

## OCENA AGRESYWNOŚCI KOROZYJNEJ GRUNTU NA PODSTAWIE WYNIKÓW GEOFIZYCZNYCH BADAŃ ELEKTROOPOROWYCH

### ESTIMATION OF CORROSION AGGRESSIVENESS OF SOIL ON THE BASIS OF GEOPHYSICAL TESTS

KATARZYNA STELMACH<sup>1</sup>, JOANNA BZÓWKA<sup>2</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono zastosowanie badań geofizycznych w problematyce związanej z ochroną elektrochemiczną konstrukcji stalowych na przykładzie badań wykonanych pod projektowane gazociągi relacji Szczecin–Lwówek oraz Szczecin–Gdańsk. Wskazano celowość stosowania metod geofizycznych do oceny agresywności korozyjnej gruntu w trakcie projektowania i wykonywania uziołów anodowych ochrony katodowej.

**Słowa kluczowe:** badania geofizyczne, korozja, ochrona elektrochemiczna.

**Abstract.** The paper presents the application of geophysical tests for the problems of electrochemical protection of steel structure using the results of tests carried out for the Szczecin–Lwówek and Szczecin–Gdańsk gas pipelines. The usefulness of application of geophysical methods for estimating the ground corrosion during designing and making the anode groundbeds is presented.

**Key words:** geophysical test, corrosion, electrochemical protection, soil resistivity.

### WSTĘP

Pomiary korozyjne oraz prawidłowa interpretacja ich wyników mają istotne znaczenie w ustaleniu przyczyn korozji, stopnia zagrożenia korozją obiektów inżynierskich oraz w wyborze metod ochrony przeciwkorozyjnej, a także w ocenie prawidłowości ich działania. Pomiary wykonywane na etapie projektowania nowych podziemnych konstrukcji mają na celu ustalenie stref zagrożenia korozyjnego powstających na skutek agresywności środowiska gruntowego.

Agresywność gruntu jest właściwością powodującą jego korozyjne oddziaływanie na obiekty inżynierskie, w tym na podziemne stalowe rurociągi. Decydują o niej takie czynniki jak: rezystywność, pH, zawartość siarkowodoru i siarcz-  
ków, jonów chlorkowych i siarczanowych oraz zmienność poziomu wód gruntowych (Dokumentacja..., 2010). Najważ-

niejszym spośród tych czynników jest rezystywność. Przewodnictwo elektryczne (a więc i oporność właściwa) gruntu może być w pewnym zakresie miarą jego agresywności korozyjnej. Wraz ze wzrastającą opornością właściwą maleje stopień agresywności gruntu (Surowska, 2002). Rezystywność gruntu zależy od jego struktury, składu chemicznego i poziomu wody gruntowej i jest zmienna w zależności od warunków atmosferycznych.

Podziemne konstrukcje o dużej rozciągłości, takie jak np. rurociągi, są zwykle bardziej zagrożone korozją niż inne urządzenia. Konstrukcje mniej rozległe korodują głównie w wyniku działania galwanicznych mikroogniw korozyjnych, natomiast obiekty liniowe o większej rozległości są bardziej narażone na działanie galwanicznych makroogniw korozyj-

<sup>1</sup> Przedsiębiorstwo Podstawowych Badań i Robót Geotechnicznych GEOSTANDARD Sp. z o.o., ul. Biała 22, 54-044 Wrocław; k.stelmach@geostandard.pl

<sup>2</sup> Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska w Gliwicach, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice; joanna.bzowska@polsl.pl

nych. Ponadto rozległość sprzyja wpływom prądów błądzących. Duża gęstość prądu anodowego w miejscu wpływu prądu błądzącego z konstrukcji może być przyczyną szybko postępującej korozji wżerowej. Zróżnicowanie powierzchni metalu na miejsca lub strefy anodowe i katodowe, będące skutkiem niejednorodności strukturalnej powierzchni metalu oraz niejednorodności gruntu, powoduje rozpoczęcie działania ogniw korozyjnych. Różnica potencjałów warunkująca działanie makroogniw wynika głównie z niejednorodności gruntu, tj. niejednorodnej spoiistości i przepuszczalności. Anodą makroogniwa jest zazwyczaj część rurociągu zalegająca w gruncie nieprzepuszczalnym, natomiast katoda powstaje na powierzchni metalu przykrytego gruntem przepuszczalnym. Łatwo docierający do powierzchni metalu tlen powoduje, że pokrywa się ona warstwą tlenku hamującego dalszy postęp korozji. Z kolei w gruncie nieprzepuszczalnym, w którym dostęp tlenu jest utrudniony, warstwa ochronna nie powstaje, a na powierzchni metalu tworzy się korozja wżerowa. Na wielkośrednicowym rurociągu makroogniwo może wykształcić się pomiędzy dolną a górną częścią rurociągu. Anodą jest wtedy dolna część, wokół której

występuje grunt spoisty, a katodę tworzy górna część przykryta gruntem o dobrej przepuszczalności powietrza (Ostaszewicz, 1991).

Na podstawie pomiarów wykonywanych na potrzeby projektowanych konstrukcji podziemnych podejmuje się decyzje związane z ewentualnymi zmianami w przebiegu trasy, doborem izolacyjnych pokryć ochronnych oraz rodzajem projektowanych urządzeń. Szybkość procesów korozyjnych zachodzących na powierzchni metalowych konstrukcji podziemnych zależy w dużym stopniu od rezystywności gruntu, która ma istotny wpływ na zasięg działania środków ochrony katodowej. Podczas projektowania trasy gazociągu wraz z instalacją ochrony korozyjnej niezbędne jest określenie stopnia zagrożenia korozyjnego (Ostaszewicz, 1991).

W artykule przedstawiono zastosowanie metody 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 oraz DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk.

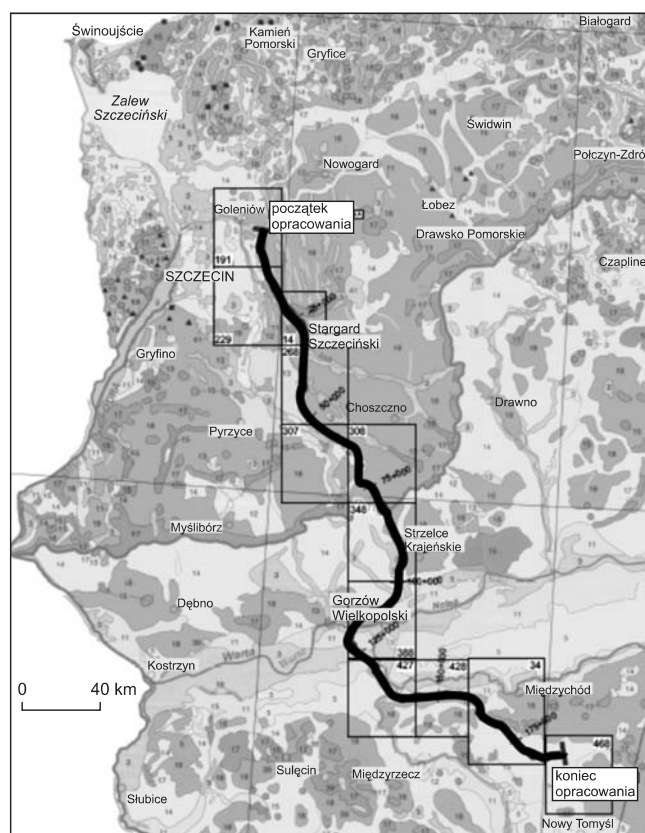
## CHARAKTERYSTYKA TERENU BADAŃ

Projektowane gazociągi wysokiego ciśnienia relacji Szczecin–Lwówek (o łącznej długości 188 km) oraz Szczecin–Gdańsk (o łącznej długości 204 km) wchodzi w skład inwestycji związanych z budową terminalu LNG (*Liquefied Natural Gas*) w Świnoujściu oraz rozwijaniem infrastruktury przesyłowej na terenie kraju, w tym infrastruktury towarzyszącej, którą stanowią zespoły zaporowo-upustowe (ZZU) oraz zespoły śluz nadania i odbioru tłoka (Dokumentacja..., 2010; Dokumentacja..., 2011).

Inwestycja Szczecin–Lwówek DN 700 PN 8,4 MPa połączy stację w Goleniowie z wybudowaną już stacją Lwówek. Będzie ona przebiegać wzdłuż istniejącego gazociągu wysokiego ciśnienia DN 500 PN 6,3 MPa relacji Odolanów–Police na odcinkach od Goleniowa do Skrzan oraz od Czechowa do miejscowości Lewice (fig. 1) (Dokumentacja..., 2010).

Inwestycja na odcinku Szczecin–Gdańsk stanowi liniową instalację o zakładanych parametrach przesyłu gazu – średnica rur DN 700 i maksymalne ciśnienie robocze MOP 8,4 MPa – poprowadzoną od Karlinka do miejscowości Reszki. Projektowana trasa przebiega wzdłuż istniejących gazociągów wysokiego ciśnienia DN 250 MOP 6,3 MPa relacji Karlinko–Koszalin, DN 200 relacji Koszalin–Słupsk oraz DN 200/250 relacji Gdynia–Lębork (fig. 2) (Dokumentacja..., 2011).

Trasy obu gazociągów przecinać będą wiele dróg różnej klasy, rzek i mniejszych cieków, linii kolejowych i instalacji podziemnych. W przyjętej technologii przewidziano, że gazociągi na odcinkach przebiegających przez tereny rolne i leśne będą układane w wykopie otwartym, a w przypadku przekroczeń przeszkód terenowych przewiduje się przejście metodą podziemną (przecisku lub przewiertu) lub przejściem w wykopie otwartym (Dokumentacja..., 2010; Dokumen-



— przebieg trasy gazociągu / line of the gas pipeline

**Fig. 1. Przebieg trasy planowanego gazociągu relacji Szczecin–Lwówek DN 700 PN 8,4 MPa (Dokumentacja..., 2010)**

Location of the designed gas pipeline Szczecin–Lwówek DN 700 PN 8.4 MPa (Dokumentacja..., 2010)

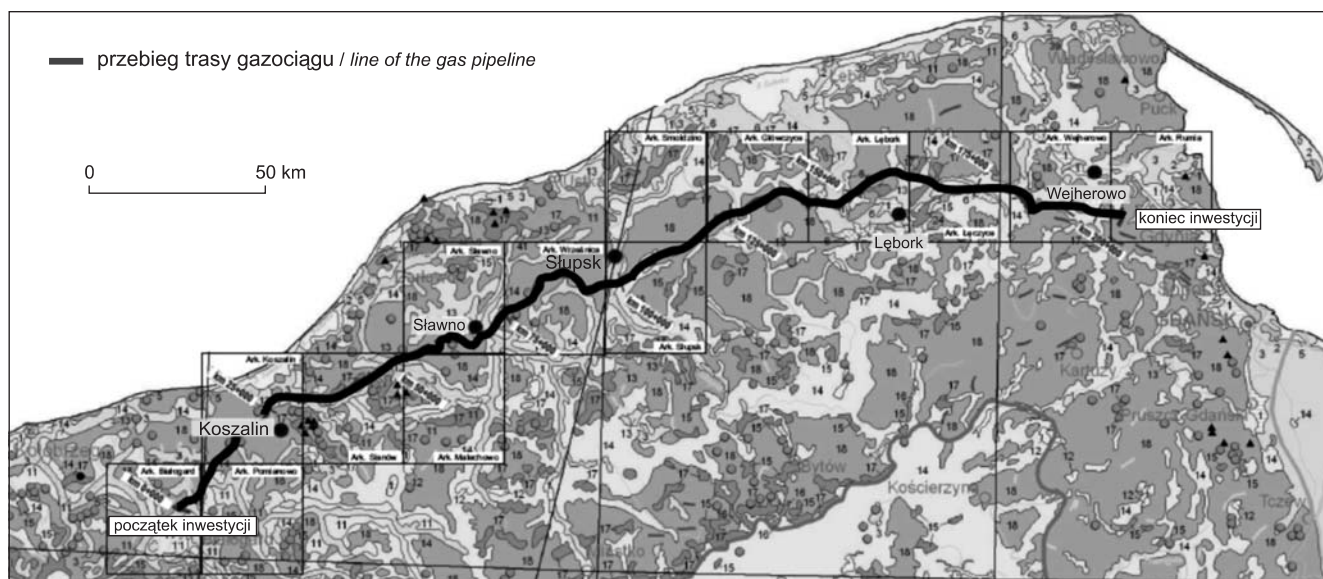


Fig. 2. Przebieg trasy projektowanego gazociągu DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk (Dokumentacja..., 2011)

Location of the designed gas pipeline Szczecin–Gdańsk DN 700 MOP 8.4 MPa (Dokumentacja..., 2011)

tacja..., 2011). Parametry techniczne projektowanych rurociągów przedstawiono w tabeli 1.

Pod względem geologicznym teren badań dla planowanego gazociągu relacji Szczecin–Lwówek położony jest na Niżu Polskim, na obszarze dwóch jednostek geologiczno-strukturalnych, tj. monokliny przedsudeckiej oraz niecki szczecińskiej. Na starszym podłożu paleozoiczno-mezozoicznym zalega pokrywa osadów kenozoiku – paleogenu, neogenu i czwartorzędu. Projektowana inwestycja na całym odcinku przebiega w obrębie utworów czwartorzędowych, będących plejstocenijskimi osadami kompleksu północnopolskiego. Utwory te reprezentowane są przez osady akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej, które budują wysoczyzny morenowe i równiny sandrowe, oraz lokalnie przez 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, miejscami piaski pylaste i drobne, sporadycznie soczewki pospółek. Pod względem hydrogeologicznym teren badań leży w regionie wielkopolskim i zachodniopomorskim, w subregionach pradoliny toruńsko-eberswaldzkiej i pradoliny poznańsko-lubelskiej. Na omawianym terenie występują głównie wody podziemne piętra czwartorzędowego, na które wpływ mają wykształcenie litologiczne podłoża gruntowego, warunki geomorfologiczne, sieć rzeczna oraz czynniki klimatyczne – głównie opady i temperatura. Zwierciadło tych wód jest przeważnie swobodne, lokalnie pojawia się zwierciadło napięte, najczęściej w dolinach rzek i mniejszych cieków (Dokumentacja..., 2010).

Teren badań pod inwestycję na odcinku Szczecin–Gdańsk położony jest w obrębie kilku geologicznych jednostek strukturalnych: antykliny koszaliny, niecki pomorskiej oraz syneklizy perybałtyckiej. Na starszym podłożu zbudowanym z utworów wieku od kambru po kredę leży pokrywa osadów kenozoicznych. Inwestycja przebiega na

Tabela 1

Parametry techniczne rurociągu (Dokumentacja..., 2010; Dokumentacja..., 2011)

Technical parameters of the gas pipeline (Dokumentacja..., 2010; Dokumentacja..., 2011)

Parametry techniczne rurociągu	
Średnica rury	DN 700
Materiał	stal walcowana mechanicznie L485MB zgodnie z normą PN-EN 10208-2:1999
Zabezpieczenie antykorozyjne	bierne – trójwarstwowy polietylen (3LPE) na zewnątrz rury, czynne – ochrona katodowa
Połączenia rur	spawanie
Średnie zagłębienia dna rurociągu	ok. 1,9 m p.p.t.
Głębokość wykopu	2,0–2,2 m
Strefa pasa montażowego	dla gruntów rolnych – 26 m, dla terenów leśnych – 18–10,5 m
Strefa kontrolna gazociągu	12,0 m (po 6,0 m na stronę od osi gazociągu)

całym odcinku w utworach czwartorzędowych – w większości plejstocenijskich osadach kompleksu północnopolskiego. Wykształcone są one głównie jako osady akumulacji lodowcowej i wodnolodowcowej budujące wysoczyzny morenowe oraz lokalnie osady akumulacji rzecznej, jeziornej i zastoiskowej. Pod względem hydrogeologicznym teren badań leży w granicach regionów zachodniopomorskiego oraz wschodniopomorskiego, na których stwierdzono występowanie wód podziemnych piętra czwartorzędowego. Wody podziemne położone na głębokości 0,0–2,0 m p.p.t. obecne są głównie na nisko położonych obszarach dolin rzecznych na terenach torfowisk i nawodnionych piasków rzeczno-jeziornych. Stan zwierciadła zależy od ilości opadów atmosferycz-



nych i ukształtowania powierzchni terenu, przeważnie jest ono swobodne. Na głębokości 2,0–5,0 m p.p.t. wody występują głównie w piaszczystych osadach wodnolodowcowych

na wysoczyznach lub wśród glin zwałowych. Poziom ten charakteryzuje się zwierciadłem swobodnym, które wykazuje spore wahania roczne (do 2,0 m) (Dokumentacja..., 2011).

## METODYKA BADAŃ ELEKTROOPOROWYCH

Ośrodek gruntowy, podobnie jak inne materiały, pod względem zdolności przewodzenia prądu elektrycznego charakteryzuje się dwoma parametrami: opornością właściwą i stałą dielektryczną (Białostocki, Farbisz, 2007). Pomiar oporu ośrodka gruntowego (rezystywności) podczas przepływu prądu opiera się na wykorzystaniu prawa Ohma (mierzony jest spadek potencjału elektrycznego na określonym odcinku obwodu, przez który przepływa prąd o znanym natężeniu). Przyjmując, że grunt jest substancją niejednorodną, składającą się z warstw o różnej budowie fizykochemicznej, niezachowującą tych samych wartości na większej przestrzeni, uważa się, że pomierzona rezystywność  $1\text{m}^3$  gruntu nie jest jego rezystywnością rzeczywistą, lecz pozorną. Podstawowa jednostka oporności elektrycznej to omometr  $[\Omega\text{m}]$ . Odwrotnością oporności jest przewodność elektryczna właściwa (konduktywność), wyrażana w simensach na metr  $[\text{S/m}]$ .

W warunkach terenowych pomiary oporności pozornej gruntu (rezystywności) są wykonywane na powierzchni terenu z użyciem źródła prądu wywołującego powstawanie potencjałów w punktach umieszczenia elektrod pomiarowych. Pomiary elektrooporowe przeprowadza się w różnych konfiguracjach elektrod, oznaczanych zwykle symbolami literowymi A, M, N, B, dobranych w zależności od postawionego zadania (Białostocki, Farbisz, 2007). Jeżeli do gruntu jednorodnego o rezystywności pozornej  $\rho$  doprowadzono

w punkcie A za pomocą jednopunktowej elektrody prąd stały, to będzie on rozprzyskał się z tego punktu promieniście wzdłuż linii prostych. Przyjmuje się, że prąd wprowadzony do gruntu za pomocą elektrod A i B przepływa przez półkulę o średnicy równej odległości między tymi elektrodami. Zatem oporność pozorna gruntu pomierzona z użyciem czterech elektrod jest opornością gruntu zawartego w tej półkuli. Przesuwając rozstaw elektrod A i B o kolejne punkty, zmienia się objętość półkuli, a tym samym głębokość warstwy mierzonej (fig. 3). Głębokość ta jest równa promieniowi półkuli i jest to odległość wynosząca  $0,5 AB$  (Ostaszewicz, 1991).

Metoda elektrooporowa polega na pomiarze prądu i napięcia w dwóch obwodach – zasilającym, który wytwarza pole, oraz pomiarowym (odbiorczym), którym mierzone są wielkości charakteryzujące wytworzone pole. Obwód zasilający składa się ze źródła prądu elektrycznego, przewodów doprowadzających prąd do elektrod zasilających A i B oraz miernika natężenia prądu przepływającego w całym obwodzie. Obwód pomiarowy tworzą elektrody pomiarowe M i N, przewody połączeniowe oraz miernik różnicy potencjałów (Dzwiniel, 1978). Przez zewnętrzne elektrody A i B przepływa prąd elektryczny o znanym natężeniu, a powstające w efekcie różnice potencjału są mierzone w dwóch punktach centralnych M i N.

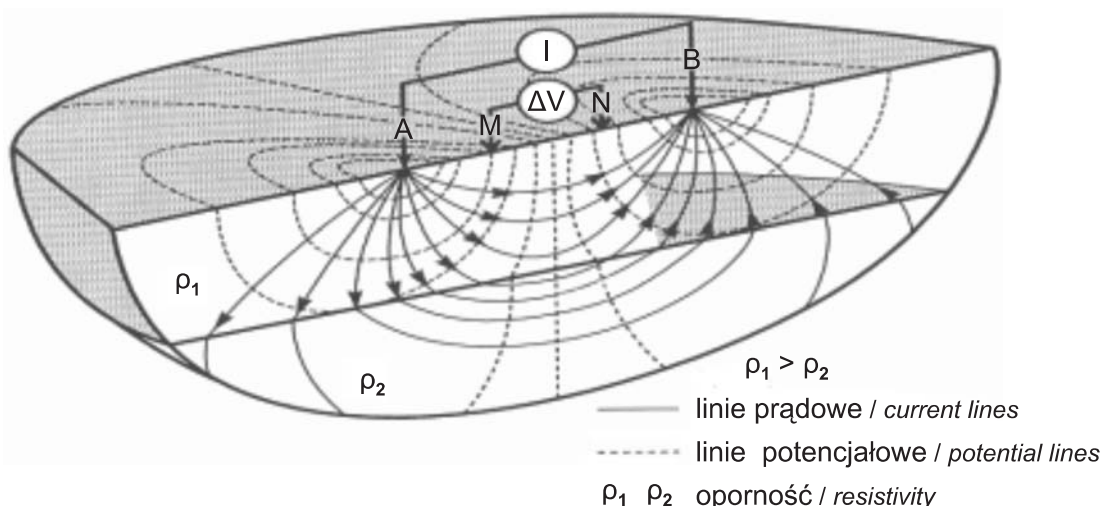
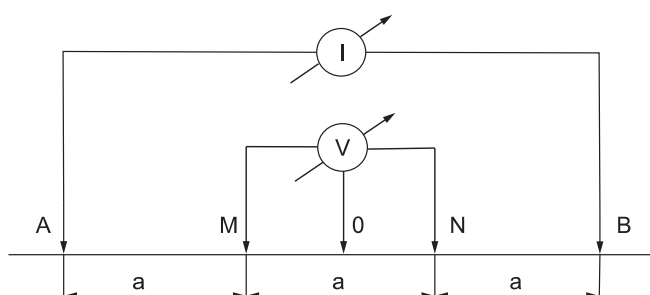


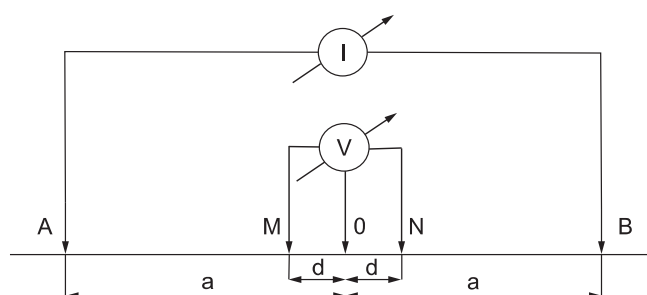
Fig. 3. Rozkład linii prądowych i potencjałowych przy zastosowaniu dwóch elektrod zasilających (A i B) oraz dwóch elektrod pomiarowych (M i N) (Knödel i in., 1997)

Distribution of current and potential lines with the uses of two power supply electrodes (A, B) and two measuring electrodes (M, N) (Knödel *et al.*, 1997)



**Fig. 4. Schemat układu pomiarowego Wennera (Weller i in., 2008). Objaśnienia w tekście**

Wenner measuring system (Weller *et al.*, 2008).  
Explanations in the text



**Fig. 5. Schemat układu Schlumbergera (Weller i in., 2008). Objaśnienia w tekście**

Schlumberger measuring system (Weller *et al.*, 2008).  
Explanations in the text

**Tabela 2**

**Klasyfikacja zagrożenia korozyjnego na podstawie oporności właściwej gruntu (PN-B-10703:1991)**

Classification of soil corrosion aggressiveness on the basis of soil corrosion resistance (PN-B-10703:1991)

Stopień zagrożenia korozyjnego	Oporność właściwa gruntu [ $\Omega\text{m}$ ]
Niski	> 100
Średni	100–20
Wysoki	20–10
Bardzo wysoki	< 10

Pomiary mogą być prowadzone w trzech wersjach metodycznych (Białostocki, Farbisz, 2007):

- sondowań geoelektrycznych,
- profilowań elektrooporowych,
- tomografii elektrooporowej.

W badaniach agresywności korozyjnej gruntu najczęściej stosowane są dwa układy elektrod:

- układ Wennera (fig. 4), w którym odległości  $a$  pomiędzy elektrodami A–M, M–N i N–B są równe, a elektrody

potencjałowe M i N znajdują się w odległości  $0,5a$  od środka układu;

- układ Schlumbergera (fig. 5), w którym elektrody potencjałowe M i N znajdują się w odległości  $0,5d$  od środka układu, a elektrody zasilające A i B w odległości  $a \geq 3d$ .

Badania rezystywności gruntu wykonane pod zabudowę gazociągów DN 700 PN 8,4 MPa relacji Szczecin–Lwówek oraz DN 700 MOP 8,4 relacji Szczecin–Gdańsk przeprowadzono, stosując metodę sondowań geoelektrycznych (SGE) w układzie Wennera, polegającą na pomiarze oporności pozornej jako funkcji zmiany rozstawu pomiarowego. Wielkościami podlegającymi pomiarom są: 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, dzięki czemu uzyskuje się informacje z coraz głębszych partii badanego ośrodka. Pomierzone w ten sposób zmiany oporu odzwierciedlają następstwo warstw o różnej oporności (Dzwiniel, 1978). Pomiaru dokonano na 2 poziomach głębokościowych: 1,6 m (odległość  $a = 2,0$  m) oraz 3,2 m (odległość  $a = 4,0$  m) (Dokumentacja..., 2010; Dokumentacja..., 2011).

## INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ

Na podstawie dokonanych pomiarów rezystywności gruntu zagrożenie korozyjne szacuje się zgodnie z kryteriami podanymi w tabeli 2 (Madryas i in., 2002).

Wyniki badań przeprowadzonych pod projektowane gazociągi przedstawiono na wykresach oporności elektrycznej gruntu (dla obu poziomów głębokościowych) względem kilometrażu gazociągów.

Na trasie gazociągu relacji Szczecin–Lwówek wykonano 1185 otworów wiertniczych (w odległościach co ok. 150 m) oraz 1645 pomiarów punktowych oporności gruntu na 2 poziomach głębokościowych (co ok. 250–300 m). Charaktery-

styczne wartości oporności uzyskane dla poszczególnych gruntów w wyniku pomiarów punktowych są następujące (Dokumentacja..., 2010):

- na głębokości 1,6 m:
  - grunty nieagresywne – średnio 580,1  $\Omega\text{m}$  (52,7% pomierzonych punktów);
  - grunty o podwyższonej agresywności – średnio 59,3  $\Omega\text{m}$  (47% pomierzonych punktów);
  - grunty agresywne – średnio 17,6  $\Omega\text{m}$  (jedynie 0,24% pomierzonych punktów);
- na głębokości 3,2 m:

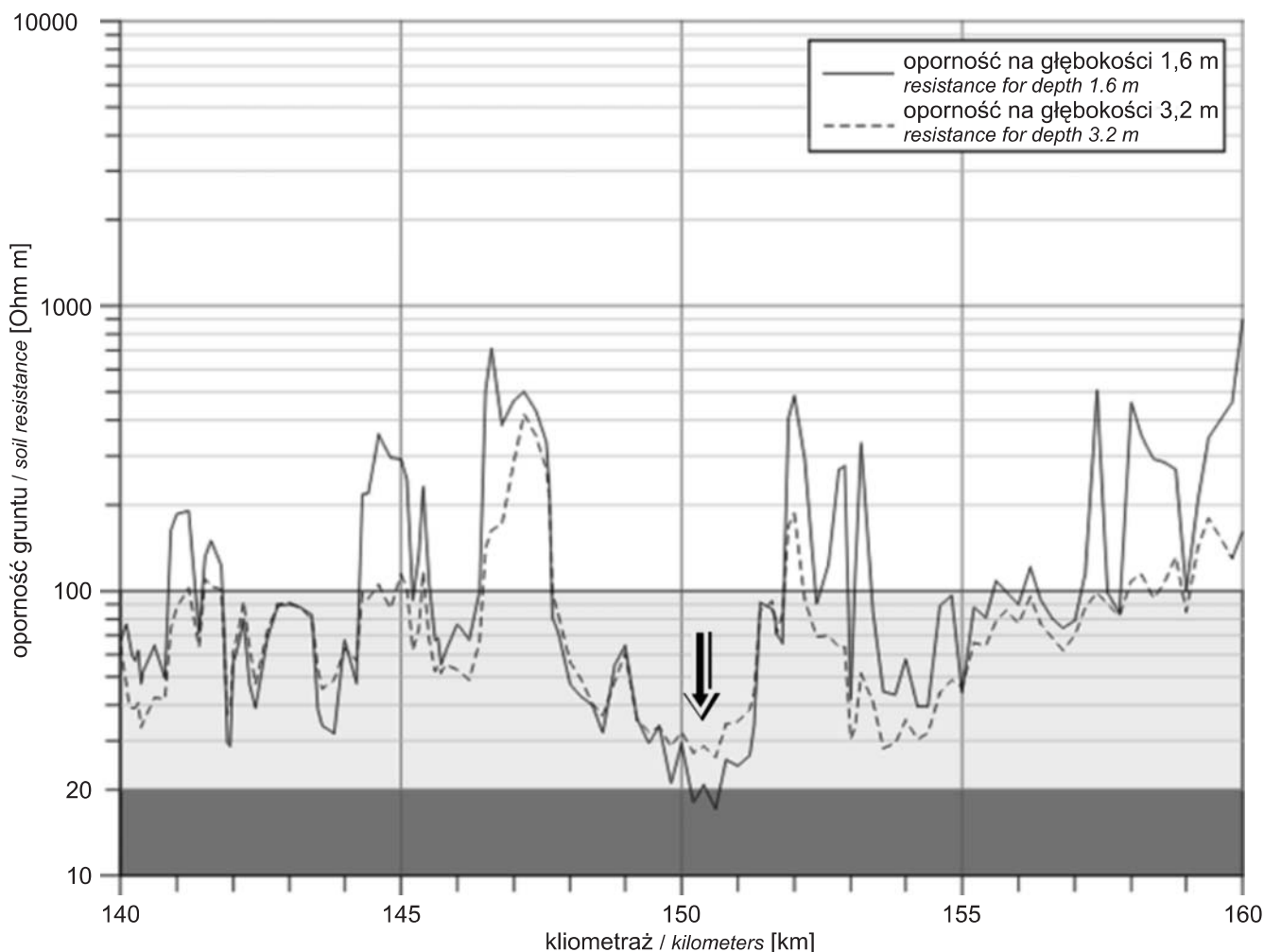
- grunty nieagresywne – średnio 399  $\Omega\text{m}$  (72% pomierzonych punktów);
- grunty o podwyższonej agresywności – średnio 64  $\Omega\text{m}$  (28% pomierzonych punktów);
- gruntów agresywnych na tej głębokości nie stwierdzono.

Na trasie projektowanego gazociągu relacji Szczecin–Gdańsk wykonano 1117 otworów wiertniczych (co ok. 50–250 m) na głębokościach od 3,50 do 12,0 m p.p.t. oraz 806 pomiarów punktowych oporności gruntu na 2 poziomach głębokościowych. W tym przypadku charakterystyczne wartości oporności poszczególnych gruntów są następujące:

- na głębokości 1,6 m:
  - grunty nieagresywne – średnio 493  $\Omega\text{m}$  (74,6% pomierzonych punktów);
  - grunty o podwyższonej agresywności – średnio 67,1  $\Omega\text{m}$  (25% pomierzonych punktów);
  - grunty agresywne – średnio 16,1  $\Omega\text{m}$  (jedynie 0,3% pomierzonych punktów);

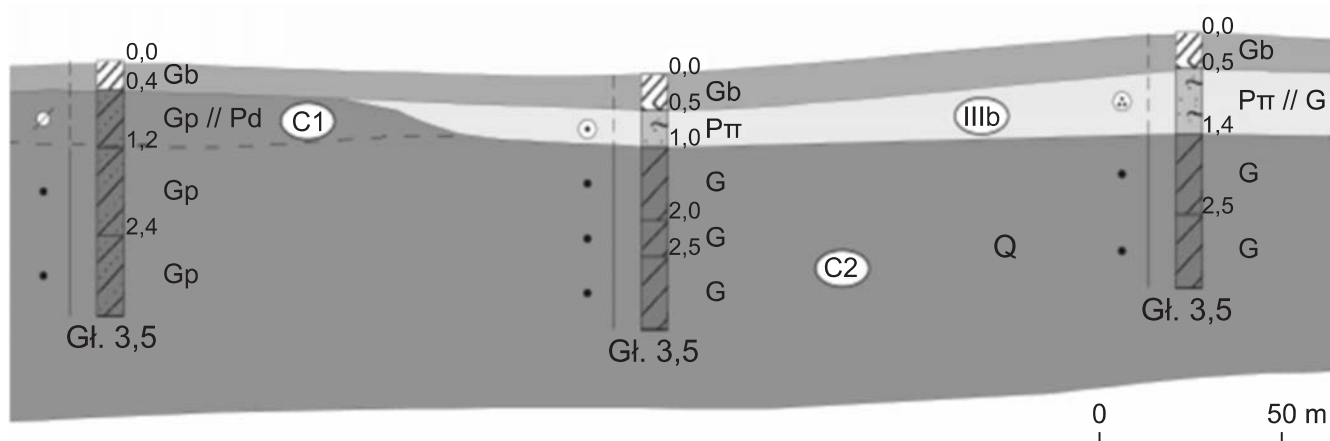
- na głębokości 3,2 m:
  - grunty nieagresywne – średnio 580,1  $\Omega\text{m}$  (52,7% pomierzonych punktów);
  - grunty o podwyższonej agresywności – średnio 59,3  $\Omega\text{m}$  (47% pomierzonych punktów);
  - grunty agresywne – średnio 17,6  $\Omega\text{m}$  (jedynie 0,24% pomierzonych punktów);
  - grunty agresywne – średnio 19,31  $\Omega\text{m}$  i (0,12% pomierzonych punktów).

Na [figurze 6](#) przedstawiono wyniki pomiarów oporności. Strefy niskich oporności (poniżej 20  $\Omega\text{m}$ ) wystąpiły na odcinku od 140+000 do 160+000 km, w szczególności w miejscu od 150+100 do 150+700 km. Badania makroskopowe oraz laboratoryjne gruntów wskazują, że składają się one w przeważającej części z piasków pylastych ( $P\pi$ ) o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,55$ , glin ( $G$ ) o stopniu plastyczności  $I_L = 0,20$  oraz glin piaszczystych ( $Gp$ ) o stopniu plastyczności  $I_L \leq 0,00$  ([fig. 7](#)). Na podstawie wyników oraz zgodnie



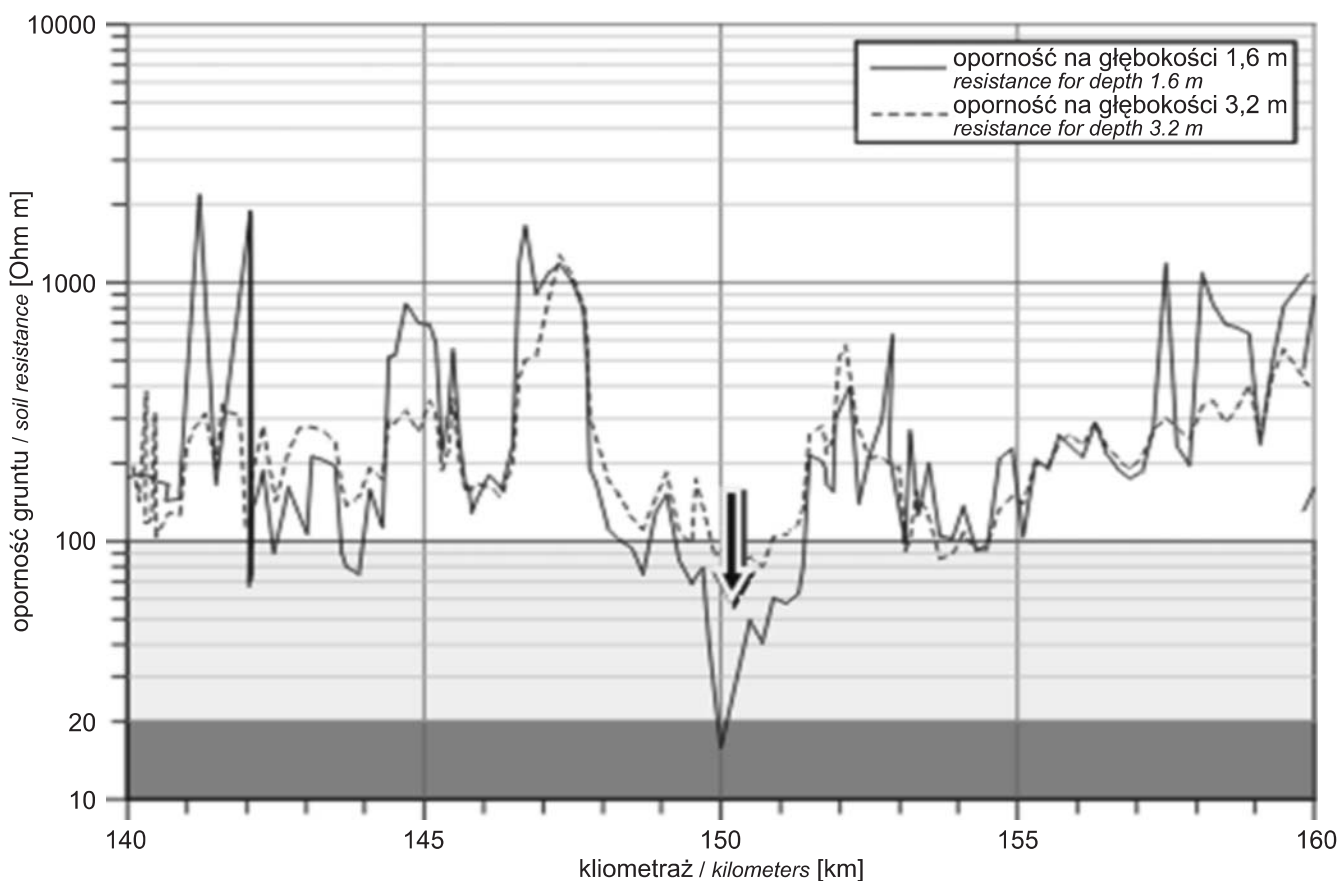
**Fig. 6.** Wykres oporności gruntu projektowanego gazociągu DN 700 PN 8,4 MPa relacji Szczecin–Lwówek na odcinku od km 140+000 do km 160+000. Miejsca wysokiej agresywności korozyjnej oznaczono strzałką (Dokumentacja..., 2010)

Plot of the soil resistance of the gas pipeline DN 700 PN 8.4 MPa Szczecin–Lwówek from km 140+000 to km 160+000. Areas of high corrosion aggressiveness are indicated with arrow (Dokumentacja..., 2010)



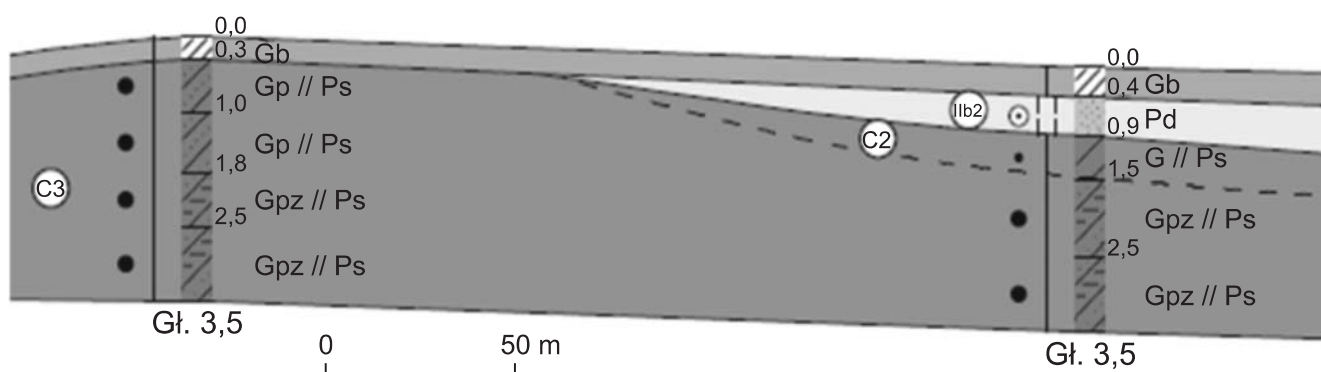
**Fig. 7. Przekrój geotechniczny pod projektowany gazociąg DN 700 PN 8,4 MPa relacji Szczecin–Lwówek w miejscach o podwyższonej agresywności korozyjnej (od km 150+100 do km 150+700) (Dokumentacja..., 2010). Oznaczenia gruntu wg PN-B-02480:1986**

Geotechnical section of the designed gas pipeline DN 700 PN 8.4 MPa Szczecin–Lwówek in areas of high corrosion aggressiveness (from km 150+100 to km 150+700) (Dokumentacja..., 2010). Symbols of soil according to PN-B-02480:1986



**Fig. 8. Wykres oporności gruntu projektowanego gazociągu DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk na odcinku od km 140+000 do km 160+000. Miejsca wysokiej agresywności korozyjnej oznaczono strzałką (Dokumentacja..., 2011)**

Plot of the soil resistance of the designed gas pipeline DN 700 MOP 8.4 MPa Szczecin–Gdańsk from km 140+000 to km 160+000. Areas of high corrosion aggressiveness are indicated with arrow (Dokumentacja..., 2011)



**Fig. 9. Przekrój geotechniczny pod projektowany gazociąg DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk na odcinku od km 149+000 do km 150+000 (Dokumentacja..., 2011). Oznaczenia gruntu wg PN-B-02480:1986**

Geotechnical section of the designed gas pipeline DN 700 MOP 8.4 MPa Szczecin–Gdańsk from km 149+000 to km 150+000 (Dokumentacja..., 2011). Symbols of soil according to PN-B-02480:1986

z wymienionymi wcześniej kryteriami, przedmiotowe miejsca zaklasyfikowano do miejsc o wysokim stopniu zagrożenia korozją (Dokumentacja..., 2010).

Na wykresach oporności na figurze 8 przedstawiono wyniki badań dla odcinka gazociągu relacji Szczecin–Gdańsk. Strefy niskich oporności (poniżej 20  $\Omega$ m) wystąpiły od 140+000 do 160+000 km. Opierając się na badaniach makroskopowych i laboratoryjnych gruntu stwierdzono, że są one zbudowane w przeważającej części z glin piaszczystych

o stopniu plastyczności  $I_L = 0,15$  przewarstwionych piaskami średnimi (Gp//Ps), glin piaszczystych zwięzłych o stopniu plastyczności  $I_L = 0,40$  przewarstwionych piaskami średnimi (Gpz//Ps) oraz piasków średnich (Ps) o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,45$ . Na podstawie wyników oraz zgodnie z kryteriami dotyczącymi oceny agresywności korozyjnej gruntów punkty te klasyfikuje się do miejsc o wysokim stopniu zagrożenia korozją (fig. 9) (Dokumentacja..., 2011).

## PODSUMOWANIE

Duży wpływ na przebieg procesu korozyjnego rurociągu ma środowisko elektrolityczne i jego aktywność korozyjna. Ocena aktywności korozyjnej służy m.in. do przygotowania korozyjnej charakterystyki gruntu, do wytyczenia trasy długich obiektów inżynierskich o konstrukcji stalowej oraz do projektowania środków ochrony antykorozyjnej. Aktywność korozyjna gruntów naturalnych zależy głównie od napowietrzenia, stopnia nawodnienia oraz zawartości substancji organicznych. Woda w gruntach we wszystkich swoich postaciach, rozpuszczając różne sole, tworzy agresywne elektrolity. Wzrost wilgotności i zasolenia powoduje zmniejszenie się oporności gruntu i jego podwyższoną agresywność korozyjną. Najbardziej korodująco na metale wpływają grunty pylaste, natomiast w przypadku gruntów piaszczystych wpływ nie zaznacza się. Grunty niebudowlane, zanieczyszczone odpadami przemysłowymi, są zawsze środowiskiem o dużej agresywności korozyjnej (Ostaszewicz, 1991).

Długie stalowe konstrukcje podziemne są często narażone na tzw. korozję wżerową, która rozwija się na skutek działania ogniw różnicowego napowietrzania lub elektrolizy powodowanej prądami błądzącymi. W takich przypadkach ocena agresywności analizy chemicznej próbek w laboratorium jest mało przydatna. Z uwagi na to zalecono do oceny

agresywności korzystać z pomiaru rezystywności gruntów (PN-E-05030-01:1990).

Badanie agresywności korozyjnej gruntu metodą elektrooporową w układzie 4-elektrodowym daje w przybliżeniu wartość całkowitej oporności właściwej gruntu na głębokości równej odstępowi między elektrodami. Pomiar umożliwia ustalenie zmienności pionowej i poziomej rezystywności gruntów lub warstw, przez które przechodzi instalacja podziemna.

Współczesne rurociągi zabezpiecza się przed korozją za pomocą odpowiednio dobranych powłok ochronnych, dobrze przylegającej do stalowego podłoża grubej warstwy dielektrycznej oraz ochrony katodowej, której zadaniem jest uniemożliwienie przebiegu procesów korozyjnych w miejscach uszkodzeń powłoki ochronnej. W przypadku rurociągów powłokami ochronnymi są ciężkie i grube warstwy bitumiczne bądź tworzywa sztuczne (zazwyczaj zbrojone w celu zwiększenia wytrzymałości mechanicznej), które tworzą barierę dielektryczną pomiędzy powierzchnią chronionego metalu a otaczającym go gruntem.

Badania stopnia zagrożenia korozyjnego gruntu pod projektowane gazociągi wysokiego ciśnienia DN 700 PN 8,4 MPa relacji Szczecin–Lwówek oraz DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk wykonano metodą elektrooporową w ukła-



dzie pomiarowym Wennera na 2 poziomach głębokościowych: 1,6 i 3,2 m. Za miejsca o wysokim stopniu zagrożenia korozyjnego uznano takie, w których oporność gruntu wyniosła poniżej 20  $\Omega\text{m}$ . W przypadku trasy gazociągu relacji Szczecin–Lwówek na głębokości 1,6 m średnia wartość oporności gruntu wyniosła 17,6  $\Omega\text{m}$ , stanowiąc 0,24% pomierzonych punktów, a na głębokości 3,2 m gruntów o wysokim stopniu agresywności nie stwierdzono. Na trasie gazociągu

relacji Szczecin–Gdańsk dla głębokości 1,6 m średnia wartość oporności wynosi 16,1  $\Omega\text{m}$ , stanowiąc jedynie 0,3% pomierzonych punktów, a na głębokości 3,2 m jest to odpowiednio 19,3  $\Omega\text{m}$  i 0,12%. Wyniki badań są podstawą w projektowaniu instalacji ochrony przeciwkorozyjnej, w doborze właściwych izolacyjnych pokryć ochronnych oraz projektowanych urządzeń.

## LITERATURA

- BIAŁOSTOCKI R., FARBISZ J., 2007 — Badania geoelektryczno-elektrooporowe. Stan aktualny i możliwości wykorzystania wyników. *Biul. Inf. Geofizyka*, 5: 28–41.
- DOKUMENTACJA geotechniczna oceniająca warunki gruntowo-wodne podłoża pod projektowany gazociąg wysokiego ciśnienia DN 700 MOP 8,4 MPa relacji Szczecin–Gdańsk, 2011. Przedsiębiorstwo Podstawowych Badań i Robót Geotechnicznych GEOSTANDARD Sp. z o.o., Wrocław.
- DOKUMENTACJA geotechniczna oceniająca warunki gruntowo-wodne podłoża pod projektowany gazociąg wysokiego ciśnienia DN 700 PN 8,4 MPa relacji Szczecin–Lwówek, 2010. Przedsiębiorstwo Podstawowych Badań i Robót Geotechnicznych GEOSTANDARD Sp. z o.o., Wrocław.
- DZWINEL J., 1978 — Geofizyka – metody geoelektryczne. Wydaw. Geol., Warszawa.
- KNÖDEL K., KRUMMEL H., LANGE G., 1997 — Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten. Band 3. Geophysik. Springer-Verlag, Berlin.
- MADRYAS C., KOLONKO A., WYSOCKI L., 2002 — Konstrukcja przewodów kanalizacyjnych. Oficyna Wydaw. Politech. Wrocław, Wrocław.
- OSTASZEWICZ J. (red.), 1991 — Ochrona elektrochemiczna przed korozją. WNT, Warszawa.
- PN-B-02480:1986 — Grunty budowlane. Określenia, symbole, podział i opis gruntów.
- PN-B-10703:1991 — Wodociągi. Przewody z rur żeliwnych i stalowych układanych w ziemi. Ochrona katodowa. Wymagania i badania.
- PN-E-05030-01:1990 — Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Metalowe konstrukcje podziemne. Wymagania i badania.
- PN-EN 10208-2:1999 — Rury stalowe przewodowe dla mediów palnych. Rury o klasie wymagań B.
- SUROWSKA B., 2002 — Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją. Politech. Lubelska, Lublin.
- WELLER A., LEWIS R., NIEDERLEITHINGER E., 2008 — Geophysikalische Verfahren zur Strukturerkundung und Schwachstellenanalyse von Flussdeichen – ein Handbuch. Forschungsbericht 281. Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), Berlin.

## SUMMARY

The paper presents selected results of estimation of soil corrosion aggressiveness on two designed gas pipelines: Szczecin–Lwówek and Szczecin–Gdańsk. The soil corrosivity can be related to the interaction of soil resistivity, soil pH and soil oxygen content. The most important factor in the soil aggressiveness is its resistivity. Evaluation of corrosion activity is used, inter alia, to prepare the corrosive charac-

teristics of the soil and the design of corrosion protection. Soil resistivity tests were performed with geophysical methods in the Wenner resistivity system. Selected examples of places where the measured resistance of the soil was less than 20 [ $\Omega\text{m}$ ] indicate high risk of corrosion. The paper presents also the results of interpretation of field research on soil resistivity.

