



Raport nr 44/2017

DOKUMENTACJA GEOFIZYCZNA
na potrzeby projektowe zadania pn:
Zabezpieczenie i naprawa korpusu drogi powiatowej 2608 S
ul. Cieszyńskiej w Puńcowie, uszkodzonej
w wyniku zachodzących ruchów masowych



Pszczyna, Czerwiec 2017

Inwestor: Powiatowy Zarząd Dróg Publicznych
ul. Bobrecka 29
43 – 400 Cieszyn

Klient: Firma Projektowo – Usługowa PLANPROF
inż. Michał Kubiński
ul. Ceramiczna 5
44 – 156 Sierakowice

SPIS TREŚCI

STRONA TYTUŁOWA	1
ARKUSZ ZATWIERDZENIA OPRACOWANIA	3
ARKUSZ PRZEKAZANIA – ROZDZIELNIK	4
1. WSTĘP	5
1.1 PODSTAWA OPRACOWANIA	5
2.1 CEL OPRACOWANIA	5
3.1 ZAKRES OPRACOWANIA	5
2. PRACE, BADANIA TERENOWE I DOKUMENTACYJNE	6
1.1 LOKALIZACJA PROFILI ORAZ PUNKTÓW BADAWCZYCH	6
2.1 ZABEZPIECZENIE RUCHU	6
3.1 PRACE TERENOWE	6
4.1 PRACE DOKUMENTACYJNE	7
3. CHARAKTERYSTYKA INWESTYCJI	8
4. LOKALIZACJA TERENU BADAŃ	8
5. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW GRUNTOWO – WODNYCH	8
1.1 MODEL BUDOWY GEOLOGICZNEJ ORAZ STRATYGRAFIA I LITOLOGIA	8
2.1 WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE	9
6. METODYKA BADAŃ GEOFIZYCZNYCH	9
1.1 BADANIA GEORADAROWE (GPR)	9
2.1 BADANIA METODĄ ELEKTROOPOROWĄ (ERT)	9
7. INTERPRETACJA GEOFIZYCZNA WYNIKÓW BADAŃ OSUWISKA	10
1.1 BADANIA GEORADAROWE (GPR)	10
2.1 BADANIA METODĄ ELEKTROOPOROWĄ (ERT)	11
8. WNIOSKI	14

Spis Załączników:

Załącznik 1	Mapa topograficzna
Załącznik 2	Mapa dokumentacyjna badań tomografii elektrooporowej
Załącznik 3	Mapa dokumentacyjna badań georadarowych
Załącznik 3 a	Mapa wynikowa obszaru badań geofizycznych
Załącznik 4.1 – 4.5	Przekroje elektrooporowe z badań ERT
Załącznik 5.1 – 5.3	Echogramy z badań georadarowych GPR
Załącznik 6	Archiwalne karty otworów wiertniczych
Załącznik 7	Objaśnienia znaków i symboli
Załącznik 8	Karta osuwiska
Załącznik 9	Dokumentacja fotograficzna



Arkusz zatwierdzenia opracowania

DOKUMENTACJA GEOFIZYCZNA

na potrzeby projektowe zadania pn:
Zabezpieczenie i naprawa korpusu drogi powiatowej 2608 S
ul. Cieszyńskiej w Puńcowie, uszkodzonej
w wyniku zachodzących ruchów masowych

Stan opracowania Ostateczny		
Odebrał:		Numer opracowania: 44/2017
	Nazwisko:	Podpis:
Opracował:	inż.Tomasz Skupień (upr. X-222)	
Opracował:	mgr Tomasz Małysa (upr. X-234)	
Opracował:	inż. Andrzej ROZMUS	
Zatwierdził:	mgr inż. Mariusz KOMRAUS <i>Uprawnienia konstr.-bud. b/o nr 444/01</i>	

UWAGI WSTĘPNE

Niniejszy raport został przygotowany przez firmę ROAD-SKAN-EXPERT z należytą starannością i zgodnie z warunkami kontraktu uzgodnionego ze Zleceniodawcą, a także w oparciu o informacje uzyskane od Zleceniodawcy.

Niniejszy raport stanowi wyłączną własność Zleceniodawcy, zatem ROAD-SKAN-EXPERT nie ponosi żadnej odpowiedzialności za przekazanie informacji zawartych w tym raporcie osobom trzecim. Osoby trzecie ponoszą całkowitą odpowiedzialność za użytkowanie danych oraz informacji zawartych w tym opracowaniu.

Niniejszy raport nie może zostać wykorzystany, jako część innego opracowania lub dokumentacji wykonawczej bez pisemnej zgody autora oraz osoby zatwierdzającej. Status opracowania powinien być wyraźnie określony, jako „**ostateczny**”.



Arkusz przekazania

nr opracowania 44/2017

DOKUMENTACJA GEOFIZYCZNA

na potrzeby projektowe zadania pn:

**Zabezpieczenie i naprawa korpusu drogi powiatowej 2608 S
ul. Cieszyńskiej w Puńcowie, uszkodzonej
w wyniku zachodzących ruchów masowych**

POTWIERDZENIE PRZEKAZANIA OPRACOWANIA:				
Lp.	Data:	Przekazano firmie:	Odbierający:	Ilość egzemplarzy:
1				
2				
3				

UWAGI PROWADZENIA ROZDZIELNIKA

1. Posiadacz opracowania w chwili przekazywania kopii opracowania osobom trzecim powinien w celu kontrolowania przed wykonaniem kopii dopisać odbierającego do rozdzielnika a następnie wykonać kopię. Odbierający winien potwierdzić odbiór opracowania składając własnoręczny podpis zarówno na kopii jak i oryginale.
2. Kopia będąca w posiadaniu osoby trzeciej w dalszym czasie stanowi własność Zleceniodawcy. Zarówno posiadacz kopii jak i udostępniający ją musi pamiętać o prawach autorskich autora i zatwierdzającego opracowanie. Prawa te zostały zapisane w niniejszym raporcie w uwagach wstępnych na arkuszu zatwierdzenia.

1. WSTĘP

1.1 Podstawa opracowania

1. Podstawą do przeprowadzenia badań i opracowania niniejszego opracowania jest zlecenie dla **ROAD-SKAN-EXPERT Mariusz Komraus od Firmy Projektowo – Usługowej PLANPROF inż. Michał Kubiński** z siedzibą przy ul. Ceramicznej 5 w Sierakowicach – zwanym „Zamawiającym”.
2. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 25 kwiecień 2012 poz. 463 w sprawie ustalenia geotechnicznych warunków posadowienia obiektów budowlanych
3. PN – EN 1997 – 1: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 1: Zasady Ogólne PN-88/B-04481 – Grunty budowlane. Badania próbek gruntu.
4. PN – EN 1997 – 2: Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne – Część 2: Rozpoznanie i badania podłoża gruntowego
5. Dokumentacja geologiczno – inżynierska dla rozpoznania warunków geologiczno – inżynierskich w celu stabilizacji osuwiska zarejestrowanego w Krajowym Rejestrze Osuwisk Państwowego Instytutu Geologicznego pod nr 76979 oraz remontu i zabezpieczenia drogi powiatowej 2608S o nazwie ul. Cieszyńska w miejscowości Puńców, mgr inż. Jacek Aleksanderek, mgr inż. Ewa Sierant-Sulecka
6. Mapa geologiczna Polski, Arkusz Cieszyn, Neścieruk Piotr, Wójcik Antoni
7. Zarys metody georadarowej, Uczelniane Wydawnictwo Naukowe – Dydaktyczne AGH, Kraków, Karczewski J., 2007
8. Zarys geofizyki stosowanej, Wyd. Geol. Warszawa, Fajkiewicz Z., 1972
9. Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno – inżynierskich, Wyd. Geol. Warszawa, Stenzel P., Szymanko J., 1973
10. Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys, Loke M. H., 1999
11. Tutorial – 2-D and 3-D electrical imaging surveys, Loke M. H., 2004

2.1 Cel opracowania

Celem prac geofizycznych jest określenie budowy geologicznej, możliwych zagrożeń w postaci deformacji nieciągłych (ruchów masowych) oraz potwierdzenia (rozpoznania ciągłego) warunków geologiczno – inżynierskich rozpoznanych w dokumentacji [5]. Badania geofizyczne zostały zaprojektowane oraz zrealizowane za pomocą metody georadarowej (GPR) oraz tomografii elektrooporowej (ERT).

3.1 Zakres opracowania

- Wykonanie profili tomografii elektrooporowej (ERT) dla 3 przekroi poprzecznych i 2 przekroi podłużnych,
- Wykonanie trzech podłużnych profili georadarowych (GPR),
- Zabezpieczenie ruchu na czas prowadzenia robót,
- Dokumentacja fotograficzna,
- Sporządzenie raportu,

2. PRACE, BADAŃ TERENOWE I DOKUMENTACYJNE

1.1 Lokalizacja profili oraz punktów badawczych

Podłużne profile georadarowe (GPR) zostały wykonane w ciągu drogi powiatowej 2608S (ul. Cieszyńska), profile te wykonano przy krawędzi lewego i prawego pasa drogi. Lokalizację profili georadarowych pokazano na załączniku nr 3. Poprzeczne profile tomografii elektrooporowej zlokalizowano w miejscu przebiegu badanego osuwiska, profile podłużne zlokalizowano powyżej i poniżej drogi powiatowej. Na załączniku nr 2 pokazano lokalizację profili tomografii elektrooporowej (ERT).

2.1 Zabezpieczenie ruchu

Prace na drodze prowadzono zgodnie ze schematem zatwierdzonym przez Zarządcę Drogi. 150 – 200 m przed miejscem prowadzenia prac z obu stron umieszczono znak prowadzenia robót drogowych oraz ograniczenia prędkości do 50 km/h. Do 15 m przed miejscem prowadzenia prac ustawiono znak ostrzegawczy „Uwaga Próg” i ograniczenia prędkości do 20 km/h. Pomiary ciągłe georadarem prowadzone w ciągu drogi zabezpieczono ustawiając w odległości ok. 100 m z obu stron znak prowadzenia robót drogowych i ograniczenia prędkości do 50 km/h. Za obsługą techniczną prowadzącą pomiary poruszała się samochód obsługi technicznej z załączonymi migającymi światłami ostrzegawczymi w kolorze pomarańczowym oraz strzałą świetlną.

3.1 Prace terenowe

W celu realizacji zadania niezbędne było określenie położenia punktów oraz profili pomiarowych dla obu zastosowanych metod w rejonie przedmiotowego terenu badań. W związku z tym Wykonawca zrealizował prace geodezyjne przy użyciu metody domiarów prostokątnych oraz niwelacji terenu, w oparciu o istniejącą sytuację terenową oraz za pomocą GPS. Punkty oraz profile znaczone były farbą geodezyjną.

Do terenowych badań georadarowych użyto najnowocześniejszy sprzęt marki VIY3-125 ground penetrating radar (GPR) o częstotliwości 125 MHz, firmy Transient Technologies. Aparatura ta, to wysokiej klasy urządzenie przeznaczone do określania struktur geologicznych, antropogenicznych, wykrywania pustek, obiektów podziemnych oraz infrastruktury podziemnej. Współpracuje on z wbudowanym specjalistycznym oprogramowaniem *Synchro3*.

Natomiast do badań geoelektrycznych w wersji tomografii elektrooporowej zastosowano sprzęt marki ARES II produkcji GF Instruments. Jest to nowoczesna aparatura posiadająca wysokiej mocy nadajnik, aktywne wielożyłowe kable oraz precyzyjny i dynamiczny odbiornik. Cechy zestawu umożliwiają prowadzenie badań w trudnych warunkach geologicznych w obszarach o silnie zróżnicowanych parametrach warstw przypowierzchniowych. Przetwarzanie oraz interpretacja danych pomiarowych były wykonywane za pomocą oprogramowania *Res2Dinv*.

4.1 Prace Dokumentacyjne

W skład prac kameralnych z zakresu geofizyki inżynierskiej wchodzi przetwarzanie danych pomiarowych, ich analiza oraz interpretacja. Zakres i rodzaj prac jest nieco odmienny dla każdej z metod. Są to następujące prace:

Metoda georadarowa (GPR):

- stworzenie i dobór odpowiednich procedur przetwarzających zebrane dane pomiarowe,
- zastosowanie szeregu procedur dla wszystkich zarejestrowanych echogramów,
- korelacja wyników badań z informacjami pochodzącymi z otworów wiertniczych,
- określenie przebiegu granic litologicznych oraz anomalii georadarowych,
- opracowanie mapy sytuacyjnej oraz interpretacja wyników badań.

Metoda elektrooporowa (ERT):

- analiza zbioru danych elektrooporowych,
- usunięcie pojedynczych punktów pomiarowych obciążonych błędem,
- przeprowadzenie procesu inwersji,
- stworzenie wynikowych przekrojów geoelektrycznych (dwuwymiarowy rozkład oporności elektrycznej ośrodka geologicznego w sposób najbardziej zbliżony do rozkładu oporności rzeczywistej),
- korelacja otrzymanych wyników z informacjami z otworów wiertniczych,
- opracowanie mapy sytuacyjnej oraz interpretacja wyników badań.

W ramach prac dokumentacyjnych przeanalizowano wyniki prac terenowych i na tej podstawie opracowano część tekstową i graficzną raportu:

Część graficzna zawiera:

- mapę topograficzną z orientacyjną lokalizacją terenu badań,
- mapy dokumentacyjne z lokalizacją wykonanych badań,
- przekroje z wynikami badań georadarowych i tomografii elektrooporowej,
- dokumentację fotograficzną.

3. CHARAKTERYSTYKA INWESTYCJI

Inwestycja obejmuje opracowanie metody i zaprojektowanie zabezpieczenia osuwiska wraz z naprawą korpusu drogi powiatowej 2608S ul. Cieszyńska w Puńcowie. Zadanie min. obejmuje:

- Zabezpieczenie drogi powiatowej przed wpływem osuwiska,
- Odbudowę zniszczonej konstrukcji nawierzchni,
- Poprawę odwodnienia na odcinku objętym zadaniem.

4. LOKALIZACJA TERENU BADAŃ

Teren badań położony jest w województwie śląskim, gminie Goleszów, miejscowości Puńców. Lokalizację terenu badań prezentuje mapa orientacyjna (załącznik nr 1) oraz mapa dokumentacyjna (załącznik nr 2 i 3).

Teren badań stanowi obszar czynnego osuwiska, które obejmuje część drogi powiatowej oraz zbocze poniżej drogi sięgające do doliny potoku Puńcówka.

Według regionalizacji fizycznogeograficznej Polski rejon badań położony jest w obrębie mezoregionu Pogórze Karpackie, makroregionu Beskidy Zachodnie.

5. CHARAKTERYSTYKA WARUNKÓW GRUNTOWO – WODNYCH

1.1 Model budowy geologicznej oraz stratygrafia i litologia

Na podstawie mapy geologicznej polski [6] w podłożu badanego terenu występują utwory jury górnej w postaci łupków cieszyńskich dolnych wykształconych jako łupki i mułowce cienko ławicowe. Utwory margliste są łupliwe, miejscami o tabliczkowatej oddzielności. Warstwy te zapadają się pod kątem ok. 10° w kierunku południowo – zachodnim tj. skośnie lub konsekwentnie do zapadania stoku. Warstwy cieszyńskie dolne występują w strefie nasunięć poszczególnych łusek jednostki cieszyńskiej, czego skutkiem jest silne zaangażowanie tektoniczne kompleksów skalnych, przejawiające się obecnością licznych załamań i uskoków. Powyższe utwory przykryte są czwartorzędowymi utworami gliniastymi z rumoszem łupków i piaskowców. Utwory czwartorzędowe w ciągu drogi powiatowej przykrywają nasypy budowlane i konstrukcja nawierzchni.

W archiwalnej dokumentacji [5] nawiercono utwory antropogeniczne w otworze nr OT2, OT3 i OT4 zalegające do głębokości 0,5 – 1,00 m p.p.t. Poniżej utworów antropogenicznych w tych otworach nawiercono rumosze gliniaste z okruchami łupka i piaskowca wraz z glina, glinę zwięzłą z okruchami łupka, łupka z iłem oraz łupka zwięzłego. W pozostałych otworach (OT1 i OT5) wykonanych poza konstrukcją nawierzchni w wierzchnich warstwach nawiercono gliny pylaste zwięzłe, gliny zwięzłe oraz gliny zwięzłe z domieszką rumoszu łupka i piaskowca. Na podstawie odwiertów archiwalnych utwory czwartorzędowe zalegają do głębokości 2,50 – 4,00 m p.p.t. Poniżej utworów czwartorzędowych do spodu opisywanych otworów tj. 10,0 – 15,0 m p.p.t. występują utwory jury w postaci łupków, mułowców i piaskowców.

2.1 Warunki hydrogeologiczne

W rejonie badanego osuwiska wody gruntowe kształtuje infiltracja wód stokowych i opadowych w miejscach występowania rozluźnień gruntów antropogenicznych i czwartorzędowych, szczelin i spękań skał. Na podstawie wykonanych prac w dokumentacji [5] w otworach OT1, OT2 i OT5 nawiercono zwierciadło wód gruntowych na głębokości 0,6 – 3,25 m p.p.t., które ustabilizowało się na głębokości 1,0 – 10,00 m p.p.t. (282,01 – 282,30 m n.p.m.) Ponadto w otworze OT3 nawiercono zwierciadło wody gruntowej na głębokości 12,0 m p.p.t., które ustabilizowało się na głębokości 12,2 m p.p.t. (277,09 m n.p.m.).

6. METODYKA BADAŃ GEOFIZYCZNYCH

1.1 Badania georadarowe (GPR)

Zastosowana metoda georadarowa należy do grupy geofizycznych metod radiofalowych. Aparatura pomiarowa składająca się z jednostki centralnej oraz anteny ekranowanej (nadawczo – odbiorcza).

Podstawową zasadą działania metody georadarowej jest emisja przez antenę nadawczą impulsu elektromagnetycznego w głąb ośrodka geologicznego bądź antropogenicznego. Impuls ten ulega załamaniu, odbiciu i tłumieniu. Tak przekształcona fala po odbiciu rejestrowana jest przez antenę odbiorczą. Uzyskane wyniki przedstawione są w postaci odzwierciedlających budowę geologiczną badanego obszaru. Niezbędnym czynnikiem zarejestrowania użytecznego sygnału (informacji) jest kontrast względem stałej dielektrycznej pomiędzy ośrodkiem, a poszukiwanym obiektem.

W przypadku lokalizacji zagrożeń będących wynikiem deformacji nieciągłych – pustek poeksploatacyjnych wypełnionych powietrzem $\epsilon = 1$ (stała dielektryczna ϵ – bezwymiarowa wartość oznaczająca pojemność materiału do przechowywania ładunku), a ośrodkiem otaczającym poszukiwaną pustkę, stała dielektryczna będzie się wahać od kilku do kilkunastu. Przy takich założeniach poszukiwany obiekt powinien być wyraźnie widoczny na echogramach, w postaci amplitudy fali odbitej. Należy jednak brać pod uwagę fakt, że mamy do czynienia z ośrodkiem niejednorodnym, w którym każdy z utworów budujących dany obszar charakteryzuje się innymi parametrami. Na „jakość, przejrzystość” uzyskanych wyników w postaci echogramów wpływają takie utwory jak glina, ił, grunt zawodniony, gdzie występuje duże tłumienie fali, a stała dielektryczna wody wynosi 81. Zasięg głębokościowy metody georadarowej zależy od wykorzystanej częstotliwości emitowanego sygnału w głąb ośrodka. Im większa częstotliwość jest użyta tym zasięg głębokościowy maleje, a rozdzielczość pionowa wzrasta.

2.1 Badania metodą elektrooporową (ERT)

W celu realizacji postawionego zadania zastosowano metodę inwersyjnego obrazowania oporu (*electrical resistivity imaging* (ERI), *electrical resistivity tomography* (ERT)). Obrazowanie elektrooporowe jest metodą opartą na kombinacji sondowań i profilowań elektrooporowych. Dzięki temu obserwowane zmiany oporności w kierunku wertykalnym i horyzontalnym są jakościowo podobne.

Metodyka badań polowych polega na tym, iż wzdłuż wyznaczonego profilu rozmieszcza się odpowiednią ilość elektrod w równych odstępach. Elektrody te połączone są z wielożyłowym kablem, a ten z kolei biegnie do jednostki centralnej. Jednostka centralna składa się z miernika geoelektrycznego

(umożliwia cyfrową rejestrację pomiarów) i selektora elektrod. Selektor elektrod odpowiedzialny jest za automatyczne podłączenie do miernika czterech spośród wszystkich elektrod w dowolnej kombinacji dla każdego pomiaru.

Przed pomiarami polowymi do jednostki sterującej wprowadzany jest proponowany schemat badań obejmujący układ pomiarowy oraz rozstaw elektrod. W rezultacie prowadzonych pomiarów otrzymujemy wartości oporności pozornej. Wartości te odpowiadają określonemu miejscu oraz głębokości w ośrodku geologicznym, co zostało uzyskane na podstawie lokalizacji oraz geometrii „chwilowych” układów pomiarowych. Uzyskane dane podlegają przetworzeniu oraz interpretacji ilościowej oraz jakościowej.

7. INTERPRETACJA GEOFIZYCZNA WYNIKÓW BADAŃ OSUWISKA

1.1 Badania georadarowe (GPR)

Zarejestrowane dane z prac polowych zostały przetworzone za pomocą specjalistycznego oprogramowania. Pierwszym etapem było usunięcie zakłóceń, a następnie dane zostały poddane kilku filtracjom, procedurom wzmocnienia sygnału, a na końcu sygnał został poddany transformacji z domeny czasowej w domenę głębokościową.

W wyniku zrealizowanych badań geofizycznych oraz przeprowadzonej interpretacji opracowano 3 echogramy odpowiednio do każdego profilu pomiarowego (zał. 3, 5.1 – 5.2 – 5.3). Zarejestrowane dane pomiarowe przedstawiają zróżnicowaną budowę geologiczną badanego rejonu.

Profil nr 1 przedstawia dwa obszary anomalne zlokalizowane w przypowierzchniowej strefie badań, z wyraźnym wzmocnieniem sygnału na odcinku od 1 do 5 mb oraz od 51 do 65 mb. Na uzyskanym echogramie dodatkowo zaobserwować można liczne nieciągłości, charakterystyczne dla obszarów zagrożonych deformacją nieciągłą powierzchni terenu. Zaobserwowane nieciągłości oraz wyraźne strefy tłumień korelują się w większości z wyznaczonymi w dokumentacji geologiczno – inżynierskiej płaszczyznami poślizgu (zasięgiem osuwiska).

Profil nr 2 przedstawia najmniej zróżnicowany (zaburzony) obraz. Wyjątek stanowi zarejestrowane zaburzenie na początkowym odcinku profilu pomiarowego oraz wzmocnienie sygnału w końcowej części profilu pomiarowego w rejonie przydrożnego przepustu.

Profil nr 3 przedstawia najbardziej charakterystyczną, największą anomalię o charakterze komina w rejonie występujących ruchów masowych. Zarejestrowany efekt (kształt) anomalii jest wynikiem mocno spękanego górotworu w pionie. Zasięg pionowej części anomalii koreluje się z wyznaczonym przebiegiem osuwiska (dokumentacja geol. - inż.[5]). Pionowa część anomalna wraz z przypowierzchniową strefą rozluźnioną tworzą obszar anomalny od 67 do 111 mb profilu pomiarowego. Zarejestrowana anomalia tworzy uprzywilejowaną drogę migracji wód opadowych przyspieszając procesy ruchów masowych. Prezentowany echogram przedstawia również występowanie anomalii w rejonie przydrożnego przepustu. Anomalia ta świadczyć może o strefach rozgęszczeń bądź zmiennej budowie w rejonie przepustu.

Zarejestrowane anomalie georadarowe odzwierciedlają występowanie zmiennej budowy geologicznej oraz strefy spękań, rozgęszczeń górotworu oraz tłumień, powstałych w wyniku zaobserwowanych ruchów masowych oraz procesów migracyjnych wód opadowych.

Zarejestrowane obszary anomalne wyznaczone zostały na mapie sytuacyjnej (zał.3). Zasięg zastosowanej metody pomiarowej osiągał maksymalnie głębokość około 14,5 m p.p.t.

2.1 Badania metodą elektrooporową (ERT)

Podstawowym założeniem interpretacji wyników pomiarów geoelektrycznych jest fakt, że wyniki uzyskane dowolną metodą mają wspólną właściwość. Właściwością tą jest możliwość rozpatrywania oporności podłoża (górotworu) jako sumy „tła” i anomalii:

$$\rho_k(x) = \rho_t(x) + \rho_a(x)$$

gdzie:

$\rho_k(x)$ – kolejne wartości oporności zmierzone wzdłuż profilu,

$\rho_t(x)$ – kolejne wartości oporności tła,

$\rho_a(x)$ – kolejne wartości anomalii, pochodzące od zaburzeń górotworu.

Pod pojęciem tła należy rozumieć taką wartość oporności górotworu, którą otrzymuje się w przypadku górotworu jednorodnego lub składającego się z jednorodnych warstw, zalegających poziomo. W przypadku, gdy w górotworze mamy do czynienia z układem fizycznie niejednorodnym (pustki, szczeliny, spękania, zmiany litologiczne), to wykres oporności górotworu jest linią o zmiennym przebiegu. Wszelkie zniekształcenia, których wartość przekracza poziom tła, nazywane są anomaliami. Intensywność anomalii jest uzależniona od wielkości i intensywności zaburzenia. Wartości bezwzględne oporności w strefach anomalnych, zależą także od oporności skał, w obrębie których występują, intensywności spękań wywołanych działalnością górnictwem, procesami krasowymi, stopniem zawodnienia itp.

W metodzie inwersyjnego obrazowania oporu stosuje się do interpretacji proces inwersji. Poprzez termin „inwersja” należy rozumieć rozwiązanie zadania odwrotnego. Głównym zadaniem w modelowaniu inwersyjnym jest: otrzymanie zbioru danych z pomierzonymi wartościami parametrów oraz używając zależności teoretycznych znajdować wartości zbioru parametrów modelu, który odtwarza obserwacje terenowe. W metodzie obrazowania elektrooporowego w wyniku rozwiązania wspomnianego zadania odwrotnego dostaje się dwuwymiarowy rozkład oporności elektrycznej ośrodka geologicznego w sposób najbardziej zbliżony do rozkładu oporności rzeczywistej.

Podczas stosowania inwersji w geofizyce usiłujemy odszukać model, który dałby odpowiedź podobną do rzeczywistych mierzonych wartości. Model dysponuje zbiorem parametrów modelu, które są wielkościami fizycznymi. Parametry te obliczamy z zaobserwowanych danych. Odpowiedź modelu jest syntetyczną informacją, która może być policzona z relacji matematycznych określających model poprzez podanie zestawu parametrów. Model początkowy jest przekształcany (dopasowywany) w iteracyjny sposób. Różnice pomiędzy odpowiedzią modelu, a wartościami danych pomierzonych podlegają redukcji.

Pomiary elektrooporowe ERT wykonano przy użyciu protokołu pomiarowego **Schlumberger overloop oraz Wener Alpha**. W danych warunkach pomiarowych protokoły te zapewniały wysoką rozdzielczość badań przy jednocześnie stosunkowo dużym stosunku sygnału użytecznego do szumu. **Odległość pomiędzy elektrodami wynosiła 1,5 mb.**

Długość poszczególnych profili była zdeterminowana potrzebą uzyskania odpowiedniej głębokości penetracji, warunkami terenowymi oraz wielkością obszaru badań. Zastosowano optymalne odległości pomiędzy poszczególnymi elektrodami w celu zapewnienia dużej rozdzielczości pomiaru. W procesie przetwarzania danych z badanego obszaru uzyskano przekroje elektrooporowe ośrodka skalnego.

Poniżej przedstawiono interpretację geologiczną otrzymanych wyników z badań geofizycznych wykonanych metodą elektrooporową (ERT). W celu zapewnienia przejrzystości i dostępności do uzyskanych informacji interpretacja została ukazana w formie tabelarycznej.

Tabel nr 1

Nr profilu ERT	Interpretacja geologiczna uzyskanych wyników
<i>Profil nr 1</i>	Oba zastosowane protokoły ukazują tożsamą budowę geologiczną badanego podłoża. Profil został zaprojektowany i wykonany w dowiązaniu do wykonanego odwiertu nr 4. Wyznaczone na podstawie wierceń płaszczyzny poślizgu korelują się z otrzymanym obrazem. Na przekroju zaznacza się skomplikowana budowa geologiczna w rejonie jezdni oraz zachodniej skarpy. Widoczne są granice w oporności górotworu, a tym samym prawdopodobnie w budowie geologicznej. Granice te mogą stanowić potencjalne płaszczyzny poślizgu dla obserwowanego osuwiska. Zaobserwowana potencjalna płaszczyzna poślizgu nr I występuje na głębokości ca 2,5 m p.p.t. (18,0 – 37,5 mb profilu). Z kolei II płaszczyzna zaznacza się na głębokości ca 4,2 m p.p.t. (18,0 – 31,5 i 48,0 – 58,5 mb profilu). Natomiast III płaszczyzna w centralnej części profilu zalega na głębokości ca 8,4 m p.p.t. Zarejestrowane wartości oporności korelują się z profilem wykonanego otworu geologiczno – inżynierskiego. Ponadto zaznaczono niskooporowe anomalie geofizyczne w zaobserwowanych minimach oporności. Strefy bardzo obniżonych wartości oporności są spowodowane nie tylko cechą właściwą utworów geologicznych ich budujących, ale również wpływem infiltrujących wód. Można przypuszczać, iż na przedmiotowym profilu od 31,5 – 58,5 mb tworzy się jedna ciągła płaszczyzna poślizgu z połączenia płaszczyzn nr II i III .
<i>Profil nr 2</i>	Dane uzyskane z zastosowanych protokołów po procesie inwersji cechują się podobną jakością. Profil ten został wykonany w poprzek jezdni, w osi zinwentaryzowanego osuwiska, a tym samym przechodzi przez miejsca wykonanych odwiertów geologiczno – inżynierskich nr 1, 3 i 5. Generalnie prezentowany rozkład oporności jest podobny do profilu nr 1 z wyjątkiem części centralnej tzn. brak jest widocznej granicy w oporności na głębokości ca 8,0 m p.p.t. świadczącej o przebiegającej w podłożu płaszczyźnie poślizgu (płaszczyzna poślizgu nr III wyznaczona na profilu nr 1). Płaszczyzny nr I i II występują na podobnych głębokościach (odpowiednio ca 1,7 i 4,2 m p.p.t.) co dla przekroju uzyskanego z profilu nr 1 w rejonie skarpy

	zachodniej. Ponadto pod jezdnią zaznacza się niskooporowa anomalia geofizyczna. Ponadto w rejonie 48 mb profilu widać (na wynikach z protokołu Schlumberger Overloop) granicę w oporności podłoża utożsamianą jako fragment płaszczyzny poślizgu (miejsce połączenia płaszczyzny poślizgu nr II i III dla profilu nr 1).
<i>Profil nr 3</i>	Protokoły zastosowane podczas akwizycji dostarczyły podobnych informacji. Profil dowiązano do wykonanego odwiertu geologiczno – inżynierskiego nr 2. Ogólnie zarejestrowany rozkład oporności jakościowo jest podobny do rozkładu dla profilu nr 2. Płaszczyzny nr I i II występują na podobnych głębokościach (odpowiednio ca 2,5 i 4,5 m p.p.t.) co dla przekroju uzyskanego z profilu nr 1 i 2 w rejonie skarpy zachodniej. Nie zaznaczono niskooporowej anomalii, jednakże warstwa pomiędzy płaszczyznami nr I i II w rejonie zachodniej skarpy jest w całym swoim zakresie niskooporowa. Ponadto przy powierzchni (krawędź jezdni a zachodnia skarpa) widoczna jest wyskooporowa anomalia. Tak jak na profilu nr 2 tutaj w rejonie 48 mb profilu widać granicę w oporności podłoża utożsamianą jako fragment płaszczyzny poślizgu (miejsce połączenia płaszczyzny poślizgu nr II i III dla profilu nr 1).
<i>Profil nr 4</i>	Dane uzyskane z zastosowanych protokołów po procesie inwersji są w skali regionalnej podobne, jednakże w centralnej części przedstawiają odmienne wyniki. Profil dowiązano do wykonanego odwiertu geologiczno – inżynierskiego nr 5 i wykonano go w poprzek osuwiska na wschodniej skarpie tj. powyżej jezdni. W centralnej części zaznaczają się trzy granice w oporności utożsamiane z różnymi utworami geologicznymi, na granicach których mogą powstawać potencjalne płaszczyzny poślizgu na głębokościach ca 2,0, 4,5 i 9,5 m p.p.t. Warstwę pomiędzy 4,5 a 9,5 m p.p.t. wyznaczono jako strefę aktywną (przemytą).
<i>Profil nr 5</i>	Dane uzyskane z zastosowanych protokołów po procesie inwersji cechują się podobną jakością. Profil został poprowadzony wzdłuż jezdni przy krawędzi zachodniej skarpy, a tym samym w bliskiej odległości (ca 2,3 m) od otworów geologiczno – inżynierskich nr 2, 3 i 4. Widać, iż przypowierzchniowa warstwa jest niejednorodna pod względem opornościowym, co miało zapewne wpływ na wyższy błąd pomiarowy. Widać, iż wg profili otworów głębsze podłoże budują utwory mułowca. Jednakże pod względem opornościowym centralna część profilu jest zdecydowanie odmienna od otoczenia. Pomimo stwierdzonej robotami wiertniczymi podobnej litologii podłoże w tej części ma zdecydowanie niższe wartości oporności. W związku z tym należy przypuszczać, iż jest to strefa silnie przeobrażona (aktywna / przemyta) odzwierciedlająca zaburzenia wywołane ruchami masowymi.

Na załączniku nr 2 tj. Mapie dokumentacyjnej badań tomografii elektrooporowej zaznaczono poza lokalizacją poszczególnych profili nadawczych ERT wysoko oraz niskooporowe strefy anomalne, strefy aktywne (przemyte) oraz obszary występowania płaszczyzn poślizgu na różnych głębokościach.

8. WNIOSKI

1. Badania geofizyczne metodą GPR i ERT wykonano łącznie za pomocą 8 profili pomiarowych (zał. nr 2 i 3).
2. Uzyskane wyniki badań odzwierciedlają zróżnicowaną budowę geologiczną przedmiotowego rejonu. Budowa geologiczna jest zmienna na krótkich odcinkach. Ponadto występuje silna anizotropia podłoża.
3. Na wynikach badań zaznaczają się anomalie geofizyczne (elektrooporowe ERT oraz georadarowe GPR), strefy aktywne (przemyte) oraz potencjalne płaszczyzny poślizgu (zał. nr 2, 3 i 3a).
4. Uzyskane wyniki badań georadarowych (zał. nr 5.1 – 5.3) przedstawiają występowanie anomalii geofizycznych korelujących się w większości z obszarem występowania osuwiska według dokumentacji geologiczno – inżynierskiej [5] (strefa komina migracyjnego) oraz w formie bardziej rozległej w strefie przypowierzchniowej.
5. Zarejestrowane anomalie georadarowe (zał. nr 5.1 – 5.3) odzwierciedlają występowanie zmiennej budowy geologicznej oraz stref spękań, rozgęszczeń górotworu oraz tłumień, powstałych w wyniku zaobserwowanych ruchów masowych oraz procesów migracyjnych wód opadowych.
6. Strefy spękań (GPR) występują na głębokościach ca 1 – 5 m p.p.t. (zachodnia krawędź jezdni) oraz ca 1 – 14 m p.p.t. (wschodnia krawędź jezdni) (zał. nr 5.1 – 5.3).
7. Płaszczyzny poślizgu zarejestrowane na przekrojach ERT (zał. nr 4.1 – 4.5), ze względu na charakter ruchów masowych, stanowią uprzywilejowane drogi migracji wód. Płaszczyzny te występują na głębokościach ca 2,5, 4,0 oraz 8,0 m p.p.t. Występowanie kilku potencjalnych płaszczyzn poślizgu komplikuje zagadnienie. Istnieje możliwość przemieszczania się różnych utworów względem siebie po różnych płaszczyznach z różnymi prędkościami.
8. Uzyskane przekroje elektrooporowe ERT profilu nr 1 – 3, wykazują brak występowania horyzontalnych podwyższonych wartości oporności, odpowiadających występowaniu utworów mułowca (zał. nr 4.1 – 4.3).
9. Zarejestrowany obraz oporności górotworu na profilu ERT nr 5 przedstawia występowanie strefy aktywnej odzwierciedlającej występowanie nawierconego poziomu wodonośnego (zał. nr 4.5). Pomimo podobieństwa litologicznego (utwory mułowca) środkowa część profilu ma słabsze parametry fizyko mechaniczne. Występująca w tym szczelinowo – porowym ośrodku woda powoduje zmniejszenie tarcia pomiędzy różnymi utworami geologicznymi jak również pomiędzy samymi cząsteczkami danych utworów, a tym samym przyczynia się do aktywizacji ruchów masowych.
10. *Na podstawie wykonanych badań geologicznych oraz geofizycznych zaznaczono wyinterpolowany zasięg osuwiska (ruchów masowych). **Obszar ten jest potencjalnie aktywny i narażony na dalszą degradację (zał. nr 3a).** Zaleca się podczas prac projektowych wzięcie pod uwagę wyznaczonego zasięgu osuwiska.*
11. *Na podstawie wykonanych badań georadarowych oraz korelacji otworów wiertniczych, wyznaczone zostały na złączniku nr 3a, obszary anomalne - strefy spękań górotworu, zarejestrowane do głębokości 5 m p.p.t. oraz do głębokości 14 m p.p.t.*
12. Na zachodniej skarpie drogi rośnie drzewostan przejawiający cechy tzw. „pijanego lasu” (pochylone drzewa). Wskazują one na stosunkowo słabą aktywność osuwiskową oraz pełzanie.
13. Sposób, rodzaj oraz zakres zabezpieczenia pozostawia się do wyłącznej decyzji Projektanta przedmiotowej inwestycji.

14. Zastosowane metody geofizyczne pozwoliły na rozpoznanie w sposób ciągły i bezinwazyjny ośrodka geologicznego dostarczając i uzupełniając informację geologiczną pochodzącą z odwiertów.
15. Stan fizyczny górotworu jest określony wyłącznie na czas przeprowadzonych badań, tj. czerwiec 2017 r. Wielkości mierzonych składowych wszystkich pól fizycznych odnoszą się tylko do momentu pomiaru.
16. Wykonane szczegółowe badania geologiczne oraz geofizyczne obszaru osuwiska w czerwcu 2017r. potwierdzają ustalenia zawarte w opracowanej w lipcu 2016r. Dokumentacji geologiczno-inżynierskiej w celu stabilizacji osuwiska na odcinku drogi powiatowej 2608S – ul. Cieszyńskiej w Puńcowie, w obrębie tej samej lokalizacji.