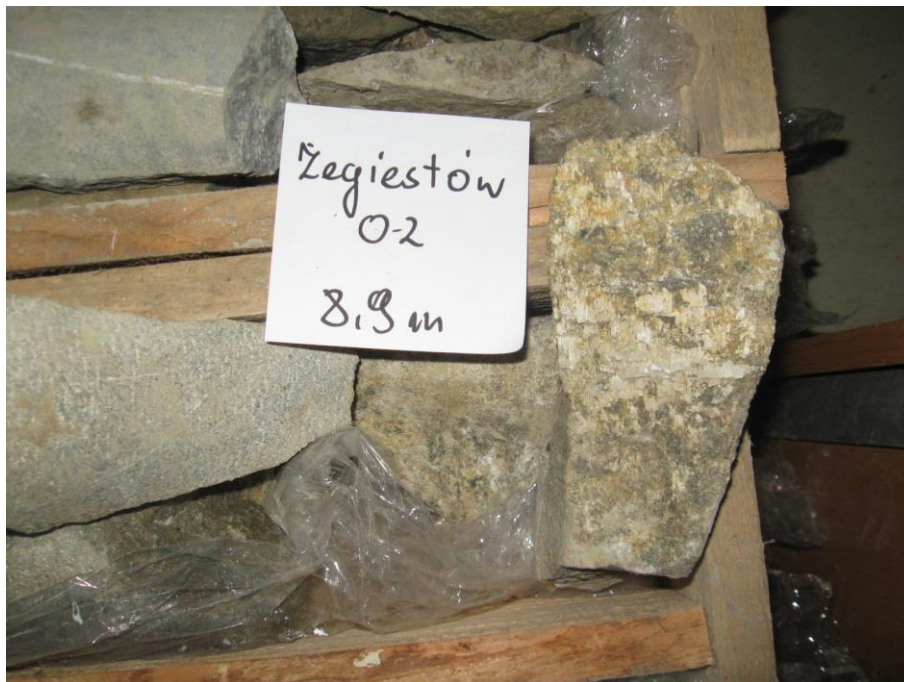
Fot. 14 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 2,9 m.



Fot. 15 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 4,5 m.



Fot. 16 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 6,2 m.



Fot. 17 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 8,9 m.



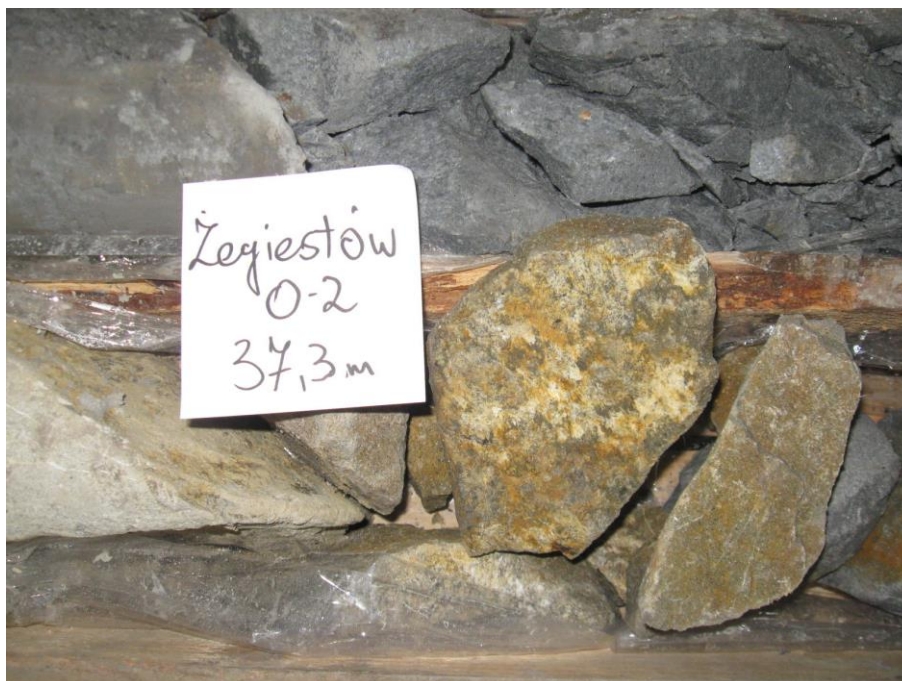
Fot. 18 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 10,5 m.



Fot. 19 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 16,3 m.



Fot. 20 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 24,2 m.



Fot. 21 Ślizg tektoniczny, otwór O-2, głębokość 37,3 m.

7. Obliczenia stabilności skarpy metodą Sarmy-Hoeka

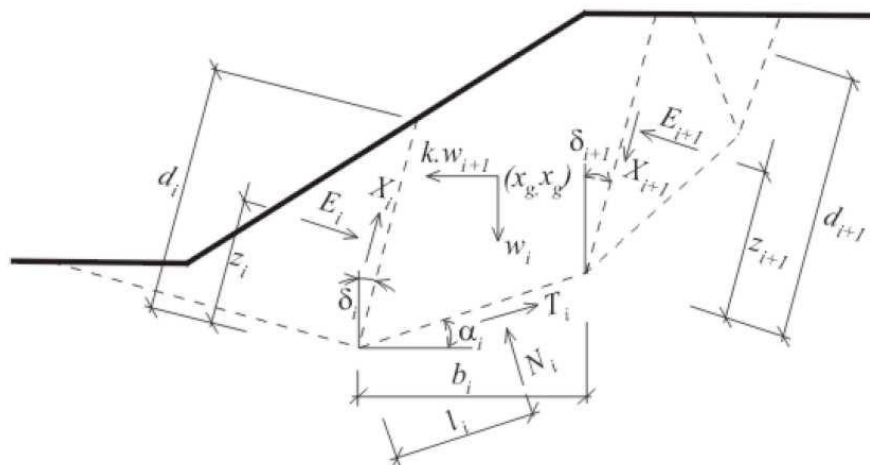
Dla zsuwu powstałego na skarpie drogowej w miejscowości Żegiestów-Zdrój, gmina Muszyna, przeprowadzono obliczenia stateczności dla rozpoznanych warunków gruntowo-wodnych.

Obliczenia przeprowadzono za pomocą oprogramowania GEO5. Program GEO5 służy do analizy i projektowania zagadnień geotechnicznych. Zawiera pakiet programów do projektowania i analizy różnorodnych konstrukcji geotechnicznych. Poszczególne moduły umożliwiają projektowanie zagadnień takich jak: ściany oporowe, ściany głębokich wykopów, fundamenty, stateczność zboczy, grunt zbrojony czy tunele z zastosowaniem zarówno metod analitycznych jak i metody elementów skończonych.

Moduł – Stateczność zbocza - umożliwia wykonanie analiz stateczności uwarstwionych zboczy o różnorodnych formach, z założeniem kołowej (Bishop, Petterson) lub łamanej (Sarmy zmodyfikowany przez Hoeka) powierzchni poślizgu. Może być również wykorzystywany do weryfikacji stateczności nasypów, wykopów, konstrukcji oporowych czy obudów głębokich wykopów.

Dla oceny stateczności zboczy wykonano obliczenia metodą Sarmy, zmodyfikowanej przez Hoeka dla łamanej powierzchni poślizgu.

Metoda Sarmy-Hoeke zawiera się w kategorii ogólnych metod segmentowych stanów granicznych. Metoda oparta jest na spełnieniu warunków siły i momentu równowagi na poszczególnych segmentach. Segmenty są tworzone przez podział obszaru gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu na płaszczyzny, które mogą posiadać różne nachylenie. Siły działające na poszczególne segmenty zostały przedstawione na rysunku.



Schemat statyczny – metoda Sarmy

E_i, X_i , reprezentuje siły normalną i ścinającą pomiędzy segmentami.

N_i, T_i są siłami normalną i ścinającą na segmentach powierzchni poślizgu.

W_i jest ciężarem segmentu.

$K \cdot W_i$ jest siłą poziomą stosowaną w metodzie Sarmy-Hoeke do uzyskania stanu granicznego.

Proces analizy:

Obliczenia równowagi granicznej wymaga rozwiązania $6n-1$ niewiadomych, gdzie n oznacza liczbę segmentów dzielących obszar gruntu nad potencjalną powierzchnią poślizgu. Ponadto:

E – siły pomiędzy segmentami

N – Normalne siły działające na powierzchnię poślizgu

T – siły ścinające działające na powierzchnię poślizgu

X – siły ścinające pomiędzy segmentami

z – położenie punktów przyłożenia sił

l_i – położenie punktów przyłożenia sił

K – współczynnik przyspieszenia poziomego

$5n-1$ równania dostępne są dla wymaganych nieznanów. W szczególności, mamy:

a) równania siły poziomej równowagi na segmentach:

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i - Fx_i + X_{i+1} \sin \delta_{i+1} - X_i \sin \delta_i + E_{i+1} \cos \delta_{i+1} - E_i \cos \delta_i$$

b) równania siły pionowej równowagi na segmentach:

$$N_i \cos \alpha_i - T_i \sin \alpha_i = W_i - Fy_i + X_{i+1} \cos \delta_{i+1} - X_i \cos \delta_i - E_{i+1} \sin \delta_{i+1} + E_i \sin \delta_i$$

c) równania momentu równowagi na segmentach

$$N_i l_i - X_{i+1} b_i \sec \alpha_i \cos(\alpha_i + \delta_{i+1}) + E_{i+1} [z_{i+1} + b_i \sec \alpha_i \sin(\alpha_i + \delta_{i+1})] - E_i z_i - W_i (xg_i - x_i) + \\ + KW_i (yg_i - y_i) - Fx_i r x_i + Fy_i r y_i = 0$$

gdzie r_x i r_y są ramionami sił F_x i F_y

d) związek pomiędzy siłami normalną a ścinającą zgodnie z teorią Mohr'a-Coulomb'a:

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i b_i \sec \alpha_i$$

$$X_i = (E_i - PW_i) \tan \bar{\varphi}_i + \bar{c}_i d_i$$

Przeprowadzone obliczenia:

Badania pomiarowe prowadzone były w poprzek drogi, wzdłuż stoku, na którym wykształciło się osuwisko, na przekroju geotechnicznym II-II', obejmującym swym zasięgiem wykonany otwór O-1 oraz odkrywkę badawczą W-1. Do obliczeń przyjęto współczynnik bezpieczeństwa $F > 1,5$ oraz warunki, jakie występowały na przedmiotowym terenie bezpośrednio po powstaniu osuwiska.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń otrzymano wartość współczynnika bezpieczeństwa równą 1,46, co wskazuje na bliski stateczności, ale wciąż niestateczny charakter stoku, występujący w sytuacji obecnej.

Stateczność stoku jest silnie uwarunkowana morfologią terenu tj. stromym nachyleniem stoku, obecnością niestabilnych utworów zwietrzelinowych zalegających na skarpie osuwiskowej, a także utworów antropogenicznych oraz spękanych, zwietrzałych i silnie zrumoszowanych warstw skalnych piaskowców i łupków zalegających zarówno na skarpie jak i bezpośrednio w podłożu drogi wojewódzkiej.

Sytuacja będzie się dodatkowo pogarszać w okresach niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych zwłaszcza podczas długotrwałych lub/i intensywnych opadów atmosferycznych i wiosennych roztopów. Woda infiltrująca w grunty koluwalne

zbudowane z utworów zwietrzelinowych i antropogenicznych oraz spękanie, zrumoszone i silnie zwietrzałe utwory rodzime znajdujące się na skarpie poniżej drogi oraz bezpośrednio pod drogą, będzie bowiem negatywnie wpływać na ich parametry wytrzymałościowe, obciążać dodatkowo grunt i prowadzić do zmniejszania wielkości współczynnika stateczności.

Konieczne jest wykonanie zabezpieczenia skarpy. W przypadku niewykonania prac zabezpieczających dalszy postęp ruchów masowych jest niemal pewny i może doprowadzić do propagacji skarpy w górę stoku oraz postępu ruchów masowych na boki.

Szczegółowe dane dotyczące przeprowadzonych obliczeń stateczności zostały przedstawione w załączniku 9.

8. Ocena warunków gruntowo-wodnych

Na podstawie wykonanych prac i badań, polegających na przeprowadzeniu kartowania w terenie, odwierceniu otworów geotechnicznych, wykonaniu odkrywek/wkopów badawczych oraz badań laboratoryjnych gruntów i skał rozpoznano warunki gruntowo-wodne występujące w obrębie DW 971, na terenie powstałego osuwiska oraz w jego najbliższym otoczeniu.

Uszkodzenie pobocza po lewej stronie jezdni na odcinku około 40 m przejawia się całkowitym oderwaniem chodnika na granicy z jezdnią asfaltową, która stanowiła drogę infiltracji wody pochodzącej z opadów atmosferycznych, szczególnie intensywnych, w okresie poprzedzającym powstanie osuwiska. Ponadto w miejscu, gdzie powstało osuwisko oraz na kilkunastometrowych odcinkach skarpy po jego obu stronach została usunięta szata roślinna obejmująca zarośla krzewiaste oraz drzewa, co było znaczącym czynnikiem do powstania osuwiska. Duże ilości wody opadowej infiltrujące w podłoże gruntowe zbudowane w górnych partiach z utworów zwietrzelinowych piaskowców i łupków ilastych w postaci żwiru z iłem i piaskiem oraz gruntów antropogenicznych, mechaniczne naruszenie struktury gruntów powodujące ich rozluźnienie jak również nadmierne obciążenie skarpy drogowej doprowadziły do utraty jej stateczności i dn. 30.08.2021, osunięcia się materiału gruntowego w dół stoku.

Obszar powstałego osuwiska został udokumentowany w systemie Osłony

Przeciwosuwiskowej (SOPO) jako osuwisko aktywne. Podczas przeprowadzonego kartowania terenu badań, powyżej opisywanego osuwiska, na powierzchni jezdni asfaltowej, nie zaobserwowano dodatkowych uszkodzeń tj. szczelin czy spękań. Nie stwierdzono także sączenia w obrębie wykonanych otworów i odkrywek, wysięków wody gruntowej ani podmokłości. Podczas prowadzonych badań terenowych nie nawiercono zwierciadła wody gruntowej.

Utwory stwierdzone podczas wierceń w okolicy opisywanego odcinka drogi wojewódzkiej, przy powierzchni terenu to paleogeńskie, silnie spękanе, zrumoszone i zwietrzałe skały podłoża - piaskowców i łupków dochodzące do 2,3 m p.p.t., poniżej których zalegają spękanе piaskowce z wkładkami łupków ilastych, sporadycznie mułowców oraz pojedyncze, miększe warstwy łupków ilastych i mułowcowych. Bezpośrednio na obszarze drogi wojewódzkiej, nad spękanymi, zwietrzałymi i zrumoszowanymi utworami skał podłoża piaskowców i łupków warstwy Vc, występują utwory antropogeniczne. W rejonie jezdni opisywanej drogi DW 971 jest to przykryta asfaltem warstwa podbudowy drogowej o miąższości ponad 1 m. Utwory te nie zostały nawiercone w wykonanych otworach wzdłuż drogi, natomiast rozpoznane w odkrywce W-2 wykonanej na skarpie poniżej drogi. Z przeprowadzonej wizji terenowej wynika, iż warstwa utworów antropogenicznych zalega również w obrębie torów kolejowych stanowiąc ich podbudowę.

Koluwium osuwiska aktywnego obejmuje utwory zwietrzelinowe skał podłoża piaskowców i łupków w postaci żwiru z ıłem i piaskiem oraz fragmentami oberwanego chodnika, starego muru oporowego oraz nasypu, rozpoznane w odkrywce W-1, gdzie sięgają do głębokości 0,9 m p.p.t. Należy przyjąć, iż głębokość powierzchni poślizgu osuwiska może dochodzić do około 2,0 m p.p.t.

Biorąc pod uwagę morfologię, budowę geologiczną, warunki gruntowo-wodne badanego terenu oraz warunki hydrometeorologiczne, stwierdza się, że do powstania uszkodzenia w obrębie lewego pobocza jezdni oraz na skarpie poniżej drogi doszło na skutek infiltracji wody opadowej, która spływała na skarpę zgodnie z nachyleniem terenu. Okres poprzedzający powstanie osuwiska obfitował w silne opady atmosferyczne. Spływająca woda infiltrowała w podłoże, co doprowadziło do nawodnienia gruntów i pogorszenia ich parametrów. W okresie przed powstaniem osuwiska, na skarpie poniżej drogi zostały wykonane roboty obejmujące usunięcie drzew i krzewów. Umocniony wcześniej przez system korzeniowy grunt uległ rozluźnieniu co przyczyniło się do osunięcia materiału. Dodatkowo sytuację pogorszyły ciągle prowadzony ruch

samochodowy po drodze i drgania z nim związane, obciążenie stoku nasypem oraz starym murem oporowym oraz strome nachylenie stoku.

Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. (Dz. U. 2012 poz. 463) w *sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych*, na badanym terenie występują **skomplikowane warunki gruntowe**, związane z obecnością osuwiska (nr w bazie SOPO 122187), w obrębie którego doszło do oberwania materiału gruntowego.

9. Informacje na temat występowania zagrożeń geologicznych i górniczych

Na podstawie wykonanych wierceń, przeprowadzonej wizji/kartowania terenu badań oraz wyników badań laboratoryjnych, a także analizy materiałów archiwalnych należy stwierdzić, że w przyszłości, szczególnie w okresach występowania niekorzystnych zjawisk hydrometeorologicznych tj. długotrwałych i ulewnych opadów deszczu może dojść do rozwoju innych osuń na stromej skarpie pomiędzy drogą wojewódzką, a torami kolejowymi.

Analizowany teren to obszar silnie zaangażowany tektonicznie. Szczególnie mocno zaangażowane tektonicznie są warstwy piaskowca w otworze O-1 na głębokości 6,5-15,3 m p.p.t. W rozpoznanych w podłożu silnie spękanych skałach piaskowca występują liczne wkładki i przewarstwienia warstwami łupków ilastych i mułowcowych podatnych na rozłaskowanie. W górnych warstwach profilu, nad utworami skalnymi zalegają rodzime utwory zwietrzelinowe oraz zrumoszowane skały podłoża, które łatwo ulegają ruchom masowym pod wpływem infiltrujących wód opadowych. Dodatkowo skarpa główna osuwiska jest praktycznie pionowa, a nachylenie stoku, na którym rozwinęło się osuwisko jest równe 39 °.

Powstanie nowych osuwisk na skarpie pomiędzy drogą, a torami kolejowymi, a także rozwój powstałego osuwiska, które może propagować w górę stoku oraz na boki stanowi zagrożenie dla drogi wojewódzkiej oraz dla linii torów kolejowych biegnących u podnóża skarpy. Należy wziąć pod uwagę obecność osuwiska na skarpie powyżej drogi, które może być niebezpieczne dla istniejącego obok obiektu budowlanego, a tym samym dla biegnącej obok DW 971.

Według Mapy Geośrodowiskowej Polski w skali 1: 50 000, arkusz Muszyna, teren badań znajduje się na obszarze górniczym Żegiestów-Zdrój Główny, gdzie kopalnią są wody lecznicze. Są to wody głównie typu szczaw z zawartością CO₂

powyżej 1 g/dm^3 , których zbiornikami o charakterze szczelinowo-porowym są warstwy łąckie, piaskowce krynickie i piaskowce z Piwnicznej. Czynnikiem warunkującym występowanie źródeł wód mineralnych są strefy dyslokacyjne tworzące system szczelin sięgający znacznych głębokości (Porwisi B., i in., 1997). Ważność koncesji na wydobycie wód na tym obszarze obowiązuje do 2037 roku. Eksploatacja wód mineralnych, prowadzona z głębokich warstw podłoża nie stanowi zagrożenia dla stateczności stoków w tym rejonie.

10. Wnioski i zalecenia dotyczące założeń projektowych

W związku ze skomplikowanymi warunkami gruntowymi na badanym obszarze, związanymi z obecnością aktywnego osuwiska wykształconego poniżej drogi wojewódzkiej (którego skarpa główna występuje na granicy drogi), jak również budową geologiczną charakteryzującą się silnym zaangażowaniem tektonicznym, należy w rozwiązaniach dotyczących zabezpieczenia drogi oraz skarpy drogowej przy DW 971 jak również odbudowy uszkodzonego pobocza, zastosować bezpieczne i adekwatne do warunków geologicznych wzmocnienie tej skarpy oraz odbudowę/naprawę powstałych uszkodzeń.

Pierwszy etap prac obejmuje opracowanie dokumentacji badań podłoża gruntowego i wynikające z niej zalecenia obejmujące wykonanie doraźnego/tymczasowego zabezpieczenia drogi i skarpy, na której doszło do osunięcia. W pierwszym etapie zabezpieczenia proponuje się wykonać czynności obejmujące:

- ✓ zabezpieczenie skarpy drogowej przed wpływającą, spływającą i infiltrującą w podłoże wodą opadową, poprzez jej ujęcie i odprowadzenie poza obszar osuwiska
- ✓ pokrycie całej skarpy osuwiska folią zabezpieczającą przed infiltracją wód opadowych w głąb podłoża
- ✓ pokrycie całej skarpy osuwiskowej siatką stalową zakotwioną w stałym podłożu, zabezpieczającą przed osuwaniem się materiału koluwalnego na tory kolejowe

W okresie funkcjonowania doraźnego zabezpieczenia drogi należy dany odcinek poddać bieżącej obserwacji, co najmniej raz w miesiącu i po każdym okresie znacznych opadów atmosferycznych, tak aby umożliwić odpowiednie reagowanie w przypadku zaistnienia ewentualnych, nowych uszkodzeń/śladów postępu ruchów masowych w

obrębnie drogi. Lewy pas jezdni powinien pozostać zamknięty ze względu na ryzyko uszkodzenia nawierzchni drogowej.

Drugi etap będzie obejmował opracowanie dokumentacji geologiczno-inżynierskiej i projektu budowlanego dla zabezpieczenia drogi i osuwiska.

W celu zapobiegnięcia dalszym ruchom masowym na badanym terenie oraz związanym z nimi możliwym przyszłym uszkodzeniom w obrębnie drogi wojewódzkiej, na skutek możliwej propagacji osuwiska w górę stoku oraz na boki, należy bezwzględnie przystąpić do drugiego etapu prac polegających na opracowaniu projektu zabezpieczenia drogi i skarpy drogowej w rejonie jej uszkodzenia, a także doprowadzenie jezdni do stanu umożliwiającego przywrócenie ruchu drogowego bez ograniczeń. Zaprojektowanie zabezpieczenia będzie możliwe na podstawie wyników z uszczegółowionego rozpoznania geologicznego omawianego obszaru badań. Na podstawie uzyskanych wyników badań, w ramach drugiego etapu prac zaleca się:

- ✓ ewentualne ściągnięcie warstw utworów słabonośnych, do głębokości występowania podłoża skalnego
- ✓ zabezpieczenie skarpy poniżej drogi przed spływającą i infiltrującą w podłoże wodą opadową, poprzez jej ujęcie i odprowadzenie poza obszar osuwiska. Należy rozważyć powierzchniowe odprowadzenie wód opadowych spływających w kierunku lewego pobocza jezdni na całej długości skarpy.
- ✓ wykonanie zabezpieczenia – np. dwóch konstrukcji oporowych, na górze skarpy, wzdłuż lewego pobocza jezdni oraz na dole skarpy, wzdłuż linii torów kolejowych w postaci ścianki pionowej kotwionej w nośnym podłożu, o wystarczających parametrach wytrzymałościowych. Rodzaj zabezpieczenia określi projektant na etapie opracowywania projektu budowlanego
- ✓ umocnienie skarpy wraz z ochroną przeciwoerozyjną, np. za pomocą geokraty kotwionej w gruncie.

Przy wykonywaniu powyższych zaleceń, zarówno w pierwszym jak i drugim etapie prac należy uwzględnić następujące aspekty:

1. Według Mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi teren badań znajduje się w obrębnie aktywnego osuwiska (nr w bazie SOPO 122187) o

- powierzchni około 0,11 ha przy drodze wojewódzkiej nr 971. Należy wziąć pod uwagę, że w okresach zaistnienia dłuższych, niekorzystnych warunków hydrometeorologicznych mogą następować tu lokalne przemieszczenia gruntów czy też spęływania ich wierzchniej warstwy po stromej skarpie przy DW 971.
2. Utwory występujące na powierzchni skarpy, poniżej drogi to grunty słabonośne. Są to wilgotne utwory koluwalne zbudowane z niespoistych gruntów zwietrzelinowych piaskowca i łupka w postaci żwiru z iłem i piaskiem, grunty antropogeniczne (fragmenty nasypu), które uległy przemieszczeniu oraz fragmenty oderwanego chodnika i starego muru oporowego. Poniżej zalega warstwa silnie spękanych, zwietrzałych i zrumoszowanych piaskowców przewarstwionych łupkiem ilastym o słabej jakości należących do IV klasy jakości RMR. Są to utwory słabe, łatwo ulegające przemieszczeniom. Miąższość utworów koluwalnych na skarpie może dochodzić do około 2,0 m.
 3. **Droga wojewódzka przebiega poza obszarem osuwiska.** Skarpa główna osuwiska znajduje się na granicy drogi. W miarę pogarszania warunków hydrometeorologicznych oraz obciążenia jezdni ciągłym ruchem samochodowym osuwisko może zwiększać swój zasięg propagując w górę stoku oraz na boki.
 4. **Tory kolejowe ciągnące się poniżej skarpy osuwiskowej nie zostały naruszone przez powstałe ruchy masowe.** Materiał koluwalny nasunął się na tory i zasięgiem doszedł do rzeki, ze względu na stromy charakter stoku, nie naruszając podłoża rodzimego. W przypadku postępu ruchów masowych w przyszłości (szczególnie na innych odcinkach skarpy, gdzie struktura gruntu została naruszona poprzez usunięcie drzewostanu) sytuacja może się powtarzać.
 5. Planując wszelkie prace budowlane, naprawcze czy zabezpieczające na przedmiotowym terenie, należy uwzględnić jego charakter osuwiskowy i tak dobierać materiały i technologię prac, aby zminimalizować ryzyko ewentualnych ruchów masowych mogących powstać w ich wyniku, np. z powodu nadmiernego obciążenia stoku, stosowania technologii wibrowania, prowadzenia prac w okresach mokrych.
 6. W obrębie utworów zwietrzelinowych zalegających na skarpie, lokalnie mogą pojawiać się sączenia wody gruntowej, których ilość i intensywność będą ściśle uzależnione od warunków hydrometeorologicznych. W razie zaistnienia długotrwałych lub/i intensywnych opadów lub wiosennych roztopów, ilość

i intensywność tych sąceń może znacznie wzrosnąć. W czasie suszy sączenia mogą zanikać. Nadmierna infiltracja wody w utwory koluwalne na stoku będzie prowadzić do jego dodatkowego obciążenia oraz pogorszenia parametrów wytrzymałościowych gruntów, co może być przyczyną uaktywnienia się ruchów masowych.

7. Biorąc pod uwagę morfologię terenu badań oraz zaproponowane prace zabezpieczające, odprowadzenie wody poza obszar osuwiskowy, a także ewentualne odwodnienie całej skarpy poniżej drogi powinno mieć charakter powierzchniowy. W przypadku zaistnienia długotrwałych, negatywnych warunków hydrometeorologicznych dojdzie do dodatkowego obciążenia zboczy wodą, a wartości parametrów wytrzymałościowych gruntów i silnie zwietrzałych, spękanych, zrumoszowanych skał, ulegną pogorszeniu, co może wpłynąć negatywnie na stateczność badanego terenu.
8. Należy unikać prowadzenia robót budowlanych i naprawczych w trakcie okresów o dużym nasileniu opadów oraz w niesprzyjających warunkach.
9. W przypadku kontaktu wody z utworami zwietrzelinowymi i skałami w postaci rumoszu z udziałem frakcji ilastej, które pod wpływem wody znacznie pogarszają swoje parametry fizyczno-mechaniczne, należy ograniczyć stosowanie technologii wibrowania.
10. Wszystkie wbudowywane materiały, zarówno grunty jak i geosyntetyki powinny posiadać odpowiednie atesty.
11. Wszelkie roboty ziemne związane z realizacją projektowanej inwestycji należy wykonywać pod ciągłym dozorem uprawnionego i doświadczonego geologa.
12. Ze względu na występujące w tym rejonie skomplikowane warunki gruntowe wynikające z obecności osuwiska (nr w bazie SOPO 122187), w obrębie którego doszło do oberwania materiału gruntowego, dla projektowanych zabezpieczeń drogi wojewódzkiej nr 971, proponuje się przyjęcie III kategorii geotechnicznej.

11. Podsumowanie - uwagi końcowe

1. Niniejsza dokumentacja badań podłoża gruntowego została wykonana przez Przedsiębiorstwo Geologiczne S.A., al. Kijowska 16a, 30-079 Kraków
2. W dokumentacji przedstawiono wyniki prac przeprowadzonych dla określenia warunków gruntowo-wodnych, występujących na odcinku drogi wojewódzkiej nr 971, w miejscowości Żegiestów-Zdrój, gmina Muszyna, gdzie w wyniku

- ulewnych opadów deszczu, dnia 30.08.2021 na skarpie poniżej drogi rozwinęło się osuwisko, które graniczy bezpośrednio z drogą wojewódzką i zostało zarejestrowane w SOPO pod numerem 122187.
3. Przedmiotowe uszkodzenie w obrębie pobocza DW 971 charakteryzujące się odspojeniem chodnika od lewego pasa jezdni asfaltowej, biegnące stromą skarpą dochodzi do ciągnących się u jej podnóża linii torów kolejowych. Długość odcinka, na którym doszło do odspojenia chodnika od jezdni asfaltowej jest równa 40 m, natomiast długość całkowitego osunięcia w dół stoku to około 25 m. Osuwisko zwęża się ku dołowi, osiągając wzdłuż torów szerokość 17 m. Szczegółową charakterystykę terenu badań, w tym jego lokalizację i zagospodarowanie terenu, morfologię i hydrografię, budowę geologiczną oraz warunki hydrogeologiczne, przedstawiono w rozdziale 3.
 4. Na potrzeby opracowania wykonano szczegółową wizję/kartowanie terenu badań, odwiercono 2 otwory geotechniczne do głębokości 40 m p.p.t. każdy oraz 2 odkrywki badawcze o głębokości 2,0 oraz 1,6 m p.p.t., a także wykonano badania laboratoryjne próbek gruntów i skał. Szczegółowy opis wykonanych badań zamieszczono w rozdziale 4.
 5. W oparciu o otrzymane wyniki badań, dokonano ich interpretacji, przedstawiając przebieg powierzchni poślizgu dla powstałego zsuwu oraz zalegania warstw gruntów pomiędzy otworami geotechnicznymi oraz wykonanymi odkrywkami badawczymi. Informacje te przedstawiono na przekrojach geotechnicznych w załączniku 5.1-5.4, a szczegółowy opis wydzielonych warstw geotechnicznych zamieszczono w rozdziale 5. Opis obliczeń stateczności stoku przeprowadzonych wzdłuż przekroju poprowadzonego w poprzek drogi, a wzdłuż stoku (w miejscu zsuwu) znajduje się natomiast w rozdziale 7.
 6. Na podstawie przeprowadzonych prac stwierdzono, że na badanym terenie, na części skarpy drogowej, występują czwartorzędowe grunty antropogeniczne lub bezpośrednio niespoiste grunty zwietrzelinowe wykształcone jako zwietrzelina skał podłoża piaskowców i łupków w postaci żwiru z iłem i piaskiem. Dodatkowo w obrębie koluwium osuwiskowego występują fragmenty oderwanego chodnika, starego muru oporowego oraz osuniętego nasypu. Utwory koluwalne mogą zalegać do głębokości około 2,0 m p.p.t. Poniżej

warstw gruntów czwartorzędowych występuje warstwa spękanych, zwietrzałych i zrumoszowanych skał podłoża piaskowców i łupków wieku paleogeńskiego. Utwory tej warstwy zostały rozpoznane także w obrębie drogi, a ich spąg został nawiercony na maksymalnej głębokości 2,3 m p.p.t. Poniżej słabej warstwy skał podłoża zalegają paleogeńskie skały piaskowca z przewarstwieniem łupków ilastych i mułowcowych o zróżnicowanych parametrach wytrzymałościowych (klas RMR I-III) oraz pojedyncze warstwy łupka ilastego i mułowcowego (klas III-IV). Podłoże skalne zostało rozpoznane do maksymalnej głębokości 40,0 m p.p.t.

7. Szczegółowy opis i ocenę warunków gruntowo-wodnych wraz z przyczynami powstałych uszkodzeń w obrębie drogi zamieszczono w punkcie 8.
8. **Na podstawie przeprowadzonych prac i robót geologicznych stwierdza się, iż droga wojewódzka nr 971 znajduje się w bezpośrednim sąsiedztwie badanego aktywnego osuwiska o numerze 122187. Jego skarpa główna sięga do granicy drogi, ale nie obejmuje swym zasięgiem nawierzchni drogi. Biorąc pod uwagę grunty zalegające w podbudowie drogi – słabonośne grunty antropogeniczne i pod nią – slinie zrumoszowane i zwietrzałe skały podłoża oraz obciążenie skarpy spowodowane ciągłym ruchem samochodów, stwierdza się że skarpa główna może propagować w górę stoku.**
9. **Tory kolejowe ciągnące się u podnóża skarpy osuwiskowej leżą na nienaruszonym przez procesy osuwiskowe podłożu. Powierzchnia poślizgu osuwiska kończy się u podnóża skarpy, przed linią torów kolejowych. Nasunięte masy koluwium nie spowodowały uszkodzeń i zostały wybrane dzień po powstaniu osuwiska w celu zapewnienia przejezdności torów. W przypadku postępu ruchów masowych, szczególnie na innych odcinkach skarpy powyżej torów sytuacja może się powtarzać.**

10. **Zaleca się podzielenie programu naprawczego na dwa etapy.**

Pierwszy etap to doraźne/tymczasowe prace zabezpieczające drogę i skarpe drogową, mające zapobiec dalszym przemieszczeniom materiału koluwalnego na skarpie oraz postępom spękań chodnika.

Drugi etap to docelowe zabezpieczenie korpusu drogi, skarpy drogowej oraz odbudowa uszkodzeń w obrębie lewego pobocza DW 971, które musi być

wykonane na podstawie projektu wykonanego przez osoby uprawnione. Szczegóły prac naprawczych opisano w pkt 10 – Wnioski i zalecenia dotyczące założeń projektowych.

11. W celu wykonania prac zabezpieczających drogę wojewódzką nr 971 w miejscu powstałego uszkodzenia w obrębie lewego pobocza jezdni oraz skarpe poniżej tej drogi jak również prac związanych z odbudową uszkodzonego chodnika m. Żegiestów-Zdrój, konieczne jest opracowanie projektu technicznego zabezpieczenia i odbudowy przez osobę uprawnioną. Wytyczne takiego projektu zawarto w pkt. 10 – Wnioski i zalecenia dotyczące założeń projektowych. Przed przystąpieniem do prac docelowych należy wykonać prace tymczasowego zabezpieczenia drogi i skarpy drogowej, jak zalecono w pkt. 10.

12. Spis literatury i materiałów archiwalnych

12.1. Opracowania archiwalne

1. Chrzastowski J. i in., 1991. Szczegółowa Mapa Geologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz Muszyna (1052), Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
2. Chrzastowski J. i in., 1993. Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski w skali 1: 50 000, arkusz Muszyna (1052), Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
3. Grabowski D., i in., 2008. Instrukcja opracowania mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi. PIG Kraków-Warszawa.
4. Oszczypko N., Oszczypko-Clowes M., 2012. Objasnienia do mapy osuwisk i terenów zagrożonych ruchami masowymi, Gmina Muszyna, Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa, bazsa.sopo.pgi.gov.pl.
5. Oszczypko N., 2010. Karta rejestracyjna osuwiska nr 12-10-115-041596 Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków.
6. Kondracki J., 2001. Geografia fizyczna Polski. PWN Warszawa.
7. Judycki J. i in. 2012. Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. GDDKiA, Gdańsk.
8. Piotrowski J., Piotrowska K., 2004. Słownik jednostek litostratygraficznych Polski. Jednostki formalne mezozoiku i kenozoiku. Państwowy Instytut Geologiczny.

9. Piotrowski J., Piotrowska K., 2004. Słownik jednostek litostratygraficznych Polski. Jednostki nieformalne mezozoiku i kenozoiku. Państwowy Instytut Geologiczny.
10. Porwisz B. i in., 1997. Mapa hydrogeologiczna Polski w skali 1: 50 000, arkusz Muszyna (1052), Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.
11. Stupnicka E., 1989. Geologia regionalna Polski. Wydawnictwo Geologiczne. Warszawa.
12. Wiłun Z., 1987. Zarys geotechniki. WKiŁ. Warszawa.
13. Wódka M., Balicki L., 2021 - Karta rejestracyjna osuwiska nr 12-10-115-122187 Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Oddział Karpacki, Kraków.

12.2. Normy i akty prawne

1. PN-EN 1997-1:2008 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, część 1: Zasady ogólne (plus poprawki i erraty).
2. PN-EN 1997-2:2009 Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne, część 2: Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego (plus poprawki i erraty).
3. Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 10 września 2019 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (tekst jednolity – Dz. U. 2019 poz. 1839).
4. Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (tekst jednolity – Dz.U. 2016 poz. 124).
5. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwietnia 2012 r. w sprawie ustalania geotechnicznych warunków posadawiania obiektów budowlanych (Dz. U. 2012 poz. 463).
6. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (tekst jednolity – Dz.U. 2021 poz. 1098 z późniejszymi zmianami).
7. Ustawa z dnia 30 marca 2021 r. o zmianie ustawy o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2021 poz. 784).
8. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (tekst jednolity – Dz. U. 2020 poz. 1219 z późniejszymi zmianami).
9. Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (tekst jednolity – Dz.U. 2020 poz. 1333 z późniejszymi zmianami).