

tom 65
8 • 2022
sierpień

ISSN 0473-7733
e-ISSN 2449-9501

cena 44 zł (w tym 8% VAT)

MIESIĘCZNIK

ochrona przed korozją

Corrosion Protection



WYDAWNICTWO
SIGMA-NOT

Corropol[®]
Sp. z o.o.

Specjalistyczne Przedsiębiorstwo
Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych Spółka z o.o.
ul. Elbląska 133A, 80-718 Gdańsk,
Centrala, sekretariat: 58 300 9000
e-mail: info@corrpol.pl



Inżynieria korozyjna, w tym ochrona katodowa konstrukcji podziemnych oraz zanurzonych w wodzie:

- rurociągów, zbiorników, oruowań studni,
- infrastruktury przemysłowej i miejskiej,
- wymienników ciepła, maszyn flotacyjnych,
- budowli hydrotechnicznych,
- jednostek pływających, doków, nabrzeży,
- zbrojenia konstrukcji żelbetowych,
- elektrochemiczna modyfikacja środowiska korozyjnego.
- badania, ekspertyzy,
- nadzory,
- doradztwo techniczne, szkolenia,
- projektowanie,
- kompleksowe wykonawstwo systemów,
- produkcja podzespołów,
- serwis.

www.corrpol.pl

JUŻ 35 LAT NA RYNKU



To już 30 LAT Współpracy

W RAMACH DOSTAW
I USŁUG DLA BEZPIECZEŃSTWA
ENERGETYCZNEGO

WYŁĄCZNY DYSTRYBUTOR
W POLSCE:



ZAPRASZAMY DO ZAPOZNANIA
SIĘ Z NOWĄ GAMĄ
PRODUKTÓW I USŁUG:

- Naprawa istniejących rurociągów i zbiorników materiałami kompozytowymi
- Akcesoria i zabezpieczenia dla przekroczeń bezwykopowych
- Powłoki poliuretanowe typu PUR
- Opaski termokurczliwe
- Systemy taśmowe
- Materiały wiskoelastyczne
- Płyzy dystansowe
- Anody i elektrody odniesienia
- Zdalny monitoring dla ochrony katodowej

NOWOŚĆ!

Zabezpieczenie połączeń
spawanych powłoką SFPC®
SOLIDE PP w technologii „PU-PP”



(+48) 61 826 36 26



agcor@agcor.pl
www.agcor.pl



ul. Strzeszyńska 67c/16
60-479 Poznań

REDAKCJA / EDITORIAL OFFICE: ul. Chopina 6, pok. 202,
44-100 Gliwice, tel.: 32 231 02 24 • www.ochronaprzedkorozja.pl
e-mail: redakcja@ochronaprzedkorozja.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL STAFF:

Redaktor Naczelna: dr hab. inż. Małgorzata Zubielewicz
Z-ca Red. Naczelnej: mgr Małgorzata Śmieszek-Glanc
Redaktorzy tematyczni: prof. dr hab. inż. Janusz Flis,
prof. dr hab. inż. Danuta Kotnarowska,
dr inż. Agnieszka Królikowska,
dr hab. inż. Ginter Nawrat, dr inż. Wojciech Sokólski,
prof. dr hab. inż. Adam Zybura
Redakcja językowa: Expressis Verbis – jęz. pol.
Redaktor językowy: mgr Grzegorz Sosna – jęz. ang.
Redaktor statystyczny: mgr inż. Anna Trams

RADA NAUKOWA / SCIENTIFIC COUNCIL:

Przewodniczący: prof. dr hab. inż. Witold Gnot, *Polska*
Wiceprzewodniczący: prof. dr hab. Henryk Bała, *Polska*
prof. Idalina Vieira Aoki, *Brazylia*
dr inż. Adam Baryłka, *Polska*
mgr inż. Magdalena Borek-Daruk, *Polska*
prof. Pier Luigi Bonora, *Włochy*
dr Henrikas Cesiulis, *Litwa*
prof. dr rer. nat. Ahmed Abd El-Aziz, *Egipt*
prof. Lorenzo Fedrizzi, *Włochy*
prof. João Salvador Fernandes, *Portugalia*
prof. dr Damien Féron, *Francja*
prof. dr hab. inż. Janusz Flis, *Polska*
dr Daniel de la Fuente, *Hiszpania*
dr hab. inż., prof. PŚ Mariusz Jaśniok, *Polska*
prof. Andréa Kalendová, *Czechy*
prof. dr hab. inż. Jacek Kijewski, *Polska*
prof. Niki Kouloumbi, *Grecja*
mgr inż. Józef Kozieł, *Polska*
dr inż. Agnieszka Królikowska, *Polska*
dr inż. Andrzej Królikowski, *Polska*
dr Olga Kulikova, *Rosja*
dr Lech Kwiatkowski, *Polska*
prof. Vesna B. Mišković-Stanković, *Serbja*
prof. Roman Nowak, *Finlandia*
dr hab. inż. Hanna Pokhmurska, *Niemcy*
dr inż. Tomáš Prošek, *Czechy*
dr Thadeus Schauer, *Niemcy*
dr inż. Wojciech Sokólski, *Polska*
prof. dr hab. inż. Maria Sozańska, *Polska*
prof. dr hab. inż. Bogdan Szczygieł, *Polska*
dr Judit Telegdi, *Węgry*
prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierchoń, *Polska*
prof. dr hab. inż. Tadeusz Zakroczyński, *Polska*

Czasopismo „Ochrona przed Korozją” jest indeksowane w:
Master Journal List; Emerging Sources Citation Index, Scopus,
Baztech, Index Copernicus.

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ochrona przed Korozją” otrzymuje 40 punktów zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.

Wersja papierowa czasopisma jest wersją pierwotną (referencyjną).



Czasopismo wydawane we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Korozyjnym



Czasopismo jest na liście czasopism Europejskiej Federacji Korozyjnej (EFC)



WYDAWNICTWO SIGMA-NOT WYDAWCA: Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT

Spółka z o.o., ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, tel.: 22 818 09 18,
www.sigma-not.pl • Nakład (w tym wersja elektroniczna) do 500 egz.

PRENUMERATA: tel. 22 840 30 86, e-mail: prenumerata@sigma-not.pl
Wskazówki dla Autorów: www.ochronaprzedkorozja.pl

OGŁOSZENIA przyjmują:

- Redakcja: tel. 32 231 02 24, e-mail: redakcja@ochronaprzedkorozja.pl
 - Ewa Sadowska: ochronaprzedkorozja-reklama@sigma-not.pl
 - Dział Reklamy i Marketingu, Warszawa, tel./fax: 22 827 43 65,
e-mail: reklama@sigma-not.pl
- Za treść reklam i ogłoszeń redakcja nie odpowiada.

OD REDAKCJI

- Zagrożenie COVID-19, wykorzystanie komunikacji zdalnej i konferencja PKEOPK SEP** 240
— W. Sokólski

ARTYKUŁY NAUKOWE / RESEARCH ARTICLES

- Powłoki izolacyjne a naprężeniowe pękanie korozyjne stalowych gazociągów – część II** 242
Insulation coatings and stress corrosion of steel gas pipelines – part II
— M. Fiedorowicz
- Application of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy for the detection of bacterial biomarkers in dry corrosion deposits** 251
Zastosowanie spektroskopii z transformacją Fouriera w podczerwieni do wykrywania biomarkerów bakteryjnych w suchych osadach korozyjnych
— J. Turek-Szytow, A. Hrynyszyn, B. Cwalina

OCHRONA PRZED KOROZJĄ W PRAKTYCE / CORROSION PROTECTION IN PRACTICE

- Czy potrzebne jest kształcenie inżynierów chemików w zakresie korozji i ochrony przed korozją?** 258
Is it necessary to educate chemists in the field of corrosion and corrosion protection?
— M. Klakočar-Ciepacz

ARTYKUŁY PROMOCYJNE / SPONSORED CONTENT

- Ochrona przeciwkorozyjna połączeń kołnierzowych** 262
— R. Masek

WYDARZENIA

- Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP** 265
European Technical Coatings Congress 266
Najbliższe wydarzenia 269
XVI Krajowa Konferencja Naukowo-Techniczna POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ 278

Z PRASY TECHNICZNEJ

- Ochrona rurociągów i instalacji, monitorowanie korozji** 270
Wynalazki 277



We protect and beautify the world™

Przyjazne środowisku

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com



Zagrożenie COVID-19, wykorzystanie komunikacji zdalnej i konferencja PKEOpK SEP

Od kilku dni w Polsce odnotowuje się wyraźny ponowny wzrost liczby zakażeń koronawirusem. Kiedy w roku 2020 rozpoczęła się epidemia COVID-19, po opracowaniu kilku rodzajów szczepionek i ich aplikacji odnotowano pozytywne działanie tych środków i zaszczepiono nimi w pierwszej kolejności osoby starsze. Szczepienia były nieodpłatne i nieobowiązkowe. Jak wynika z dotychczasowych doświadczeń, rozprzestrzenianie się koronawirusa może być w zasadniczy sposób ograniczane przez stosowanie maseczek ochronnych, które filtrują wdychane powietrze.

Mimo wyraźnego zmniejszenia zagrożenia infekcją koronawirusem wskutek stosowania środków zapobiegawczych prognozuje się, że nadal dochodzić będzie do zachorowań, ponieważ w wielu przypadkach środki ochronne nie są używane we właściwy sposób, np. nie stosuje się odpowiednio uszczelnionych maseczek w miejscach, w których istnieje duże prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożenia koronawirusem, takich jak szpitale. Zastanawiające jest także to, że wielu młodych mężczyzn świadomie lekceważy wymagania lekarzy i nie podaje się szczepieniom przeciw COVID-19.

Doświadczenia w stosowaniu szczepień przeciwko koronawirusom przydają się podczas kolejnej, obecnej fali zakażeń. Na szczęście wiele starszych osób dzięki przyjęciu szczepień ochronnych może liczyć na łagodniejszy przebieg ewentualnej choroby. Od momentu zdiagnozowania pierwszych przypadków zachorowań na COVID-19 było wiadomo, że koronawirusy mogą być przyczyną groźnej, śmiertelnej choroby płuc, a mimo to nie wprowadzono obowiązku poddania się szczepieniom ochronnym. Niektóre młode osoby celowo zlekceważyły zagrożenie, licząc na łagodny przebieg choroby. Największa frekwencja w punktach szczepień dotyczyła najstarszych osób.

Koronawirus okazał się niebezpieczny dla dzieci i młodzieży, co skutkowało potrzebą odizolowania ich od potencjalnych ognisk zakażeń: od innych osób w szkole czy w środkach komunikacji miejskiej. Organizacja nauczania także była trudna, co związane było z frekwencją na poszczególnych zajęciach szkolnych. Problem ten, z korzyścią dla nauczycieli i uczniów, rozwiązany został dzięki zastosowaniu narzędzi komunikacji zdalnej z wykorzystaniem techniki komputerowej. Wprowadzenie tego prostego rozwiązania zaowocowało wdrożeniem technik komunikacji zdalnej nie tylko w relacji szkoła–uczeń czy nauczyciel–uczeń, ale także pracodawca–pracownik, przełożony–podwładny. Możliwa stała się również komunikacja w większym gronie, np. między dyrektorem szkoły a uczniami całej klasy lub między profesorem a studentami całego roku. Narzędzia te umożliwiały także utrzymywanie kontaktów bezpośrednio pomiędzy uczniami, „uwięzionymi” w domach podczas pandemii, co pozwalało podtrzymywać relacje.

Podobnie przebiega komunikacja zdalna pomiędzy studentami określonego kierunku akademickiego. Wykładowca w umówionym czasie uruchamia w swoim komputerze program w celu przekazania informacji kierowanych (jak na wykładzie) do dużej grupy słuchaczy. Łączy się także indywidualnie ze studentami, aby za pomocą pytań kontrolnych upewnić się, że jego wykład był zrozumiały dla słuchaczy. Taka procedura związana z procesem nauczania i kontrolą postępów poprzez sprawdzenie umiejętności ucznia jest obecnie powszechna w szkołach.

Nie dziwi więc, że w taki właśnie sposób porozumiewają się z sobą ekipy pracowników na placach budowy, przy obsłudze maszyn w przemyśle i rolnictwie, często bardzo skomplikowanych, o złożonej konstrukcji. Ze względu na opisane zalety bezpośredniej wymiany informacji jest ona wykorzystywana



w stałej komunikacji pomiędzy urządzeniami, co zapewnia pełną kontrolę obsługi instalacji np. produkcyjnej.

Kolejnym krokiem było zastosowanie specjalistycznego oprogramowania umożliwiającego zdalne komunikowanie się komputerów z wykorzystaniem bardziej rozbudowanych programów. Technika komputerowa znacznie podniosła jakość komunikacji zdalnej, obecnie możliwej już z zastosowaniem praktycznie dowolnej liczby urządzeń (z udziałem dowolnej liczby odbiorców). Pozwala to m.in. prowadzić korespondencję z wieloma odbiorcami jednocześnie, co ułatwia komunikację i przekazywanie wiedzy.

Opisywane oprogramowanie wykorzystywane jest coraz częściej do prowadzenia szkoleń oraz wykładów dla dowolnie dużego audytorium. Pozwala także na pozyskiwanie informacji od uczestników szkolenia, np. na temat tego, jak oceniają jego przebieg, lub w celu sprawdzenia, czy zrozumieli prezentowane treści. Taki rodzaj obustronnej komunikacji zachodzi w wypadku przedsięwzięć organizowanych na dużą skalę: specjalistycznych wykładów i dyskusji z licznym audytorium. Do realizacji wymienionych i innych specjalistycznych funkcji służą narzędzia opracowane w szerokim asortymencie oprogramowania firmowego, takie jak: TeamViewer, Microsoft Teams, Zoom i in. Umożliwiają one łatwy i bezpieczny zdalny dostęp z danego komputera do wszystkich firmowych urządzeń.

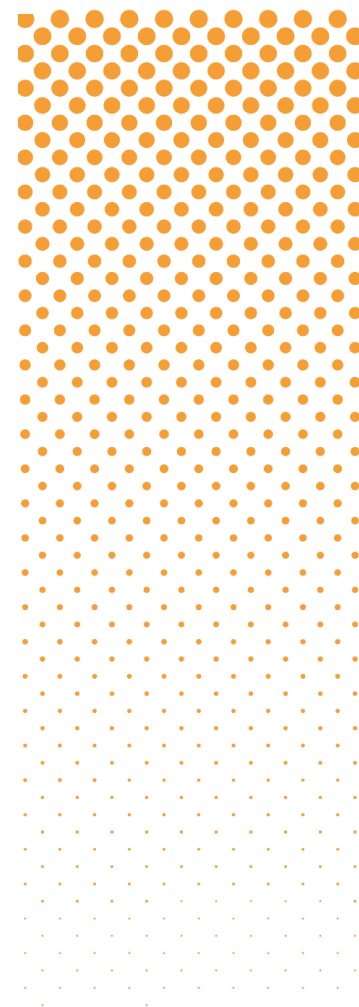
Przykładowo TeamViewer może zapewnić łączność ze stacjonarnym komputerem czy służbowym laptopem z dowolnego miejsca i o dowolnej porze. Wystarczy jedno kliknięcie, aby uzyskać dostęp do wszystkich plików i programów. Jedną z dostępnych funkcji jest możliwość sterowania komputerem za pomocą głosu.

Program Zoom umożliwia z kolei kontakt słowny i wizualny wszystkim uczestnikom grupowego spotkania. Często jest więc wykorzystywany do organizowania zdalnych spotkań większych grup, np. uczniów, studentów, także podczas szkolenia nowych pracowników. Używa się go również do propagowania nowych rozwiązań technicznych.

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne (PSK), w takiej zdalnej formie, w postaci webinarów, podjęło się organizacji szkoleń i upowszechniania wiedzy z zakresu wybranych aspektów ochrony przeciwkorozyjnej. Od września ubiegłego roku odbyły się kolejne webinary: „Farby proszkowe i zakres ich stosowania”, „Pokrętne źródła świadomości korozyjnej II”, „Chemiczne przygotowanie powierzchni metali przed lakierowaniem proszkowym”, „Tradycja czy nowoczesność? A może nowoczesna tradycja? Współczesne kąpiele do fosforanowania żelazowego i alternatywne metody chemicznego przygotowania powierzchni przed lakierowaniem proszkowym”. Warto podkreślić, że webinar jako forma szkolenia przyjęła się i funkcjonuje pomimo powrotu możliwości bezpośrednich spotkań podczas konferencji czy targów.

Najbliższa okazja do bezpośredniego spotkania osób zajmujących się ochroną elektrochemiczną już wkrótce; Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP serdecznie zaprasza na konferencję „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”. Konferencja jest planowana w dniach od 17 do 19 października 2022 roku, w Hotelu DOM ZDROJOWY RESORT & SPA w Jastarni. Więcej informacji na str. 278.

Wojciech Sokółski



Kolejne wydania tematyczne „Ochrony przed Korozją”:

nr 9/2022 Farby antykorozyjne

artykuły przyjmujemy do 16.08.2022 • reklamy do 26.08.2022

nr 11/2022 Galwanotechnika

artykuły przyjmujemy do 7.10.2022 • reklamy do 28.10.2022

nr 10/2022 Powłoki metalowe

artykuły przyjmujemy do 9.09.2022 • reklamy do 30.09.2022

nr 1/2023 Budownictwo

artykuły przyjmujemy do 30.11.2022 • reklamy do 6.01.2023

Zapraszamy do współpracy.



We protect and
beautify the world™

Ekonomiczne

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

MAREK FIEDOROWICZ

ORCID: 0000-0002-1579-0944

Gdański ośrodek gazowniczy

DOI: 10.15199/40.2022.8.1

Powłoki izolacyjne a naprężeniowe pękanie korozyjne stalowych gazociągów – część II

Insulation coatings and stress corrosion of steel gas pipelines – part II

W artykule poruszono niektóre kwestie dotyczące naprężeniowego pęknięcia korozyjnego gazociągów, wypuklając rolę powłok izolacyjnych w zapobieganiu korozji tego rodzaju (pominięto omówienie badań). W pierwszej części pracy opisano kilka spektakularnych katastrof gazociągów wywołanych przez naprężeniowe pękanie korozyjne (SCC), omówiono mechanizm powstawania tego zjawiska, w tym warunki niezbędne do wystąpienia korozji naprężeniowej, oraz przeanalizowano wpływ na tę korozję następujących czynników: rodzaju stali, naprężenia, temperatury, powłok izolacyjnych, przygotowania powierzchni, ochrony katodowej.

W prezentowanej drugiej części artykułu skupiono się na tematyce zapobiegania SCC istniejących i projektowanych gazociągów. Omówiono także pokrótce regulacje prawne obowiązujące w tym zakresie w USA i w Polsce.

Powłoki izolacyjne i przygotowanie powierzchni stalowych odgrywają kluczową rolę zarówno w umożliwianiu inicjacji i przebiegu naprężeniowego pęknięcia korozyjnego (jeśli są niewłaściwe), jak i w przeciwdziałaniu mu (jeżeli są odpowiednie), w sytuacji gdy naprężenia w ściankach są większe niż 60% minimalnej granicy plastyczności. W pracy używa się zamiennie terminów „korozja naprężeniowa” i „naprężeniowe pękanie korozyjne”.

Słowa kluczowe: gazociąg, powłoka izolacyjna, ochrona katodowa, naprężeniowe pękanie korozyjne

Autor niniejszej pracy składa szczególne podziękowania Mehroozowi Zamanzadehowi (Dr. Zee) oraz organizacjom: U.S. National Transportation Safety Board (NTSB), Transportation Safety Board of Canada (TSB), ASM International, United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association, Canadian Energy Pipeline Association (CEPA), T.D. Williamson – za wyrażenie zgody na wykorzystanie fotografii i rysunków.

4. Zapobieganie korozji naprężeniowej

4.1. Uwagi wstępne

Z uwagi na złożoność problemu zapobieganie korozji naprężeniowej z reguły powinno odbywać się na wielu płaszczyznach jednocześnie, kontrola jednego czy dwóch czynników często jest niewystarczająca. Gazociągi powinny być tak projektowane (i budowane), aby naprężenia w ściankach były mniejsze niż 60% SMYS. Jeśli naprężenia są większe, to niepomierne wzrastają wymagania

This article focuses on some aspects related to gas pipeline SCC (excluding research) and stresses out the role of insulating coatings in the development and prevention of this type of corrosion. Part 1 presents a couple of spectacular gas pipeline disasters caused by SCC, it discusses the mechanism (including necessary conditions for the occurrence of stress corrosion) and an impact on stress corrosion by such factors as: steel type, stress, temperature, insulating coatings, surface preparation, cathodic protection.

Part 2 focuses on SCC prevention of gas pipelines that already exist and those that are being designed and briefly describes the legal status in this matter – in the USA and in Poland.

Insulating coatings, together with steel surfaces, play an important role both in enabling course initiation (when they are not adequate) and in SCC prevention (when they are adequate) when stress corrosion is higher than 60% of minimum yield strength (SMYS). In this work, terms like stress corrosion and stress corrosion cracking are used interchangeably.

Keywords: gas pipeline, insulation coating, cathodic protection, stress corrosion cracking

The author of this article would like to thank Mr Mehrooz Zamanzadeh (Dr. Zee) and following organisations: U.S. National Transportation Safety Board (NTSB), Transportation Safety Board of Canada (TSB), ASM International, United Kingdom Onshore Pipeline Operators' Association (UKOPA), Canadian Energy Pipeline Association (CEPA), T.D. Williamson – for giving consent to publish photographs and drawings.

dotyczące powłok i jakości prac izolacyjnych. Wówczas zaledwie jeden błąd popełniony na budowie, np. niewypięskowanie połączenia spawanego i/lub nałożenie izolacji bez podkładu epoksydowego, może doprowadzić do zagrożenia wywołanego przez SCC.

Biorąc pod uwagę złożoność SCC i niedoskonałości metod badania i wykrywania tego rodzaju korozji, celowe jest, aby nie dopuszczać do inicjacji pęknięć. W pierwszej części artykułu omówiono przypadek gazociągu o średnicy 914,4 mm, który w październiku 2018 r. uległ rozerwaniu w wyniku SCC (ok. 13 km na północny wschód od Prince George w Kolumbii Brytyjskiej w Kanadzie). Ope-

Marek Fiedorowicz – absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Gdańskiej. Od 38 lat zajmuje się ochroną przeciwkorozyjną sieci gazowych – gazociągów i obiektów. Specjalizuje się m.in. w systemach ochrony przeciwkorozyjnej opartych na powłokach izolacyjnych o wysokim poziomie szczelności.

■ Otrzymano / Received: 7.06.2022. Przyjęto / Accepted: 20.07.2022

rator zakwalifikował wcześniej ten gazociąg jako zagrożony SCC, stosował plan zarządzania integralnością, w tym plan zarządzania zagrożeniami SCC. Wykonywał zalecane badania gazociągu w celu wykrycia SCC (zgodnie z aktualnym stanem wiedzy): odpowiednimi tłokami pomiarowymi oraz badania magnetyczno-proszkowe w wykopach celowych i okazyjnych. Przeprowadzono naprawy gazociągu, wymieniano poszczególne odcinki i powłokę izolacyjną. Pomimo realizowania tak szeroko zakrojonego programu badań i napraw doszło do groźnego korozyjnego pęknięcia gazociągu. Dość liczne podobne przykłady dowodzą, że możliwości wykrywania zainicjowanych pęknięć są ograniczone, a metody diagnostyczne – mogą być niewystarczające.

4.2. Istniejące gazociągi

Wykrywanie korozji naprężeniowej jest trudne – i to nie tylko dlatego, że najczęściej rozwija się ona pod powłoką izolacyjną. Trzy główne metody wykrywania SCC stosowane na świecie to: eksploatacyjne próby hydrostatyczne, badania *in line* za pomocą odpowiednich tłoków pomiarowych oraz bezpośrednia ocena w odkrywkach gazociągów – celowych (w ramach procedury SCCDA – bezpośredniej oceny korozji naprężeniowej) i okazyjnych. Metody te nie są niezawodne, każda z nich ma swoje ograniczenia. Zdarza się, że operatorzy stosują wszystkie trzy.

Decyzja o przeprowadzeniu badań gazociągów lub ich segmentów pod kątem wykrycia SCC (i ewentualnym podjęciu działań za-

pobiegawczych) powinna wynikać z uprzedniej oceny zagrożenia gazociągu lub jego segmentu naprężeniowym pękaniem korozyjnym.

W praktyce wykonuje się ocenę dwuetapową [16, 25]. Najpierw przeprowadza się wstępną ocenę podatności gazociągu lub jego segmentu na naprężeniowe pęknięcie korozyjne według kryteriów wymienionych w tabeli 2. Drugim etapem jest szczegółowa ocena zagrożenia tych gazociągów (segmentów), które zostały wcześniej zakwalifikowane jako podatne na SCC. W licznych zaleceniach i obowiązkujących w tym zakresie standardach, sformułowanych na podstawie badań i ustalonych w praktyce (zob. m.in. [16, 25]), określono wstępne kryteria podatności na SCC, które zestawiono w tabeli 2. Nie są to jednak kryteria wystarczające do zaistnienia SCC. Ponadto są nieostry i w dużej mierze opierają się na danych statystycznych. Na podstawie przeglądu wielu materiałów stwierdzono, że celowe jest, aby w szczegółowym szacowaniu zagrożenia korozją naprężeniową brać pod uwagę przynajmniej te czynniki, które uwzględniono w tabeli 4.

Jeśli w wyniku szczegółowej analizy ryzyko korozji naprężeniowej zostanie uznane za realne, to należałoby przeprowadzić badania w celu wykrycia (wykluczenia) tej korozji. W zależności od możliwości i warunków przeprowadza się: próby hydrostatyczne (rys. 17), badania bezpośrednie w odkrywkach kontrolnych i okazyjnych (rys. 8 i 13 w cz.I oraz rys. 18) - procedura SCCDA [25], badania ILI (tłokami pomiarowymi) i ewentualnie weryfikujące badania bezpośrednie w wykopach (rys. 13).

Tabela 2. Kryteria podatności podziemnych gazociągów na SCC

Table 2. Criteria for the vulnerability of underground gas pipelines to SCC

Kryterium ^a	Pęknięcie zachodzące w zakresie prawie obojętnego pH ^b	Pęknięcie zachodzące w zakresie wysokiego pH
Wiek rurociągu ^c	>10 lat	>10 lat
Naprężenia w ścianie ^d	≥60% umownej minimalnej granicy plastyczności (SMYS)	≥60% umownej minimalnej granicy plastyczności (SMYS)
Temperatura w warunkach roboczych	nie dotyczy ^e	>ok. 38°C ^f
Odległość poniżej tłoczni	nie dotyczy ^{b,e}	<ok. 32 km
Powłoka izolacyjna	inna niż powłoka FBE lub z żywicy epoksydowej ^g	inna niż powłoka FBE lub z żywicy epoksydowej ^g

^a Gazociąg, segment lub część składowa są podatne na SCC, jeśli jednocześnie spełnione są wszystkie kryteria podatności na SCC danego rodzaju.

^b We wcześniejszych dokumentach obydwa rodzaje naprężeniowych pęknięć korozyjnych wiązano wyłącznie z odcinkami o długości 32 km poniżej tłoczni gazu. Obecnie przyjmuje się, że naprężeniowe pęknięcie korozyjne przy prawie neutralnym pH może zachodzić także na innych segmentach, co zostało potwierdzone w praktyce.

^c Inicjacja naprężeniowego pęknięcia korozyjnego może nastąpić także wcześniej niż po 10 latach użytkowania. Stwierdzano (nieliczne) przypadki naprężeniowych pęknięć korozyjnych gazociągów przed upływem 10-letniego okresu eksploatacji, jednak zdecydowana większość następuje po tym czasie.

^d W ścianie rurociągu występują naprężenia, które są wynikiem wielu oddziaływań: naprężenia własne (szczątkowe), które powstają w procesie produkcji rur w hucie i podczas łączenia rur na placu budowy, naprężenia obwodowe, będące pochodną ciśnienia medium, naprężenia wzdłużne, powstające w rezultacie zginania rury w wyniku ruchów gruntu i rurociągu, np. na skutek zapadania się rurociągu w niestabilnym gruncie, naprężenia powstałe w procesie montażu i zasypywania rurociągu, np. w wyniku „dociągania” rur w celu połączenia odcinka ułożonego pod przeszkodą terenową z odcinkiem układanym w wykopie otwartym, naprężenia związane z wgnieceniami, wyżłobieniami, wszelkimi karbami, wżerami korozyjnymi i in. Podane kryterium dotyczy naprężeń wypadkowych.

^e Podwyższona temperatura nie jest konieczna do wystąpienia naprężeniowych pęknięć korozyjnych przy prawie obojętnym pH. Najwięcej przypadków SCC tego rodzaju odnotowano jednak na odcinkach o długości ok. 32 km poniżej sprężarek gazu, gdyż podwyższona temperatura na tych odcinkach powoduje degradację powłok izolacyjnych i ją przyspiesza.

^f Naprężeniowe pęknięcie korozyjne zachodzące przy wysokim pH stwierdzano w zakresie temperatur 10÷60 lub 20÷90°C w zależności od źródła, jednak badania laboratoryjne i terenowe wykazały, że ten rodzaj korozji naprężeniowej zachodzi zdecydowanie częściej w temperaturach powyżej 35°C. Ze wzrostem temperatury ryzyko zainicjowania i rozwoju korozji naprężeniowej zachodzącej przy wysokim pH wzrasta eksponencjalnie.

^g Nie stwierdzano naprężeniowych pęknięć korozyjnych pod powłokami FBE (z proszku epoksydowego), dwuwarstwowymi wytłaczanymi powłokami PE, trójwarstwowymi powłokami 3LPE i 3LPP oraz pod powłokami z żywicy epoksydowej, epoksydowo-uretanowych i poliuretanowych (PUR). Naprężeniowe pęknięcia korozyjne stwierdzano pod powłokami ze smoły węglowej, asfaltowymi, woskowymi, nawojowymi z taśm polimerowych oraz z niektórych rękawów termokurczliwych.

Tabela 3. Zakresy pH i zakresy potencjałów korozyjnych, przy jakich może zachodzić naprężeniowe pęknięcie korozyjne podziemnych gazociągów

Table 3. Ranges of pH and ranges of corrosion potentials at which stress corrosion cracking of underground gas pipelines may occur

Kryterium	Naprężeniowe pęknięcie korozyjne zachodzące w zakresie prawie obojętnego pH	Naprężeniowe pęknięcie korozyjne zachodzące w zakresie wysokiego pH
Zakres pH	6÷8	8÷11 ^a
Zakres potencjałów korozyjnych	-0,760 V ÷ -0,790 V	-0,600 V ÷ -0,750 V ^b
Środowisko na powierzchni metalowej	rozpuszczony w wodzie dwutlenek węgla (środo-wisko słabego kwasu węglowego i wodorowęglanu)	stężony roztwór węglanu i wodorowęglanu (CO ₃ -HCO ₃)

^a Źródłem podwyższonego pH jest polaryzacja katodowa.

^b W ogólności zakres potencjałów, przy których może zająć naprężeniowe pęknięcie korozyjne przy wysokim pH, zależy od warunków, przede wszystkim od pH i temperatury, i jest usytuowany gdzieś pomiędzy korozyjnym potencjałem spoczynkowym a potencjałem skuteczności ochrony katodowej. Wraz ze wzrostem temperatury zakres potencjałów krytycznych rozszerza się i obniża, zbliżając się do zakresu potencjałów ochronnych. Zwiększa to prawdopodobieństwo zainicjowania i rozwoju naprężeniowych pęknięć korozyjnych zachodzących przy wysokim pH.

Tabela 4. Proponowane zestawienie czynników, które powinny być rozpatrywane w szczegółowych ocenach zagrożenia SCC
Table 4. Proposed list of factors to be considered in detailed SCC specific risk assessments

Wyszczególnienie		Uwagi
Czynniki wpływające na naprężenia (zasadne jest niekwalifikowanie jako zagrożonych SCC części składowych, w których naprężenia wywołane wgnieceniami od spodu spowodowanymi osadzeniem rury na dużej skale lub kamieniu)	średnica zewnętrzna i wewnętrzna, grubość ścianki, rodzaj stali, SMYS	Części składowe, w których naprężenia wypadkowe <60% SMYS, nie powinny być kwalifikowane jako zagrożone SCC
	ciśnienie robocze i długookresowa historia jego wartości	x
	fluktacje ciśnienia	Fluktacje ciśnienia o wysokiej amplitudzie i fluktacje o niskiej amplitudzie mają wpływ na rozwój obydwoj rodzajów korozji naprężeniowej. Nie ustalono jednak, jakie fluktacje (o jakiej częstotliwości, amplitudzie, wartości średniej) są najbardziej szkodliwe [15]
	(zasadne jest niekwalifikowanie jako zagrożonych SCC części składowych, w których naprężenia wywołane wgnieceniami od spodu spowodowanymi osadzeniem rury na dużej skale lub kamieniu)	Cykliczne wahania ciśnienia medium zmniejszają naprężenie progowe dla korozji zachodzącej przy wysokim pH i zwiększają szybkość propagacji w przypadku korozji zachodzącej przy prawie obojętnym pH [24]
	występowanie wgniecen, wyłobień, pofałdowań, karbów, wżerów i innych stanów orurowania mogących powodować lokalny wzrost naprężeń	Wahania naprężeń mogą znacznie zmniejszyć naprężenie progowe. Niektóre rodzaje wahań ciśnienia, takie jak cykle rozładowania–przeładowania, fluktacje wysokiej częstotliwości, cykle zmiennej obciążenia i częstotliwości, cykle niedociążenia i przeciążenia, są związane z SCC zachodzącym przy neutralnym pH. Brak tego rodzaju fluktacji ciśnienia może natomiast powodować uspienie pęknięć [25]
	występowanie luków, sposób prefabrykacji luków	Należy uwzględnić również naprężenia zginające wywołane wgnieceniami od spodu spowodowanymi osadzeniem rury na dużej skale lub kamieniu
	występowanie odgałęzień	Łuki z pofałdowaniami powierzchni oraz łuki segmentowe są bardziej narażone
	występowanie obszarów niestabilnych (osiadania, osuwiskowych i górniczych)	Wskutek rozszerzalności termicznej rurociągu głównego w odgałęzieniach mogą wystąpić znaczące momenty zginające
	występowanie „trudnych” punktów, takich jak: obciążniki, zakotwienia, podpory, wejścia i wyjścia z rur osłonowych, nasypy, hałdy nad gazociągami i inne	x
	topografia trasy gazociągu	Stwierdzano SCC zachodzące przy prawie neutralnym pH pod obciążnikami
temperatura budowy	Należy wziąć pod uwagę: wzniesienie, doliny, zbocza i skarpy, urwiska, nachylenie stoków, ruch i pękanie gleby na zboczach	
Rodzaj powłok izolacyjnych i ich stan	hydrostatyczna próba stresowa	Należy uwzględnić rozszerzalność cieplną (lub kurczenie się) z powodu różnic między temperaturą roboczą a wyższą (lub niższą) temperaturą w czasie budowy. Na przykład temperatura konstrukcyjna wyższa o 30°C od temperatury roboczej spowodowałaby naprężenie osiowe 7,2 MPa, co odpowiada 16% SMYS dla rury klasy 448 (X-65) [16]
	rodzaj fabrycznych powłok izolacyjnych	Próba stresowa powoduje odprężenie gazociągu – redukcję naprężeń własnych oraz lokalnych koncentracji naprężeń
	rodzaj powłok izolacyjnych nakładanych na placu budowy	zob. tabela 2 i tekst
	przygotowanie powierzchni stalowych przed nałożeniem powłok	zob. tabela 2 i tekst
	podatność na odspojenie katodowe	Czyszczenie strumieniowo-ściernie powierzchni rur przed nałożeniem powłok zmniejsza ryzyko wystąpienia SCC
	obecność fałd, odspojen i podpowłokowych szczelin powietrznych	Odspojenie katodowe jest czynnikiem sprzyjającym SCC
Wiek gazociągu	występowanie nieszczelności w powłocze, wielkość i rozkład tych nieszczelności na trasie	Wszystkie wymienione czynniki sprzyjają SCC
	wrastanie korzeni pod powłokę	x
		Wymieniony czynnik sprzyja SCC
Temperatura gazociągu (gazu) i historia jej wartości		Zdecydowaną większość przypadków SCC stwierdzano w gazociągach eksploatacyjnych dłuższych niż 10 lat, lecz odnotowano także przypadki pęknięć, a nawet rozerwania gazociągów użytkowanych krócej
		Aby doszło do SCC przy prawie obojętnym pH, podwyższona temperatura nie jest konieczna, jednak najwięcej przypadków takich SCC stwierdzano na odcinkach za tłoczniami gazu, gdzie wskutek m.in. podwyższonej temperatury następowała przyspieszona degradacja powłok izolacyjnych
Odległość od tłoczni gazu		Przy obojętnym pH SCC może zachodzić w różnych punktach infrastruktury gazowej, jednak najwięcej przypadków takich pęknięć stwierdzano na odcinkach o długości 32 km poniżej tłoczni gazu, gdzie występują największe ciśnienia (naprężenia), fluktacje naprężeń, a zazwyczaj podwyższona temperatura przyspiesza degradację powłok izolacyjnych
		Wystąpienie w przeszłości korozji naprężeniowej w ocenianym gazociągu lub podobnym (np. wykonany z rur o takich samych wymiarach i z takiej samej stali, pokrytym powłoką izolacyjną tego samego rodzaju i o podobnej jakości, poddanym podobnym ciśnieniom medium, ułożonym w zbliżonych warunkach środowiskowych) jest przesłanką do zakwalifikowania ocenianego segmentu lub gazociągu jako zagrożonego lub potencjalnie zagrożonego SCC
Historia występowania SCC w ocenianym gazociągu (segmentie gazociągu) lub podobnym		Planując i oceniając badania przeprowadzane za pomocą tłoka pomiarowego, należy wziąć pod uwagę to, czy tłok jest w stanie wykrywać pęknięcia podłużne i obwodowe (klasyczne tłoki IMFL nie wykrywają pęknięć podłużnych). Ubytki i wżery wykryte za pomocą tłoka IMFL mogą być miejscem inicjacji pęknięć. Tłokami bardziej odpowiednimi do wykrywania pęknięć są tłoki EMAT (z elektromagnetycznym przetwornikiem akustycznym) oraz tłoki SMFL (na rys. 13 w cz. I przedstawiono przykład spiralnej anomalii SCC wykrytej badaniem tłokiem SMFL, następnie zweryfikowanej/potwierdzonej badaniem w odkrywczej kontrolnej). Przeprowadza się także badania tłokiem ultradźwiękowym UT w korku wodnym przepychanym przez gaz
Wyniki dotychczasowych badań III		

Korozja	Zazwyczaj inicjacja SCC przy prawie neutralnym pH zachodzi w miejscach, gdzie występuje korozja wżerowa lub ogólna. Pęknięcia mogą się jednak rozwijać także w warunkach skutecznej ochrony katodowej, jeśli towarzyszy jej wydzielanie wodoru
Czynniki związane z gruntem	<p>zawartość dwutlenku węgla w gruncie</p> <p>Dwutlenek węgla jest niezbędny do rozwoju SCC, ale jak dotąd nie ustalono korelacji pomiędzy stężeniem zawartości CO₂ a ryzykiem SCC [10, 16]. Dużą liczbę przypadków SCC zachodzącego przy prawie neutralnym pH odnotowano w chłodnym klimacie, tam gdzie w glebie występuje większa zawartość uwodnionego CO₂</p> <p>Wraz ze wzrostem stężenia CO₂ rośnie tempo zwiększania się pęknięć, do których dochodzi przy prawie obojętnym pH, a w środowisku pozbawionym dwutlenku węgla pęknięcia przechodzą w „stan uspienia” [15]</p> <p>Prawdopodobieństwo SCC rośnie wraz ze wzrostem prężności wytwarzania CO₂. Szybkość wytwarzania CO₂ wzrasta wraz z temperaturą i wilgotnością gleby [25], ale wraz ze wzrostem temperatury maleje rozpuszczalność CO₂ w wodzie</p> <p>Uwzględnienie tego parametru może pomóc w identyfikacji SCC w skali lokalnej</p>
rodzaje i zróżnicowanie gruntów na trasie	<p>W określonych warunkach odcinki gazociągów pokryte niektórymi powłokami nawojowymi ułożone w glinach narażone są na odkształcenia powłoki i powinny mieć wysoki priorytet w ocenie zagrożenia SCC</p> <p>Zróżnicowanie rezystywności gruntu na trasie ocenianej sekcji w zależności od sposobu prowadzenia ochrony katodowej może powodować: niedostateczną ochronę katodową (lub jej brak) w nieszczelnościach powłoki usytuowanych w gruntach wysokooporowych albo nadmierną polaryzację katodową, wysokie pH w nieszczelnościach i odsłojenia powłoki na odcinkach ułożonych w gruntach o małej rezystywności</p>
wilgotność, przepływ wody	<p>Strumień wody płynący wzdłuż lub w poprzek gazociągu może dostarczać dwutlenek węgla pod powłokę i utrzymywać pH na prawie obojętnym poziomie, nawet pomimo działania ochrony katodowej</p> <p>Zmieniający się sezonowo poziom wilgotności i poziom wód gruntowych wpływa na działanie ochrony katodowej i może prowadzić do tego, że jest ona okresowo nieskuteczna</p> <p>Napężeniowe pęknięcie korozyjne zachodzące przy prawie neutralnym pH często stwierdzano w glebach słabo osuszonych, w których występowały warunki beztlenowe, oraz w suchych gruntach piaszczystych i mieszankach piasku oraz podłoża skalistego</p>
Czynniki związane z ochroną katodową	x
rozkład potencjałów polaryzacji katodowej w nieszczelnościach powłoki na trasie gazociągu	zob. tab. 3 i tekst
występowanie odcinków, na których utrudniony lub uniemożliwiony jest dopływ prądu polaryzacji katodowej do powierzchni stalowych w nieszczelnościach izolacji, takich jak: ■ odcinki ułożone w gruntach wysokooporowych, ■ odcinki ułożone w kompozytowych rurach otaczających, ■ odcinki ułożone w wypełnionych elektrolitem stalowych rurach otaczających zwartych z gazociągami, ■ odcinki ułożone w wypełnionych elektrolitem stalowych rurach otaczających, nieuziemionych, pokrytych szczelnymi powłokami lub powłokami o wysokim poziomie szczelności	x
występowanie odcinków, na których gęstość prądu polaryzacji katodowej dopływającego do powierzchni stalowych jest lub może być zbyt duża, powodując nadmierną polaryzację, takich jak: ■ odcinki ułożone w gruntach niskooporowych, nawodnionych, ■ odcinki HDD i direct pipe, ■ odcinki ułożone w wypełnionych elektrolitem stalowych rurach otaczających o małej rezystancji izolacji względem ziemi, niezwartych z przewodem gazowym, (w rurach bez izolacji, w powłokach izolacyjnych o małej rezystancji przejścia lub w rurach zwartych z zewnętrznymi „głonymi” rurami przejściowymi), ■ odcinki ułożone w wypełnionych elektrolitem, izolowanych stalowych rurach otaczających, niezwartych z przewodem gazowym, sztucznie uziemionych uziomem o zbyt małej rezystancji	x
Występowanie odcinków pokrytych szczelnymi powłokami izolacyjnymi	Odcinki pokryte szczelnymi powłokami izolacyjnymi nie są zagrożone SCC. Odcinki ułożone w prawidłowo wypełnionych masą izolacyjną rurach otaczających (gdym uniemożliwiono kontakt odsłoniętych powierzchni stalowych układu rurowego z elektrolitem) nie są zagrożone SCC. W przeciwnym razie zagrożenie SCC może wystąpić, jeśli pozostanie warunki zostaną spełnione
Możliwość powstawania i docierania do powierzchni metalowej elektrolitu zawierającego CO₂, o wysokim lub prawie obojętnym pH	W przypadku segmentów uprzednio zakwalifikowanych jako podatne na SCC kluczowe jest ustalenie, czy do powierzchni metalowych (pod powłokami lub przy „otwartych” uszkodzeniach) może dotrzeć lub powstać na styku z tymi powierzchniami środowisko zawierające CO ₂ , o odpowiednim pH. W związku z tym priorytetem jest ocena powłok izolacyjnych połączona z analizą wpływu czynników związanych z gruntem i ochroną katodową



Rys. 17. Spowodowane przez korozję naprężeniową pęknięcie rurociągu (wyciek) podczas eksploatacyjnej próby hydrostatycznej [16]

Źródło: udostępnione dzięki uprzejmości CEPA.

Fig. 17. Pipeline rupture (leak) due to stress corrosion cracking during operational hydrostatic test [16]

Source: photo courtesy of CEPA.

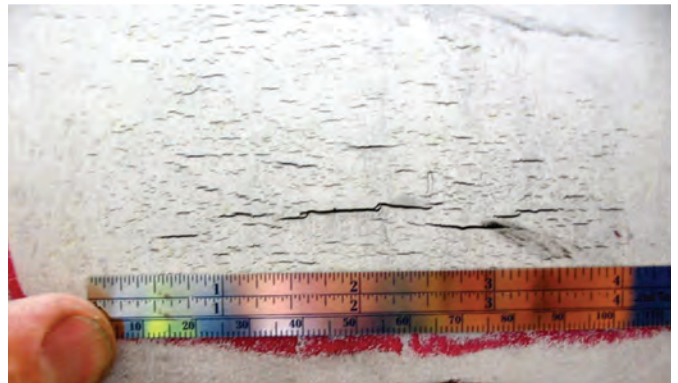
Z przeprowadzonych badań może wynikać, że niezbędne jest podjęcie działań naprawczych: remontowych, inwestycyjnych lub regulacyjnych, dostosowanych do skali wykrytej korozji naprężeniowej i możliwości, takich jak np.:

- lokalne naprawy rur (szlifowanie, montowanie wzmacniających opasek kompozytowych, stalowych tulei wzmacniających itp.),
- wymiana rur,
- naprawa powłoki izolacyjnej,
- wymiana powłoki izolacyjnej,
- wypełnienie rur otaczających masą izolacyjną,
- wymiana segmentu gazociągu,
- obniżenie ciśnienia roboczego (obniżenie MOP),
- zainstalowanie chłodzińców na tłoczniach,
- modyfikacja, rozbudowa lub regulacja ochrony katodowej.

Ochrona katodowa powinna być prowadzona z zapewnieniem ciągłości działania i spełnienia potencjałowych kryteriów skuteczności w nieciągłościach powłok izolacyjnych. Należy starać się nie doprowadzać do nadmiernej polaryzacji katodowej, ale jednocześnie trzeba zwracać szczególną uwagę na parametry ochrony odcinków ułożonych w gruntach wysokooporowych, szczególnie tych pokrytych powłokami bitumicznymi, aby potencjały polaryzacji katodowej nie zawierały się w przedziale potencjałów krytycznych (zob. tabela 3), przy których zachodzi korozja przy prawie obojętnym pH (-750 ± -790 mV). Może być konieczne dokonanie napraw powłoki izolacyjnej, aby uniknąć i jednego, i drugiego (silnego zróżnicowania polaryzacji).

Powłoki izolacyjne nakładane na istniejących gazociągach lub ich częściach składowych zakwalifikowanych jako podatne albo potencjalnie podatne na SCC bądź zagrożone SCC, np. w ramach napraw, wymian lub remontów powłok, powinny być powłokami zapobiegającymi pękaniu rurociągu. Prace izolacyjne na czynnym gazociągu (z przepływającym gazem) powinny być wykonywane w warunkach, w których temperatura zabezpieczonej powierzchni metalowej jest o co najmniej 3°C wyższa niż temperatura punktu rosy otaczającego powietrza, lub należy stosować warstwy żywiczne, które mogą być aplikowane na wilgotne powierzchnie. Można stosować samoistne powłoki żywiczne o odpowiedniej grubości lub systemy mieszane, np.: pokryć powierzchnię metalową warstwą żywiczną, a następnie po związaniu warstwy żywicznej, zszorstkowaniu i pokryciu jej powierzchni podkładem (primerem) nałożyć system nawojowy z taśm polimerowych.

W przypadku gdy gazociąg (lub jego segmenty) nie spełniają któregoś z kryteriów podatności na SCC wymienionych w tabeli 2, np.:



Rys. 18. Kolonia naprężeniowych pęknięć korozyjnych wykryta w odkrywcę metodą magnetyczno-proszkową „czarne na białym” [16]

Źródło: udostępnione dzięki uprzejmości CEPA.

Fig. 18. Colony of stress corrosion cracks detected in the open pit with the 'black on white' magnetic powder method [16]

Source: photo courtesy of CEPA.

- odcinki, na których naprężenia w ściankach są równe 60% SMYS lub większe, na pewnych częściach składowych mają powłoki izolacyjne sprzyjające korozji naprężeniowej, np. powłoki z taśm polimerowych lub z dwuwarstwowych opasek termokurczliwych na połączeniach spawanych rur, ale pod tymi powłokami z uwagi np. na zbyt krótki okres eksploatacji gazociągu nie wytworzyło się jeszcze odpowiednie środowisko,
- odcinki, na których zastosowano powłoki sprzyjające korozji naprężeniowej, np. powłoki z taśm polimerowych na rurach i/lub powłoki z dwuwarstwowych opasek termokurczliwych na połączeniach spawanych, charakteryzują się naprężeniami w ściankach aktualnie mniejszymi niż 60% SMYS, ale wartości te realnie mogą być równe 60% SMYS lub większe z powodu przyjętego MOP, potrzeb ruchowych i możliwości technicznych, a pozostałe kryteria (obecnie niespełniane) będą z pewnością spełniane w przyszłości, rozsądne jest przedsięwzięcie działań w celu zapobieżenia inicjacji pęknięć. Można przeprowadzić lokalnie naprawę lub wymianę powłok izolacyjnych albo obniżyć maksymalne ciśnienie robocze (MOP).

4.3. Gazociągi projektowane i nowo budowane

W wypadku gazociągów, które są dopiero budowane lub projektowane, zasadne jest zastosowanie zabiegów zmniejszających temperaturę gazu za tłoczniami gazu (sprężarkami) do poziomu poniżej 38°C , szczególnie gdy naprężenia w ściankach będą większe niż 60% SMYS. Zaleca się, aby dla odcinków do co najmniej 32 km za tłoczniami gazu rozważyć stosowanie w obliczeniach dotyczących rur współczynnika projektowego 0,4 (aby naprężenia w ściankach, z przyjęciem odpowiedniego marginesu bezpieczeństwa, nie były większe niż 60% SMYS), szczególnie wtedy, gdy temperatura gazu będzie większa niż 38°C . Współczynnik projektowy 0,4 zaleca się stosować także w przypadku skrzyżowań z przeszkodami terenowymi, niezależnie od lokalizacji względem tłoczni. Zasadne jest rozważenie stosowania w obliczeniach grubości ścianek rur współczynników projektowych nie większych niż 0,6.

Konieczne jest zapewnienie stabilnego posadowienia gazociągu. Należy zastosować środki zabezpieczające gazociąg przed powstaniem nadmiernych naprężeń na obszarach osiadania, terenach osuwiskowych, górniczych (np. użyć kompensatorów na obszarach górniczych).

Przed nałożeniem powłok izolacyjnych powierzchnie rur należy oczyścić wyłącznie metodą obróbki strumieniowo-ściernej do uzyskania odpowiedniego stopnia czystości.

Na segmentach, na których (po uwzględnieniu rodzaju stali, wymiarów dobranych rur: średnicy, grubości ścianki, oraz MOP) naprężenia obwodowe będą równe 60% SMYS lub większe, powinny być stosowane powłoki izolacyjne wysokiej jakości, o bardzo dobrej przyczepności do podłoża stalowego i bardzo wysokiej odporności na odsopienie katodowe, uniemożliwiające powstawanie trwałych przestrzeni i szczelin powietrznych pomiędzy metalową powierzchnią a powłoką (np. przy szwach rury, w pachwinach, przy spoinach obwodowych i pod zakładkami powłoki, także na stykach z powłokami fabrycznymi) i wrastanie korzeni pomiędzy zabezpieczaną powierzchnią stalową a warstwą izolacyjną. Na przykład na rurach powinny być stosowane fabryczne powłoki z warstwami żywicznymi: 3LPE lub 3LPP (zgodnie z PN-EN 21809-1 [31]), z pogrubioną warstwą epoksydu FBE, powłoki z żywicy epoksydowej klasy C (PN-EN 10289 [34]), pogrubione powłoki poliuretanowe typu 3 klasy B (PN-EN 10290 [35]) lub powłoki epoksydowe nakładane termicznie (FBE; PN-EN ISO 21809-2 [36]). Na obwodowych połączeniach spawanych zaleca się nanoszenie powłok z warstwami żywicznymi (PN-EN ISO 21809-3 [37]): z opasek termokurczliwych trójwarstwowych na podkładzie epoksydowym typu 14B, 14C i 14D, trójwarstwowych polipropylenowych na podkładzie epoksydowym typu 19A, 19B i 19C, trójwarstwowych polietylenowych na podkładzie epoksydowym typu 19D i 19E, z żywicy epoksydowej typu 18A, 18C (epoksydowych wzmocnionych włóknem), z żywicy poliuretanowej typu 18B, epoksydowych nakładanych termicznie (FBE) typu 17A i 17B. Na króćcach, odgałęzieniach i fittingach należy z kolei stosować powłoki żywiczne lub pokrywać powierzchnię zagrożonego fragmentu warstwą żywiczną przed nałożeniem powłoki z mastyki i taśm. W szczególności zaleca się wykonywanie:

- na rurach – fabrycznych, trójwarstwowych powłok 3LPE lub 3LPP (PN-EN ISO 21809-1), ale z warstwą epoksydową FBE o grubości co najmniej 200 µm;
- na łukach – powłok poliuretanowych (PN-EN 10290) o grubości co najmniej 2 mm lub powłok 3LPE (w Polsce nie są świadczone usługi nakładania na łuki powłok 3LPE); na łukach nie należy stosować powłok nawojowych;
- na połączeniach spawanych rur gazociągu – opasek termokurczliwych na podkładzie epoksydowym (PN-EN ISO 21809-3) typu 14B1, 14B2 lub 14C z warstwą epoksydu o rekomendowanej grubości nie mniejszej niż 150 µm w przypadku żywicy i 200 µm w przypadku FBE; należy zachować staranność przy nakładaniu powłok, zwracając szczególną uwagę na to, aby nie zamykać pod powłoką pustych przestrzeni powietrznych.

Nie jest wskazane stosowanie zewnętrznie wyłaczanych polietylenowych powłok dwuwarstwowych na rurach, nawojowych powłok polimerowych lub bitumicznych ani dwuwarstwowych opasek termokurczliwych na połączeniach spawanych.

Konieczne jest zapewnienie fachowego i skrupulatnego nadzoru nad pracami izolacyjnymi. Przygotowanie powierzchni obróbką strumieniowo-ścierną każdego połączenia powinno zostać sprawdzone. Każda powłoka na połączeniach rur również musi zostać sprawdzona i odebrana protokołarnie.

Odcinki układane techniką *direct pipe* lub HDD powinny zostać zabezpieczone szczelnymi powłokami izolacyjnymi. Jeśli nie uda się tego osiągnąć, odcinki powinny zostać wydzielone złączami izolacyjnymi, aby można było zabezpieczyć je indywidualną ochroną katodową, niezależną od ochrony sekcji układanych w wykopach otwartych, na wypadek gdyby było to niezbędne do uniknięcia nadmiernej polaryzacji katodowej.

Szczelność powłok jest wymagana także na odcinkach układanych w wykopach na terenach o małej rezystywności gruntu, również w razie konieczności uniknięcia nadmiernej polaryzacji katodowej, oraz na odcinkach układanych w gruntach wysokooporowych (np. piaszczystych), na wypadek gdyby było to konieczne do uniknięcia potencjałów z zakresu, w którym przebiega korozja naprężeniowa przy prawie obojętnym pH.

Odcinki układane w rurach otaczających (osłonowych, mikro-tunelach) powinny być zabezpieczone szczelnymi powłokami izolacyjnymi (bez defektów). Jeśli będzie to konieczne, należy zastosować pogrubione powłoki izolacyjne lub dodatkowe osłonowe powłoki laminatowe na układzie rurowym i/lub wypełnienia izolacyjne międzyrurowych przestrzeni pierścieniowych. Trzeba przy tym zaznaczyć, że aplikacja masy izolacyjnej możliwa jest tylko wówczas, gdy przestrzeń pierścieniowa zostanie wyczyszczona i skutecznie osuszona. Na takich obiektach jak tłocznie i magazyny gazu w instalacjach za sprężarkami zasadne jest stosowanie powłok poliuretanowych na rurach, kształtkach i połączeniach.

Ważne jest także, aby określić odpowiednie kryteria odbioru izolacji po zasypianiu, gwarantujące szczelność powłoki izolacyjnej w miejscach, w których jest to wymagane, oraz wysoki poziom izolacji na pozostałych odcinkach (aby defekty izolacji były nieliczne i wyłącznie małe, bez wyraźnego zróżnicowania powierzchni), oraz wyegzekwować ich spełnienie. Należy również zastosować ochronę katodową.

W odległości ok. 32 km za sprężarką zasadne jest zamontowanie w gazociągu złącza izolującego. Wówczas na odcinku tłoczni – sprężarka złącze izolujące ochronę katodową można prowadzić przy łagodnych parametrach (parametry mające na celu uniknięcie, na tyle, na ile jest to możliwe, nadmiernej polaryzacji katodowej), ale spełniając potencjałowe kryteria skuteczności ochrony.

Powinno się również przeprowadzić hydrostatyczną próbę stresową. W jej wyniku dochodzi do odprężenia gazociągu – redukcji naprężeń własnych oraz lokalnych koncentracji naprężeń.

Jeśli gazociąg zawiera segmenty, w których naprężenia obwodowe będą równe 60% SMYS lub będą większe, to wskazane jest zapewnienie szczelności powłok izolacyjnych po zasypianiu bez względu na wielkość naprężeń w ściankach:

- na odcinkach układanych w wykopach na terenach o małej rezystywności gruntu, na wypadek gdyby było to niezbędne do uniknięcia nadmiernej polaryzacji katodowej,
- na odcinkach układanych w gruntach wysokooporowych (np. piaszczystych), w razie konieczności uniknięcia potencjałów z zakresu, w którym przebiega naprężeniowe pękanie korozyjne przy prawie obojętnym pH, i jednocześnie uniknięcia nadmiernej polaryzacji katodowej w gruntach niskooporowych,
- na odpowiednio długich odcinkach przed i za skrzyżowaniami z trakcją elektryczną, aby ograniczyć oddziaływania prądów błądzących,
- w innych miejscach, np. na skrzyżowaniach z innymi konstrukcjami chronionymi katodowo i w pobliżu obcych anodowych stożków potencjałowych, aby uniknąć osłabienia lub nadmiernej polaryzacji katodowej gazociągu.

5. Zapobieganie SCC gazociągów w USA

W USA od wielu lat prowadzi się badania dotyczące SCC i wdraża metody zapobiegania temu zjawisku. Zagrożenia związane z SCC są tam uwzględniane w przepisach i w projektach. Przypadki rozszczelnień gazociągów z powodu SCC są dokładnie badane, a urzędowe, szczegółowe raporty (opisujące przebieg awarii, ich przyczyny i skutki, wyniki badań, nakazane i zrealizowane działania naprawcze) są publicznie dostępne. Wypracowane zostały narzędzia i procedury badawcze mające na celu wykrywanie zagrożeń i zapobieganie rozszczelnieniom. W prezentowanym artykule opisano więc rozwiązania stosowane właśnie w tym kraju, w którym praktyka w zakresie SCC jest swego rodzaju poziomem odniesienia. Oczywiście nie oznacza to, że SCC dotyczy przede wszystkim rurociągów w USA (zob. cz. I).

W USA powłoki FBE opracowano w latach 50., a zaczęto ich używać na dużą skalę w latach 60. [24]. W ulepszonej postaci (jako dwu- i trójwarstwowe) są stosowane do dzisiaj. Nakładanie takich powłok wymaga uprzedniego skrupulatnego oczyszczenia powierzchni sta-

lowych metodą obróbki strumieniowo-ścierniej do uzyskania stopnia czystości określanego jako biały lub prawie biały metal.

Jak wspomniano w pierwszej części artykułu, w rozdziale dotyczącym wpływu naprężeń na SCC, w USA nie wystąpiły awarie w postaci pęknięć podłużnych spowodowanych korozją przy wysokim pH w przypadku gazociągów wybudowanych po 1969 r. Zdecydowana większość awarii związanych z podłużnymi pęknięciami, do których doszło przy prawie neutralnym pH, dotyczyła tam rurociągów zbudowanych w latach 1950–1980. Nie odnotowano awarii eksploatacyjnych na liniach zbudowanych po 1981 r.

Ograniczenie liczby awarii spowodowanych SCC w przypadku gazociągów wybudowanych w USA po 1960 r. ma zapewne związek m.in. z powszechnym stosowaniem powłok FBE i strumieniowo-ściernym przygotowywaniem powierzchni stalowych do uzyskania odpowiedniego stopnia czystości.

W USA w przepisach federalnych określono cztery klasy lokalizacji gazociągów i współczynniki projektowe, jakie należy stosować w obliczeniach grubości ścianek rurociągów oraz w obliczaniu maksymalnego dopuszczalnego ciśnienia roboczego (MAOP). Zostały one przedstawione w tabeli 5.

Tabela 5. Klasy lokalizacji gazociągów i współczynniki projektowe obowiązujące w USA

Table 5. Class locations of gas pipeline and design factors in USA

Klasa lokalizacji	Współczynnik projektowy	
	standardowy	alternatywny
1	0,72	0,8
2	0,6	0,67
3	0,5	0,56
4	0,4	0,4

W USA uznano, że ulepszenia w zakresie materiałów, projektowania, budowy, metod oceny technologii rurociągów, praktyk konserwacyjnych i procesów zarządzania wprowadzone w ciągu ostatnich 25 lat znacznie zmniejszyły ryzyko awarii rurociągów i umożliwiły aktualizację przepisów dotyczących MAOP. Rezultatem jest możliwość podniesienia wartości MAOP w stosunku do obecnie dozwolonej w przepisach dla klas lokalizacji 1, 2 i 3, jeśli spełnione zostaną rygorystyczne wymagania dotyczące: projektu, materiałów, budowy i nadzoru, zarządzania integralnością (w tym badań) i konserwacji, a także składu oraz jakości przesyłanego gazu. Aby gazociąg mógł pracować pod zwiększonym, tzw. alternatywnym, MAOP, rury muszą m.in. być powleczone odpowiednią powłoką przepuszczającą prąd ochrony katodowej, także w stanie odspojonym, np. powłoką FBE.

Mimo iż naprężenie w ściance gazociągu na poziomie 60% SMYS lub wyższym stwarza ryzyko SCC (przy spełnieniu pozostałych kryteriów), to w USA budowane i eksploatowane są gazociągi, w ściankach których naprężenia są większe niż 60% SMYS – w niektórych dochodzą nawet do 80% SMYS. Obowiązują jednakże (i są przestrzegane) rygorystyczne federalne przepisy dotyczące bezpieczeństwa [38], w tym programów zarządzania integralnością gazociągów, w większości funkcjonalne i ramowe, ale wieloaspektowe i bardzo szczegółowe. Poniżej przytoczono fragment wybranego zapisu [38, §192.917]:

Jeśli operator stwierdzi korozję na odcinku rurociągu (objętym programem zarządzania integralnością), która mogłaby niekorzystnie wpłynąć na integralność linii (warunki określone w §192.933), operator musi ocenić i naprawić w razie potrzeby wszystkie odcinki rurociągu (zarówno objęte, jak i nieobjęte tym programem) o podobnych powłokach i cechach środowiskowych. Operator musi ustalić harmonogram oceny i w razie potrzeby naprawy podobnych segmentów, który musi być zgodny z ustalonymi przez operatora procedurami

operacyjnymi i konserwacyjnymi, w zgodzie z częścią 192 w zakresie testów i napraw.

W USA potencjalne zagrożenia zostały zidentyfikowane i na przestrzeni lat wypracowano narzędzia i procedury badawcze, które umożliwiają (choć nie zawsze są skuteczne) monitorowanie stanu gazociągów i wykrywanie stanów przedawaryjnych. Eksploatacyjne próby hydrostatyczne, badania ILI oraz badania w ramach kontroli bezpośredniej (w wykopach), prowadzone zgodnie z procedurą SCCDA [25], są powszechnie stosowane przez operatorów.

6. Przepisy obowiązujące w Polsce

W Polsce nie opracowano tak rygorystycznych, szczegółowych i wyczerpujących przepisów jak w USA [38], a państwowy nadzór nad bezpieczeństwem gazociągów opiera się na innych zasadach. Jak wspomniano w rozdz. 3, w Polsce od 2001 r. zgodnie z przepisami wyróżniano dwie klasy lokalizacji gazociągów. Naprężenia obwodowe gazociągu stalowego w warunkach statycznych wywoływane maksymalnym ciśnieniem roboczym (MOP) nie powinny przekraczać iloczynu minimalnej wartości granicy plastyczności $R_{0,5}$ (SMYS) i współczynnika projektowego wynoszącego 0,4 dla pierwszej i 0,72 dla drugiej klasy lokalizacji [26]. Od 2013 r. wyróżnia się trzy klasy lokalizacji gazociągów. Współczynniki projektowe dla poszczególnych klas wynoszą: 0,4 dla pierwszej, 0,6 dla drugiej i 0,72 dla trzeciej klasy lokalizacji [27].

Gazociągi projektowane (od 2001 r.) z zastosowaniem współczynnika projektowego 0,72 mogą być podatne na SCC, jeśli nie zostały zastosowane właściwe środki zapobiegawcze. W przepisach krajowych o konieczności zabezpieczania gazociągów przed korozją naprężeniową po raz pierwszy napisano w rozporządzeniu z 26 lipca 2001 r. [26]; także w późniejszym rozporządzeniu, z 26 kwietnia 2013 r. [27], występuje odpowiedni zapis. W wymienionych dokumentach zapisy o konieczności zabezpieczania przed korozją naprężeniową dotyczą jednak gazociągów wewnętrznych tłoczni gazu i orurowania agregatów sprężarkowych, a nie zewnętrznych sieci gazowych.

W przywołanych rozporządzeniach w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie [26, 27], ustanowiono także, że w obliczeniach wytrzymałościowych gazociągów tłoczni gazu powinien być stosowany współczynnik projektowy nie większy niż 0,4. Oznacza to, iż gazociągi wewnętrzne tłoczni gazu (na zamkniętych terenach) obliczone zgodnie z tymi rozporządzeniami są odporne na SCC, a mimo to obowiązują zapisy o konieczności zabezpieczania tych gazociągów przed SCC.

Nie sformułowano żadnych zapisów o konieczności zabezpieczania przed korozją naprężeniową gazociągów sieci gazowych, mimo że część z nich, zaprojektowana przy zastosowaniu współczynnika 0,72, może być podatna na SCC, a sieci gazowe układane są na terenach otwartych. Rozporządzenia te są więc niespójne w kwestiach dotyczących SCC.

Dość obszerne zapisy dotyczące zagrożenia związanego z SCC i zabezpieczania gazociągów przed SCC zawarto w standardzie technicznym Izby Gospodarczej Gazownictwa [39]. Prawdopodobnie jest to jedyny polski normatyw, w którym opisano mechanizm korozji naprężeniowej gazociągów, wskazano warunki i kryteria inicjacji i rozwoju SCC oraz przedstawiono metody zapobiegania SCC istniejących i projektowanych gazociągów. Stosowanie norm i standardów nie jest jednak obligatoryjne.

Ogólne wymagania i zapisy dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa budowli, niezawodności działania i ciągłości dostaw oraz przesyłu, bezpieczeństwa obsługi i otoczenia przy spełnieniu wymagań ochrony środowiska są ujęte w prawie budowlanym [40] i w prawie energetycznym [41].

W Polsce dochodziło do jakichś pęknięć gazociągów, m.in. w 2017 i 2018 r., o czym ogólnie informowały media.



Rys. 19. Odspojenie i uszkodzenia powłoki FBE [30]

Źródło: dzięki uprzejmości Mehrooz Zamanzadeh (Dr. Zee).

Fig. 19. Disbonding and damage to the FBE coating [30]

Source: photo courtesy of Mehrooz Zamanzadeh (Dr. Zee).



7. Uwagi końcowe

Gdy naprężenia w ściankach gazociągu osiągają wartości $\geq 60\%$ SMYS, najistotniejsza rola w zmniejszaniu ryzyka wystąpienia SCC przypada powłokom izolacyjnym, oczywiście w powiązaniu z ochroną katodową, jednak ochrona katodowa może okazać się niewystarczająca, jeśli powłoka będzie niewłaściwa pod względem rodzaju i jakości. Wówczas może nawet „stymulować” rozwój SCC.

Biorąc pod uwagę kulturę wykonawczą w Polsce i to, że często doprowadza się do uszkodzeń nawet tak wytrzymałych powłok jak 3LPP, trudno sobie wyobrazić stosowanie na dużą skalę, jak w USA, powłok FBE. Są to powłoki stosowane w celu zapobiegania SCC, ale nie chronią przed nim całkowicie. Dość łatwo ulegają uszkodzeniom mechanicznym, mogą także ulegać pęcherzeniu i odspojeniu katodowemu (rys. 14, 19), a rozwój SCC w takich pęcherzach i na odsłoniętych powierzchniach stykających się z elektrolitem teoretycznie jest możliwy, jeśli pozostałe warunki zostaną spełnione.

Z doświadczenia wynika, że nie są zagrożone korozją naprężeniową segmenty, na których rury są zabezpieczone fabrycznymi powłokami 3LPE lub 3LPP, łuki – powłokami poliuretanowymi, połączenia spawane – opaskami termokurczliwymi na podkładzie epoksydowym i spełnione są kryteria skuteczności ochrony katodowej. Jeśli jednak tylko połączenia rur są zabezpieczone polimerowymi powłokami nawojowymi lub termokurczliwymi opaskami dwuwarstwowymi, to taki segment należy uznać za potencjalnie zagrożony korozją naprężeniową (gdy jednocześnie spełnione będą pozostałe kryteria zagrożenia). Jeśli w segmencie rury pokryte są powłokami z polietylenu wytłaczanego, a połączenia spawane są zabezpieczone powłokami bitumicznymi, to taki segment również jest potencjalnie zagrożony korozją naprężeniową (jeżeli pozostałe wyznaczniki zagrożenia odpowiadają istniejącym warunkom). W przypadku gdy rury pokryte są jednowarstwowymi wytłaczanymi powłokami polietylenowymi (bez przyczepności do powierzchni rury), to taki segment także zagrożony jest potencjalną korozją naprężeniową.

Wydaje się, że powłoki izolacyjne, których stosowanie zaproponowano w rozdz. 4, w warunkach krajowych są optymalnym rozwiązaniem. Istotne jest, aby stosować powłoki nietworzące podpowłokowych szczelin powietrznych, o dobrej odporności mechanicznej i możliwie małym odspojeniu katodowym. Kryteria odbiorowe po zasypaniu powinny być tak określone (i wyegzekwowane), aby uzyskać szczelność powłoki izolacyjnej tam, gdzie jest to konieczne, oraz wysoki poziom izolacji na innych odcinkach (aby

wady izolacji były nieliczne i wyłącznie małe, żeby nie dochodziło do dużego zróżnicowania powierzchni). Ważne jest, aby nie doprowadzać do nadmiernej polaryzacji katodowej. Należy jednak jednocześnie zwracać szczególną uwagę na parametry ochrony odcinków ułożonych w gruntach wysokooporowych, aby potencjały polaryzacji katodowej nie zawierały się w przedziale potencjałów krytycznych, przy których zachodzi korozja przy prawie obojętnym pH ($-750 \div -790$ mV). Może być konieczne dokonanie napraw powłoki izolacyjnej, aby uniknąć obu tych zjawisk.

Bardzo ważne jest to, aby powłoki izolacyjne uniemożliwiały wrastanie korzeni pomiędzy metalową powierzchnią a warstwą izolacyjną lub aby były przed tym zabezpieczone. Dwuwarstwowe opaski termokurczliwe na kleju butylokauzuczkowym są na przykład podatne na wrastanie korzeni [42].

Na rurach: powłoki trójwarstwowe 3LPE lub 3LPP (zgodnie z PN-EN ISO 21809-1) z pogrubioną do co najmniej 200 μm warstwą FBE, na połączeniach: opaski termokurczliwe trójwarstwowe na podkładzie epoksydowym (PN-EN ISO 21809-3) z warstwą epoksydu o rekomendowanej w normie grubości, nie mniejszej niż 150 μm w przypadku żywic i 200 μm w przypadku FBE, na łukach: powłoki poliuretanowe (PN-EN 10290) o grubości co najmniej 2 mm – to, zdaniem autora, są właściwe powłoki do zapobiegania SCC w sytuacji, gdy naprężenia w ściankach gazociągu osiągają wartości $\geq 60\%$ SMYS.

Przy zastosowaniu rekomendowanych rozwiązań niepomniernie jednak wzrastają wymagania dotyczące wykonawstwa i nadzoru nad pracami izolacyjnymi, także związanymi z przygotowaniem powierzchni, nakładaniem powłok na placu budowy i powłok naprawczych. Jeden popełniony błąd, jedna wadliwa powłoka, np. na połączeniach rur, lub wadliwa powłoka naprawcza mogą wywołać zagrożenie SCC.

Nie odnotowano jeszcze naprężeniowego pęknięcia korozyjnego rur z nieuszkodzoną powłoką FBE lub z wytłaczaną powłoką polietylenową [10, 16, 25]. Niepokojem napawają jednak przypadki stwierdzonej przez autora utraty przyczepności powłok 3LPE łączącej z warstwą epoksydową FBE do powierzchni stalowej, na różnych ponaddwudziestoletnich gazociągach – przykład na rys. 20. Z pewnością wymagają obserwacji i badań. Nie wiadomo obecnie, jakie może to mieć konsekwencje.

Najlepszą metodą zapobiegania SCC jest niedopuszczenie do inicjacji pęknięć. Jest to szczególnie istotne w sytuacji, gdy operator nie przeprowadza w toku użytkowania właściwych badań pozwalających odpowiednio wcześniej wykrywać SCC.



Rys. 20. Przykład odspojenia powłoki 3LPE

Fig. 20. Example of disbonding of the 3LPE coating

BIBLIOGRAFIA

- [1] S.P. Ohl, R.E. Allison. 2006. "Ultrasonic Inline Inspection of the Moomba to Sydney Pipeline". *Conference Proceedings: International Pipeline Conference IPC2006-10127*: 667–676. DOI: 10.1115/IPC2006-10127.
- [2] Commodity Pipeline Occurrence Report: P95H0036. 1995. Transportation Safety Board of Canada, <https://ncsp.tamu.edu/reports/TSB/p95h0036.htm> (dostęp: 20.07.2021).
- [3] Pipeline Investigation Report: P02H0017. 2002. Transportation Safety Board of Canada, <https://bst-tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/pipeline/2002/p02h0017/p02h0017.html> (dostęp: 20.07.2021).
- [4] <https://www.corrosion-doctors.org/Pipeline/Williams-explosion.htm> (dostęp: 20.07.2021).
- [5] Pipeline Accident Brief: DCA09FP007. 2009. National Transportation Safety Board, <https://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/PAB1301.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [6] Pipeline Investigation Report: P09H0074. 2009. Transportation Safety Board of Canada, <https://tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/pipeline/2009/p09h0074/p09h0074.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [7] Pipeline Investigation Report: P11H0011. 2011. Transportation Safety Board of Canada, <http://www.bst-tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/pipeline/2011/p11h0011/p11h0011.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [8] Report No. A13328-R-02 rev. 0: Probabilistic Risk Assessment Medium Pressure Steel Gas Service System. 2016. New York State: NYSEG and RG&E, LPI, Inc. Consulting Engineers.
- [9] Fitness for Purpose Report, Pipeline Licence No 1: Moomba to Adelaide Gas Pipeline System. Document No S-1-101-FFP-G-001. 2008. Epic Energy. Zob. także: <http://www.abc.net.au/news/2015-04-22/gas-pipeline-rupture-caused-by-stress-corrosion-cracking/6412114> oraz <https://www.pipeliner.com.au/2015/04/15/moomba-to-adelaide-pipeline-suffers-rupture/>
- [10] *UK Onshore Pipeline Operators' Association – Industry Good Practice Guide: Near Neutral pH and High pH Stress Corrosion Cracking*. 2015. Ambergate, UK: UKOPA.
- [11] Pipeline Transportation Safety Investigation: P18H0088. 2020. Transportation Safety Board of Canada, <https://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/pipeline/2018/p18h0088/p18h0088.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [12] P. Bernasovsky. 2014. "Examples of Pipe Failures in Slovak Transmission". *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* 5: 76–79.
- [13] A.D. Batte, R.R. Fessler, J.E. Marr, S.C. Rapp. 2012. "Managing the Threat of SCC in Gas Transmission Pipelines". *Conference Proceedings: 9th International Pipeline Conference IPC2012-90231*: 379–388. DOI: 10.1115/IPC2012-90231.
- [14] PN-EN ISO 8044:2002: Korozja metali i stopów – podstawowe terminy i definicje.
- [15] *Stress Corrosion Cracking Studies: Final Report*. 2005. Michael Baker Jr., Inc., <https://www.phmsa.dot.gov/sites/phmsa.dot.gov/files/docs/technical-resources/pipeline/hazardous-liquid-integrity-management/62751/sccreport-final-report-withoutdatabase.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [16] *CEPA Recommended Practices for Managing Near-Neutral pH Stress Corrosion Cracking: 3rd edition*. 2015. Calgary: CEPA Pipeline Integrity Working Group.
- [17] M. Büchler. 2019. "A Discussion of Stress Corrosion Cracking of Pipelines Based on Today's Understanding of the Involved in Cathodic Protection". *CECOR Congres*.
- [18] B.N. Leis, R.J. Eiber. 1997. "Stress-Corrosion Cracking On Gas-Transmission Pipelines: History, Causes, and Mitigation". *First International Business Conference on Onshore Pipelines: Invited Paper – Proceedings*.
- [19] J. Beavers, F. King, S. Shipilov. 2015. "Pipeline Stress Corrosion Cracking: Direction and Control". *Materials Performance* 54 (8): 30–37.
- [20] R.N. Parkins. 1987. "Current Topics in Corrosion: Factors Influencing Stress Corrosion Crack Growth Kinetics". *Corrosion* 43 (3): 130–139. DOI: 10.5006/1.3583125.
- [21] *Stress Corrosion Cracking on Canadian Oil and Gas Pipelines*. 1996. Calgary: National Energy Board.
- [22] R.N. Parkins, P.W. Slattery, B.S. Poulson. 1981. "The Effects of Alloying Additions to Ferritic Steels upon Stress Corrosion Cracking Resistance". *Corrosion* 37 (11): 650–664.
- [23] J.A. Beavers. 1993. "On the Mechanism of Stress Corrosion Cracking of Natural Gas Pipelines". *Proceedings of the 8th Symposium on Line Pipe Research*. PRCI. Catalogue No. L51680. Paper 17.
- [24] J.A. Beavers, N.G. Thompson. 2006. *External Corrosion of Oil and Natural Gas Pipelines*. In: *ASM Handbook, Volume 13C, Corrosion: Environments and Industries*. Materials Park, Ohio: ASM International.
- [25] NACE Standard Practice SP 0204-2015: Stress Corrosion Cracking (SCC) Direct Assessment Methodology.
- [26] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz.U. nr 97 poz. 1055).
- [27] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 20013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz.U. 2013 poz. 640).
- [28] R.R. Fessler. 1979. "Stress-Corrosion Cracking Temperature Effects". *Proceedings of the 6th Symposium on Line Pipe Research*. PRCI. Catalogue No. L30175.
- [29] Multiple Dataset (MDS) Spirall MFL. 2019. T.D. Williamson (prezentacja).
- [30] M. Zamanzadeh, R. Mirshams, P. Tahrir. 2016. "Cathodic Protection, Defective Coatings, Corrosion Pitting, Stress Corrosion Cracking and Soil Corrosivity Mapping and Corrosion Assessment in Aging Pipe Lines". *Corrosion Risk Management Conference*. Paper No. RISK16: 8727, <https://metallurgyexperts.com/wp-content/uploads/2018/10/NACE-Paper.pdf> (dostęp: 20.07.2021).
- [31] PN-EN ISO 21809-1: Przemysł naftowy i gazowniczy – Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych – Część 1: Powłoki poliolefinowe (3-warstwowe PE i 3-warstwowe PP).
- [32] R.N. Parkins, R.R. Fessler. 1978. "Stress Corrosion Cracking of High-Pressure Gas Transmission Pipelines". *International Journal of Materials in Engineering Applications* 1 (2): 80–96. DOI: 10.1016/S0141-5530(78)90045-6.
- [33] E.E. Fletcher, T.J. Barlo, A.J. Markworth, E.W. Brooman, W.E. Berry, R.N. Parkins, W.C. McGary, R.R. Fessler. 1982. *A Study of Interrupted Cathodic Protection as It Relates to Stress-Corrosion Cracking and Corrosion of Buried Pipelines*. NG-18 Report No. 127. Catalogue No. L51425.
- [34] PN-EN 10289: Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie – Powłoki zewnętrzne z żywicy epoksydowej lub epoksydowej modyfikowanej nanoszone w stanie ciekłym.
- [35] PN-EN 10290: Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie – Powłoki zewnętrzne z poliuretanu lub poliuretanu modyfikowanego nanoszone w stanie ciekłym.
- [36] PN-EN ISO 21809-2: Przemysł naftowy i gazowniczy – Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych – Część 2: Nakładane termicznie powłoki epoksydowe.
- [37] PN-EN ISO 21809-3: Przemysł naftowy i gazowniczy – Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych – Część 3: Powłoki złączy polowych.
- [38] 49 CFR Part 192 – Transportation of Natural and Other Gas by Pipeline: Minimum Federal Safety Standards. PHMSA Regulations. United States Department of Transportation.
- [39] Standard Techniczny ST-IGG-0601:2020: Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia.
- [40] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. 2021 poz. 3251).
- [41] Ustawa z dnia 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne (DZ.U. 2021 poz. 716).
- [42] M. Fiedorowicz, M. Jagiełło. 2018. „Nietypowy drenaż polaryzowany”. *Ochrona przed Korozją* 61 (8): 222–224.

JOLANTA TUREK-SZYTOW^{1,2,*}

ORCID: 0000-0002-7917-0293

ALICJA HRYNISZYN³

ORCID: 0000-0002-9690-1350

BEATA CWALINA^{1,2}

ORCID: 0000-0003-2664-1466

¹ Department of Environmental Biotechnology, Faculty of Energy and Environmental Engineering, Silesian University of Technology, Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Poland² Centre for Biotechnology at Silesian University of Technology, Krzywoustego 8, 44-100 Gliwice, Poland³ Institute of Non-Ferrous Metals, Department of Powder and Composite Materials, Sowińskiego 5, 44-100 Gliwice, Poland

* Corresponding author: Jolanta Turek-Szytow, e-mail: jolanta.t.szytow@polsl.pl, ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice, Poland

DOI: 10.15199/40.2022.8.2

Application of diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy for the detection of bacterial biomarkers in dry corrosion deposits

Zastosowanie spektroskopii z transformacją Fouriera w podczerwieni do wykrywania biomarkerów bakteryjnych w suchych osadach korozyjnych

Infrared spectroscopy (IR) may be used to indicate the presence of microorganisms in various deposits including those formed inside the drinking water distribution systems (DWDSs). The aim of this study was to examine the presence and intensity of absorption bands characteristic for dipicolinic acid (DPA) and other biomarkers of bacteria which probably formed biofilms in old, naturally dried deposits collected from corroded steel and cast iron pipes. The diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS) was used to examine the presence and intensity of absorption bands that are characteristic of biomolecules deriving from bacterial cells. Our results showed a different chemical composition of deposits collected from various fragments of pipes and the presence of the microorganisms residues. We showed the possibility of using the DRIFT technique for rapid determination of biological contamination of dry corrosion deposits present in DWDSs. Analysis of the IR spectra second derivatives enabled for the precise determination of absorption maxima that were used to indicate the presence of amides, polypeptides, and fatty acids.

Keywords: dry deposits, bacterial biofilm residues, DRIFT spectroscopy

Spektroskopia w podczerwieni (IR) może być wykorzystywana do wykazania obecności mikroorganizmów w różnych osadach, w tym tych powstałych w systemach dystrybucji wody pitnej (DWDS). Celem pracy było zbadanie obecności i intensywności pasm absorpcyjnych charakterystycznych dla kwasu dipikolinowego (DPA) i innych biomarkerów bakterii, które prawdopodobnie tworzyły biofilm w starych, naturalnie odwodnionych osadach pobranych ze skorodowanych rur stalowych i żeliwnych. Do zbadania obecności i intensywności pasm absorpcyjnych charakterystycznych dla biocząsteczek pochodzących z komórek bakteryjnych wykorzystano spektroskopię rozproszonego odbicia w zakresie podczerwieni z transformacją Fouriera (DRIFT). Badania wykazały zróżnicowany skład chemiczny osadów pobranych z różnych fragmentów rur oraz obecność pozostałości mikroorganizmów. Pokazano możliwość wykorzystania techniki DRIFT do szybkiego oznaczania biologicznego skażenia suchych osadów korozyjnych występujących w DWDS. Analiza drugich pochodnych widm IR pozwoliła na precyzyjne określenie maksimum absorpcji, które wykorzystano do wskazania obecności amidów, polipeptydów i kwasów tłuszczowych.

Słowa kluczowe: osady suche, pozostałości biofilmu bakteryjnego, spektroskopia DRIFT

Dr. Eng. Jolanta Turek-Szytow – assistant professor at the Department of Environmental Biotechnology. Graduated from the Faculty of Environmental and Power Engineering at the Silesian University of Technology in Gliwice. The area of research interests: environmental biotechnology, environmental chemistry and environmental analytical chemistry (HPLC, spectroscopy – mainly FTIR and DRIFT techniques), environmental pollution, and soil bioremediation.

Dr. Eng. Alicja Hrynyszyn – assistant professor at the Institute of Non-Ferrous Metals in Gliwice, Department of Powder and Composite Materials. She graduated from the Faculty of Environmental and Power Engineering at the Silesian University of Technology in Gliwice. Currently, she is the leader of the micro- and nanopowders research group at the Center for Powder and Composite Materials, as part of the Łukasiewicz Research Network – Institute of Non-Ferrous Metals.

Prof. PhD. DSc. Eng. Beata Cwalina – until 2021 full professor at the Department of Environmental Biotechnology of the Silesian University of Technology, currently retired professor of the SUT. Main areas of research interest: environmental biotechnology, bihydrometallurgy, biodeterioration: the role of microorganisms in bleaching and biological corrosion, biocatalysis, biomedical engineering: biomaterials and their interactions with biological agents.

■ Otrzymano / Received: 7.06.2022. Przyjęto / Accepted: 19.07.2022

1. Introduction

Infrared spectroscopy (IR) is a fast and inexpensive technique that may be applied in the differentiation, detection, classification, and identification of microorganisms [1, 2]. Electromagnetic radiation in the IR range has a frequency close to the frequency of vibrations of molecules. Passing through the sample of the substance tested, this radiation is selectively absorbed, increasing the amplitude of vibrations in the molecules or crystals of this substance. Only radiation with certain specific energies, characteristic for the functional groups that perform the vibrations, is absorbed. The values of the frequency of characteristic vibrations (presented in the form of appropriate tables) and the absorption IR spectra allow to define chemical substances and functional groups within organic compounds inherent in analyzed samples. It eases the identification of functional groups in the chemical species from molecular vibrations that are excited by infrared radiation. Absorption bands corresponding to specific functional groups occur usually in the same narrow range of frequencies. It is a very selective technique that eases the evaluation of similarity or its exclusion, based on fingerprint regions. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) has been successfully used to examine the deposits present inside drinking water distribution pipes with respect to the presence of biofilm [3, 4]. Echeverría *et al.* [3] analyzed the chemical composition of deposits formed on the surfaces of steel pipes, concrete tanks, and reinforced concrete pipes of complex drinking water distribution systems (DWDSs). FTIR analysis of brown deposits from pipes of a different kind showed presence of absorption bands specific for organic matter (at 2950, 2880 and 1470 to 1380 cm^{-1} , related to C–H vibration in CH_3 or CH_2 groups). Chawla, Gurbuxani and Bhagure [4] performed more complex studies of the chemical composition of deposits formed inside three different pipes from DWDSs. They used X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), energy dispersive spectroscopy (EDS), and FTIR. Their results of FTIR analysis showed the presence of inorganic and organic substances. Absorption bands assigned to amides indicated the presence of materials of biological origin. In the aforementioned studies, deposits collected from DWDSs were dried under laboratory conditions prior to analysis. However, till date, there are no studies on the self-dried deposits present in the elements of the water supply pipes that have been removed due to corrosive damage have not yet been studied.

Many bacteria from the genera *Desulfotomaculum*, *Clostridium*, and *Bacillus*, which are often involved in corrosion of carbon steel, alloy steel, and cast iron, may form endospores comprising of pyridine-2,6-dicarboxylic acid, also called dipicolinic acid (DPA). DPA is present in the protoplast of the endospore and is specific only for bacterial endospores, being responsible for their heat resistance; it does not occur in vegetative cells [5]. One of the techniques enabling identification and quantification of DPA in analyzed samples is infrared spectroscopy. Goodacre *et al.* [5] analyzed both vegetative cells and endospores of 36 strains of *Bacillus* species through Curie-point pyrolysis mass spectrometry and FTIR spectroscopy. They reported that pyridine ring vibration at 1447–1439 cm^{-1} from DPA is highly characteristic of spores in FTIR analysis and might be used as a simple biomarker of any sporulating bacteria. McCann and Laane [6] used IR spectroscopy to find out if it is possible to predict the appearance of the spectrum obtained for DPA from calculated vibrational frequencies and intensities. Vibrational frequencies and intensities were calculated based on the knowledge of structure of DPA. They also studied the possibility to discriminate between the spectra of DPA and 3,5-pyridinedicarboxylic acid, which is important to identify anthrax in the sample. Earlier, Carmona [7] assigned a peak at 3070 cm^{-1} to the presence of C–H stretching vibrations in DPA, and these findings

were confirmed in further investigations [6]. FTIR analysis was also used by Prabhakar [8] to develop a regression model that could be used for the rapid prediction of DPA content released from *Bacillus* endospores treated by pressure-assisted thermal processing.

Investigation of biofilms formed inside drinking water pipelines is difficult because of the limited access to samples and problem associated with repeating experiments (pipe section have to be replaced after sampling) [9]. Although microbiological testing using the tools of molecular microbiology may indicate the accurate size and diversity of microorganisms that inhabit the DWDSs [10], however new approaches are being studied to control the formation of biofilms, including possibilities offered by vibrational spectroscopy [11, 12]. In our patent [12] it has been proposed that one approach to the detection of biofilms could be the use of FTIR analysis of self-dried deposits. We hypothesized that the analysis of samples of such deposits obtained for example from inside the old pipes that had been removed from DWDSs could be useful in confirming the presence of certain biomarker elements of microorganisms responsible for biofilm formation.

FTIR analysis of spontaneously dried deposits obtained from the corroded water pipes may be useful in the verification of our aforementioned assumption. IR analysis seems to be simpler as compared with microbiological methods and therefore more useful in the rapid study of the biofilm-containing deposits. We hope that this study will complement some of the previously conducted research in this regard [9, 11].

2. Materials and methods

2.1. Characteristics of absorption bands

Analyzes of original FTIR spectra and second derivative spectra may be performed to identify the microorganisms responsible for the formation of deposits. Wide range spectrum of infrared radiation (from 4000 to 400 cm^{-1}) is useful for this purpose. However, it is usually divided into five narrower spectral regions: 3000–2800 cm^{-1} – spectral region assigned to C–H stretching vibrations of the methyl (CH_3) and methylene (CH_2) groups attributed to fatty acid and lipid components of the cell membrane (region I); 1700–1500 cm^{-1} – region representing the amide I and amide II bands of peptides and polypeptides (proteins) (region II); 1500–1200 cm^{-1} – mixed region of fatty acid bending vibrations, proteins, and phosphate-carrying compounds such as polysaccharides and nucleic acids (region III); 1200–900 cm^{-1} – spectral region assigned to C–O–C and C–O–P stretching vibrations in oligosaccharides and polysaccharides present in microbial cell walls (region IV); and 900–700 cm^{-1} – ‘fingerprint region’ that is specific for individual microorganisms and still unattributed to cellular components or to functional groups (region V) [13]. Regions I and II are the most useful regions during the identification of bacteria [1, 2].

2.2. Calculation of the second derivative using the Savitzky-Golay algorithm

Calculating the derivative of the spectrum is one of the simplest methods to increase the selectivity of analysis. This operation eases the removal of overlapping spectra, and the result of this is an increase in selectivity. Calculation of the derivative also allows us to separate the useful signals from noise and artifacts [14]. The second derivative shows a local minimum at a point of curve’s local maximum (peak) of original spectrum. The second derivative provides more information than the first derivative because even the inconspicuous absorption bands present in the original spectrum are represented by strong maxima in the second derivative spectrum. FTIR spectra should be smoothed for subsequent calculation of derivatives. This may be realized using various algorithms, including Savitzky-Golay method [15].

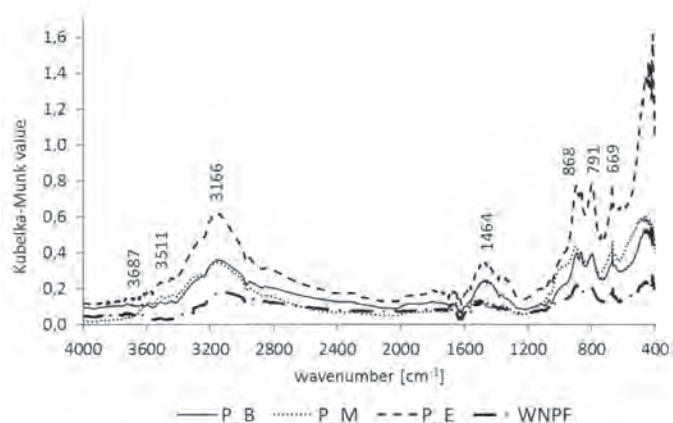


Fig. 1. DRIFT Kubelka-Munk spectra (4000–400 cm^{-1}) of deposits originating from the steel pipe (samples: pipe beginning – P_B, pipe middle – P_M, pipe end – P_E), and sample from the welded neck pipe flange (WNPF) made of cast iron

Rys. 1. Widma DRIFT wyrażone w jednostkach Kubelki-Munka (4000–400 cm^{-1}) osadów pochodzących z rury stalowej (próbki: początek rury – P_B, środek rury – P_M, koniec rury – P_E) oraz próbka ze spawanego sztywnego kołnierza rurowego (WNPF) wykonanego z żeliwa

2.3. Collection and preparation of samples for analysis of the biofilm residues in deposits

Deposits that were formed on the inner walls of pipes obtained from DWDSs were carefully scraped. Deposits removed from steel pipe were brown-red, soft, and loose; they were used as samples labeled P_B (pipe beginning), P_M (pipe middle), and P_E (pipe end). Deposits removed from a welded neck pipe flange (labeled WNPF) made of cast iron were dark brown, hard, and crusty.

The deposits were air-dried at ambient temperature (22°C) considering the results of our earlier study with respect to the most useful method of sample preparation [16]. Dried samples were homogenized using the Testchem vibratory winnower (Pszów, Poland). The appropriate portions of powdered samples were prepared as 5% w/w solution in potassium bromide (KBr; FTIR grade; Chempur, Piekary Śląskie, Poland) and then analyzed using diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFTS).

2.4. Determination of concentration of DPA in analyzed samples

To determine the concentration of DPA in the analyzed samples prepared as 5% w/w solution of deposits in KBr, we used a calibration curve obtained from the semi-quantitative analysis (in triplicate) of the 10%, 5%, 2%, and 1% w/w solutions of DPA (high purity for trace analysis; Sigma-Aldrich, Poznań, Poland) in KBr. The regression line was designated in the form $y = 1.0876x + 0.1122$. Pearson correlation coefficient (r) was 0.95, and this value indicates a very strong correlation between the intensity of absorption band at 3071 cm^{-1} and the concentration of DPA (data not shown).

2.5. IR spectroscopy

IR spectra were recorded on Bio-RAD FTS 135 spectrometer (Bio-RAD, Warsaw, Poland) equipped with a stabilized detector DTGS (deuterated tri-glycine sulfate). The spectra were obtained in the wavenumber range of 4000–400 cm^{-1} at a resolution of 2 cm^{-1} . The Win-IR Foundation software (Bio-RAD, Warsaw, Poland) eased the direct transmission of the spectra from the instrument to the computer and also in further processing of the spectra. Moreover, the software allows spectral recording in a format that is recognized by all programs for mathematical analysis and also in spreadsheets. All spectra were obtained using PIKE Easy Diffuse Reflectance Accessory for solids (PIKE Technologies, Madison, USA). Spectra were collected directly in Kubelka-Munk (KM) units for the analysis and differentiation of absorption bands. Functional groups were identified

based on the basis spectra obtained from 64 scans for each spectrum.

FTIR-DRIFT technique was used to analyze powdered samples prepared in the transparent saline matrix (solid KBr; FTIR grade). The methodology was developed according to the manufacturer's instruction for the FTIR-DRIFT spectral recording in the analysis of homogenized solid samples (PIKE, 2009). The sample concentration in KBr was 5% w/w.

Application of averaged spectra in the KM units – with reference to the spectrum of KBr (FTIR grade) as a background – usually is preferred when the spectra are recorded by the FTIR-DRIFT technique. It eases obtaining the spectra of substances that poorly absorb radiation. Furthermore, determination of the correlation between the reflectance and concentration of the sample is possible [17]. The KM function is very useful in the analysis of samples with transparency lower than 25% [18, 19]. The second derivative (DII) of DRIFT Kubelka-Munk spectra has been obtained through Savitzky-Golay method (Win-Irez tool; Bio-Rad) and was used in the unambiguous interpretation of equivocal absorption bands in original spectrum, as well as for exclusion or confirmation of the analyzed peaks presence [20]. To facilitate the analysis of IR spectra on the figures, the value of the derivative was reversed (inverted y-axis, the maximum obtained with the sign '-').

3. Results and discussion

3.1. DRIFT Kubelka-Munk spectra of deposits originating from DWDSs

Our research has shown the possibility of using FTIR technique to rapidly detect the presence of microorganisms in the dried sediments of DWDSs. It is an alternative to the microbiological testing. In the case of such samples – FTIR analysis shows an advantage even over microbiological methods, because under these conditions the microorganisms may be in the VBNC state (viable but nonculturable state) or inactive. Moreover, in the case of environmental samples, molecular analysis is difficult as the environment is rich in metals, which are inhibitors of PCR reactions. The presence of biofilm residues in the analyzed samples has been established through identification of absorption bands corresponding to specific functional groups in the DRIFT spectra [17]. Results of investigations that were performed on four different samples of deposits originating from P_B, P_M, P_E, and WNPF have been presented in Fig. 1.

3.2. Characteristic IR absorption bands in the analysis of biofilm residues in DWDSs deposits

Original spectra registered in specific wavenumber ranges and also reciprocals of second derivatives have been presented simultaneously on the same figure to simplify the analysis (Fig. 2–4). Both original spectra as well as their second derivatives (DII) have been analyzed in selected ranges of absorption band: 3587–2700 cm^{-1} (Fig. 2), 1670–1250 cm^{-1} (Fig. 3), and 1180–450 cm^{-1} (Fig. 4). These wavenumber ranges were chosen based on the basis preliminary interpretation of absorption bands that occurred in our original spectra, taking into account literature data including the ones presented in Table 1.

The functional groups of chemical compounds that are components of bacterial cells (fatty acids, proteins, nucleic acids, polysaccharides, and oligosaccharides) have been identified based on the characteristic absorption bands (Table 1) that occurred in the wavenumber ranges commonly used to confirm the presence of bacterial residues in sample [21].

Spectral analysis obtained for the deposits collected from steel pipe P_B sample indicated the presence of maxima at 3525, 3442, 3268, 2917, and 2851 cm^{-1} (Fig. 2a), which are assigned to N–H stretching vibrations in amides. The peak visible at 1628 cm^{-1} in

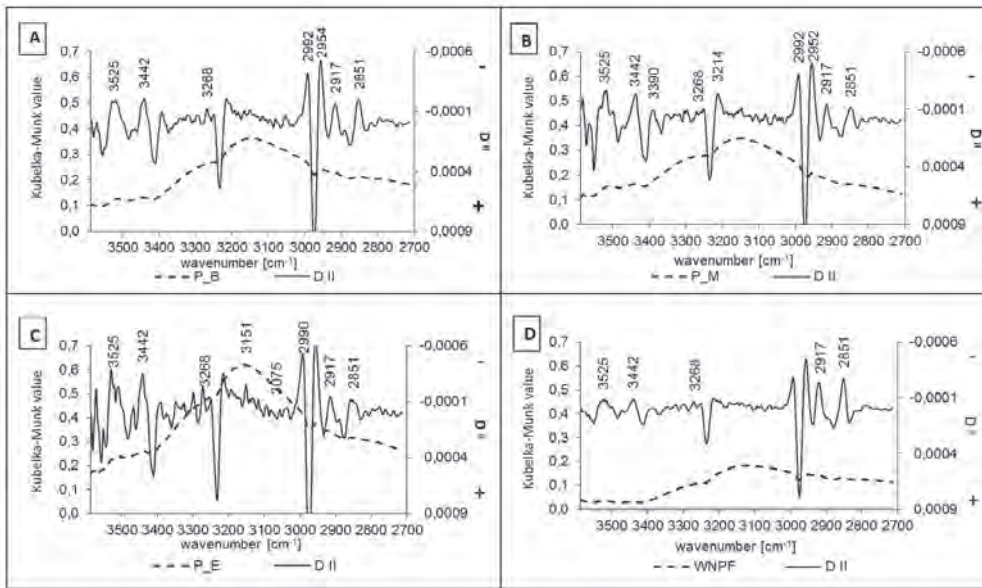


Fig. 2. Original spectra and second derivative spectra obtained in IR spectral region 3587–2700 cm⁻¹; samples: A – P_B, B – P_M, C – P_E, and D – WNPF

Rys. 2. Widma oryginalne i widma drugiej pochodnej otrzymane w zakresie widmowym IR 3587–2700 cm⁻¹; próbki: A – P_B, B – P_M, C – P_E i D – WNPF

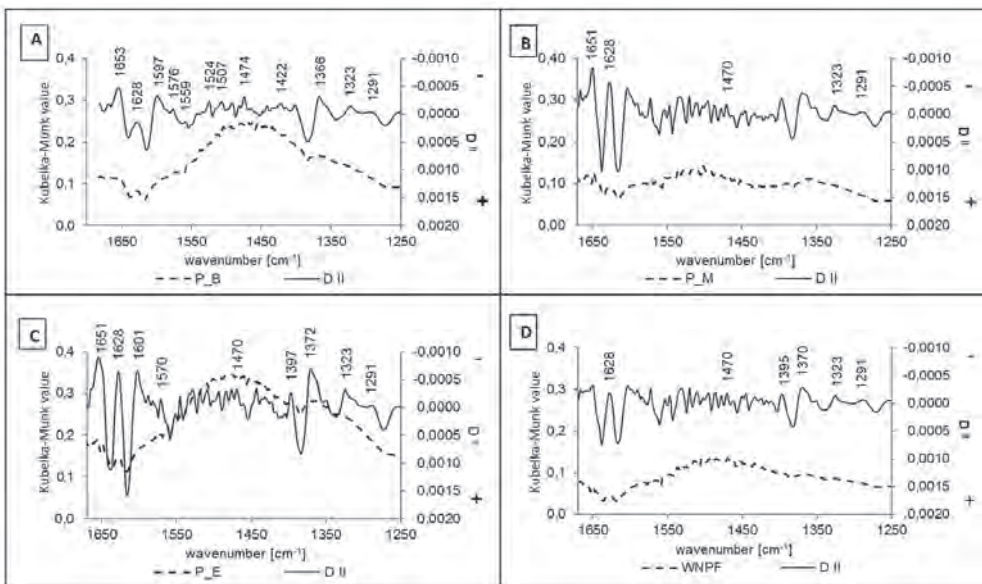


Fig. 3. Original spectra and second derivative spectra obtained in IR spectral region 1670–1250 cm⁻¹; samples: A – P_B, B – P_M, C – P_E, and D – WNPF

Rys. 3. Widma oryginalne i widma drugiej pochodnej otrzymane w zakresie IR 1670–1250 cm⁻¹; próbki: A – P_B, B – P_M, C – P_E, D – WNPF

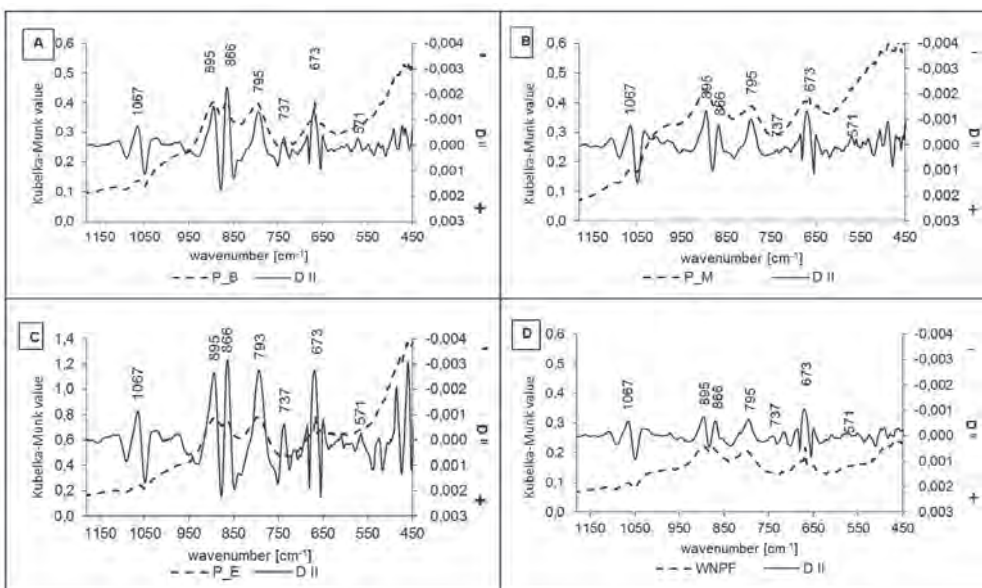


Fig. 4. Original spectra and second derivative spectra obtained in IR spectral region 1180–450 cm⁻¹; samples: A – P_B, B – P_M, C – P_E, and D – WNPF

Rys. 4. Widma oryginalne i widma drugiej pochodnej otrzymane w zakresie IR 1180–450 cm⁻¹; próbki: A – P_B, B – P_M, C – P_E, D – WNPF

Table 1. Identification of the peaks in the infrared spectra of four different deposits (P_B, P_M, P_E, WNPF) obtained from DWDSs
Tabela 1. Identyfikacja pików w widmach podczerwieni czterech różnych osadów (próbki: P_B, P_M, P_E, WNPF) uzyskanych z DWDS

Range, $\tilde{\nu}/\text{cm}^{-1}$	Presence in sample				Type of vibration, compounds	Remarks	
	P_B	P_M	P_E	WNPF		range, $\tilde{\nu}/\text{cm}^{-1}$	references
3530 and/or 3520–3060	+	+	+	–	stretching vibrations ν (N–H), amides	3350 and 3180 3330–3060 (multiplet)	[22]
						3200	[1]
3570–2450	+	–	+	–	stretching vibrations ν (OH), carboxylic acids	3300–2500	[3, 22]
3000–2840	+	+	+	+	stretching vibrations ν (C–H), CH ₃ group	3000–2840	[22]
					C–H asymmetric stretching of –CH ₃ and –>CH ₂ in fatty acids	2955 and 2930	[1, 2]
					C–H symmetric stretching of –CH ₃ and –>CH ₂ in fatty acids	2870 and 2850	[1, 2, 3]
					spectral region of CH ₃ and CH ₂ stretching vibrations attributed	3000–2800	[13, 23]
2936–2916	–	–	+	+	stretching vibrations ν (as) (C–H), CH ₃ group	2936–2916	[2, 22]
2865–2840	–	–	–	+	stretching vibrations ν (sym) (C–H), CH ₂ group	2863–2843	[22]
1800–1400	+	+	+	+	amide I and amide II bands ascribed to peptide band of polypeptides (proteins)	1700–1500 1800–1500 1700–1400	[13] [23] [21]
					calcium carbonate	1800, 1435	[3]
					C=O stretching of lipids and fatty acids	1740	[1, 2, 24, 25]
1760 and/or 1725–1680	+	+	+	+	stretching vibrations ν (C=O), carboxylic acids	1760 1720–1680	[22]
1715–1630	+	+	+	+	stretching vibrations ν (C=O), I amide band	1680–1630	[22, 24]
					amide I band in components of proteins	1695–1675	[1, 2, 25]
					>C=O stretching of ester, in nucleic acid and carbonic acids	1715	
1667–1640	+	+	+	+	stretching vibrations ν (C=C), alkenes	1667–1640	[22]
1500–1200	+	+	+	+	phosphates in polysaccharides and nucleic acids, region of fatty acids, proteins	1500–1200 1250–1200	[1, 23, 26] [2, 13]
					N–H bending C–N stretching in amides (amide II band)	1548	[24, 25]
1485–1445	+	–	+	+	bending vibrations δ (sym), (C–H) in CH ₂ group	1465	[22, 24]
					C–H deformation of –CH ₂ in lipids proteins	1468	[1, 2]
					carbonate	1442	[17]
1395–1365	+	+	+	+	bending vibrations δ (sym), (C–H) CH ₃ group	1375	[2, 22]
1260–885	+	+	+	+	P=O stretching in phospholipids	1240, 1085	[1, 2]
					P=O stretching in phosphates	1225 1150–900	[25] [24]
					symmetric phosphate	1034	[17]
1200–900	+	+	+	+	region attributed to stretching vibrations of C–O–C in polysaccharides and oligosaccharides and symmetric stretching of P–O– in phosphates	1200–900	[1, 2, 13, 23, 25]
1040–910	+	+	+	+	stretching vibrations ν (P–OH), phosphate	1040–910	[1, 2, 22]
1000–600	+	+	+	+	out-of-plane bending vibrations γ (=C–H)	1000–600	[22]
					C–H rocking of >CH ₂ in fatty acids, proteins	720	[1]

Explanations:

DWDSs – district water distribution systems, P_B – pipe beginning sample, P_M – pipe middle sample, P_E – pipe end sample, and WNPF – welded neck pipe flange made of cast iron sample.

the second derivative spectrum indicates the presence of amides in samples (a slight shift in the position of this peak toward lower wavenumber range which corresponds to I amide band), and the peaks at 1576 and 1559 cm^{-1} are attributed to II amide band (Fig. 3a). In the second derivative spectrum (Fig. 4a), peaks are visible at 795, 737, and 673 cm^{-1} . They are attributed to N–H wagging vibrations in amides. Peak maxima in the range of 1800–1400 cm^{-1} in the second derivative spectrum (Fig. 3a) correspond to amide I and amide II bands that are ascribed to peptide bond of polypeptides. All these data confirm the presence of proteins in the analyzed samples.

The absorption band located between 1725 and 1680 cm^{-1} in the P_B sample spectrum presented in Fig. 1 corresponds to C=O stretching vibrations in carboxylic acids. The peak at 3525 cm^{-1} that is more visible in the second derivative spectrum is also visible in the original spectrum (Fig. 1, 2a) and is attributed to O–H stretching vibrations in carboxylic acids. However, absorption bands located between 1320 and 1210 cm^{-1} were not visible in original spectrum until the second derivative of the spectrum was obtained (Fig. 1). Peaks at 1323 and 1291 cm^{-1} were assigned to C–O stretching vibrations of carboxylic acids; they were present in the second derivative spectrum (Fig. 3a–d). Thus, obtained data confirm the presence of carboxylic acids in analyzed precipitates.

Peaks at 2917 and 2851 cm^{-1} in the second derivative spectrum (Fig. 2a–d) are attributed to (C–H) stretching vibrations of alkanes. Peaks at 895 and 866 cm^{-1} which indicate the presence of skeletal vibrations of cycloalkanes were present in spectra of both original and the second derivative (Fig. 4a–d) – similarly as peaks from 1600 to 1580 cm^{-1} wavenumber range that are attributed to (C=C) stretching vibrations of alkenes. Peaks from 1000 to 600 cm^{-1} wavenumber range are attributed to (=C–H) out-of-plane bending vibrations of the molecule (Fig. 1, 4a–d).

Very important are peaks present at wavenumber range between 3000 and 2800 cm^{-1} that are visible in the spectrum of the second derivative (Fig. 2a–d), because they are assigned to fatty acids. It is accepted that the presence of fatty acids is confirmed by the occurrence of peaks that are attributed to the alkanes, alkenes, cycloalkanes (aliphatic), and also by the peak of carboxylic acid (representing the carboxyl group which is located at the end of carbon chain). The presence of biomolecular constituents such as proteins, fatty acids, nucleic acids, and carbohydrates in analyzed samples is an indicator of the presence of bacteria in the sample [1], thereby, spectra were also analyzed for the presence of phosphates, which are components of polysaccharides, nucleic acids, fatty acids, and proteins. The peaks corresponding to P–O–C stretching vibrations of phosphates were visible at 1067 and 895 cm^{-1} in both original and derivative spectrum (Fig. 1, 4a–b). The peak within 1350–1150 cm^{-1} spectral region, which is attributed to P=O stretching vibrations of phosphates, became apparent in the second derivative spectrum (Fig. 1, 3a–d). Both original and derivative spectra showed the presence of a peak at 1067 cm^{-1} corresponding to P–OH stretching vibrations of phosphates (Fig. 1, 4a–d). The peaks in spectral region 1500–1200 cm^{-1} , which are assigned to phosphates in polysaccharides, nucleic acids, fatty acids, and proteins, have been observed in both original and derivative spectra (Fig. 3a–d). In addition, peaks in 1200–900 cm^{-1} spectral region assigned to the C–O–C and P–O–C stretching vibrations in polysaccharides and oligosaccharides were detected in original and derivative spectra (Fig. 1, 4a–d). Thus, the results of this study have indicated the presence of biofilm in the P_B sample.

We analyzed the results of other samples tested (P_M, P_E, and WNPF) in a similar way as described in the previous section. Figures 2–4 show the corresponding spectra of P_M, P_E, and WNPF samples, whereas Table 2 presents the results of the analysis of presence of the appropriate peaks representing specific vibration at 3071 cm^{-1} derived from the relevant important biomolecules.

3.3. Determination of DPA in the analyzed samples

Considering that the entire intensity of absorption band at 3071 cm^{-1} is derived from DPA [6] we demonstrated that it is proportional to its concentration. The regression line showing very strong correlation between the intensity of absorption band at 3071 cm^{-1} and the DPA concentration enabled us to compare the peak intensity values presented in Kubelka-Munk units with respect to the DPA content in the analyzed samples. Table 2 presents the results of absorption band intensities at 3071 cm^{-1} that were obtained from the deposit samples originating from the steel pipe (samples: P_B, P_M, P_E, and WNPF).

Table 2. DPA-derived IR absorption band intensities at 3071 cm^{-1} for P_B, P_M, P_E, and WNPF samples

Tabela 2. Natężenia pasma absorpcji IR pochodzące z DPA przy 3071 cm^{-1} dla próbek P_B, P_M, P_E i WNPF

Analyzed sample	Intensities at 3071 \pm 2 cm^{-1} (in Kubelka-Munk units)
P_B	0.323
P_M	0.306
P_E	0.053
WNPF	0.017

Obtained data indicate the highest content of DPA in the P_B sample and the lowest in the WNPF sample. The DPA concentration present in the deposits of P_B sample was six times higher than that of the concentration in P_E sample and was 19 times higher than that of the deposits obtained from WNPF sample (Table 2).

4. Concluding remarks

The IR analysis of deposits for the presence of microorganisms could be an alternative to the complex microbiological analyzes. It is much faster because the presence of microorganisms may be confirmed by the occurrence of peaks in the expected range of spectrum. Based on the studies performed using IR spectroscopy, the spectra of naturally dried deposits originating from the beginning of steel pipe (P_B sample) showed absorption bands assigned to four main spectral regions (described in the section 2.1), which unambiguously indicate the presence of biofilm in the sample. The bands useful for the bacterial identification include amide I and amide II bands ascribed to the peptide bond in polypeptides (proteins) as well as these bands ascribed to the fatty acids (lipids) in the cell membrane. Lipids are often applied as biomarkers of organisms living in deposits [27–29]. In addition to this, the presence of oligosaccharides and polysaccharides, which are essential components of the microbial cell wall, was documented.

Samples of deposits originating from the middle (P_M) and end (P_E) fragments of steel pipe, as well as from WNPF did not show the presence of fatty acids. The presence of alkanes, cycloalkanes, and alkenes (forming an aliphatic tail in carboxylic acids) was documented in these samples, but functional groups corresponding to carboxylic acids (carboxylic group located at the end of an aliphatic tail) were not visible. Phospholipids formed of fatty acids may become degraded when the cell dies. The presence of phosphates in P_M, P_E, and WNPF samples may be a result of degradation of phospholipids [30]. Based on the results obtained, we can assume that the residues after the bacterial cell death were present in deposits originating from these samples. It is likely that they contained vegetative cells, which were not resistant to desiccation (deposits used in studies were naturally dried).

However, the presence of DPA is irrefutable evidence of the presence of bacterial spores in all the analyzed samples. Thus, all obtained data confirm our hypothesis of the presence of bacteria (including the spore-forming bacteria) in analyzed samples of the naturally dried deposits formed in DWDSs.

Presented results can be useful in the study of various historical objects and archaeological research as well as in astrobiological studies.

Acknowledgement

This article was supported by the Ministry of Science and Higher Education of Poland, grant No BK-284/RIE7/2022 (08/070/BK_22/0012).

BIBLIOGRAPHY

- [1] R. Davis, L.J. Mauer. 2010. *Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy: A Rapid Tool for Detection and Analysis of Foodborne Pathogenic Bacteria*. In: A. Méndez-Vilas (ed.). *Current Research Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology*: 15281594. Badajoz, Spain: Formatex.
- [2] F. Quilès, F. Humbert, A. Delile. 2010. "Analysis of Changes in Attenuated Total Reflection FTIR Fingerprints of *Pseudomonas fluorescens* from Planktonic State to Nascent Biofilm State". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 75 (2): 610–616. DOI: 10.1016/j.saa.2009.11.026.
- [3] F. Echeverría, J.G. Costaña, C. Arroyave, G. Peñuela, A. Ramírez, J. Morató. 2009. "Characterization of Deposits Formed in a Water Distribution System". *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería* 17 (2): 275–281. DOI: 10.4067/S0718-33052009000200016.
- [4] V. Chawla, P.G. Gurbuxani, G.R. Bhagure. 2012. "Corrosion of Water Pipes: A Comprehensive Study of Deposits". *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* 11 (5): 479–492. DOI:10.4236/JMMCE.2012.115034.
- [5] R. Goodacre, B. Shann, R.J. Gilbert, E.M. Timmins, A.C. McGovern, B.J. Alsberg, D.B. Kell, N.A. Logan. 2000. "Detection of the Dipicolinic Acid Biomarker in *Bacillus* Spores Using Curie-Point Pyrolysis Mass Spectrometry and Fourier Transform Infrared Spectroscopy". *Analytical Chemistry* 72 (1): 119–127. DOI: 10.1021/ac990661i.
- [6] K. McCann, J. Laane. 2008. "Raman and Infrared Spectra and Theoretical Calculations of Dipicolinic Acid, Dinicotinic Acid, and Their Dianions". *Journal of Molecular Structure* 890 (1–3): 346–358. DOI: 10.1016/j.molstruc.2008.05.046.
- [7] P. Carmona. 1980. "Vibrational Spectra and Structure of Crystalline Dipicolinic Acid and Calcium Dipicolinate Trihydrate". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular Spectroscopy* 36 (7): 705–712. DOI: 10.1016/0584-8539(80)80032-8.
- [8] V. Prabhakar. 2009. "Rapid Quantification of Dipicolinic Acid from Spores Treated by Pressure Assisted Thermal Processing Using Infrared Spectroscopy". *Proceedings of 2009 IFT Annual Meeting*, 6–9 June: 1–13. Anaheim, CA, USA.
- [9] S. Liu, C. Gunawan, N. Barraud, S.A. Rice, E.J. Harry, R. Amal. 2016. "Understanding, Monitoring, and Controlling Biofilm Growth in Drinking Water Distribution System". *Environmental Science and Technology* 50 (17): 8954–8976. DOI: 10.1021/acs.est.6b00835.
- [10] H. Wang, S. Masters, J.O. Falkinham III, M.A. Edwards, A. Pruden. 2015. "Distribution System Water Quality Affects Responses of Opportunistic Pathogen Gene Markers in Household Water Heaters". *Environmental Science and Technology* 49 (14): 8416–8424. DOI: 10.1021/acs.est.5b01538.
- [11] N. AlMasoud, H. Muhamadali, M. Chisanga, H. AlRabiah, C.A. Lima, R. Goodacre. 2021. "Discrimination of Bacteria Using Whole Organism Fingerprinting: The Utility of Modern Physicochemical Techniques for Bacterial Typing". *Analyst* 3. DOI: 10.1039/d0an01482f.
- [12] J. Turek-Szytów, A. Hrynyszyn-Kula, B. Cwalina. 2021. Sposób wyznaczenia obecności mikroorganizmów w pierwotnie odwodnionych osadach zwłaszcza w instalacjach wodociągowych. Patent polski, PL 237875, WUP 12/21.
- [13] C. Rubio, Ch. Ott, C. Amiel, I. Dupont-Moral, J. Travert, L. Maríey. 2006. "Sulfato-/Thiosulfato Reducing Bacteria Characterization by FT-IR Spectroscopy: A New Approach to Biocorrosion Control". *Journal of Microbiological Methods* 64 (3): 287–296. DOI: 10.1016/j.mimet.2005.05.013.
- [14] G. Talsky. 1994. *Derivative Spectrophotometry*. Weinheim, Germany: VCH.
- [15] J. Torrent, V. Barrón. 2008. *Diffuse Reflectance Spectroscopy*. In: A.L. Ulrey, L.R. Drees (eds.). *Methods of Soil Analysis. Part 5: Mineralogical Methods*: 367–385. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America.
- [16] J. Turek-Szytów, A. Hrynyszyn, B. Cwalina. 2015. "Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectra of Biofilm-Containing Sediments: Influence of Sample Lyophilization and Drying Temperature". *Analytical Letters* 48 (13): 2051–2062. DOI: 10.1080/00032719.2015.1017765.
- [17] E.F. Greene, S. Tauch, E. Webb, D. Amarasiwardena. 2004. "Application of Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform Spectroscopy (DRIFTS) for the Identification of Potential Diagenesis and Crystallinity Changes in Teeth". *Microchemical Journal* 76 (1–2): 141–149. DOI: 10.1016/j.microc.2003.11.006.
- [18] V. Džimbeg-Malčić, Ž. Barbarić-Mikočević, K. Itrić. 2011. "Kubelka-Munk Theory in Describing Optical Properties of Paper (I)". *Technički Resnik* 18: 117–124.
- [19] HunterLab. 2008. "The Kubelka-Munk Theory and K/S". *Applications Note* 18 (7).
- [20] V.S. Saakov, V.Z. Drapkin, A.I. Krivchenko, E.V. Rozengart, Y.V. Bogachev, M.N. Knyazev. 2013. *Derivative Spectrophotometry and Electron Spin Resonance (ESR): Spectroscopy for Ecological and Biological Questions*. Vienna: Springer-Verlag.
- [21] D. Naumann. 2000. *Infrared Spectroscopy in Microbiology*. In: R.A. Meyers (ed.). *Encyclopedia of Analytical Chemistry*: 102–131. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- [22] R.M. Silverstein, F.G. Webster, D.J. Kiemle. 2012. *Spektroskopowe metody identyfikacji związków organicznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- [23] A. Alvarez-Ordóñez, D.J.M. Mouwen, M. López, M. Prieto. 2011. "Fourier Transform Infrared Spectroscopy as a Tool to Characterize Molecular Composition and Stress Response in Foodborne Pathogenic Bacteria". *Journal of Microbiological Methods* 84 (3): 369–378. DOI: 10.1016/j.mimet.2011.01.009.
- [24] A. Bombalska, M. Mularczyk-Oliwa, M. Kwaśny, M. Włodarski, M. Kaliszewski, K. Kopczyński, M. Szpakowska, E.A. Trafny. 2011. "Classification of the Biological Materials with Use of FTIR Spectroscopy and Statistical Analysis". *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 78 (4): 122–1226. DOI: 10.1016/j.saa.2010.10.025.
- [25] J.J. Ojeda, M.E. Romero-González, S.A. Banwart. 2009. "Analysis of Bacteria on Steel Surfaces Using Reflectance Micro-Fourier Transform Infrared Spectroscopy". *Analytical Chemistry* 81 (15): 6467–6473. DOI: 10.1021/ac900841c.
- [26] B. Dziuba, B. Nalepa. 2012. "Identification of Lactic Acid Bacteria and Propionic Acid Bacteria Using FTIR Spectroscopy and Artificial Neural Networks". *Food Technology and Biotechnology* 50 (4): 399–405.
- [27] K.G. Zink, H. Wilkes, U. Disko, M. Elvert, B. Horsfield. 2003. "Intact Phospholipids – Microbial »Life Markers« in Marine Deep Subsurface Sediments". *Organic Geochemistry* 34 (6): 755–769. DOI: 10.1016/S0146-6380(03)00041-X.
- [28] P.E. Rossel, J.S. Lipp, H.F. Fredricks, J. Arnds, A. Boetius, M. Elvert, K.-U. Hinrichs. 2008. "Intact Polar Lipids of Anaerobic Methanotrophic Archaea and Associated Bacteria". *Organic Geochemistry* 39 (8): 992–999. DOI: 10.1016/j.orggeochem.2008.02.021.
- [29] F. Schubotz, S.G. Wakeham, J.S. Lipp, H.F. Fredricks, K.-U. Hinrichs. 2009. "Detection of Microbial Biomass by Intact Polar Membrane Lipid Analysis in the Water Column and Surface Sediments of the Black Sea". *Environmental Microbiology* 11 (10): 2720–2734. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2009.01999.x.
- [30] D.C. White, W.M. Davis, J.S. Nickels, J.D. King, R.J. Bobbie. 1979. "Determination of the Sedimentary Microbial Biomass by Extractable Lipid Phosphate". *Oecologia* 40 (1): 51–62. DOI: 10.1007/BF00388810.

MAGDALENA KLAKOČAR-CIEPACZ

ORCID 0000-0002-7785-6566

Wydział Chemiczny, Politechnika Wrocławska

DOI: 10.15199/40.2022.8.3

Czy potrzebne jest kształcenie inżynierów chemików w zakresie korozji i ochrony przed korozją?

Is it necessary to educate chemists in the field of corrosion and corrosion protection?

W artykule poruszono kwestie dotyczące kształcenia inżynierów chemików w zakresie ochrony przed korozją na potrzeby przemysłu chemicznego. W zakładach chemicznych z uwagi na charakter produkcji pracujące instalacje i urządzenia są w dużym stopniu zagrożone korozją, dlatego dobrze wykształcony inżynier chemik powinien posiadać także wiedzę z tego zakresu – jego miejsce pracy cechuje się podwyższonym ryzykiem zagrożeń korozyjnych.

Słowa kluczowe: szkoły wyższe techniczne, kształcenie inżyniera technologii chemicznej, korozja

The article discusses the problem of educating chemical engineers for the needs of the chemical industry in the field of corrosion protection. In chemical plants, due to the nature of production, there is a high risk of corrosion of working installations and equipment. Therefore, a well-educated chemical engineer should also have knowledge of corrosion and corrosion protection, because the nature of his workplace is characterized by an increased risk of corrosion hazards.

Keywords: higher education, teaching chemical technology engineer, corrosion

1. Wstęp

Problem dotyczący jakości kształcenia kadr na potrzeby przemysłu opartego na technologii chemicznej istnieje od momentu rozwoju przemysłu chemicznego w Polsce. Dobrze wykształcony technolog chemik powinien posiadać także wiedzę z zakresu korozji i ochrony przed korozją, ponieważ jego miejsce pracy charakteryzuje się podwyższonym ryzykiem zagrożeń korozyjnych.

Magister i inżynier technolog powinien brać udział już we wstępnych pracach wdrażania zarówno nowych procesów technologicznych, jak i nowych technologii do produkcji, a przede wszystkim uczestniczyć w etapie projektowania, czyli powinien mieć odpowiednią wiedzę z zakresu korozji i ochrony przed korozją.

2. Jak przebiegało kształcenie korozjonistów w przeszłości

Zjawiska korozyjne są powszechne, a skuteczne zwalczanie korozji ma związek z bardzo wieloma aspektami życia gospodarczego. Aby móc opanować zjawiska związane z problemami korozyj-

nymi, potrzebna jest gruntowna wiedza z tego zakresu. Można ją zdobyć w odpowiednio prowadzonym procesie kształcenia, trzeba jednak rozpocząć go już na poziomie szkolnictwa zawodowego i kontynuować w szkołach wyższych [1]. Taki system funkcjonował w minionym okresie.

W latach 70. w systemie nauczania ponadpodstawowego działało w Polsce sześć szkół zawodowych o profilu zabezpieczenia antykorozyjne. Również szkoły wyższe (politechniki i wyższe szkoły techniczne) w ramach różnych wydziałów prowadziły specjalizację z ochrony korozyjnej (pod różnymi nazwami). Wyróżniała się Politechnika Gdańska, która kształciła rocznie kilkunastu takich specjalistów. Pozostałe uczelnie kształciły kilkoro specjalistów rocznie, i to w większości na studiach podyplomowych [1].

Z systemu nauczania zniknęły jednak szkoły zawodowe, głównie technika, także chemiczne, kształtujące wysokiej klasy specjalistów z dziedziny zabezpieczeń antykorozyjnych. Uczelnie wyższe też poszły inną drogą, próbując dopasować się do wymagań rynku pracy. Muszą ponadto zmagać się z ciągłym brakiem środków finansowych, a nieustannie zmieniające się przepisy nie pozwalają realizować wszystkich zamierzeń dydaktycznych [2].

3. Co powinni wiedzieć i umieć korozjoniści

Od specjalisty ds. zabezpieczeń korozyjnych w obecnych warunkach przemysłowych należy oczekiwać, że będzie dostarczał zgodne z aktualnym stanem wiedzy informacje i wiarygodne dane (wnioski z dyskusji, obliczenia, doradcze wskazówki robocze, instrukcje projektowe, propozycje i specyfikacje) o zasadniczych i słusznych działaniach praktycznych z zakresu ochrony przed korozją: o naturze i skutkach oddziaływania środowisk korozyjnych, o strukturalnych, mechanicznych, metalurgicznych i fizycznych właściwościach różnych materiałów wpływających na szybkość ich korodowania, o możliwości ich produkcji, o ich spawaniu, obróbce, optymalnym konstrukcyjnym kształcie oraz o sposobach zastosowanej ochrony i efektach oszczędności materiałowych. Powinien także zalecić dobór odpowiednich materiałów zastępczych, platerów, sposobów napawania, metalizacji, systemów zapobiegania korozji: ochrony anodowej i katodowej, przystosowania środowiskowego i in.

Dr Magdalena Klakočar-Ciepacz pracuje na Politechnice Wrocławskiej na Wydziale Chemicznym w Katedrze Inżynierii i Technologii Procesów Chemicznych.
E-mail: magdalena.klakochar-ciepacz@pwr.edu.pl



Zdjęcie: Freepik.com

Specjalista z tego zakresu musi działać jak bank informacji o korozji, np.: informować personel konstrukcyjny, jak spełniać obowiązujące go wymagania dotyczące ochrony przed korozją, uczestniczyć w pisaniu wykazów, norm i instrukcji praktycznych w zakresie zapobiegania korozji. W porozumieniu z laboratoriami powinien zlecać odpowiednie badania, dobrane do założeń i zadań projektowych, w poszukiwaniu nowych materiałów, sposobów obróbki, wyposażenia w odpowiednie urządzenia do produkcji i kontroli metodami zgodnymi z właściwą praktyką, podawać nowe pomysły i wprowadzać zmiany w projekcie, przestrzegać specyfikacji i norm. Powinien także przeprowadzić obliczenia ekonomiczne dotyczące zastosowania indywidualnych środków zapobiegawczych tak, aby były zgodne z technikami BAT.

4. Kształcenie korozjonistów obecnie

Czy upadek w Polsce szkolnictwa zajmującego się kształceniem specjalistów z zakresu ochrony przed korozją należy zaliczyć do przyczyn czy do skutków zaniedbań w sferze projektowej i produkcyjnej w tym zakresie? Skoro nowe kierunki kształcenia, zarówno w szkołach publicznych, jak i niepublicznych, powstają pod wpływem zapotrzebowania rynku, to może winien jest rynek – przedsiębiorstwa, które nie widzą potrzeby zatrudniania takich specjalistów?

Odwiedzając ze studentami w ramach kursu ochrony przed korozją (prowadzonego na Wydziale Chemicznym Politechniki Wrocławskiej na kierunku chemia i inżynieria materiałów – studia II stopnia) liczne zakłady branży chemicznej oraz zajmujące się ochroną przed korozją (galwanizernie, malarnie i cynkownie ognio-we), zwracałam uwagę nie tylko na zachodzące tam procesy technologiczne, co było głównym celem tych zajęć, lecz także na stan zniszczeń korozyjnych hal i pomieszczeń, w których te procesy są

prowadzone. Wielkotonażowa produkcja chemiczna w dużej części prowadzona jest w pomieszczeniach typu wiata lub na różnego rodzaju pomostach, zadaszonych lub nie, a zakłady opracowują określone procedury kontrolne, konserwatorskie i postępowania awaryjnego. W przypadku małych zakładów świadczących usługi z zakresu ochrony przed korozją przebiega to jednak zupełnie inaczej. Pomieszczenia są własnością różnych podmiotów, często zagranicznych, i obowiązują w nich odrębne procedury kontrolne dotyczące badań stanu zagrożeń korozyjnych. Wizytując jeden z zakładów obróbki chemicznej (w Legnickiej Specjalnej Strefie Ekonomicznej), miałam okazję przyjrzeć się takiej kontroli. Prowadził ją inspektor z Niemiec. Na pytanie, dlaczego nie korzystają z inspektorów miejscowych, udzielono mi odpowiedzi, że chodzi o brak dostępności, niespełnianie wymogów proceduralnych oraz wysokie ceny usług. Wynika z tego, że specjaliści od korozji są potrzebni, trzeba jedynie opracować optymalny system kształcenia na uczelniach technicznych.

5. Jak powinno przebiegać kształcenie korozjonistów

Od końca lat 70. prowadzi się dyskusję, czy powinno się prowadzić politechniki – uczelnie przygotowujące kadrę techniczną na potrzeby przemysłu – czy raczej uniwersytety techniczne, na których zdobywa się przede wszystkim wiedzę ogólną, a kwalifikacje techniczne należy uzyskać w praktyce. Obecnie działają głównie uniwersytety techniczne, na których priorytetem są badania podstawowe – nie uwzględnia się potrzeb przemysłu. Istnieje powszechne przekonanie, że absolwent z dobrym przygotowaniem teoretycznym szybko odnajdzie się w przemyśle i będzie pogłębiał wiedzę na studiach podyplomowych oraz kursach specjalistycznych. Obserwując jednak reakcje studentów (magistrantów) zwiedzających w ramach zajęć zakłady przemysłowe oraz słuchając

zadawanych przez nich pytań, dochodzę do wniosku, że koncepcja bardzo ogólnego kształcenia, zwłaszcza na takich wydziałach jak chemiczny, się nie sprawdza.

Następnym problemem jest to, że pod względem technologicznym przemysł znacznie wyprzedził stan, o którym uczą się studenci. W trakcie takich zajęć w terenie, w działającym zakładzie produkcyjnym studenci mają do czynienia z technologiami, mogą zetknąć się z problemami, z jakimi codziennie na swoim stanowisku pracy mierzą się technolodzy, a tego nie nauczą się nawet na najlepiej prowadzonym wykładzie na uczelni. Chcąc sprostać postawionym wymaganiom, należy się zastanowić, jak kształcić studentów, aby ich wiedza była aktualna.

Jeśli chodzi zatem o kształcenie korozjonistów, czyli specjalistów posiadających wiedzę na temat zagrożeń spowodowanych procesem korozji dla prowadzonych procesów technologicznych oraz dla środowiska naturalnego, a także ich skutków ekonomicznych, moim zdaniem należy zacząć od podstaw, czyli od wykładów z elektrochemii. Elektrochemia jest dziedziną chemii zajmującą się wzajemnym powiązaniem efektów elektrycznych i chemicznych, w której równania matematyczne są wykorzystywane do opisu podstawowych zasad procesów elektrodowych i metod pomiarowych. Dzięki wykładom z elektrochemii studenci mogą zrozumieć zjawiska korozyjne, które są nieodłącznym elementem procesów technologicznych w przemyśle chemicznym. Te zajęcia powinny być prowadzone na kierunku technologia chemiczna już w ramach I stopnia kształcenia, aby w trakcie studiów II stopnia studenci mogli w pełni opanować zagadnienia z tego zakresu [3].

Obecnie studenci kierunku technologia chemiczna I stopnia uzyskują pewną fragmentaryczną wiedzę z zakresu korozji na różnych kursach. Nie wyklada się tej wiedzy w sposób pełny i usystematyzowany. Prowadzi to do występowania problemów z awariami spowodowanymi korozją w przemyśle i budownictwie.

Wiele problemów dotyczących korozji wynika zresztą w Polsce z niewiedzy. Mówi się, że problem z korozją zaczyna się już na etapie projektowania: projekt zabezpieczenia przed korozją jest opracowywany przez konstruktora (mechanika, budowlanica, architekta, energetyka), a nie przez specjalistę od spraw korozji. Na wydziałach budownictwa obowiązuje np. 30 godzin wykładów z chemii, kilka godzin ćwiczeń i laboratoriów. Program kształcenia obejmuje tylko podstawowe treści i jest w zasadzie powtórką tego, czego wcześniej uczono w szkole średniej. Zaledwie kilka godzin wykładów przeznaczonych jest na tematykę związaną z korozją stali i betonu. Jeszcze gorsza sytuacja jest na innych wydziałach: chemicznych, mechanicznych, energetycznych czy mechaniczno-energetycznych. Na kierunkach chemicznych jest co prawda w dalszym ciągu specjalność ochrona przed korozją, lecz nie cieszy się popularnością. Studenci wybierają specjalności, po których ich zdaniem będą mieć większe szanse na rozpoczęcie pracy zawodowej po zakończeniu studiów.

Mogłoby się wydawać, że to rynek jest winny temu, że brakuje specjalistów antykorozjonistów, ale wpływ na to ma przede wszystkim ustawodawca. Mimo wielu starań środowiska korozjonistów nadal nie ma w Polsce żadnego uregulowania systemowego dotyczącego projektowania konstrukcji i budowl pod względem zabezpieczeń antykorozyjnych. W USA kwestie zabezpieczeń antykorozyjnych są uregulowane dwoma aktami prawnymi Kongresu. Z kolei niemiecki, francuski czy norweski inwestor nie odbierze

konstrukcji wykonanej niezgodnie ze specyfikacją i niezatwierdzonej przez certyfikowanego inspektora ds. korozyjnych.

Obecnie tylko na Politechnice Gdańskiej prowadzony jest kierunek korozja, po ukończeniu którego absolwent jest specjalistą w tej dziedzinie. Pozostałe uczelnie techniczne prowadzą jedynie kursy, najczęściej w ramach kierunku technologia chemiczna, ale nie uzyskały certyfikatu specjalizacji.

Świadomość korozyjna inwestorów w Polsce jest niestety niska i każdy zabezpiecza antykorozyjnie konstrukcję tak, jak uważa to za najlepsze, a więc przede wszystkim tak, żeby było najtaniej. Niestety nie ma zupełnie żadnych regulacji prawnych, które wymuszałyby na inwestorach zabezpieczanie antykorozyjne konstrukcji stalowych w określony sposób. Istnieją wprawdzie normy, dotyczące m.in. przygotowania powierzchni i zabezpieczeń antykorozyjnych, ale stosowanie ich nie jest obligatoryjne – nie ma aktów prawnych nakazujących postępowanie zgodnie w wytycznymi.

Co więc zrobić, aby zwiększyć świadomość korozyjną inwestorów, decydentów i wykonawców? Przede wszystkim naciskać na decydentów o wprowadzenie odpowiednich rozwiązań prawnych. Jest to w naszych warunkach trudne, ale nie niemożliwe. Mówimy tu o majątku narodowym, a więc kwestie związane z korozją powinny być uregulowane prawnie [4]. Można transponować odpowiednie przepisy i dyrektywy Unii Europejskiej dotyczące budownictwa (w tym konstrukcji stalowych), drogownictwa, transportu oraz przemysłu wydobywczego, chemicznego i spożywczego. Pierwsze tego typu działania podjęto już w obszarze budownictwa. Inwestorzy, konstruktorzy i projektanci muszą wiedzieć, że stosowanie tanich technologii ze względu na ich wadliwość wiąże się z koniecznością ponoszenia kosztów przerastających ceny lepszych technologii. Dopóki o wygranu przetargu decyduje jednak cena wykonania, niewiele można zdziałać [4]. Cała nadzieja w edukacji – ale musi to być nauczanie zgodne z aktualnymi trendami w dziedzinie antykorozji: osiągnięciami nauki oraz przemysłu, a są one niemałe.

Ważne jest opracowanie takiego programu kształcenia studentów i słuchaczy studiów podyplomowych, w którym zrównoważone zostaną teoretyczne kwestie dotyczące korozji z informacjami o tym, jak jej zapobiegać, i nabywaniem umiejętności praktycznych w tym zakresie. Wiedza teoretyczna jest potrzebna, ale musi być ona wzbogacona o umiejętność stosowania technik analitycznych FMEA (*failure mode and effect analysis* – analiza przyczyn i skutków awarii) i technik BAT (*best available technology* – najlepsze dostępne techniki), a także znajomość aktualnie opracowywanych nowych technologii i zagadnień dotyczących zrównoważonego rozwoju i emisji CO₂. Trzeba przywrócić wykłady o korozji i jej zapobieganiu na wszystkich politechnikach i uniwersytetach technicznych, i to na wielu wydziałach (mechanicznym, mechaniczno-energetycznym, budownictwa), nie tylko na chemicznym.

Artykuł dotyczy kształcenia korozjonistów na uczelniach, ale należy wspomnieć, że istnieje w Polsce wiele instytucji, dzięki którym można uzupełnić wiedzę o korozji i jej zapobieganiu. Prowadzone przez nie kursy pozwalają uzyskać certyfikat w danej dziedzinie korozji. Są to jednak kursy i szkolenia odpłatne. Organizują je następujące instytucje: Instytut Badawczy Dróg i Mostów (Warszawa), Instytut Spawalnictwa (Gliwice), Polskie Stowarzyszenie Korozyjne (Gdańsk), TÜV Rheinland Polska (Warszawa), SLV-GSI Polska wraz SLV Duisburg (Zabrze), Jednostka Certyfikująca Osoby UDT-CERT (JCO UDT-CERT; Warszawa). Są to kursy certyfikujące w różnych

dziedzinach wiedzy na temat zabezpieczeń korozyjnych: od ogólnych do bardzo specjalistycznych, takich jak korozja stali i betonu (budowa dróg i mostów), zabezpieczanie konstrukcji stalowych, ochrona katodowa w sektorze zastosowań w podziemnych lub zanurzonych konstrukcjach metalowych. Można również uzyskać certyfikat inspektora zabezpieczeń antykorozyjnych FROSIO [5–10]. Zagadnienia dotyczące ochrony przed korozją poruszane są także na dwusemestralnych studiach podyplomowych Wyroby Lakierowe: Technologia i Zastosowanie, prowadzonych na Politechnice Krakowskiej.

Eksperti od zabezpieczeń korozyjnych są potrzebni. Oprócz kształcenia specjalistów w tej dziedzinie, trzeba pokonać szereg barier: i tych urzędowych, i tych po stronie inwestorów. W przeciwnym razie korozja będzie pożerała coraz większy procent polskiego PKB.

BIBLIOGRAFIA

- [1] „Straty korozyjne w Polsce – przyczyny niezadowolającego postępu, skutki, konieczne działania”. Dyskusja redakcyjna. 2012. *Konstrukcje Stalowe* 1 (114): 10–17, <https://www.wnp.pl/hutnictwo/straty-korozyjne-w-polsce-przyczyny-niezadowolajacego-postepu-skutki-konieczne-dzialania,-7783.html> (dostęp: 28.06. 2022).
- [2] „Korozja jest wokół nas”. Dyskusja redakcyjna. 2017. *Konstrukcje Stalowe* 1 (144): 3–6, <https://www.wnp.pl/hutnictwo/korozja-jest-wokol-nas,293742.html> (dostęp: 28.06.2022).
- [3] X. Wang, Z. Wang. 2022. “Animated Electrochemistry Simulation Modules”. *Journal of Chemical Education* 99 (2): 752–758. DOI: 10.1021/acs.jchemed.1c00944.
- [4] „Obudowa prawna antykorozyji w Polsce – stan istniejący i jego konsekwencje, kierunki koniecznych zmian”. Dyskusja redakcyjna. 2017. *Konstrukcje Stalowe* 1 (144): 17–21, <https://www.wnp.pl/hutnictwo/obudowa-prawna-antykorozyji-w-polsce-stan-istniejacy-i-jego-konsekwencje-kierunki-koniecznych-zmian,293745.html> (dostęp: 28.06.2022).
- [5] S. Topolska. 2021. „Wiedza najlepszą ochroną przed korozją”. *Ochrona przed Korozją* 64 (2): 55.
- [6] „Polskie Stowarzyszenie Korozyjne – działalność edukacyjna”. 2021. *Ochrona przed Korozją* 64 (2): 54.
- [7] R. Gruca. 2019. „Znaczenie kompetencji personelu w ochronie konstrukcji stalowych przed korozją”. *Ochrona przed Korozją* 62 (2): 54–55.
- [8] A. Królikowska, U. Paszek, D. Wojda. 2019. „Kursy nie tylko dla inspektorów korozyjnych”. *Ochrona przed Korozją* 62 (2): 49–52.
- [9] „Antykorozyja stali i betonu”. 2022. *Ochrona przed Korozją* 65 (2): 65.
- [10] <https://www.udt.gov.pl/certyfikacja-osob/ochrona-katodowa> (dostęp: 1.08.2022).



60 dni za 60 złotych

Promocja na Portalu Informacji Technicznej

www.sigma-not.pl

dla studentów z ważną legitymacją

Promocja trwa do 30.09.2022



Zapraszamy
do zapisania się
na nasz newsletter:

www.ochronapredkorozja.pl

40 pkt. MEiN dla „Ochrony przed Korozją”

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ochrona przed Korozją” otrzymuje 40 punktów zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.



Ochrona przeciwkorozyjna połączeń kołnierzowych

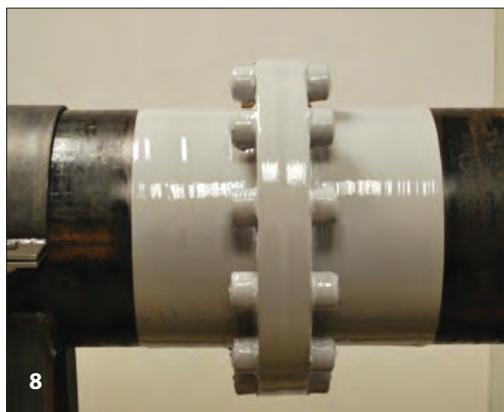
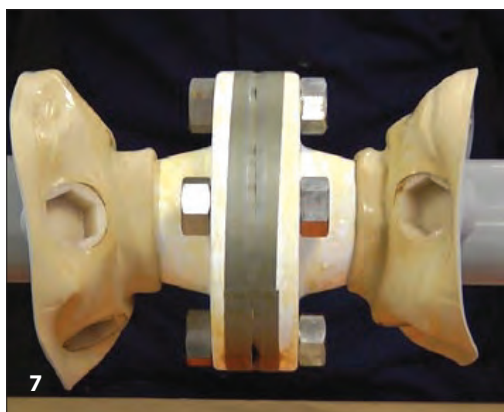
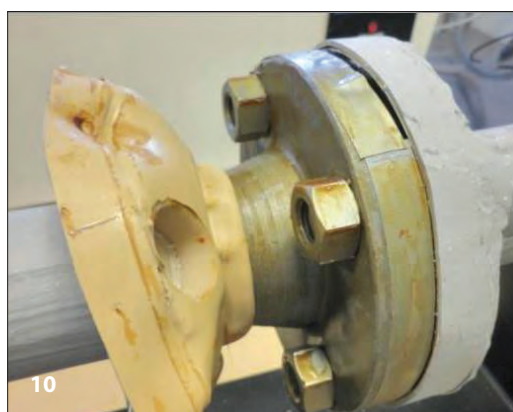
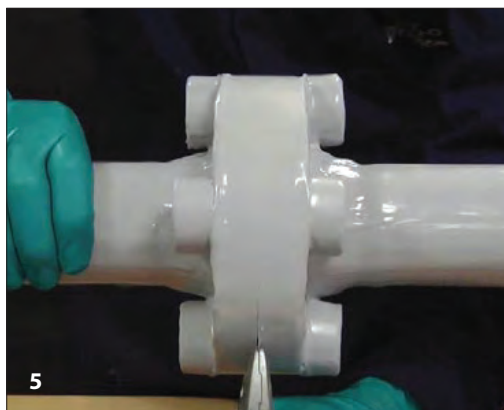
Połączenie kołnierzowe to szczególne miejsce na instalacji, które powinno być stale dostępne ze względu na działania serwisowe (wymiana uszczelek, dokręcanie śrub itp.) natomiast czynności wykonywane w trakcie wymuszonego demontażu i montażu nie sprzyjają zachowaniu stabilnych warunków ochrony przeciwkorozyjnej.

Skomplikowana geometria połączenia kołnierzowego jest powodem występowania wielu typów procesów korozyjnych. Niewielkie przestrzenie pomiędzy kołnierzami, śrubami a otworami są źródłem korozji szczelinowej, w innym przypadku stykające się metalowe elementy połączenia, najczęściej wykonane z metali o różnych potencjałach są powodem występowania korozji elektrochemicznej (fot. 1). Korozja elektrochemiczna zachodzi na granicy faz pomiędzy metalem a środowiskiem elektrolitycznym. Na przebieg procesu zasadniczy wpływ ma środowisko korozyjne (środowisko wody morskiej, opary przemysłowe, zmienne warunki atmosferyczne itp.). W atmosferze korozja metalu (w kontekście korozji elektrochemicznej) zachodzi w cienkiej warstwie wilgoci (wody) skondensowanej na jego powierzchni, gdzie tlen dociera do granicy faz metal/elektrolit. Powstające wżery korozyjne, uszkodzenia mechaniczne powierzchni w obrębie połączenia kołnierzowego mogą być również przyczyną niezachowania pełnej ochrony katodowej pomimo utrzymania na całym rurociągu potencjału ochronnego. Wartość potencjału w miejscu uszkodzeń będzie zależała od rozmiarów powierzchni uszkodzenia kontaktującej się ze środowiskiem elektrolitycznym. Jak zawsze gdy mamy do czynienia z korozją a zwłaszcza gdy działa ona lokalnie, skutki jej działania są trudne do przewidzenia i zazwyczaj mamy do czynienia z nagłą awarią.

Jak można zatem skutecznie powstrzymać procesy korozyjne występujące w połączeniach kołnierzowych? Wydaje się, że najprościej będzie po prostu odciąć dostęp środowiska elektrolitycznego docierających do elementów połączenia. W praktyce spotyka się już takie techniki. Wykonuje się różnego rodzaju worki ochronne, wymalowania oraz „owijki” laminatowe. Główne mankamenty stosowanych rozwiązań polegają na tym, że nie mamy bezpośredniego i szybkiego dostępu do połączenia kołnierzowego, a usunięcie laminatów ochronnych na czas remontu jest uciążliwe i wymaga ponownego wykonania powłoki od nowa po remoncie. Obecnie możemy już powiedzieć, że te problemy zostały rozwiązane. Nowy system ochrony przeciwkorozyjnej zaproponowany przez firmę Belzona® tj. nałożenie prostą techniką przy pomocy pędzla (fot. 2) specjalnej elastycznej powłoki (membrany) Belzona®3412 (fot. 3) gwarantuje skuteczną ochronę połączenia i jednocześnie umożliwia łatwy dostęp do kołnierzy podczas prac serwisowych na połączeniu. Powłoka Belzona®3412 może być używana wielokrotnie.

Metoda określona jest w technologii Belzona KNOW-HOW GSS-11, gdzie w szczegółach opisana jest instrukcja wykonania zabezpieczenia, która w pierwszej kolejności wymaga wykonania cienkiej powłoki Belzona®8411 zawierającej inhibitory korozji (fot. 4). Warstwa Belzona®8411 jest jednocześnie warstwą separującą, która umożliwia odsunięcie (fot. 6 i fot. 7) zasadniczej membrany ochronnej Belzona®3412 w czasie gdy jest to konieczne. Po przeprowadzeniu czynności serwisowych na połączeniu kołnierzowym, ponownie nasuwamy membranę Belzona®3412 w położenie sprzed naprawy (fot. 8) a w miejscu zetknięcia się dwóch przysuniętych do siebie części membrany łączy się je ponownie nakładając pędzlem niewielką ilość Belzona®3412. Taka metoda ochrony połączenia kołnierzowego jest bardzo skuteczna.





Fot. 1. Korozja elektrochemiczna

Fot. 2. Nałożenie powłoki przy pomocy pędzla

Fot. 3. Elastyczna powłoka (membrana) Belzona®3412

Fot. 4. Warstwa Belzona® 8411

Fot. 5. Nałożona powłoka

Fot. 6, 7. Odsunięcie zasadniczej membrany ochronnej Belzona® 3412

Fot. 8. Nasunięcie membrany Belzona®3412 w położenie sprzed naprawy

Fot. 9. Możliwość zabezpieczenia dowolnej wielkości i dowolnego kształtu połączenia kołnierzyowego

Fot. 10. Membrana Belzona® 3412 po teście w komorze solnej

Fot. 11. Korozja niechronionej części rury po teście w komorze solnej

Podstawowe zalety technologii Belzona®3412 to:

1. Łatwość wykonania zabezpieczenia
2. Możliwość zabezpieczenia dowolnej wielkości i dowolnego kształtu połączenia kołnierzyowego (fot. 9)
3. Znakomita ochrona przeciwkorozyjna
 - Test w komorze solnej przeprowadzony według wymagań normy ISO 7253, temperatura 35°C, mgła solna wytworzona z 5% NaCl, czas ekspozycji: 700 godzin
 - Brak jakichkolwiek uszkodzeń korozyjnych pod membraną Belzona®3412 po przeprowadzeniu testu (fot. 10), podczas gdy niechroniona część rury badanego połączenia uległa znaczącej korozji (fot. 11)
4. Możliwość odsłonięcia kołnierzy na czas serwisowania połączenia i ponownego szybkiego założenia membrany na kołnierze
5. Ręczne przygotowanie powierzchni ISO 8501-1 St2
6. Odporność na działanie UV oraz ognioodporność

Roman Masek, Dyrektor Techniczny, Belse Sp. z o.o.

PEWNOŚĆ W EKSTREMALNYCH WARUNKACH



BELSE

Technologie kompozytowe



BELZONA[®]
Ulepszenie • Naprawa • Ochrona

Organizujemy seminaria
techniczne on-line

- szczegóły na www.belse.com.pl/szkolenia



Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP

Nieprzerwanie od 50 lat, przy Zarządzie Głównym Stowarzyszenia Elektryków Polskich, działa Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją, zgodnie ze Statutem SEP oraz własnym Regulaminem. Podstawą działania jest integracja i aktywizacja środowiska fachowców zajmujących się ochroną przeciwkorozyjną w szerokim pojęciu, ale głównie w sektorze czynnej ochrony przeciwkorozyjnej. Grono członków PKEOpK SEP, którzy aktywnie biorą udział w działalności Komitetu, poprzez udział w roboczych spotkaniach, tzw. seminariach i konferencjach naukowo-technicznych organizowanych co dwa lata, liczy obecnie ok.150 osób. Od wielu lat głównym zadaniem Komitetu jest wymiana doświadczeń, eksploatacyjnych, wykonawczych, pomiarowych, projektowych oraz myśli technicznej opartej na najnowszych technologiach i rozwijającej się w szybkim tempie informatyce.

Miniony okres nie sprzyjał działalności PKEOpK SEP. Tak długo oczekiwana i praktycznie dopięta na „ostatni guzik” Konferencja naszego Komitetu, zaplanowana w maju 2020 r., nie mogła się

odbyć, odwołano konferencję planowaną na 2021 rok. Dopiero w bieżącym roku mamy nadzieję na spotkanie – w dniach 17-19 października w Jastarni planujemy „naszą” konferencję. Aktualny terminarz i druk zgłoszenia znajduje się na stronie PKEOpK SEP.

Od 9.05.2022 roku Komitet pracuje w zmienionym składzie:

Przewodniczący: Michał Gazda

Z-cy Przewodniczącego:

Tomasz Brodnicki, Tomasz Minor

Sekretarz: Robert Ciupek

Przewodniczący Honorowy: Wojciech Sokółski

Członkowie: Hanna Matus, Paweł Małyś, Paweł Stochaj

Więcej informacji:

<http://www.pkeopk.sep.com.pl/prezydium.htm>

Robert Ciupek
sekretarz PKEOpK SEP



Józef Roman Kamień 1937–2022

28 czerwca 2022 roku odszedł nasz Kolega i Przyjaciel J. Roman Kamień.

Absolwent Studium Poddyplomowego Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych Politechniki Gdańskiej. Wspólnie z Andrzejem Hoffmannem i doświadczonym zespołem naukowo-badawczym z zakresu elektrochemicznej

ochrony przed korozją założył i rozwijał firmę SPZP Corropol. Był jej wieloletnim prezesem, inicjatorem budowy obecnej siedziby przy ul. Elbląskiej w Gdańsku.

Na zawsze pozostanie w naszej pamięci jako człowiek o wielu talentach, wspaniały, życzliwy, pełen niespożytej energii i pomysłów.

Śp. Roman spoczął w rodzinnych stronach, na cmentarzu w Ostrołęce.

Zarząd i pracownicy SPZP Corropol



Federation of Associations
of Technicians for Industry
of Paints in European Countries



Stowarzyszenie Inżynierów
i Techników
Przemysłu Chemicznego

European Technical Coatings Congress



Obrady w sali Auditorium Maximum Uniwersytetu Jagiellońskiego

European Technical Coating Congress, czyli odbywający się od 1950 roku kongres naukowców z szeroko pojętej dziedziny powłok, w tym roku odbył się w Krakowie. W dniach 12–14 lipca pod Wawel przyjechało ponad 300 naukowców z całego świata, by zaprezentować swoje dokonania, przedyskutować je z kolegami z branży oraz po długiej przerwie spowodowanej pandemią odświeżyć znajomości. Kongres, odbywający się w przepięknym Auditorium Maximum Uniwersytetu Jagiellońskiego, został zorganizowany przy współpracy Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego (SITPChem) i Federation of Associations of Technicians for Industry of Paints in European Countries (FATIPEC). Kongres został otwarty przez prezesa SITPChem i redaktora naczelnego miesięcznika „Przemysł Chemiczny” Jerzego Klimczaka, który przywitał uczestników. Po nim głos zabrał Józef Kozieł, sekretarz generalny FATIPEC, członek zarządu głównego SITPChem oraz Rady Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego PIPC, który m.in. ciekawie opowiedział o atrakcjach Krakowa. Przed pierwszym wykładem plenarnym krótką wstępną prezentację miał również Michael Hilt, prezydent FATIPEC, który przedstawił kilka faktów na temat historii Kongresu. Ceremonię rozpoczęcia uświetnił plenarny wykład prowadzony przez Andre van Lindena, dotyczący tworzenia wartości przez współpracę i innowację. Podczas wykładu słuchacze zostali zabrani w podróż do świata zrównoważonego rozwoju, mieli szansę zapoznać się z nowinkami technicznymi, jakie są już dostępne na rynku, ale również z możliwościami, które jeszcze przed nami.

W przeddzień rozpoczęcia wykładów, prowadzonych równolegle w pięciu aulach, odbyła się letnia szkoła. Przekazano dawkę wiedzy na temat kilku podstawowych zagadnień ze świata R&D powłok. Zajęcia były skierowane głównie do młodych naukowców. W tym ponad 7,5-godzinnym bloku edukacyjnym wzięło udział ponad 40 osób. Była to również świetna okazja do zawarcia nowych przyjaźni na początku drogi naukowej.

W ciągu całego Kongresu zostało wygłoszonych ponad 100 prezentacji, które pogrupowano w dziewięć bloków tematycznych:

- postępy w nauce o farbach i powłokach, klejach, materiałach budowlanych, farbach drukarskich i produktach pokrewnych,
- skład chemiczny, receptury i specyfikacja produktów,
- polimery i inne surowce,
- postępy w przetwarzaniu i produkcji,
- pomiary, testy i system jakości,
- materiały do ochrony przeciwpożarowej i zapobiegania korozji,
- urządzenia i linie produkcyjne,
- techniki aplikacji,
- środowisko, bezpieczeństwo i zdrowie.

Na ETCC 2022 można było wysłuchać trzech wykładów plenarnych oraz ponad 100 prezentacji konferencyjnych badaczy z całego świata. Wśród nich liczną grupę stanowili wykładowcy z Polski, którzy wygłosili 24 wykłady. Otwierający wykład plenarny, pt. *Creating Value through Innovation and Collaboration*, poprowa-



Otwarcie Kongresu. Od lewej: prezes SITPChem Jerzy Klimczak, prezydent FATIPEC Michael Hilt, sekretarz generalny FATIPEC Józef Koziel



Stoiska wystawowe

dzony przez dr. Andre van Lindena, dyrektora ds. technologii powłok AkzoNobel, dotyczył innowacyjnych rozwiązań w zakresie powłok funkcjonalnych na różne rodzaje podłoży (antygraffiti, przeciwpiorostowych, antymgłowych, odpornych na zarysowania, *anti-fingerprint*). Autor poruszył również istotne kwestie związane z ekologią, które w wypadku technologii powlekania są ściśle związane m.in. z obniżaniem zużycia energii, zrównoważonym rozwojem, ograniczaniem śladu węglowego i recyklingiem. Jako przykład wtórnego wykorzystania surowców zaprezentował nową farbę do wnętrz Akzo Nobel – Dulux Trade Evolve Matt – w której 35% zawartości stanowią składniki pochodzące z recyklingu farb.

Drugi z wykładów plenarnych, pt. *Trends and Challenges – New Business Model of Chemical Industry in Europe*, został zaprezentowany przed dr. Tomasza Zielińskiego, prezesa zarządu Polskiej Izby Przemysłu Chemicznego oraz członka National Association Board (NAB) w Europejskiej Radzie Przemysłu Chemicznego (CEFIC). Największym wyzwaniem dla przemysłu związanego z technologią farb i powłok są kwestie ekologiczne i głównie tym zagadnieniem poświęcony był wykład. Autor przedstawił trendy, które sprzyjają proekologicznym rozwiązaniom, takie jak: rozwijanie technologii powłok inteligentnych, opracowywanie innowacyjnych sposobów i mechanizmów utwardzania żywic, stosowanie powłok niezawierających biocydów. Dużą część wystąpienia dotyczyła również nowoczesnych materiałów, których zastosowanie ułatwia zarządzanie energią cieplną i umożliwia redukcję emisji gazów cieplarnianych: powłok obniżających zużycie energii (termoizolacyjnych) czy materiałów zmiennofazowych PCM.

Ostatni z wykładów plenarnych, pt. *What Is the Appropriate Response of the Coatings Industry with Regard to the Ongoing Process of Reclassification of Compounds?*, został zaprezentowany przez dr. Thomasa Maya, niezależnego doradcę w sprawach ochrony środowiska, zdrowia i bezpieczeństwa, współpracującego w przeszłości z największymi producentami surowców chemicznych (Axalta,

DuPont). Autor podsumował postanowienia i zmiany w REACH (w rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów) wprowadzone rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP).

Wśród licznych referatów konferencyjnych zaprezentowanych przez naukowców z Polski były również wystąpienia poświęcone zagadnieniom związanym z powłokami do ochrony przed korozją. Tej tematyki dotyczyły m.in. wykłady naukowców związanych z Centrum Farb i Tworzyw Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników (Sieci Badawczej Łukasiewicz): dr. inż. Sebastiana Jurczyka, pt. *Prediction of Protective Properties of Coatings Based on Glass Transition Temperature Value*, oraz dr inż. Ewy Langer, pt. *Mechanisms of Protection by Coatings with a Reduced Content of Zinc Pigments*. Kwestie dotyczące nowoczesnych ekologicznych powłok proszkowych zostały omówione przez badaczki z Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej: mgr inż. Dominikę Czachor-Jadacką, w prezentacji pt. *UV Curable Biobased Powder Coatings*, oraz dr hab. inż. Barbarę Pilch-Piterę, w wystąpieniu pt. *New Biobased Polyurethane Powder Coatings for Painting Low Temperature Resistance Substrates*. Referat wygłosiła również prezes Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego dr inż. Agnieszka Królikowska: *Carelessnes in Morphology Design Can Affect Organic Coatings Performance*.

W sesji plakatowej uczestnicy konferencji zaprezentowali 60 posterów. Ich tematyka była niezmiernie różnorodna i znakomicie odzwierciedlała współczesne trendy w dziedzinie farb i powłok funkcjonalnych: od zagadnień dotyczących nowych koncepcji i badań podstawowych, prezentowanych głównie przez Uczelnie Wyższe i działy R&D, po kwestie związane z wdrożeniami nowych rozwiązań i udoskonalaniem technologii produkcji, aplikacją i kontrolą jakości gotowych produktów. Wspólnym mianownikiem



Referuje dr inż. Ewa Langer z Centrum Farb i Tworzyw Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników (Sieć Badawcza Łukasiewicz)

badań zaprezentowanych na sesji posterowej było uzasadnione dążenie do zrównoważonego rozwoju i dbanie o kwestie związane z bezpieczeństwem, zdrowiem i ograniczaniem negatywnego wpływu przemysłu lakierniczego na środowisko. W dziedzinie farb i powłok malarskich kluczowe jest opracowywanie nowych materiałów, ograniczanie energochłonności procesów technologicznych, poprawianie trwałości powłok oraz wdrażanie przyjaznych środowisku technologii wytwarzania wyrobów lakierowych ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania surowców ze źródeł odnawialnych. Przykładem szerokiej współpracy, której fundamentem jest poszukiwanie nowych, bardziej ekologicznych rozwiązań, były wyniki badań wstępnych projektu realizowanego w ramach

międzynarodowej inicjatywy CORNET pt.: *Waterbased, Environmental Friendly Zinc Rich Primer Systems*. Projekt jest koordynowany przez Polskie Stowarzyszenie Korozyjne i realizowany przez trzy instytuty badawcze (Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników – Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Badawczy Dróg i Mostów oraz Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA) w porozumieniu z Komitetem Użytkowników, złożonym z ośmiu przedsiębiorstw. Celem projektu jest opracowanie nowych wodorozcieńczalnych gruntów cynkowych przez odpowiednią modyfikację powierzchni pigmentów cynkowych, aby zmniejszyć reaktywność cynku w kontakcie z wodą, jak również optymalizacja składu farb pod względem matrycy polimerowej i środków pomocniczych, w szczególności dyspergujących. Projekt finansowany jest przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Okazją do wzajemnej wymiany doświadczeń, poza ponad 65 godzinami wykładów, była również uroczysta kolacja, która odbyła się w restauracji Stara Zajezdnia by DeSilva na krakowskim Kazimierzu, w zabytkowym budynku, wpisanym na *Listę światowego dziedzictwa kulturalnego i przyrodniczego UNESCO*. Kongresowi towarzyszyła również wystawa, na której 15 firm prezentowało swoje najnowsze osiągnięcia. Wśród wystawców były przedsiębiorstwa: Graphene Engineering Innovation Centre, PRA World, Evonik, Daikin Chemical Europe, DataPhysics Instruments, Grupa Azoty, Spolchemie, Dachser, ReCorrTech, CovationBio, Enformatic Systems, Ichemad-Profarb, Sieć Badawcza Łukasiewicz, Yordas Group, Uni-Export Instruments Polska. Podczas uroczystego zakończenia przyznano nagrody za najlepsze wykłady. Kolejna szansa na uczestnictwo w Kongresie już za dwa lata w Avignonie we Francji.

Izabela Kunce
Damian Wojda

Program kongresu obejmował:

- 108 referatów w 5 równoległych sesjach oraz 3 referaty plenarne
- 60 posterów

W Kongresie wzięło udział:

- 15 wystawców z 7 krajów
- 354 uczestników z 26 krajów.

Prowadzący sesje kongresowe oraz wybrani specjaliści dokonali oceny prezentowanych referatów. Na tej podstawie przyznano nagrody.

Nagrody w kategorii Young Scientist:

- George Hermens (University of Groningen, Holandia)
– nagroda 1000 €
- Zuzanna Bojarska (Politechnika Warszawska, Polska)
– Wyróżnienie 2

- Rana Rafiei Hashjin (Institute for Color Science and Technology, Iran)
– Wyróżnienie 3

Congress Award

- Christian Schmitz (Niederrhein University, Niemcy)
– nagroda 1000 €
- Marco Heuer (EVONIC Operations GmbH, Niemcy)
– Wyróżnienie 2
- Stefano Rossi (University of Trento, Włochy) – Wyróżnienie 3

- Alain Clause Award** (nagrada belgijskiego stowarzyszenia ATIPIC za najlepszy referat na temat rozwiązań ekologicznych i przyjaznych dla środowiska)
- Bart Erich (TNO, Holandia)
– nagroda 1000 €

Józef Koziół



Kongres ETCC 2024, organizowany przez AFTPVA (Association Française des Techniciens des Peintures, Vernis, Encres d'imprimerie, Colles et Adhésifs) odbędzie się w dniach 23–25.09.2024 r. w Pałacu Papięży w Awinionie (Francja). Będzie to tylko kongres, bez wystawy.

Termin nadsyłania abstraktów referatów: 31.01.2024 r. Zgłoszenia autorów: 15.03.2024 r.

Wczesna rejestracja: 31.05.2024 r.

Więcej informacji: <https://www.aftpva.org/event.php>

Najbliższe wydarzenia



Kongres Eurocorr 2022 28.08–1.09.2022, Berlin

EUROCORR 2022 jest organizowany przez firmę DECHEMA (Society for Chemical Engineering & Biotechnology) i GfKORR (Society for Corrosion Protection). Hasłem przewodnim tegorocznego Kongresu jest *Corrosion in a Changing World – Energy, Mobility, Digitalization*.

EUROCORR co roku przyciąga ponad tysiąc ekspertów ds. korozji z całego świata. Wysoki poziom wiedzy naukowej uczestników sprawia, że Kongres jest wiodącą światową konferencją naukową poświęconą badaniom korozyjnym. Młodym korozjonistom *Young EFC* zapewnia platformę do wymiany pomysłów, nauki i inspiracji.

Więcej informacji: <https://eurocorr.org/2022.html>



PATRONAT PRASOWY: **ochrona przed korozją**

XVI Sympozjum PSMB (połączone z XII Warsztatami PSMB)

Ochrona obiektów budowlanych przed wilgocią, korozją biologiczną i ogniem 15–17.09.2022, Wrocław – Serock

Tematyka spotkania:

- zagadnienia ogólne i warunkujące występowanie wilgoci oraz korozji biologicznej w obiektach budowlanych,
- ochrona obiektów przed korozją biologiczną i przed pożarem,
- technologie konstrukcyjne związane z zabezpieczeniem obiektów lub zwalczaniem czynników biologicznych,
- aspekty budowlane zabezpieczania obiektów przed korozją biologiczną – w tym metody osuszania obiektów,
- aspekty rewaloryzacji obiektów zniszczonych i obiektów zabytkowych
- spotkania inżynierskie.

Więcej informacji: <http://www.psmb.wroclaw.pl/>

VIII Międzynarodowe Sympozjum Cynkownicze

PATRONAT PRASOWY: **ochrona przed korozją**



26-28.10.2022

Organizatorami tegorocznego, już ósmego Międzynarodowego Sympozjum Cynkowniczego są STOCKMEIER Chemia Sp. z o.o. i S.S.K. oraz Nederman MikroPul Poland Sp. z o.o.

Tematyka tej edycji spotkania branży cynkowniczej dotyczyła będzie problematyki związanej z myślą przewodnią: **Energooszczędność, redukcja odpadów, minimalizacja kosztów**, która ściśle powiązana jest z aktualną trudną sytuacją na rynku, w związku z działaniami wojennymi w Ukrainie. Uczestnicy spotkania zapoznają się z najnowszymi osiągnięciami naukowymi, technologicznymi i sposobami proekologicznego prowadzenia procesów nakładania powłok cynkowych, które omówione zostaną w pięciu panelach tematycznych.



PATRONAT PRASOWY: **ochrona przed korozją**

XXII Konferencja Naukowo-Techniczna KONTRA 2022

– Trwałość budowli i ochrona przed korozją 13–14.10.2022, Cezdzyina k. Kielc

Konferencja jest adresowana do projektantów, producentów, wykonawców robót i pracowników naukowo-technicznych specjalizujących się w problematyce odporności materiałów budowlanych i konstrukcji na działanie środowiska oraz zagadnieniom ochrony budowli przed korozją. Celem konferencji jest prezentacja najnowszych rozwiązań materiałowych i technologicznych oraz wyników badań teoretycznych i doświadczalnych z szeroko pojmowanej dziedziny trwałości obiektów budowlanych.

Więcej informacji: <https://kontra.il.pw.edu.pl/>



POLSKI KOMITET ELEKTROCHEMICZNEJ
OCHRONY PRZED KOROZJĄ
STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH

POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ

17–19. 10. 2022

Hotel DOM ZDROJOWY RESORT & SPA
w Jastarni

Zgłoszenia udziału w konferencji przyjmowane są przez formularz zamieszczony na stronie internetowej PKEOpK

www.pkeopk.sep.com.pl

więcej informacji na str. 278



We protect and
beautify the world™

**Innowacyjne rozwiązania
techniczne**

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

Ochrona rurociągów i instalacji, monitorowanie korozji

Znaczenie izolacji urządzeń w przypadku zwalczania korozji pod izolacją

W celu poprawy wydajności i ostatecznego zmniejszenia wpływu na środowisko przedsiębiorstwa dostrzegają nie tylko znaczenie izolacji swoich urządzeń, ale również znaczenie jego długotrwałej ochrony, a także ochrony pracowników przed niebezpiecznymi gorącymi powierzchniami. Ian Wade z Belzona Polymers wyjaśnia, że tradycyjne systemy izolacji i otuliny mogą być opłacalne z punktu widzenia materiałów, ale ich montaż może być pracochłonny.

System izolacji instalacji złożonych z wielu elementów ma wiele spoin i złączy, które stanowią potencjalne drogi wnikania wilgoci, co po jej przeniknięciu do zaizolowanej konstrukcji rurociągu lub zbiornika jest przyczyną występowania korozji pod izolacją. Czynnikiem wpływającym na szybkość korozji pod izolacją są: temperatura pracy zaizolowanej konstrukcji, rodzaj izolacji oraz cykliczny charakter pracy konstrukcji.

Przedstawiono kilka produktów firmy Belzona stosowanych do ochrony przed korozją pod izolacją. Produkty Belzona serii 5000 mogą być stosowane jedynie jako powłoki barierowe. Są to produkty epoksydowe, które mogą być nakładane bezpośrednio na gorące powierzchnie o temperaturze do 150°C, przygotowane ręcznie, a po ich usieciowaniu można ponownie zamontować izolację lub otulinę. Oprócz tej konwencjonalnej metody ochrony przed korozją pod izolacją firma Belzona opracowała innowacyjny dwuskładnikowy produkt bezrozpuszczalnikowy Belzona 5871. Ten wielofunkcyjny materiał łączy izolację termiczną i ochronę przed korozją w jeden łatwy w użyciu system, którym można zabezpieczyć nawet konstrukcje o skomplikowanych kształtach geometrycznych. Powłoka tworzy lekką gęstą piankę o zamkniętych komórkach, która po nałożeniu zwiększa trzykrotnie swoją grubość. Nie jest wymagane nałożenie na nią dodatkowych powłok farb do gruntowania lub nawierzchniowych, co ogranicza liczbę wymaganych warstw wymalowania w porównaniu z konwencjonalnymi systemami ochronnymi. Krótki czas sieciowania i ograniczona liczba nakładanych warstw zapewnia szybkie oddanie konstrukcji do eksploatacji.

Na przykładzie zastosowania produktu Belzona 5871 w cukrowni zademonstrowano możliwość ochrony operatorów maszyn narażonych na działanie wysokiej temperatury. Pracownicy cukrowni musieli ręcznie obsługiwać zawory rurociągów transportujących parę o temperaturze 90°C. Dzięki zastosowaniu powłoki Belzona 5871 o grubości 2,2 mm, która po usieciowaniu miała grubość 6,6 mm udało się obniżyć temperaturę zaworu do 47°C.

Podsumowując, Belzona 5871 jest innowacyjnym rozwiązaniem, zapewniającym izolację termiczną maszyn i urządzeń, zwiększając ich wydajność i trwałość. Ponadto ochrona przed korozją wydłuża żywotność sprzętu, zmniejszając przyszłe koszty wymiany. Belzona 5871 jest również rozwiązaniem bezpiecznym, ponieważ umożliwia obniżenie temperatury powierzchni poniżej 60°C, co zapobiega poparzeniom kontaktowym obsługi.

Na podstawie: I. Wade, *Protective Coatings Europe*, 2021, vol.13 (1), s. 40–42

Nowy system monitoringu korozji zastosowany w zakładzie produkcyjnym PKN Orlen SA

Przedstawiono efekty projektu badawczo-rozwojowego związanego z opracowaniem, budową oraz wdrożeniem monitoringu korozji pracującego w trybie *online*.

Celem współpracy PKN Orlen i Politechniki Gdańskiej w ramach projektu dofinansowanego z Funduszy Europejskich było opracowanie, budowa i wdrożenie dualnych czujników korozji będących elementem zintegrowanego systemu monitorowania korozji *online* oraz zapewnienie oceny intensywności korozji równomiernej (ogólnej), podatności na pękanie korozyjne i kruchość wodorową.

Projekt zrealizowano w 3 etapach.

Etap I obejmował badania laboratoryjne. Określono zależności wytrzymałościowe materiałów referencyjnych na korozję i poziom nawodorowania oraz jego wartości graniczne dla materiałów konstrukcyjnych. Wyniki tych prac posłużyły do opracowania prototypów sensorów korozji w zakresie grubości i wielkości czujników oraz gatunku materiału. Badania mechaniczne pozwoliły na wyznaczenie korelacji stężenia wodoru w stali i zmiany właściwości mechanicznych.

Etap II obejmował projektowanie i budowę prototypów czujników pomiarowych będących częścią zintegrowanego systemu monitorowania korozji oraz opracowanie prototypu systemu akwizycji, przesyłu i raportowania danych z czujników.

Etap III to pilotaż pełnego rozwiązania w instalacji przemysłowej, badanie poprawności funkcjonowania, wprowadzenie poprawek, a także procedura certyfikacji ATEX, badania ciśnieniowe UDT. Dokonano podłączenia i konfiguracji systemu monitoringu do systemów informatycznych PKN Orlen. Montaż i uruchomienie wszystkich elementów monitoringu korozji (sensory, nadajniki sygnału, gateway, komputer przemysłowy) zostały zakończone w maju 2021 r.

Monitoring dualnych systemów korozji jest prototypem, obecnie na rynku nie istnieją podobne komercyjne systemy monitoringu korozji. Wdrożone rozwiązanie technologiczne jest oparte na technice rezystometrycznej. Komercyjne urządzenia bazujące na tej technice nie dają możliwości rozróżnienia pomiędzy procesem korozji równomiernej i kruchością wodorową. Dzięki zastosowaniu dualnych sensorów korozji uzyskuje się możliwość rozróżnienia pomiędzy dwoma zjawiskami (korozja ogólna i wodorowa). To rozróżnienie jest istotne ze względu na działania związane z różnymi mechanizmami korozyjnymi. Jednoczesny pomiar *online* kluczowych parametrów pozwala uzyskać zdolność szybkiej oceny postępowania procesu korozji oraz reakcji na bieżące wahania poziomu zagrożenia. Monitorowanie w trybie *online* korozji w instalacjach produkcyjnych za pomocą dualnych czujników korozji przyczyni się do zwiększenia bezpieczeństwa procesowego, ograniczenia awarii i wydłużenia żywotności instalacji przemysłowych oraz do optymalizacji dozowania środków antykorozyjnych i lepszej ceny efektywności ich stosowania.

PKN Orlen dokonał międzynarodowego zgłoszenia patentowego PCT dla wynalazku dualnych sensorów korozji.

Specjalizujemy się w antykorozyjnej ochronie katodowej metalowych konstrukcji podziemnych i podwodnych takich jak:

- rurociągi
- orurowania odwiertów wydobywczych
- grupy zbiorników paliw
- oczyszczalnie ścieków
- zbrojenie konstrukcji żelbetowych

Wykonujemy:

- EKSPERTYZY–POMIARY
prądy błędzące, interferencja DC, AC, DCVG + CIPS
- MONITORING SZYBKOŚCI KOROZJI także w strefach wybuchowych
- PROJEKTY TECHNICZNE
- INSTALACJE OCHRONY KATODOWEJ
- INSTALACJE ZABEZPIEZAJĄCE RUROCIĄGI PRZED SKUTKAMI ODDZIAŁYWANIA LINII WN
- PRZEGLĄDY SERWISOWE

**Zatrudniamy specjalistów o ponad trzydziestoletnim doświadczeniu w projektowaniu i wykonawstwie instalacji ochrony katodowej w kraju i za granicą
Nasz personel jest certyfikowany według normy PN-EN ISO 15257:2017**

Jesteśmy oficjalnym dystrybutorem firm **McMiller, DEI, Matcor, Loresco, CerAnode, Metal Samples, Royston, Cath-Tech, Abriox, Mobiltex, Tinker & Rasor i Disa.**

Kamionki k/Poznań, ul. Kamienna 87, 62-023 Gądki

Biuro w Luboniu, ul. Armii Poznań 131, 62-030 Luboń :: ☎ 61 8971 725 :: 📠/📞 61 8971 737 :: ✉ info@corrstop.pl

Biuro w USA, 11804 Manistique Way, New Port Richey, FL 34654 :: ☎ +1 201 218 3975

Biuro w Kazachstanie: Almata, ul. Furmanowa 103, biuro 604 :: ☎ +7 727 333 43 94

Wynalazek „Sonda do pomiaru szybkości korozji” otrzymał nagrodę platynową oraz Grand Prix za najbardziej innowacyjny wynalazek zaprezentowany podczas XV Targów Wynalazków i Innowacji INTARG@2022.

Na podstawie: R. Gospoś, A. Plis, I. Łuksa, K. Darowicki, J. Orlikowski. *Przemysł Chemiczny*, 2022, nr 6, s. 398–403.

Ochrona katodowa stali miękkiej za pomocą stopów na bazie aluminium

Zazwyczaj stal jest chroniona przed korozją dzięki zastosowaniu anod protektorowych lub powłok na bazie Zn, Mg, Al lub Cd. Zastrzeżone przepisy dotyczące ochrony środowiska wymagają jednak zastąpienia Cd nowymi, przyjaznymi dla środowiska alternatywami. Tradycyjnie anody na bazie Al były stosowane do katodowej ochrony stali w zastosowaniach morskich lub jako powłoki protektorowe z jonowego osadzania par (IVD)-Al w zastosowaniach lotniczych. Jednakże Al ma tendencję do pasywacji, przez co traci swój efekt ochronny, dlatego ważne jest, aby zidentyfikować możliwe stopy, które mogą zapewnić wystarczający prąd w sposób stały.

W omawianej pracy stopy Al-X (X = Ag, Bi, Ca, Cr, Cu, Ga, Gd, In, Mg, Mn, Ni, Sb, Si, Sn, V, Ti, Zn i Zr) zostały najpierw przebadane pod kątem właściwości protektorowych w układach dwuskładnikowych.

Stopy Al-0,5Cr, Al-1Sn, Al-0,2Ga, Al-0,1In, Al-2Si oraz Al-5Zn zostały zaproponowane jako obiecujące stopy protektorowe na bazie Al. Dla każdego układu wdrożono odpowiednią obróbkę cieplną w celu zmniejszenia wpływu faz wtórnych na właściwości korozyjne dzięki minimalizacji korozji lokalnej. Szeroką ocenę właściwości korozyjnych, w tym galwanicznego połączenia tych stopów ze stałą, przeprowadzono w roztworze NaCl. Wykonano analizę porównawczą w celu wyboru najbardziej obiecującego stopu (stopów) dla uniknięcia pasywacji Al i dla zapewnienia skutecznej ochrony katodowej stali.

Na podstawie: M.d.R. Silva Campos i in., *Materials*. 2022, 15, 1301

Przeгляд nauki i inżynierii ochrony katodowej stali w glebie i betonie

Po stuletniej historii stosowania ochrony katodowej żelaza i stali autor artykułu dokonał krytycznego przeglądu stanu wiedzy w dziedzinie nauki i inżynierii oraz ocenił przydatność ochrony, katodowej jako skutecznej technologii mierzącej się z korozją infrastruktury.

Autor skupił się na ochronie katodowej stopów na bazie żelaza, umieszczonych w porowatym środowisku, takim jak gleba czy beton, gdyż te dwa zastosowania technologii ochrony katodowej wykazują wiele podobieństw. Omówiono naukowe zasady ochrony katodowej i przedyskutowano różne sprzeczne teorie. Ustalono, że wśród nau-

Rejestratory **mR4** i **mR3p** do pomiarów w elektrochemicznej ochronie przed korozją



Więcej na: www.linstruments.com.pl

linstruments

- 4 kanały pomiarowe separowane galwanicznie lub trzy kanały z przerywaczem prądu
- w każdym kanale zakresy: $\pm 100V$, $\pm 10V$, $\pm 290mV$, $\pm 18mV$ (mikrowoltomierz)
- wbudowany GPS, wymienna karta pamięci, USB i Bluetooth
- zasilanie wewnętrzne 2 akumulatory AA 1.2V, 8 ÷ 24 godzin, zewnętrzne 6V d.c.
- stopień ochrony IP5X
- wymiary 115 x 70 x 45 mm

Rejestratory współpracują z czujnikami o wyjściach napięciowych lub prądowych zapewniając pomiar wszelkich wielkości fizycznych w wybranym zakresie i w dowolnych jednostkach miary. Komunikacja z komputerem (Windows) i tabletem (Windows, Android) lub telefonem (Android).

W ochronie katodowej może być używany zarówno w pomiarach rutynowych potencjałów i napięć jak i do badań korelacji $e = f(u)$ i $e = f(i)$, pomiarów intensywnych, precyzyjnej kalibracji punktów prądowych, pomiaru prądu w rurociągach i wyznaczania jednostkowej rezystancji powłoki izolacyjnej badanych odcinków rurociągu.

kowców istnieje zgodny pogląd, że ochronę stali można osiągnąć dzięki połączeniu natychmiastowej aktywacji polaryzacji i korzystnych zmian w chemii elektrolitu, które stopniowo występują na powierzchni stali podczas przepływu prądu w kierunku elektrody stalowej.

Główną i dobrze udokumentowaną technologiczną zaletą tych chemicznych skutków jest to, że wpływ ochronny utrzymywany jest podczas chwilowej utraty prądu ochrony, spowodowanej wyłączeniem lub zakłóceniami anodowymi. Jednakże zależność między chemicznymi zmianami stężenia w porowatym środowisku i prądem ochrony jest złożona i jak wykazano w tym artykule, nie może być wiarygodna, gdy zastosuje się najnowocześniejsze podejście do zagadnienia.

Omówiono również różne hipotezy dotyczące mechanizmu ochrony przed korozją w zróżnicowanej heterogenicznej sytuacji (elementy galwanizowane), co często ma miejsce w praktyce. Stwierdzono, że zrozumienie mechanizmu ochrony katodowej w warunkach heterogenicznych pozostaje krytycznym wyzwaniem naukowym. Tocząca się długotrwała debata dotyczy pytania, czy skuteczność ochrony katodowej polega głównie na zmniejszeniu liczby i rozmiaru miejsc aktywnie korozyjnych czy też powoduje zmniejszenie szybkości korozji w miejscach aktywnych korozyjnie. Ponadto dokonano przeglądu literatury dotyczącej wzajemnej zależności pomiędzy korozją powodowaną działaniem organizmów i ochroną katodową oraz podkreślono ostatnie postępy i ograniczenia przedstawione w najnowszej literaturze.

W drugiej części artykułu omówiono wymogi dobrej praktyki inżynierskiej i kryteria ochrony katodowej. Na zakończenie przedstawiono rekomendacje dla przyszłego rozwoju. Podkreślono szczególną zaletę analizy możliwości rozwoju tej dziedziny przez zastosowanie modelowania numerycznego takich zagadnień jak reaktywne modelowanie transportu w porowatym środowisku, a także rozważenie współzależności między procesami transportu, reakcjami chemicznymi i kinetyką elektrody.

Na podstawie: U. Angst, *Corrosion*, 2019, s. 1420–1433

Przegląd stanu wiedzy na temat ochrony katodowej konstrukcji ze zbrojonego betonu

Ochrona katodowa (CP) ogranicza korozję powierzchni metalowej dzięki uczynieniu jej katodą ogniwa elektrochemicznego. Można to osiągnąć przez zastosowanie bardziej aktywnej anody protektorowej do wytworzenia prądu zasilającego lub przez zastosowanie anod obojętnych i wywarcie wpływu na powierzchnię katody za pomocą zewnętrznego źródła prądu stałego. Ochrona katodowa z zewnętrznym źródłem prądu (ICCP) jest preferowana tam, gdzie wymagana jest szeroka ochrona, szczególnie w konstrukcjach ze zbrojonego betonu. ICCP wymaga stałego zasilania prądem stałym, który jest zwykle dostarczany przez połączenie z siecią lub przez niezależne generatory.

W artykule przedstawiono obecnie dostępne systemy ochrony katodowej betonu zbrojonego, w szczególności ICCP, oraz możliwość wykorzystania samowystarczalnych i odnawialnych systemów energetycznych. Omówiono potencjał przewyciężenia niedogodności (ze względu na przerwy prądu) w dostarczaniu energii ze źródeł odnawialnych z zapotrzebowaniem na energię dla ochrony katodowej (prąd stały) przez zbadanie metod magazynowania energii i zbadanie poziomu ochrony zapewnianej po zaprzestaniu dostarczania prądu. Wówczas stal może zachować niewielką polaryzację, która nadal może mieścić się w dopuszczalnych granicach.

Podkreślono obszary, które wymagają dalszych badań w celu optymalizacji projektowania takich systemów.

Na podstawie: A. Byrne, N. Holmes, B. Norton, *Magazine of Concrete Research*, vol. 68 (13) s. 664–677



K O R E K O

r o k z a ł . 1 9 9 0

...morze możliwości

32 lata

**chronimy Wasze zbiorniki i rurociągi.
Nasze instalacje cały czas walczą z korozją!**



Od 2006 roku nasze instalacje wyposażane są
w monitoring stanu pracy ochrony katodowej.
Rozwiązanie to jest chronione patentem Nr 212366

www.ochrona-katodowa.pl



Poprawa monitorowania danych ochrony katodowej w dobie Big Data i przemysłowego internetu rzeczy (IIoT- Industrial Internet of Things)

Autorzy badali postępy w technologii zdalnego monitorowania i ulepszeń, które prowadzą do zapewnienia maksymalnej integralności rurociągu podczas optymalizacji wydajności operacyjnej. Szczególną uwagę zwrócono na dane wygenerowane przez ochronę katodową urządzenia monitorujące integralność rurociągu (np. monitorowania prostownika).

W artykule przedstawiono sposób, w jaki techniki analizy danych, takie jak sztuczna inteligencja i algorytmy uczenia maszynowego mogą rzucić światło na historyczne ciemne dane (dark data), poprawiając operacje integralności rurociągu oraz bezpieczeństwo pracowników i innych grup społeczeństwa.

Wykorzystanie odczytów napięcia i prądu stałego prostownika przez urządzenia do zdalnego monitorowania (RMU) w całych Stanach Zjednoczonych pozwoliło na lepsze zrozumienie sezo-

nowej zmienności rezystancji układu prostownika. Obecność i wpływ gleby w obwodzie elektrycznym systemu prostowników jest największym czynnikiem zmienności sezonowej. Poprzez porównanie reżimów wilgotności i temperatury gleby z danymi dotyczącymi rezystancji wykazano, że sezonowa zmienność rezystancji może przewidywać klasyfikację wilgotności i temperatury w miejscu lokalizacji prostownika.

Zaproponowano dwuetapową procedurę przewidywania przyszłych progów alarmowych RMU. Pierwszy etap obejmuje predykcję sezonowo korygowanych wartości granicznych na podstawie lokalizacji prostownika i związanych z nim klasyfikacji temperatury i wilgotności gleby. Drugim etapem będą specyficzne dla prostownika sezonowo dostosowane limity, oparte przede wszystkim na wcześniej zarejestrowanych odczytach napięcia i natężenia prądu stałego.

Dalsza analiza wpływu głębokości, materiału i powłok, a także pomiarów rezystancji gleby podczas instalacji rurociągu pozwoli na bardziej dokładne przewidywanie sezonowej zmiany parametrów prostownika.

Na podstawie: T. da Costa, M. Barrett, 2022, *Cathodic Protection for Corrosion Control Supplement to MP*, May, s.1-7



We protect and
beautify the world™

**Doskonałe powłoki
antykorozyjne i ogniochronne**

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

Synergiczne działanie ochronne karboksymetylochitozanu i ochrony katodowej stali X70 na rurociągi w wodzie morskiej

Przeprowadzono badania skuteczności inhibitowania korozji rurociągu ze stali X70 w wodzie morskiej przy użyciu karboksymetylochitozanu (CMCS) i Na_2WO_4 przy potencjale ochrony katodowej $-0,85$ V (względem elektrody kalomelowej). Właściwości korozyjne badano metodami elektrochemicznymi, za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), dyfrakcji rentgenowskiej (XDS) oraz spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR). Wyniki wykazały, że skuteczność inhibitowania wzrasta wraz ze wzrostem stężenia CMCS. Na podstawie krzywych polaryzacji stwierdzono, że CMCS i Na_2WO_4 wykazują korzystną synergię w hamowaniu korozji stali X70 na rurociągi w wodzie morskiej. Zakłada się, że mechanizm inhibicji stojący za synergicznym efektem ochronnym CMCS i Na_2WO_4 zachodzi zarówno przez chemisorpcję na powierzchni stali przez aktywne miejsca, jak i przez fizyosorpcję. Podczas badań stwierdzono, że skuteczność ochrony przed korozją wynosiła 80,95% przy stężeniu CMCS 0,25 g/l. W roztworze zawierającym 0,25 g/l CMCS i 0,1 g/l Na_2WO_4 skuteczność inhibicji wyniosła 90,04%. Dzięki połączeniu inhibitorów korozji z ochroną katodową korozja może zostać zahamowana, a na powierzchni nie tworzą się osady wapienne.

Na podstawie: P. Feng i in., <https://doi.org/10.1039/C6RA25310E>

Właściwości fotogenerowanej ochrony katodowej nanokompozytów Ag/NiS/TiO₂

TiO₂ jest materiałem półprzewodnikowym stosowanym w konwersji fotoelektrycznej. W celu poprawy stopnia wykorzystania światła, na powierzchni nanodrutów ditlenku tytanu zsyntetyzowano nanocząstki siarczku niklu i srebra prostymi metodami impregnacji i osadzania oraz fotoredukcyjnymi. Przeprowadzono serię badań dotyczących efektu ochrony katodowej nanokompozytów Ag/NiS/TiO₂ na stali nierdzewnej 304, z dodatkowymi analizami dotyczącymi morfologii materiału, jego składu i charakterystyki absorpcji światła.

Na styku nanokompozytów Ag/NiS/TiO₂ tworzy się heterozłączone pole elektryczne, które poprawia zdolność separacji fotogenerowanych elektronów i dziur. Jednocześnie poprawia to efektywność wykorzystania światła, co sprawia, że zakres absorpcji światła rozszerza się z obszaru ultrafioletu do obszaru światła widzialnego. Nanokompozyty już po 4 cyklach nadal utrzymują stan początkowy i charakteryzują się dobrą stabilnością.

Przygotowany w eksperymencie nanokompozyt Ag/NiS/TiO₂ miał jednolitą, gęstą powierzchnię, a nanocząstki siarczku niklu i srebra były równomiernie rozmieszczone na powierzchni nanorurek TiO₂. Wyniki badań wykazały, że gdy liczba cykli impregnacji-osadzania siarczku niklu wynosiła 6, a stężenie azotanu srebra wynosiło 0,1 M, przygotowane nanokompozyty Ag/NiS/TiO₂ mogły zapewnić najlepszą ochronę katodową stali nierdzewnej 304.

Na podstawie: N.Wang i in., *Scientific Reports*, 2022, nr 12

Transport wody przez proszkowe powłoki epoksydowe na rurociągi

Woda może z czasem zmienić strukturę molekularną powłok polimerowych i wpłynąć na transport masy innych substancji przenikających. Hydratacja sieci epoksydowej w podwyższonych temperaturach zwiększa porowatość agregatów w powłoce.

Zbadano kinetykę przenikania wody przez dwie powszechnie stosowane epoksydowe powłoki z farb proszkowych dla rurociągów w zakresie temperatur istotnych dla przemysłu (od temperatury pokojowej do 80°C). Analizowano wyłącznie nieliniową zależność transportu wody od stężenia pary wodnej w temperaturze 65°C. Analiza transportu pary wodnej w powłokach epoksydowych wykazała punkt zwrotny w okolicach tej temperatury, być może z powodu grupowania się cząsteczek wody.

Zbadano również zmiany mikrostrukturalne sieci epoksydowej spowodowane transportem wody i znaleziono dowody na nieodwracalne uszkodzenia powłok epoksydowych pod wpływem ekspozycji hydrotermicznej. Okazuje się, że połączenie ekspozycji termicznej i naprężeń wewnętrznych prowadzi do separacji fazowej cząstek wypełniacza od matrycy epoksydowej w powłoce, a także do charakterystycznego tworzenia się ubytków w powłoce.

Wyniki wskazują, że ekspozycja hydrotermiczna prawdopodobnie zwiększy porowatość powłoki i dlatego korzystne byłoby wdrożenie standardowych procedur powlekania tak, aby uniknąć problemów związanych z wczesną degradacją powłoki. Analiza przenikania w stanie mokrym jest nie tylko kluczowa dla ochrony rurociągów transportowych, ale ma również duże znaczenie dla urządzeń procesowych i podziemnych zbiorników magazynowych.

Na podstawie: H. Zargarneshad, E. Asselin, D. Wong, C.N. Catherine Lam, *Progress in Organic Coatings*, 2022, vol.168, <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106874>

Zapobieganie korozji z wykorzystaniem badań

Korozja zawsze pozostaje zagrożeniem dla rurociągów podziemnych i podmorskich w Australii. David Norman, prezes australijskiej firmy Future Fuels Cooperative Research Centre przedstawił tematykę rozwiązań naukowych, nad którymi pracuje jego firma, aby umożliwić dekarbonizację układów dostarczania energii, a jednocześnie zapewnić bezpieczeństwo pracy i żądany stopień integralności w przemyśle.

Zanieczyszczenia gazu mogą powodować nanoszenie przewodzących prąd osadów w rurociągach przesyłowych gazu odzyskiwanego z pokładów węgla, co wpływa na zakłócenia oraz obniżenie skuteczności ochrony katodowej tych rurociągów. Przeprowadzono badania składu tych osadów i opracowano potencjalne rozwiązania zmierzające do zmniejszenia ich negatywnego wpływu i zasięgu. Rozwiązania te nie ograniczają się do rurociągów przesyłowych gazów odzyskiwanych z pokładów węgla, ale mogą być stosowane w przyszłości w rurociągach paliw, takich jak biometan czy syntetyczny metan.

Korozja pod katodowo odspojonymi powłokami (CUDC) jest podstawowym problemem z jakim mierzą się operatorzy rurociągów w Australii. Skutków tej korozji nie można zwalczać za po-

Kompleksowe usługi w zakresie montażu i kontroli systemu ochrony katodowej

Doradztwo w zakresie doboru optymalnych rozwiązań.

www.imir.bytom.pl • tel. 607-977-383
e-mail: szymon.lewandowski@imir.bytom.pl



- Wykonywanie pomiarów diagnostycznych ACVG, DCVG, CIPS.
- Kompleksowa diagnostyka rurociągu.
- Pomiary i ocena zagrożenia korozyjnego spowodowanego oddziaływaniem prądów błędzących, prądów przemiennych.

- Montaż i rozruch anod galwanicznych (protektorów).
- Kompleksowa ocena stanu zabezpieczenia przeciwkorozyjnego.
- Projektowanie instalacji systemów ochrony przeciwkorozyjnej.
- Wykonanie i testowanie przyłączy kablowych do konstrukcji chronionych metodą łukowego lutowania twardego Pin - Brazing.
- Układanie i kontrola kabli prądowych oraz przewodów pomiarowych.
- Montaż słupków kontrolno-pomiarowych.

- Instalowanie i testowanie elektrod odniesienia do pracy ciągłej oraz innych elementów pomiarowych.
- Montaż i rozruch stacji ochrony katodowej, drenażu polaryzowanego.
- Okresowe pomiary potencjałów, kontrola parametrów pracy systemów ochrony katodowej.



- Naprawy i wymiany elementów systemów ochrony katodowej.



- Pomiary rezystywności gruntu metodą Wennera, określenie agresywności gruntu na badaną konstrukcję.
- Pomiary odbiorowe, wyznaczenie jednostkowej rezystancji przejścia izolacji, sprawdzenie poprawnego odizolowania rury ochronnej od przewodowej.

mocą ochrony katodowej, a oznak jej występowania nie można zbadać, stosując zwykłe przyrządy bez wykonania kosztownych wykopów. Firma opracowuje nowatorski przyrząd, który umożliwi po raz pierwszy zbadanie oznak występowania korozji CUDC w rurociągu. Z kolei opracowany system ochrony katodowej zamkniętego obiegu może pozwolić na przystosowanie w czasie rzeczywistym ochrony katodowej rurociągu, w którym nastąpiło uszkodzenie powłoki lakierowej.

Lokalne endoskopowe naprawy powłok lakierowych bez konieczności odkopywania rurociągu umożliwi nowa technologia opracowana przez firmę Future Fuels CRC. Technologia ta polega na wtryskiwaniu do rurociągu preparatów hamujących korozję; opracowano też metodę wtryskiwania tego preparatu w pobliżu miejsca uszkodzenia.

Wraz z koniecznością dalszych badań związanych z korozją przemysł mierzy się z problemami dotyczącymi wpływu nowych paliw, takich jak wodór czy biometan, na trwałość i właściwości rurociągów przesyłowych, a firma Future Fuels CRC prowadzi badania w celu zrozumienia i poznania potencjalnych zagrożeń, takich jak kruchość i przenikanie, jakie nowe paliwa mogą powodować w rurociągach stalowych i tworzywowych.

Na podstawie: D. Norman, *The Australian Pipeliner*. 2022, January, s.14

Program najlepszych praktyk w zakresie ochrony katodowej dla wodociągów

Wprowadzenie i utrzymywanie skutecznych programów ochrony przed korozją ma szczególne znaczenie dla systemów przesyłu wody. W artykule przeprowadzono techniczne i ekonomiczne rozważania dotyczące instalacji ochrony katodowej i modernizacji podziemnych rurociągów przesyłowych wody w celu opracowania podręcznika dobrych praktyk przeznaczonych szczególnie do instalacji przesyłowych wody. Jest on częścią projektu *Water Research Foundation* (WRF4618).

W USA ochrona katodowa wymagana jest w przypadku zamontowanych w latach od 1970 do teraz rurociągów gazowych lub przesyłowych niebezpiecznych substancji pomiędzy poszczególnymi stacjami. Mimo tego, że rozszczelnienie rurociągów przesyłowych wody nie stwarza niebezpieczeństwa, konsekwencje takich awarii są kosztowne. Do zwalczania korozji rurociągów do przesyłu wody stosuje się wiele technik i technologii, nie istnieją jednak znormalizowane metody ochrony.

W oparciu o analizę przypadków i dane historyczne stwierdzono, że następstwa ciągłych napraw miejsc niewralgicznych mają tendencję do stabilizowania liczby awarii starzejących się konstrukcji przy niskich kosztach, zanim podjęta zostanie decyzja o wy-

KCP-PROCESS

KOMPETENTNIE
CAŁOŚCIOWO
PROFESJONALNIE

Oferujemy kompleksową realizację inwestycji

Usługi projektowe: projekty budowlane i wykonawcze, koncepcje, analizy, ekspertyzy, wraz z wymagalnymi uzgodnieniami formalno-prawnymi z inwestorami i urzędami.

Usługi wykonawcze: uzgodnienia, realizacja, rozruchy, odbiory.

Naprawy i eksploatację systemów: elektrycznych, akpia, telemetrycznych, detekcji gazu, zabezpieczeń, ochrony katodowej.

Specjalizacje

Ochrona katodowa: stacje ochrony katodowej, drenaże polaryzowane i wzmocnione, uziomy anodowe, przyłączenia do konstrukcji stalowych (rurociągi, zbiorniki), punkty pomiarowe, punkty telemetryczne, zabezpieczenia przed oddziaływaniem linii WN

Obiekty gazowe: stacje redukcyjno – pomiarowe I i II stopnia, stacje regulacyjne, węzły przesyłowe, stacje LNG, instalacje pomiarowe, akp i elektryczne.

KCP-PROCESS sp. z o.o.

ul. Kopanina 54/56, 60-105 Poznań

tel. 785-992-284, e-mail: biuro@kcp-process.pl

www.kcp-process.pl

mianie elementu lub zastosowaniu innych programów ochrony katodowej. Przewiduje się, że modernizacja anod mimo wyższych kosztów początkowych spowoduje zmniejszenie liczby awarii i wycieków. W wielu przypadkach udokumentowana liczba awarii przed i po wprowadzeniu ulepszeń może posłużyć do pomiaru rezultatów skuteczności programów ochrony katodowej.

W artykule przedstawiono dwie analizy przypadku: badania długoterminowej skuteczności ochrony katodowej w East Bay Municipal Utility District (EBMUD) oraz program ochrony katodowej z modyfikacją anod w Des Moines Water Works. Modyfikacja anod może być zastosowana do wszystkich rurociągów, włączając te o mniejszych średnicach (150,4–305 mm), które na ogół są instalowane bez ochrony katodowej. Dokumentacja i doświadczenia z poprzednich awarii pozwolą określić, czy modernizacja jest dobrym kierunkiem dla danego systemu. Jeśli pęknięcia korozyjne pojawiają się w zlokalizowanych obszarach, najlepszym podejściem może być zastosowanie ochrony katodowej w niewralgicznym miejscu. Jeśli pęknięcia są losowe i rosną, modernizacja ochrony katodowej będzie prawdopodobnie najlepszym rozwiązaniem. Nowsze rurociągi o większej średnicy korzystają z w pełni zaprojektowanego systemu ochrony katodowej, ponieważ koszt jej instalacji będzie stanowił niewielki procent całkowitego kosztu budowy/konserwacji. Dwa studia przypadków – pochodzące ze źródeł w ramach badań i warsztatów użytkowych WRF4618 – poka-

zują długoterminowe korzyści z programów ochrony katodowej na rurociągach przesyłowych wody.

Na podstawie: Newsletter www.materialsperformance.com, 2020.12.16

Nowa technologia ochrony przed korozją systemów cumowniczych w instalacjach przybrzeżnych

Firma Imenco Corrosion Technology (ICT) z Stavanger w Norwegii wprowadziła na globalny rynek technologię ochrony katodowej Pacu. System ten umożliwia rozwiązywanie problemów związanych z korozją systemów cumowniczych instalacji i konstrukcji przybrzeżnych na stałe zamocowanych za pomocą cum. Początkowo przeznaczony do stosowania w łańcuchach cumowniczych pływających jednostek produkcyjnych, magazynowych i przeladunkowych (FPSO) system można również zastosować w każdym systemie cumowniczym, np. na pływających platformach wiatrowych lub morskich instalacjach akwakultury.

Ochrona katodowa od dawna stanowi integralną część strategii zapobiegania korozji stalowych konstrukcji przybrzeżnych, ale aż do tej pory nie można było tą metodą zabezpieczyć przed korozją systemów cumowania. Dotychczas jedyną metodą wydłużenia

trwałości łańcuchów cumowniczych było stosowanie grubszych i cięższych łańcuchów, jednak szybkość korozji jest wartością nieprzewidywalną i zmienną w różnych środowiskach morskich.

System Pacu składa się ze znanej klamry Piranha i zintegrowanej montowanej na wsporniku anody protektorowej, co znacznie wydłuża trwałość łańcuchów. Stosowane są do każdej konstrukcji zacumowanej na stałe, a rozmiar, kształt i rozstaw anod – zainstalowanych na długości każdego łańcucha – są zaprojektowane tak, aby spełnić wymagania danego systemu. Przed wprowadzeniem

tej technologii na rynek prowadzono badania we współpracy ze znanymi międzynarodowymi firmami w celu uzyskania ich opinii o skuteczności tej metody ochrony. Według firm system jest rozwiązaniem realnym i skutecznym. Łącząc wytrzymałość i przewodność zacisku Piranha z rewolucyjnym systemem instalacji anod na długości łańcucha, Pacu zmienia dostępne strategie ochrony podmorskich łańcuchów.

Na podstawie: B. duBose, 2022, *Cathodic Protection for Corrosion Control Supplement to MP*, May, s. 10–11

Wynalazki

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 11/2022

Metoda modyfikowania metali za pomocą lasera
Twórcy: Wysokiński Karol · Firma: WYSOKIŃSKI KAROL, Gdynia · Zgłoszenie 435270, s. 14

Sposób przygotowania kompozycji lakierniczej z dodatkiem nanoditlenku krzemu i nanoditlenku glinu

Twórcy: Mirkiewicz Tomasz; Klisowski Piotr Leon; Smoliński Paweł · Firma: OPAKOFARB ZAKŁAD PRODUKCJI OPAKOWAŃ sp. z o.o., Włocławek · Zgłoszenie 435221, s. 18

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 12/2022

Środek gruntujący do wykonywania posadzek epoksydowych oraz sposób jego otrzymywania
Twórcy: Sadowski Łukasz; Kampa Łukasz · Firma: Politechnika Wrocławska, Wrocław · Zgłoszenie 435371, s. 11–12

Farba antykorozyjna do podłoża stalowych

Twórcy: Lach Jakub; Kędziński Michał; Zakrzewska Elżbieta; Łukomska Aneta; Przybyłski Jarosław; Tokarz Wojciech; Trzaskowska Joanna; Sylwestrzak Krystyna; Sarna Witold; Kowiecznik Alicja; Wróbel Kamil; Sosnowski Paweł; Bielawski Szymon · Firma: SOSNOWSKI PAWEŁ - PS GROUP, Chyliczki; BIELAWSKI SZYMON SID COATING'S s.c., Tychy; BIELAWSKI JÓZEF SID COATING'S s.c., Tychy · Zgłoszenie 435373, s. 13

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 13/2022

Sposób wytwarzania powłoki nanokompozytowej na powierzchni stopu tytanowego Ti6Al4V i powłoka wytworzona tym sposobem
Twórcy: Ehlert Michalina; Piszczek Piotr; Radtke Aleksandra · Firma: Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń · Zgłoszenie 435368, s. 21

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 14/2022

Sposób niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych i układ do niskociśnieniowego natryskiwania na zimno powłok z proszków cząstek stałych
Twórcy: Leshchynsky Volf, Ca; Magda Janusz; Garbiec Dariusz; Wiśniewski Tomasz; Kubicki Grzegorz; Sulej-Chojnacka Joanna · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - Instytut Obróbki Plastycznej, Poznań · Zgłoszenie 435568, s. 9

Sposób wytwarzania i zabezpieczania konstrukcji stalowych

Twórcy: Szczepanik Dariusz; Kiełczykowski Krzysztof; Zaprzalski Przemysław · Firma: MKL sp. z o.o., Łazy · Zgłoszenie 435498, s. 9–10

Sposób otrzymywania magnetokalorycznych stopów Heuslera oraz zastosowanie recyklatu niklowego

Twórcy: Wróblewski Rafał; Michalski Bartosz; Leonowicz Marcin; Żrodowski Łukasz; Ciftci Jakub; Reda Bartłomiej · Firma: Politechnika Warszawska, Warszawa · Zgłoszenie 435496, s. 19

Sposób wytwarzania stopu aluminium Al-Mg-Si o zwiększonej zawartości tytanu

Twórcy: Kuczek Łukasz; Muzykiewicz Waclaw; Mroczkowski Marcin · Firma: AG MOTORS sp. z o.o., Podgrodzie · Zgłoszenie 435480, s. 19

Amorficzny magnetycznie miękki stop żelaza

Twórcy: Nabiałek Marcin; Jeż Bartłomiej; Jeż Kinga · Firma: Politechnika Częstochowska, Częstochowa · Zgłoszenie 439399, s. 19

Nanokrystaliczny magnetycznie miękki stop żelaza

Twórcy: Nabiałek Marcin; Jeż Bartłomiej; Jeż Kinga · Firma: Politechnika Częstochowska, Częstochowa · Zgłoszenie 439400, s. 19

Sposób badania zmian obciążeń termomechanicznych podłoża przez adhezyjną powłokę cienką

Twórcy: Myśliński Piotr; Gilewicz Adam; Warcholeński Bogdan; Mydlowska Katarzyna · Firma: Politechnika Koszalińska, Koszalin; Koszalińskie Przedsiębiorstwo Przemysłu Drzewnego SA, Szczecinek; Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Poznań; Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Warszawa · Zgł. 435517, s. 23

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 15/2022

Fotokatalizatory na bazie modyfikowanego tlenku tytanu(IV), sposób wytwarzania fotokatalizacyjnej farby i jej zastosowanie

Twórcy: Trochowski Mateusz; Kobielus Marcin; Macyk Wojciech; Pucelik Barbara; Macyk Joanna · Firma: Uniwersytet Jagielloński, Kraków; INPHOCAT – INNOVATIVE PHOTOCATALYTIC SOLUTIONS sp. z o.o., Kraków · Zgł. 435584, s. 12

Dyfuzyjna warstwa aluminiowa oraz sposób jej wytwarzania

Twórcy: Pytel Maciej; Góral Marek; Ochał Kamil; Kubaszek Tadeusz · Firma: Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza, Rzeszów · Zgłoszenie 435607, s. 18

Biuletyn Urzędu Patentowego nr 16/2022

Sposób otrzymywania organiczno-metalicznej monowarstwy na podłożu stałym

Twórcy: Iwan Michalina; Andryszewski Tomasz; Fiałkowski Marcin · Firma: Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk, Warszawa · Zgłoszenie 435657, s. 15



We protect and beautify the world™

**Piękno, trwałość,
bezpieczeństwo**

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com



POLSKI KOMITET ELEKTROCHEMICZNEJ OCHRONY PRZED KOROZJĄ STOWARZYSZENIE ELEKTRYKÓW POLSKICH

uprzejmie zaprasza do udziału w XVI Krajowej Konferencji Naukowo-Technicznej

POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ

w dniach **od 17 do 19 października 2022 roku**
w Hotelu DOM ZDROJOWY RESORT & SPA w Jastarni

Celem Konferencji jest zaprezentowanie postępu technicznego z zakresu elektrochemicznej ochrony przed korozją, a w szczególności nowych metod i technik pomiarowych stosowanych w ochronie katodowej konstrukcji metalowych. Program Konferencji umożliwi wszystkim uczestnikom wymianę poglądów i doświadczeń zawodowych oraz podniesienie świadomości i kwalifikacji osób zajmujących się ochroną przed korozją.

Przewiduje się prezentację prac w formie referatów i komunikatów. Materiały konferencyjne zostaną przygotowane bezpośrednio z tekstów dostarczonych przez autorów referatów. Wymagania dotyczące formy przygotowania manuskryptów przekazane będą zainteresowanym autorom po nadesłaniu zgłoszenia. ● **Termin nadsyłania pełnego tekstu referatu: 30 września 2022 r.** ● Referaty będą podlegały opiniowaniu przez Komitet Naukowy Konferencji.

Organizatorzy zapewniają firmom możliwość reklamy w materiałach konferencyjnych, w formie filmu, prezentacji lub stoiska reklamowego. Przewiduje się także udział wystawców zagranicznych.

W programie, oprócz typowych zagadnień związanych z technologią ochrony katodowej konstrukcji podziemnych, głównie pomiarów na gazociągach, przewidziano omówienie problematyki korozji i ochrony katodowej w różnych środowiskach oraz prezentację nowych osiągnięć w diagnostyce korozji stali w ziemi. Zapre-

zentowane będą także nowe rozwiązania techniczne urządzeń, przyrządów pomiarowych, systemów, technologii ochrony katodowej, materiałów izolacyjnych, naprawczych.

Udział w Konferencji będzie uwzględniany w procesie certyfikacji personelu zajmującego się ochroną przed korozją konstrukcji podziemnych wg PN-EN ISO 15257. Każdy uczestnik otrzyma certyfikat uczestnictwa w konferencji świadczący o podnoszeniu kwalifikacji z zakresu ochrony przed korozją, z wyszczególnioną odpowiednią ilością godzin i tematyką wygłoszonych referatów.

Konferencja zostanie zorganizowana w ośrodku szkoleniowym Hotel DOM ZDROJOWY RESORT & SPA, w Jastarni:

<https://zdrojowy.com.pl/>

Zgłoszenia udziału w konferencji przyjmowane są przez formularz zamieszczony na stronach internetowych PKEOpK:

www.pkeopk.sep.com.pl

Wypełnienie formularza jest obowiązkowe.

Opłata za uczestnictwo w konferencji 1 osoby:

1800 zł netto + VAT – zgłoszenie w terminie do 30 września 2022 r.

2000 zł netto + VAT – zgłoszenie w późniejszym terminie

200 zł netto + VAT – dopłata do pokoju 1-osobowego (ilość pokoi 1-osobowych ograniczona, decyduje kolejność zgłoszeń)

1000 zł netto + VAT - opłata za osobę towarzyszącą

Opłata za wystawę, spot reklamowy: 1000 zł netto + VAT.

Osoba do kontaktu z ramienia PKEOpK SEP:

Robert Ciupek tel. 665610504, e-mail: rob-ciu@wp.pl

e-mail PKEOpK SEP: pkeopk@sep.com.pl

Więcej informacji oraz formularz zgłoszenia
na konferencję dostępny na stronie:

www.pkeopk.sep.com.pl

**ATLAS
SOLLICH**

www.atlas-sollich.pl
sollich@atlas-sollich.pl

ATLAS – SOLLICH

ZAKŁAD SYSTEMÓW ELEKTRONICZNYCH
ul. Złota 9, 80-297 Rębiechowo
tel: +48 509 993 779

Producent aparatury pomiarowej oraz
URZĄDZEŃ OCHRONY KATODOWEJ



<http://atlas-sollich.pl/kategoria-produktu/ochrona-katodowa/stacje-ochrony-katodowej/>



- ❖ **Mikroprocesorowa Stacja OK SOLLICH 2100 CPS v.08**
Umax 24/30V; I_{wyj} = 1; 3; 10; 30; 100; 300; 1000 mA
Możliwość stosowania do instalacji na rurociągach o dużych poziomach zakłóceń.
- ❖ **Mikroprocesorowa Stacja OK SOLLICH 2100 CPS v.09**
Umax 28/48V; I_{wyj} = 1; 3; 5; 10 A
Dedykowana do instalacji na rurociągach.
- ❖ **Mikroprocesorowe STACJE OK – SOLLICH 2003 CPS oraz 2103 CPS**
Pomiary: I_p, E_{on}, E_{off}, U_a, U_{ac_on}, U_{ac_off}; Cykliczna rejestracja wyników; Komunikacja RS485; MODBUS; Współpraca z programem Sollich CPM; Umax 12/48V; I_{wyj} 1 mA do 4 A;
- ❖ **Sollich CPM – PROGRAM ZARZĄDZANIA PRACĄ SOK**
Lokalny i zdalny monitoring pracy SOK, przechowywanie wyników w bazie Klientów; Zdalne programowanie parametrów oraz odczyt wyników bieżących i z pamięci. Analiza graficzna i statystyczna wyników i zdarzeń.
- ❖ **Urządzenia pomiarowe i akcesoria instalacyjne Ochrony Katodowej**
Przerywacz Prądu GPS do 50A; Programowane Źródło Prądu 4,5A-3V
Galwanostatyczne Stacje Pomiarowe; Korozymetry Rezystancyjne;
Systemy zasilania solarne i zmierzchowe; Okablowanie;



**End
Corr**
na rynku od 1992

Cathodic Protection System Design - Installation - Service

Zakład Specjalistycznych Instalacji i Urządzeń Elektrycznych **END CORR**

87-800 Włocławek, ul. Zielna 14A

tel. +48 54 235 11 48, fax +48 54 235 11 49, tel. kom. +48 502 393 245

e-mail: biuro@endcorr.pl

Internet: www.endcorr.pl

PROJEKTOWANIE • WYKONAWSTWO • SERWISY • SPRZEDAŻ

- Usługi kompleksowe dotyczące katodowej ochrony elektrochemicznej, zabezpieczającej przed korozją konstrukcje stalowe, w tym: rurociągi, zbiorniki podziemne, stalowe elementy oczyszczalni ścieków, konstrukcje hydrotechniczne i inne.
- Produkcja elementów instalacji ochrony katodowej: stacje ochrony katodowej, stacje drenażu polaryzowanego, elektrody pomiarowe i symulacyjne, szafki i słupki pomiarowe i anodowe.
- Lokalizacja defektów w izolacji rurociągów systemem „MoData” i DCVG oraz pomiary ciągłe i punktowe rezystywności gruntu.
- Zgrzewarki do wykonywania w terenie połączeń elektrycznych z rurociągami: Pin Brazing (36V) i pojemnościowe (230V).

Zapraszamy do współpracy



OCHRONA KATODOWA

Projekty
Pomiary
Serwis
Budowa

Moduły telemetryczne

- 6 kanałów pomiarowych
- Pomiar napięć stałych i przemiennych
- Obsługa 2 kart SIM
- Dodatkowe wejścia i wyjścia dwustanowe
- Wbudowany moduł GPS i akcelerometr
- Komunikacja zdalna za pośrednictwem GPRS i SMS
- Komunikacja lokalna poprzez USB, RS-485 oraz Bluetooth
- Zasilanie bateryjne, dodatkowo możliwość podłączenia zasilania zewnętrznego
- Integracja z dowolnym oprogramowaniem do wizualizacji
- 3 lata gwarancji



Zaawansowane Urządzenia Polaryzujące



- Zakresy prądowe 10mA, 300mA, 1,5A, 3A, 5A, 10A, 20A i wyższe...
- Dostępne wersje o zwiększonej odporności na napięcie przemiennie obecne na chronionej konstrukcji
- Praca w trybach podstawowych: galwanostat, potencjostat, stałe napięcie oraz w trybach zaawansowanych (tryby mieszane oraz tryb awaryjny)
- Zdalne pomiary i zmiana nastaw poprzez port szeregowy z obsługą protokołu MODBUS
- Tryb pracy przerywanej z synchronizacją GPS
- Konkurencyjne ceny!

Więcej informacji znajdziesz na www.speckor.pl

Speckor