



**ELEKTROCHEMICZNE ASPEKTY KOROZJI**  
**W DEFECTACH IZOLACJI**  
**W PRZYPADKU OGRANICZONEGO DOSTĘPU TLENU**

**ELECTROCHEMICAL ASPECTS OF CORROSION**  
**IN ISOLATION DEFECTS IN CASE**  
**OF LIMITED OXYGEN CONCENTRATION**

Maciej Kalinowski

SPZP Corropol, ul. Elbląska 133A, 80-718 Gdańsk

Słowa kluczowe: defekt izolacji, korozja w defektach izolacji  
Keywords: isolation defect, corrosion in isolation defects

### **Streszczenie**

Uszkodzenie izolacji rurociągu daje uzasadnione podstawy do obaw o możliwość perforacji ścianki konstrukcji na skutek postępującej korozji. W referacie przedstawiono metodę obliczenia postępu korozji w defekcie izolacji rurociągu. Obliczenia przeprowadzono dla konkretnego przypadku nowo wybudowanego gazociągu DN700, w którym defekt izolacji wystąpił wewnątrz rury osłonowej, w warunkach ograniczonego dostępu tlenu. Przedstawiony został przyjęty model teoretyczny i jego założenia. W dalszej części omówiono niedoskonałości modelu, opisano czynniki wpływające na postęp korozji w glebie i wodach glebowych, a także przeprowadzono trójstopniową analizę ryzyka uszkodzenia konstrukcji.

### **Summary**

When the pipeline isolation is damaged, it is reasonable to be concerned about possibility of breakage of the pipeline as the result of progressing corrosion process. The paper presents the method of calculating progress of corrosion in isolation defects. Calculations were performed for real new built DN700 gas line with isolation defect inside casing line. i.e. in limited oxygen concentration conditions. Theoretical model used in calculation was presented and its assumption were described. In Limits of the model were discussed in further part of the paper. Factors that can increase or decrease corrosion rate in soil and soil waters were described and their impact was discussed. The risk of breaking the pipeline as a result of corrosion was evaluated using three-levels method.

## 1. Wstęp

Reakcje elektrochemiczne – a do tych należą reakcje korozyjne – podlegają dwóm podstawowym prawom: termodynamiki i kinetyki chemicznej.

Kinetyka informuje o tym jak szybko dana reakcja zachodzi w danych warunkach. Najprościej rzecz ujmując im bardziej układ jest oddalony od stanu równowagi kinetycznej (w którym reakcja w obydwie strony zachodzi z jednakową szybkością), tym proces będzie szybciej. Z kinetycznego punktu widzenia reakcja chemiczna może zajść wtedy, gdy energia substratów (czy to dostarczona do układu czy zgromadzona np. w postaci energii wiązań chemicznych) jest wystarczająca do pokonania bariery energetycznej zwanej energią aktywacji reakcji. Im więcej energii będą miały w sobie substraty, a zatem im dalej będą od stanu równowagi kinetycznej, tym reakcja przebiegnie szybciej.

Termodynamika z kolei informuje o możliwości przebiegu reakcji poprzez dane stadium z punktu widzenia trwałości składników rozpatrywanego układu. Upraszczając, termodynamika informuje o tym, jakie produkty reakcji są możliwe do otrzymania w danych warunkach.

Termodynamika i kinetyka niejako ograniczają się wzajemnie, regulując możliwość zachodzenia reakcji chemicznych w określonych warunkach. Na przykład: żelazo w środowisku kwasu solnego nigdy – nawet jeśli do układu dostarczona zostanie energia, która znacznie przekracza energię aktywacji – nie utworzy wodorotlenku żelaza(II), gdyż związek ten w niskich wartościach pH jest termodynamicznie nietrwały. Innym przykładem może być elektrolizer rtęciowy stosowany do produkcji chloru i wodorotlenku sodu. Pomimo polaryzacji elektrody rtęciowej do bardzo niskich potencjałów ujemnych, w których powinno się obserwować wydzielanie wodoru, na elektrodzie wydziela się sól. Dzieje się tak dlatego, że proces redukcji sodu jest kinetycznie faworyzowany i na elektrodzie rtęciowej przebiega szybciej. Wydzielanie wodoru w tych warunkach jest termodynamicznie możliwe, ale przebiega tak wolno, że proces uznaje się za kinetycznie zablokowany.

Poznanie i zrozumienie praw rządzących termodynamiką i kinetyką reakcji elektrochemicznych jest konieczne do właściwej analizy i oceny zjawisk towarzyszących korozji konstrukcji stalowych.

Niniejszy referat sprowokowany został przez pewne zapytanie, które wpłynęło do SPZP Corpol. Zleceniodawca chciał uzyskać informację o głębokości ubytków korozyjnych w defektach izolacji rury przewodowej biegnącej w rurze osłonowej. Sprawę komplikuje fakt, że rura przewodowa została niedokładnie wypełniona masą uszczelniającą, przez co wewnątrz doszło do gromadzenia się elektrolitu glebowego.

## 2. Opis obiektu oraz przyjęte założenia

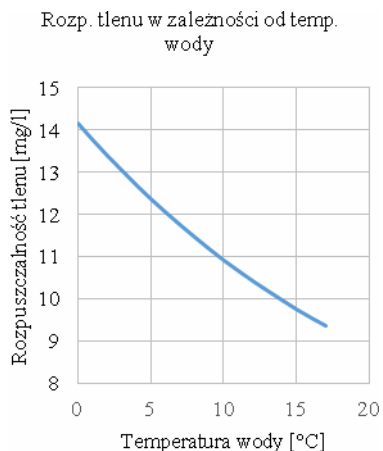
Rozważania dotyczą gazociągu DN700, o grubości ścianki wynoszącej 12,5 mm, zakopanego na średniej głębokości 2 m. Do obliczeń przyjęto następujące parametry rurociągu i środowiska elektrolitycznego, podane przez zleceniodawcę:

- powierzchnia defektów izolacji:
  - 1 cm<sup>2</sup>,
  - 10 cm<sup>2</sup>,
  - 100 cm<sup>2</sup>,
- objętość elektrolitu wynosi 100 l,

- głębokość zakopania rurociągu 2 m,
- odczyn pH elektrolitu glebowego zawiera się w przedziale 5 do 8.

Odczyn pH elektrolitu glebowego wskazuje na brak silnych kwasów. Stosunkowo niska dolna granica może wskazywać na obecność substancji o charakterze kwasowym (rozpuszczony ditlenek węgla, siarkowodór, itp.). Ponieważ jednak dokonanie analizy składu elektrolitu jest niemożliwe, przyjęto, że jedynym czynnikiem korozyjnym w omawianym roztworze jest rozpuszczony w nim tlen. Negatywny wpływ innych substancji pominięto.

Rozpuszczalność tlenu w wodzie silnie zależy od jej temperatury, przy czym zależność ta jest odwrotnie proporcjonalna. Średnia temperatura gleby na głębokości 2 m w ciągu roku waha się od 3,5 do 15°C, przy czym najwięcej tlenu rozpuści się w elektrolicie o temperaturze 3,5°C i to dla tej temperatury, jako najbardziej agresywnej (rozp. tlenu 12,9 mg/l) [1], przeprowadzono obliczenia. Rozpuszczalność tlenu w zależności od temperatury wody przedstawia rys. 1, zamieszczony obok. Z uwagi na brak danych o składzie chemicznym założono maksymalną rozpuszczalność tlenu (w rzeczywistości zależy ona również od ilości innych rozpuszczonych substancji).



Rys. 1. Rozpuszczalność tlenu w wodzie w zależności od jej temperatury [1]

Uwzględniając powyższe rozważania, stworzono teoretyczny model obiektu, który posłużył do dalszych obliczeń. Założenia przyjęte w modelu:

- korozji ulega tylko powierzchnia gazociągu w defektach izolacji (rura osłonowa posiada doskonałą izolację),
- rozwój ubytków korozyjnych postępuje jedynie w głąb odsoniętej powierzchni,
- powierzchnia gazociągu traktowana jest jako swobodnie korodująca stal bez wpływu ochrony katodowej,
- potencjał swobodny korodującej stali przyjęto jako równy -0,3 V wzgl. standardowej elektrody wodorowej (SEW),
- dopływ świeżego elektrolitu glebowego nie występuje,
- odczyn pH elektrolitu uśredniono do wartości 6,5,
- założono maksymalną rozpuszczalność tlenu w elektrolicie,
- ilość tlenu w elektrolicie glebowym w temp. 3,5°C wyniesie 1290 mg,
- wpływ innych korozyjnych substancji pominięto,
- założono, że reakcje przebiegają stechiometrycznie.

### 3. Mechanizm korozji, diagram Pourbaix

Proces korozji stali charakteryzuje się znacznym oddaleniem od stanu równowagi kinetycznej – energia sieci krystalicznej metalicznego żelaza jest wystarczająca do pokonania

bariery energetycznej tworzenia wodorotlenków i tlenków żelaza, składników rdzy. Oczywiście jest zatem, że, bez właściwej ingerencji, konstrukcje stalowe będą korodować.

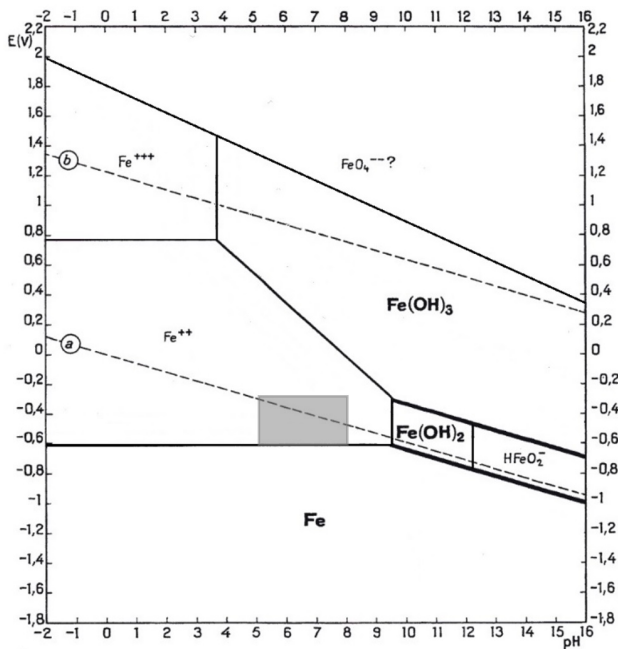
Korozja żelaza jest również faworyzowana termodynamicznie. W warunkach bez dodatkowej polaryzacji, związki żelaza (tlenki, wodorotlenki, sole) są znacznie trwalsze termodynamicznie niż samo żelazo.

Zależności termodynamicznej trwałości produktów korozji metalu od pH i potencjału zestawiono w diagramy Pourbaix, niezwykle użyteczne narzędzie przy szacowaniu przebiegu procesu korozji.

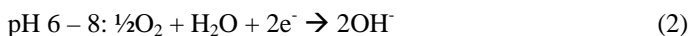
Diagram Pourbaix składa się z dwóch głównych części:

- linii termodynamicznej trwałości wody – linie a i b na rys. 2. – pomiędzy, którymi woda jest termodynamicznie trwała w analizowanych warunkach. Powyżej linii a następuje wydzielanie tlenu, poniżej linii b – wodoru,
- linii rozgraniczających obszary termodynamicznej trwałości poszczególnych związków danego metalu w analizowanych warunkach.

Z zamieszczonego obok diagramu Pourbaix dla żelaza w środowisku wodnym wynika, że w analizowanych warunkach (pH = 6,5, potencjał = -0,3 V wzgl. SEW) należy spodziewać się korozji do postaci jonów  $Fe^{2+}$ . W warunkach niewielkiej polaryzacji katodowej w przedziale pH 9,5–12 możliwe jest tworzenie wodorotlenku żelaza(II), który wykazuje pewne właściwości zabezpieczające przed korozją. Z diagramu wynika również, że zasadne jest uśrednienie pH do wartości 6,5, gdyż w przedziale 5–8, dla potencjału -0,3 V – lub niższych – wzgl. SEW (zaznaczony obszar) jedynym produktem korozji są jony żelaza 2+, reakcja przebiega zatem niezależnie od pH. Inaczej przebiega katodowa reakcja redukcji tlenu, ale stechiometria (ilość tlenu wynikająca z równania reakcji) pozostaje taka sama:



Rys. 2. Uproszczony diagram Pourbaix dla żelaza korodującego w wodzie [2]

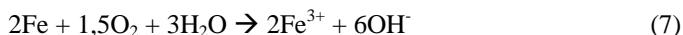
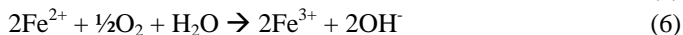


Z uwagi na zakres pH 5–8 rozpatrywana jest jedynie reakcja depolaryzacji tlenu. Analizowany zakres pH jest zbyt wysoki aby możliwa była korozja żelaza z depolaryzacją wodorową. Zaznaczyć należy, że ilość żelaza wykorodowanego w reakcji anodowej jest proporcjo-

nalna do ilości zużytego w procesie katodowym tlenu. Wynika to ze specyficznej natury reakcji elektrochemicznych, zgodnie z którą reakcja anodowa i katodowa zawsze bieżą z taką samą szybkością. Jeśli reakcja katodowa – na skutek wyczerpania tlenu – zostanie wyeliminowana, automatycznie przestanie zachodzić reakcja anodowa. W analizowanym przypadku korozja przebiegać będzie zgodnie z równaniami reakcji elektrodowych (3) i (4).



Ponieważ jednak związki żelaza(II) są nietrwałe i w obecności tlenu utleniają się do związków żelaza(III), reakcja (5) biegnie dalej, powodując dalszą konsumpcję tlenu:



Przy założeniu stechiometrycznego (zgodnego z równaniami reakcji) przebiegu reakcji, po zużyciu 1290 mg tlenu, zgodnie z równaniem reakcji (5) lub (7) ze stali wykoroduje:

Tabela 1. Masa wykorodowanego żelaza w zależności od przebiegu reakcji

Przebieg reakcji	Masa wykorodowanego żelaza [g]
Na podstawie równania (5)	4,51
Na podstawie równania (7)	3,01

$$m_{\text{Fe}} = \frac{M_{\text{Fe}} \cdot M_{\text{O}_2}}{\frac{M_{\text{O}_2}}{2}} \quad (8)$$

gdzie:

$m_{\text{Fe}}$  – masa wykorodowanego żelaza [g],

$M_{\text{Fe}}$  – masa molowa żelaza = 56 [g/mol],

$m_{\text{O}_2}$  – zawartość tlenu w elektrolicie glebowym [g],

$M_{\text{O}_2}$  – masa molowa tlenu = 32 [g/mol].

Znając masę wykorodowanego żelaza można wyliczyć głębokość ubytku korozyjnego w zależności od powierzchni defektu:

Tabela 2. Głębokość ubytków korozyjnych w zależności od rozmiaru defektu

Powierzchnia defektu [cm <sup>2</sup> ]	Głębokość ubytku [mm]	
	na podstawie reakcji (5)	Na podstawie reakcji (7)
1	5,7	3,8
10	0,57	0,38
100	0,057	0,038

$$g = \frac{10 \cdot m_{Fe}}{\rho \cdot S} \quad (9)$$

gdzie:

g – głębokość ubytku w powierzchni rury przewodowej [mm],

$\rho$  – gęstość żelaza = 7,87 [g/cm<sup>3</sup>],

S – powierzchnia ubytku [cm<sup>2</sup>].

#### 4. Komentarz do wyniku

Z obliczeń wynika, że maksymalna głębokość ubytku korozyjnego przy defekcie o powierzchni 1 cm<sup>2</sup> wynosi 5,7 mm, co nie stanowi zagrożenia dla ścianki gazociągu o grubości 12,5 mm.

Ponieważ reakcje korozyjne nie są procesami równowagowymi kinetycznie, nigdy nie przebiegają do końca, a przez to nie przestrzegają ściśle stechiometrii (nie przebiegają do końca zgodnie z równaniami). Zatem faktyczna głębokość ubytków plasować się będzie pomiędzy wartością maksymalną i minimalną.

Pamiętać należy, że wyniki otrzymano na podstawie analizy modelu, który posiada szereg ograniczeń wynikających z braku możliwości ilościowego ujęcia szeregu czynników mających wpływ na postęp korozji. W wielu przypadkach możliwe jest jedynie oszacowanie prawdopodobieństwa wystąpienia danego zjawiska.

W dalszej części przeanalizowano możliwość wystąpienia perforacji ścianki rurociągu stosując trójstopniową ocenę prawdopodobieństwa wystąpienia danego czynnika oraz jego wpływu na wzrost/zmniejszenie zagrożenia.

#### 5. Weryfikacja modelu: czynniki zmniejszające postęp korozji

Szacując możliwość wystąpienia perforacji ścianki, założenia modelu należy zweryfikować pod kątem wystąpienia czynników zmniejszających postęp korozji i uzupełnić o te pominięte w założeniach:

##### 1. Korozja rury osłonowej

Założono, że rura osłonowa posiada doskonałą izolację od strony wewnętrznej. Bardziej prawdopodobne jest jednak, że posiada ona defekty lub wręcz powierzchnia wewnętrzna rury osłonowej nie jest w ogóle zabezpieczana powłoką. W takim przypadku, powierzchnia rury osłonowej stykająca się z elektrolitem jest nieporównywalnie większa niż powierzchnia odsłoniętego rurociągu i to ona zużyje przeważającą większość tlenu, korodując równomiernie.

Dodatkowo, korodująca rura osłonowa dostarczać będzie do środowiska dodatkowe jony Fe<sup>2+</sup>, które, nie tylko przyspieszą zużywanie tlenu, ale również spowodują wysycenie elektrolitu, co zaowocuje przesunięciem równowagi reakcji roztwarzania żelaza z rury przewodowej.

Możliwa jest jednak sytuacja, w której elektrolit gębawy nagromadzi się w pobliżu gazociągu z defektem izolacji, ale od rury osłonowej będzie oddzielony warstwą masy uszczelniającej, przez co rura osłonowa nie będzie miała z nim kontaktu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia: średnie, zmniejszenie zagrożenia: wysokie.

2. **Rozwój korozji dookoła ubytku**  
Założono, że korozja postępuje jedynie w głąb materiału. W rzeczywistości ubytki korozyjne, powodowane korozją równomierną, rozwijają się zawsze na całej dostępnej powierzchni, a więc początkowo w głąb materiału, a następnie dookoła ubytku. Powoduje to, co prawda, zwiększenie powierzchni ubytku, ale znacznie oddala niebezpieczeństwo perforacji ścianki rurociągu  
Prawdopodobieństwo wystąpienia: wysokie, zmniejszenie zagrożenia: średnie.
3. **Obecność szczątkowej ochrony katodowej**  
Przyjęto, że do rurociągu nie dociera prąd ochrony katodowej. W rzeczywistości występuje jednak przesunięcie potencjału omawianego fragmentu rurociągu w kierunku ujemnym. Wartość tego przesunięcia jest nieznaną (z uwagi na brak elektrody odniesienia w rurze osłonowej, brak jest możliwości zmierzenia potencjału gazociągu), ale wiadomo, że istnieje. Oznacza to obecność szczątkowej ochrony katodowej, która powoduje częściową ochronę konstrukcji. Niepełną, ale wystarczającą do zmniejszenia postępu korozji.  
Prawdopodobieństwo wystąpienia: wysokie, zmniejszenie zagrożenia: niskie.
4. **Zmniejszona rozpuszczalność tlenu w elektrolicie glebowym**  
Założono maksymalną rozpuszczalność tlenu, przyjmując, że elektrolit glebowy wolny jest od innych substancji. W rzeczywistości w wodach glebowych znajduje się szereg związków (o różnym wpływie na postęp korozji), których obecność powoduje tzw. efekt wysolenia, na skutek którego ilość gazów rozpuszczonych w wodzie maleje proporcjonalnie do ilości substancji. Mniejsza ilość tlenu przekłada się na mniejszą głębokość ubytków korozyjnych.  
Prawdopodobieństwo wystąpienia: wysokie, zmniejszenie zagrożenia: niskie.
5. **Obecność substancji mających wpływ na zmniejszenie postępu korozji**  
Na skutek obecności ochrony katodowej (oraz samego procesu korozji) warstwa elektrolitu tuż przy powierzchni metalu ulega alkalizacji (w reakcji redukcji tlenu powstają jony  $\text{OH}^-$ ). Po osiągnięciu wartości pH przekraczających 9,5 na powierzchni stali zaczynają wytrącać się związki wapnia i magnezu (głównie węglany), a także wodorotlenek żelaza(II). Obecność soli wapnia i magnezu oraz rozpuszczonego ditlenku węgla w elektrolicie glebowym jest praktycznie pewna, wytrącanie osadów rozpoczyna się już przy osiągnięciu pH rzędu 9,5, co w warunkach obecności szczątkowej ochrony katodowej jest bardzo możliwe do uzyskania. Niestety stracone substancje są rozpuszczalne w roztworach o pH poniżej 9,5. Wzrost kwasowości środowiska spowoduje wypłukanie warstwy ochronnej.  
Prawdopodobieństwo wystąpienia: wysokie, zmniejszenia zagrożenia: niskie
6. **Odczyn pH elektrolitu**  
Odczyn pH elektrolitu zawiera się w przedziale 5 – 8. Wyniki te uzyskano badając pH ekstraktu glebowego. Możliwe jest, że pH elektrolitu w rurze osłonowej jest wyższe niż 8. W takim przypadku tworzenie warstw ochronnych zachodzić będzie szybciej, a ich stabilność będzie większa.  
Prawdopodobieństwo wystąpienia: niskie, zmniejszenie zagrożenia: niskie do średniego.
7. **Deficyt tlenu w elektrolicie glebowym**  
Gleba jest tworem niejednorodnym, nie można zatem wykluczyć jej częściowego lub całkowitego odtlenienia. Nawet jeśli grunt został natleniony podczas montażu gazociągu, to tlen mógł zostać zużyty w procesach biologicznych i chemicznych przebiega-

jących w glebie. Dodatkowo zagęszczone grunty natleniają się bardzo powoli. W przypadku odtlenienia gruntu, odtleniony zostałby także elektrolit glebowy, co przełożyłoby się na znaczne ograniczenie agresywności korozyjnej roztworu.

Prawdopodobieństwo wystąpienia: niskie do średniego, zmniejszenie zagrożenia: średnie do wysokiego.

## 6. Weryfikacja modelu: czynniki zwiększające szybkość korozji

Model zweryfikowano i uzupełniono również pod kątem czynników zwiększających postęp korozji:

### 1. Dopływ świeżego elektrolitu glebowego

Przyjęto, że dopływ elektrolitu nie występuje, w rzeczywistości, na skutek dyfuzji, występować będzie ciągły dopływ świeżego elektrolitu, a wraz z nim świeżych porcji tlenu, który będzie brał udział w procesie korozji. Po pewnym czasie powierzchnia rurociągu pokryje się warstwą osadów produktów korozji, która częściowo zabezpieczy materiał i ograniczy dopływ agresywnego medium.

Prawdopodobieństwo wystąpienia: wysokie, zwiększenie zagrożenia: niskie

### 2. Obecność substancji wpływających na zwiększenie postępu korozji

W elektrolicie glebowym obecne mogą być substancje, które zwiększają jego korozyjność. Jony chlorkowe (w stężeniu do 3,5% mas.) powodują wzrost rozpuszczalności tlenu. Jednocześnie zwiększają one przewodnictwo roztworu, stwarzając warunki do rozwoju korozji.

Oprócz jonów chlorkowych w elektrolicie obecna może być też duża ilość rozpuszczonego ditlenku węgla, która przekładać się będzie na zmniejszenie pH roztworu czyli wzrost jego agresywności korozyjnej. Nie można też wykluczyć obecności siarczanów(VI), które przy braku tlenu sprzyjają rozwojowi bakterii beztlenowych.

Prawdopodobieństwo wystąpienia: średnie, zwiększenie zagrożenia: średnie

### 3. Odczyn pH elektrolitu

Nie można wykluczyć obecności w elektrolicie substancji zmniejszających jego pH poniżej 5 (ditlenek węgla, kwasy nieorganiczne, organiczne, substancje hydrolizujące z odczynem kwasowym). Im pH jest niższe tym agresywność korozyjna roztworu jest większa. Dodatkowo przy niskich pH zaczyna przeważać katodowa reakcja redukcji jonów wodorowych do wodoru, co może prowadzić do wnikania gazu w głąb stali i powodować osłabienie jej właściwości mechanicznych (nawodowanie i korozja wodorowa).

Prawdopodobieństwo wystąpienia: niskie do średniego, zwiększenie zagrożenia: średnie do wysokiego.

### 4. Obecność bakterii beztlenowych i/lub tlenowych

Bakterie beztlenowe w wyniku przemiany materii wytwarzają siarkowodor, który rozpuszczając się w wodzie tworzy kwas siarkowodorowy, wykazujący silne właściwości korozyjne. Dodatkowo zagrożenie zwiększa obecność bakterii tlenowych, które utleniają kwas siarkowodorowy do kwasu siarkowego(VI). Jednoczesne rozwinięcie się dwóch typów bakterii w tym samym obszarze gruntu jest jednak mało prawdopodobne, ponieważ warunki bytowe organizmów jednego typu są niekorzystne dla drugiego.



Produkty przemiany materii bakterii beztlenowych są groźne dla konstrukcji stalowych, ale do rozwinięcia się wymagają one jednoczesnego spełnienia dwóch warunków: braku obecności tlenu, oraz obecności w glebie siarczanów(VI) lub organicznych związków siarki. O ile odlenienie gleby jest dość prawdopodobne, o tyle nagromadzenie związków siarki już mniej, ponieważ podczas budowy gazociągów do ich zasypywania stosuje się specjalnie przygotowane piaski, wolne od zanieczyszczeń. Pojawienie się bakterii beztlenowych należy rozważać w przypadku starszych konstrukcji, przebywających pod ziemią od dłuższego czasu. Prawdopodobieństwo wystąpienia: niskie do średniego, zwiększenie zagrożenia: wysokie.

## 7. Zestawienie czynników

Czynniki wraz z ich wpływem zestawiono i przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie czynników wpływających na postęp korozji wraz z prawdopodobieństwem ich wystąpienia i wpływem jaki wywołują

Lp.	Czynnik	Prawdopodobieństwo wystąpienia	Zmniejszenie/zwiększenie zagrożenia
Czynniki zmniejszające zagrożenie wystąpienia uszkodzenia			
1.	Korozja rury przewodowej	średnie	duże
2.	Rozwój korozji dookoła ubytku	wysokie	średnie
3.	Obecność szczątkowej ochrony katodowej	wysokie	niskie
4.	Zmniejszona rozpuszczalność tlenu w elektrolicie glebowych	wysokie	niskie
5.	Obecność substancji zmniejszających postęp korozji	wysokie	niskie
6.	Zwiększone pH elektrolitu	niskie	niskie do średniego
7.	Deficyt tlenu w elektrolicie glebowym	niskie do średniego	średnie do wysokiego
Czynniki zwiększające ryzyko powstania uszkodzenia			
1.	Dopływ świeżego elektrolitu	wysokie	niskie
2.	Obecność substancji zwiększających postęp korozji	średnie	średnie
3.	Obniżenie pH elektrolitu	niskie	średnie do wysokiego
4.	Obecność bakterii beztlenowych	niskie do średniego	średnie do wysokiego
5.	Jednoczesna obecność bakterii beztlenowych i tlenowych	niskie	wysokie

Zestawiając wszystkie opisane czynniki staje się widoczne, że przeważają czynniki zmniejszające postępy korozji. Prawdopodobieństwo ich wystąpienia jest dość wysokie, efekt jaki niosą niski, ale kumulacja kilku z nich skutecznie może przyczynić się do zmniejszenia zagrożenia spowodowanego korozją.

W przypadku czynników zwiększających postęp korozji jest odwrotnie – najgroźniejsze występują z najmniejszym prawdopodobieństwem. Nie można ich jednak wykluczać z uwagi na znaczne ryzyko jakie niosą.

## 8. Podsumowanie

Okazuje się, że nawet tak proste zagadnienie jak ocena ubytku korozyjnego w defekcie izolacji rurociągu może okazać się skomplikowanym problemem. Udzielenie jednoznacznej odpowiedzi o zagrożeniach jakie niesie ze sobą nie jest możliwe, zwłaszcza przy ograniczonej ilości danych.

Jednoznaczna ocena zagrożenia korozyjnego powinna opierać się na trudnych do wykonania, a przez to kosztownych badaniach składu chemicznego elektrolitu glebowego.

Przy obliczaniu postępu korozji można posłużyć się modelem, ale – jak zostało zaprezentowane – nie obejmuje on wszystkich aspektów korozji stali w glebie. Najistotniejszą wadą prezentowanego podejścia jest pominięcie zjawisk mogących skutkować najbardziej negatywnym wpływem na korodującą konstrukcję. Niestety model teoretyczny obejmuje jedynie te aspekty, które można ująć ilościowo i przeliczyć, wszystkie pozostałe możliwe są do ujęcia tylko jakościowo, a prawdopodobieństwo ich wystąpienia i wpływ można jedynie oszacować. Aby oszacowanie było wiarygodne, wymaga się od osoby oceniającej nie tylko posiadania specjalistycznej wiedzy, ale również doświadczenia w pracy z podobnymi przypadkami, wiedzy praktycznej na temat podobnych przypadków i możliwości wystąpienia analizowanych czynników, zwłaszcza tych najbardziej niebezpiecznych.

## Podziękowania

Pragnę serdecznie podziękować starszym kolegom z SPZP Corropol za inspiracje oraz wsparcie merytoryczne udzielone podczas powstawania niniejszego referatu – za ogromną pomoc udzieloną na każdym etapie powstawania referatu, zwłaszcza za wsparcie edytorskie, wszelkie uwagi i poprawki, które umożliwiły powstanie opracowania w ostatecznym kształcie, a także liczne wskazówki i sugestie dotyczące właściwego ujęcia przedmiotu opracowania.

## Literatura

- [1] Zienkowicz J. (red.), *Kalendarz chemiczny, cz. 1 ogólna*, Państwowe Wydawnictwo Techniczne, Warszawa 1954.
- [2] Pourbaix M., *Wykłady z korozji elektrochemicznej*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1978.
- [3] Baeckmann W., Schwenk W., *Katodowa ochrona metali*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 1976.
- [4] Baszkiewicz J., Kamiński M., *Korozja materiałów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.