

Wykorzystanie geofizycznych badań elektrooporowych do oceny agresywności korozyjnej gruntu

Mgr inż. Katarzyna Stelmach, mgr inż. Mariusz Szczurek, P.P.B. i R.G. GEOSTANDARD Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

Agresywność korozyjna gruntu jest właściwością powodującą korozyjne oddziaływanie gruntu na stalowy podziemny rurociąg, wywołana czynnikami takimi, jak rezytywność, pH, aktywność korozyjna i skład chemiczny gruntu [11]. Agresywność korozyjna gruntu zależy głównie od jego wilgotności, zawartości rozpuszczalnych związków chemicznych oraz tlenu. Z zasady grunty o dużej wilgotności, zawierające związki chemiczne charakteryzują się dobrym przewodnictwem elektrolitycznym. W gruntach o niewielkiej wilgotności lub suchych, gdzie jest utrudniony dostęp tlenu, proces korozji może ulec zahamowaniu. Stąd często przyjmuje się wielkość elektrycznego oporu właściwego (rezystywności) gruntu jako podstawowe kryterium jego agresywności korozyjnej [1]. Przewodnictwo elektryczne (a więc i oporność właściwa) gruntu może być w pewnym zakresie miarą jej agresywności korozyjnej. Wraz ze wzrastającą opornością właściwą maleje stopień agresywności gruntu [9]. Od struktury gruntu zależy przemieszczenie się wilgoci i powietrza, a także charakter kontaktu gruntu z umieszczoną w niej konstrukcją. Instalacje podziemne, podobnie jak wszystkie większe obiekty metalowe w gruncie narażone są na korozję ziemną. Wyróżnienie tego rodzaju korozji, pomimo tego, że jej charakter jest tak samo elektrochemiczny, jak w wielu innych środowiskach (wodnym, atmosferycznym itp.) wskazuje na pewną specyfikę zespołu zjawisk, które występują na obiektach posadowionych w gruncie, a także na odmienne nieco technologie ochrony przeciwkorozyjnej w tym środowisku [8]. Dlatego przy projektowaniu trasy gazociągu wraz z zaprojektowaniem instalacji ochrony przeciwkorozyjnej niezbędne jest określenie stopnia zagrożenia korozyjnego ośrodka gruntowego dla całego jego odcinka. W tym celu od lat z powodzeniem stosuje się badania geofizyczne. W praktyce inżynierskiej, spośród metod magnetycznej, grawimetrycznej, sejsmicznej, radioaktywnej, georadarowej, jedną z najpopularniejszych metod geofizyki stosowanej jest metoda geoelektryczna – elektrooporowa. Bazuje ona na wykorzystaniu naturalnych lub sztucznie wzbudzonych pól elektrycz-

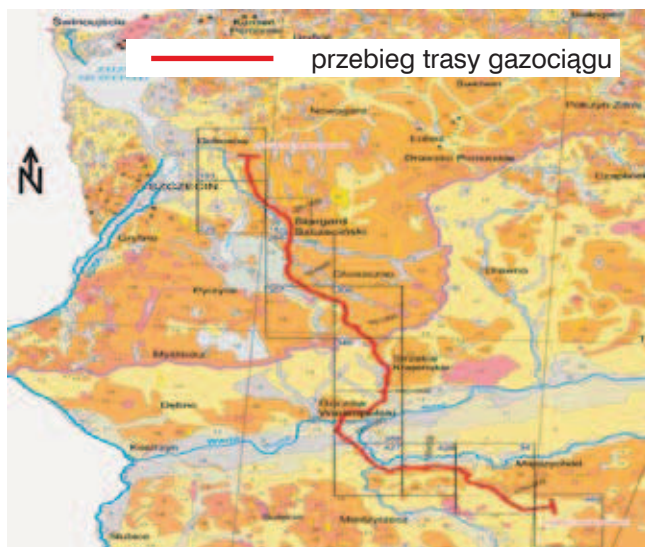
nych lub elektromagnetycznych, a przedmiotem pomiaru jest rejestracja rozkładu oporności podłoża gruntowego, pod względem wielkości i geometrii granic badanego ośrodka, pozwalając rozpoznać warunki gruntowodne dla projektowania inwestycji oraz realizacji zadań inżynierskich.

W artykule przedstawiono zastosowanie metody geoelektrycznej – elektrooporowej do oceny agresywności korozyjnej gruntu na przykładzie wybranych wyników badań wykonanych pod projektowany gazociąg wysokiego ciśnienia DN 700 PN 8.4 MPa relacji Szczecin – Lwówek.

2. Charakterystyka terenu badań

Projektowany gazociąg wysokiego ciśnienia relacji Szczecin – Lwówek wchodzi w skład inwestycji związanej z budową terminalu LNG w Świnoujściu i ma za zadanie połączyć budowaną stację w Goleniowie z istniejącą na północny zachód od Poznania stacją Lwówek na terenach województw: zachodniopomorskiego, lubuskiego i wielkopolskiego. Inwestycja będzie przebiegać wzdłuż istniejącego gazociągu wysokiego ciśnienia DN 500 PN 6.3 MPa relacji Odolanów – Police na dwóch odcinkach od Goleniowa do miejscowości Skrzany i od Czechowa do miejscowości Lewice (rys. 1) i obejmuje budowę gazociągu wysokiego ciśnienia DN 700 PN 8.4 MPa o długości około 188,6 km wraz z infrastrukturą towarzyszącą, którą stanowią Zespoły Zaporowo-Upustowe (ZZU) oraz zespół śluz nadania i odbioru tłoka w okolicach Gorzowa Wielkopolskiego [10].

Trasa gazociągu przecinać będzie szereg dróg różnej klasy, rzek i mniejszych cieków, linii kolejowych i instalacji podziemnych. Przyjęta technologia przewiduje, że gazociąg przy przejściach przez tereny rolne i leśne będzie układany w wykopie otwartym, a w przypadku przekroczeń przeszkód terenowych przewiduje się przejście metodą podziemną (metodą przecisku lub przewiertu) lub przejściem w wykopie otwartym [10]. Parametry techniczne projektowanego rurociągu przedstawia tabela 1. Pod względem geologicznym teren badań położony jest na Niżu Polskim w obrębie dwóch jednostek geologiczno-strukturalnych, tj. Monokliny Przedśudeckiej oraz Niecki Szczecińskiej. Projektowana inwestycja



Rys. 1. Przebieg trasy planowanego gazociągu DN 700 PN 8.4 MPa, relacji Szczecin – Lwówek [10]

Tabela 1

Parametry techniczne rurociągu	
Średnica rury	DN 700
Materiał	stal walcowana mechanicznie L4B8MB zgodnie z normą PN-EN 10208-2
Zabezpieczenie antykorozyjne	bierne – trójwarstwowy polietylen (3LPE) na zewnątrz rury, czynne – ochrona katodowa
Połączenia rur	spawane
Średnie zagłębienie dna rurociągu	około 1,9 m p.p.t.
Strefa kontrolowana gazociągu	12,0 m (po 6,0 m na stronę od osi gazociągu)

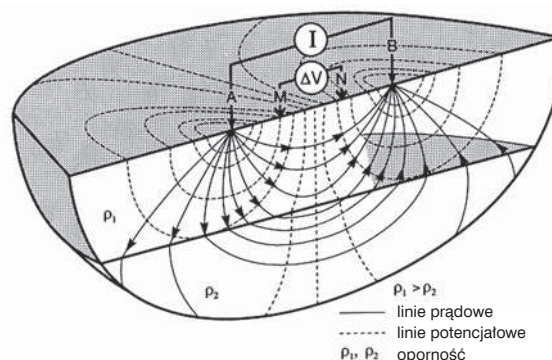
na całym odcinku przebiega w obrębie utworów czwartorzędowych, będących plejstoceniowymi osadami zlodowacenia północnopolskiego. Utwory te reprezentowane są przez osady akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej budujące wysoczyzny morenowe i równiny sandrowe oraz lokalnie osady akumulacji rzecznej, jeziornej i zastoiskowej. Są to głównie osady piaszczyste: piaski średnie z domieszką żwiru często przewarstwione gliną lub gliną piaszczystą, piaski gliniaste ze żwirem, lokalnie piaski pylaste i drobne, sporadycznie soczewki pospółek [10].

Pod względem hydrogeologicznym teren badań leży w rejonie pomorskim i wielkopolskim. Stwierdzono wody podziemne piętra czwartorzędowego, których występowanie na trasie gazociągu związane jest głównie z jej przebiegiem po obszarach dolin rzek i mniejszych cieków oraz w rejonach obniżenia terenu. Poziom gruntowy nie ma charakteru ciągłego, a warstwę wodonośną budują osady bardzo zróżnicowane pod względem litologicznym, co wpływa na dużą zmienność jego parametrów hydrogeologicznych [10].

3. Metodyka badań elektrooporowych

Ośrodek gruntowy, podobnie jak inne materiały, pod względem zdolności do przewodzenia prądu elektrycz-

nego charakteryzuje się dwoma parametrami: opornością właściwą i stałą dielektryczną [4]. Pomiar oporu ośrodka gruntowego przy przepływie prądu opiera się na wykorzystaniu prawa Ohma, to znaczy pomiarze spadku potencjału elektrycznego na określonym odcinku obwodu przy przepływie prądu o znanym natężeniu. Pomiary elektrooporowe wykonuje się w różnych konfiguracjach elektrod, oznaczanych zwykle symbolami literowymi AMNB, dobranych w zależności od postawionego zadania [4] (rys. 2).



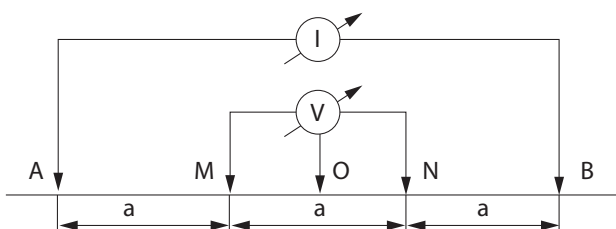
Rys. 2. Rozkład linii prądowych i potencjalowych przy zastosowaniu dwóch elektrod zasilających AB oraz dwóch elektrod pomiarowych MN [2]

Każdy układ pomiarowy składa się z dwóch obwodów elektrycznych: zasilającego, którego celem jest wytworzenie pola, oraz pomiarowego (odbiorczego), którego celem jest pomiar wielkości charakteryzujących wytworzone pole. Obwód pomiarowy tworzą elektrody pomiarowe MN, przewody połączeniowe oraz miernik różnicy potencjałów. Obwód zasilający składa się ze źródła prądu elektrycznego, przewodów doprowadzających prąd do elektrod zasilających AB oraz miernika natężenia prądu przepływającego w całym obwodzie [3]. Przez zewnętrzne elektrody AB przepływa prąd elektryczny o znanym natężeniu, a jego efekt w postaci różnicy potencjału, mierzony jest dwoma punktami centralnymi MN. Podstawową jednostką wymiarową oporności elektrycznej jest omometr [Ωm] definiowany jako oporność właściwa gruntu. Pomiary mogą być prowadzone w trzech wersjach metodycznych [4]:

- sondowań geoelektrycznych (SGE),
- profilowań elektrooporowych (PE),
- tomografii elektrooporowej (ERT).

Badania elektrooporowe wykonane pod zabudowę gazociągu DN 700 PN 8.4 MPa przeprowadzono stosując metodę sondowań geoelektrycznych (SGE) polegającą na zwiększaniu rozstawu elektrod AB w stosunku do punktu centralnego MN. Wielkościami podlegającymi pomiarom jest: natężenie prądu I [mA] w obwodzie zasilającym AB, spadek napięcia V [mV] w obwodzie pomiarowym MN oraz zmienne w procesie sondowania wymiary całego układu pomiarowego ABMN. Wzrastająca w procesie sondowania rozpiętość obwodu

elektrycznego powoduje wzrost głębokości penetracji prądu, dając przy tym informację z coraz głębszych partii badanego ośrodka. W ten sposób zmiany oporu zwiększającego się obwodu elektrycznego wskazują na kolejne następstwo warstw o różnej oporności. Sondowania wykonano w układzie pomiarowym Wennera, gdzie warunkiem geometrycznym jest równa odległość pomiędzy elektrodami ($AM=MN=NB$) (rys. 3) [5]. Pomiar elektrycznego oporu właściwego (rezystywności) wykonano w 1645 punktach pomiarowych na dwóch poziomach głębokościowych: na głębokości 1,6 m, odległość „a” wynosiła 2,0 m oraz na głębokości 3,2 m odległość „a” wynosiła 4,0 m [10].



Rys. 3. Schemat układu pomiarowego Wennera

4. Interpretacja wyników badań

Bazując na dokonanych pomiarach rezystywności gruntu zagrożenie korozyjne szacuje się na podstawie kryteriów podanych w tabeli 2:

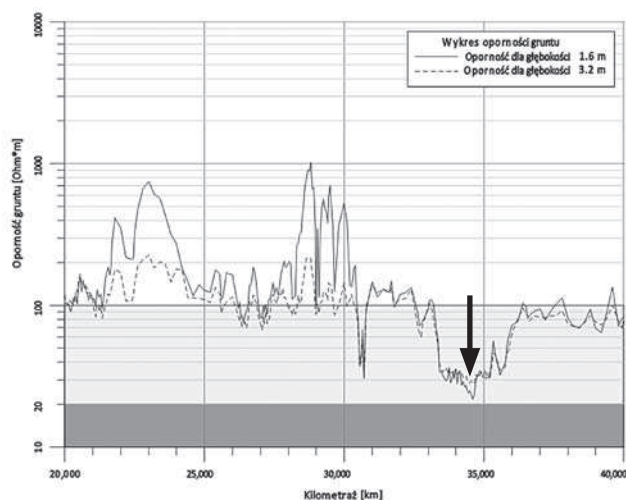
Tabela 2. Klasyfikacja zagrożenia korozyjnego na podstawie oporności właściwej gruntu [6]

Stopień zagrożenia korozyjnego	Oporność właściwa gruntu [Ωm]
niski	> 100
średni	100 do 20
wysoki	20 do 10
bardzo wysoki	< 10

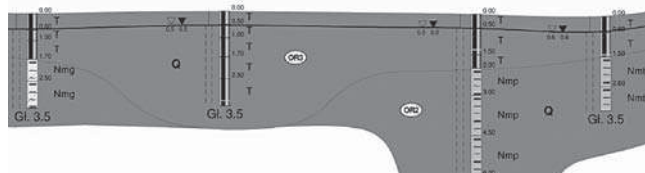
Wyniki przeprowadzonych badań dla projektowanego gazociągu, przedstawiono na wykresach oporności elektrycznej gruntu (dla obu poziomów głębokościowych) względem kilometrażu gazociągu. Dla całej trasy gazociągu wyniki są następujące:

– na głębokości 1,6 m: wartości oporności charakterystyczne dla gruntów nieagresywnych wynoszące średnio 580,1 Ωm i stanowią 52,7% pomierzonych punktów; wartości oporności charakterystyczne dla gruntów o podwyższonej agresywności, wynoszące średnio 59,3 Ωm , stanowią 47% pomierzonych punktów; wartości oporności charakterystyczne dla gruntów agresywnych, wynoszące średnio 17,6 Ωm , stanowią jedynie 0,24% pomierzonych punktów.

– na głębokości 3,2 m: wartości oporności dla gruntów nieagresywnych, wynoszące średnio 270 Ωm stanowią



Rys. 4. Wykres oporności gruntu na odcinku projektowanego gazociągu. Miejsca podwyższonej agresywności korozyjnej oznaczono strzałką, od km 20+000 do km 40+000 [10]



Rys. 5. Przekrój geotechniczny na odcinku projektowanego gazociągu o podwyższonej agresywności korozyjnej od km 34+250 do km 34+700 [10]

37,5% pomierzonych punktów; wartości oporności charakterystyczne dla gruntów o podwyższonej agresywności, wynoszące średnio 63,67 Ωm stanowią 62,5% pomierzonych punktów. Gruntów agresywnych na tej głębokości nie stwierdzono [10].

Wykres oporności gruntów przedstawia strefę o wartościach 20–30 Ωm (rys. 4) mieszczącą się od km 34+250 do km 34+700. Z wykonanych odwiertów geotechnicznych oraz badań laboratoryjnych gruntów na zawartość części organicznych wynika, że występują tu w większości torfy (T), namuły gliniaste (Nimg), namuły piaszczyste (Nmp) oraz namuły torfiaste (Nmt) o wilgotności naturalnej w przedziale od 140 ÷ 411% oraz zawartości części organicznych od 12 ÷ 53% (rys. 5). Analizując wyniki badań oraz kierując się powyższymi kryteriami oceny zagrożenia korozyjnego lokalizuje się miejsca występowania gruntów o podwyższonej agresywności.

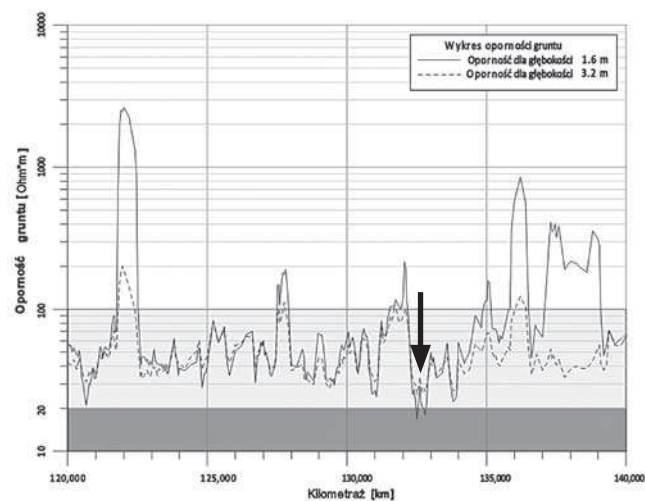
Wykresy oporności gruntów przedstawiają miejsca, w których zarejestrowano pomiary poniżej 20 Ωm (rys. 6, 8). Strefy niskich oporności poniżej 20 Ωm wystąpiły jedynie na odcinkach od km 132+475 do km 32+525; od km 132+775 do km 132+825 oraz od km 150+100 do km 150+700. Badania makroskopowe gruntów oraz badania laboratoryjne wskazują na obecność w przeważającej ilości piasków drobnych z domieszką części organicznych (Pd+cz.org.), piasków pylastych (P π), glin (G) oraz rzadziej piasków średnich (Ps) (rys. 7, 9).

Na podstawie wyników oraz zgodnie z ww. kryteriami, przedmiotowe miejsca klasyfikuje się do miejsc o wysokim stopniu zagrożenia korozją.

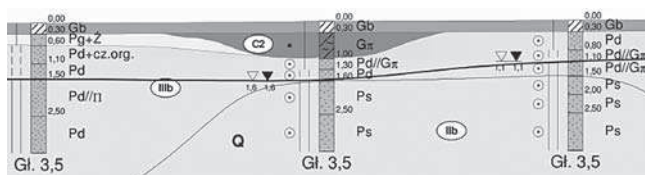
5. Podsumowanie

Grunt jest środowiskiem korozyjnym, w którym korozja przebiega jako proces elektrochemiczny. O szybkości korozji decyduje oporność elektryczna gruntu, zależna głównie od jej wilgotności i zasolenia. Wraz ze zmniejszaniem się oporności (na skutek wzrostu wilgotności i zasolenia) rośnie agresywność gruntu. Badania agresywności korozyjnej stosuje się w celu ustalenia potencjalnych miejsc występowania korozji, aby podczas budowy nowej linii przesyłowej właściwie dobrać materiały do zabezpieczeń przeciwkorozyjnych, na które składają się odpowiednio dobrane powłoki izolacyjne rur oraz ochrona katodowa.

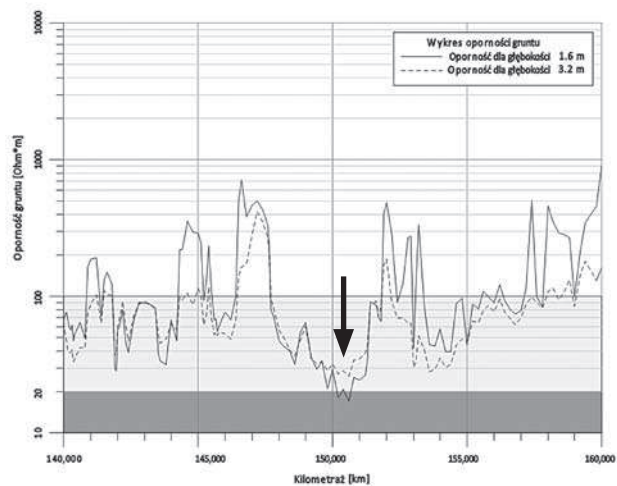
W metodzie elektrooporowej w układzie cztero-elektrodowym, w zależności od odległości ustawienia elektrod, można otrzymać wartość rezystywności gruntu na głębokości równej odstępowi pomiędzy tymi elektrodami. Pomiary pozwalają uzyskać przekrój pionowy i poziomy oporności gruntu. Metody geofizyczne pozwalają na względnie szybką oraz bezinwazyjną ocenę stopnia agresywności korozyjnej podłoża gruntowego.



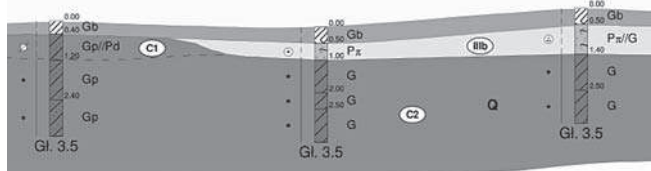
Rys. 6. Wykres oporności gruntu na odcinku projektowanego gazociągu. Miejsca podwyższonej agresywności korozyjnej oznaczono strzałką, od km 120+000 do km 140+000 [10]



Rys. 7. Przekrój geotechniczny na odcinku projektowanego gazociągu o podwyższonej agresywności korozyjnej od km 132+475 do km 132+525; od km 132+775 do km 132+825 [10]



Rys. 8. Wykres oporności gruntu na odcinku projektowanego gazociągu. Miejsca podwyższonej agresywności korozyjnej oznaczono strzałką, od km 140+000 do km 160+000 [10]



Rys. 9. Przekrój geotechniczny pod projektowany gazociąg o podwyższonej agresywności korozyjnej od km 150+100 do km 150+700 [10]

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bartoszewski M., Filipowicz S., Wybrane zagadnienia ochrony katodowej rurociągów przed korozją. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 232, 2007
- [2] Börner R., Vorlesungsskript. WS2005/2006
- [3] Dzwiniel J., Geofizyka – metody geoelektryczne. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1978
- [4] Farbisz J., Białostocki R., Badania geoelektryczne – elektrooporowe. Stan aktualny i możliwości wykorzystania wyników. Biuletyn Informacyjny Geofizyka, Warszawa 2007
- [5] Misiewicz K., Geofizyka Archeologiczna. Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa 2006
- [6] Madryas C., Kolonko A., Wysocki L., Konstrukcja przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002
- [7] Sokólski W., Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia korozji ziemnej, według PN-EN 12501-1 i PN-EN 12501-2.: VIII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, Jurata 2004
- [8] Sokólski W., Ochrona przed korozją stalowych zbiorników podziemnych w świetle aktualnych przepisów. Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP, 2003
- [9] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją. Politechnika Lubelska, 2002

WYKORZYSTANE MATERIAŁY

- [10] Dokumentacja Geotechniczna oceniająca warunki gruntowo-wodne podłoża pod projektowany gazociąg wysokiego ciśnienia DN 700 PN 8.4 MPa relacji Szczecin-Lwówek. P. P. B. i R. G. GEOSTANDARD Sp. z o.o. Wrocław, 2010
- [11] BN-85/2320-0. Rurociągi stalowe układane w ziemi. Określenie zagrożenia korozyjnego