

- [19] Verma A., Kanwar K. C., 1998, Human sperm motility and lipid peroxidation in different ascorbic acid concentrations: an invitro analysis, *Andrologia*, 30, 325-329.
- [20] Henmi h., Endo T., Kitaiima Y., 2002, Effects of ascorbic acid supplementation on serum progesterone levels in patients with a luteal phase defect, *Fertility and Sterility*, 80, 459-461.
- [21] Chen Q., Espey M.G., Krishna M.C., Mitchell J.B., Corpe C.P., Buettner G.R., 2005 Pharmacologic ascorbic acid concentrations selectively kill cancer cells: action as a pro-drug to deliver hydrogen peroxide to tissues, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 13604–13609.
- [22] Cabanillas F., 2010, Vitamin C and cancer: what can we conclude—1, 609 patients and 33 years later? *Puerto Rico Health Sciences Journal*, 29, 215-217.
- [23] Cha J., Roomi M.W., Ivanov V., Kalinovsky T., Niedzwiecki A., Rath M., 2011, Ascorbate depletion increases growth and metastasis of melanoma cells in vitamin C deficient mice, *Experimental Oncology*, 33, 226-230.
- [24] Cha J., Roomi M.W., Ivanov V., Kalinovsky T., Niedzwiecki A., Rath M., 2013, Ascorbate supplementation inhibits growth and metastasis of B16FO melanoma and 4T1 breast cancer cells in vitamin C-deficient mice, *International Journal of Oncology*, 42, 55–64.
- [25] Yeom C. H., Jung G.C, Song K. J., 2007, Changes of terminal cancer patients' health-related quality of life after high dose vitamin C administration, *Journal of Korean Medical Science*, 22, 7-11.
- [26] Wintergerst E. S., Maggini S., Hornig D. H., 2006, Immune-enhancing role of vitamin C and zinc and effect on clinical conditions, *Annals of Nutrition and Metabolism*, 50, 85-94.
- [27] Chambial S., Dwivedi S., Shukla K., Kant J., Placheril J., Sharma P., 2013, Vitamin C in Disease Prevention and Cure: An Overview, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 28, 314–328.
- [28] Gajawat S., Sancheti G., Goyal P.K, 2005, Vitamin C against concomitant exposure to heavy metal and radiation: a study on variations in hepatic cellular counts, *Asian Journal of Experimental Sciences*, 19, 53–58.
- [29] Singh S., Rana S.V., 2010, Ascorbic acid improves mitochondrial function in liver of arsenic-treated rat, *Toxicology and Industrial Health*, 26, 265-272.
- [30] Singh M. K., Dwivedi S., Yadav S. S, Sharma P., Khattri K., 2013, Arsenic-induced hepatic toxicity and its attenuation by fruit extract of *Embolia officinalis* (amla) in mice, *Indian Journal of Clinical Biochemistry*, 29, 29-37.
- [31] El-Sokkary G. H., Awadalla E. A., 2011, The protective role of vitamin C against cerebral and pulmonary damage induced by cadmium chloride in male adult albino rat, *The Open Neuroendocrinology Journal*, 4, 1–8.
- [32] Grosso G., Bei R., Mistretta A., Marventano S., Calabrese G., Masuelli L., Giganti M., Modesti A., Galvano F., Gazzolo D., 2013, Effects of vitamin C on health: a review of evidence. *Frontiers in Bioscience-Landmark*, 18(3), 1017-1029.
- [33] Colin R., Preedy M., Preedy V.R., *Diet and Nutrition in Dementia and Cognitive Decline*, Academic Press, Cambridge, 2015.
- [34] Njus D., Kelley P.M., Tu Y.J., Schlegel B.H., 2020, *Ascorbic Acid: The Chemistry Underlying Its Antioxidant Properties*, *Free Radical Biology and Medicine*, 159, 37-43.
- [35] Linster C.L., Schaftingen E., 2007, Vitamin C. Biosynthesis, recycling and degradation in mammals, *FEBS J.*, 274, 1-22.
- [36] Dosedel M., Jirkovsky E., Macakova K., Kujovska-Krcmova L., Javorska L., Pourova J., Mercolini L., Remiao F., Novakova L., Mladenka P., 2021, Vitamin C – Sources, Physiological Role, Kinetics, Deficiency, Use, Toxicity, and Determination, *Nutrients*, 13, 615.
- [37] EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. Scientific opinion on dietary reference values for vitamin C, 2013, *EFSA Journal*, 11, 3418.
- [38] National Institutes of Health, Vitamin C – Fact Sheet for Health Professional, <https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional>, 12.10.2023.
- [39] Corti A., Casini A.F., Pompella A., 2010, Cellular Pathways for Transport and Efflux of Ascorbate and Dehydroascorbate, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 500, 107-115.
- [40] Weinstein M., Babyn P., Zlotkin S., 2001, An orange a day keeps the doctor away: scurvy in the year 2000, *Pediatrics*, 108, 55.
- [41] Institute of Medicine. Food and Nutrition Board, *Dietary Reference Intakes for Vitamin C, Vitamin E, Selenium, and Carotenoids*, National Academy Press, Washington 2000.

Aleksander Kucharek, Elżbieta Kuśmierek

e-mail: aleksander.kucharek@dokt.p.lodz.pl; elzbieta.kusmierek@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

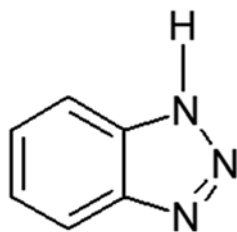
Zielone inhibitory korozji

Wprowadzenie

Korozja jest zjawiskiem, z którym spotykamy się praktycznie codziennie. Powoduje ona niszczenie wielu materiałów, a wynikiem tego są niebagatelne sumy pieniędzy wydawane na usuwanie skutków tego procesu. Szacuje się, że w Stanach Zjednoczonych bezpośrednie koszty korozji w 1998 roku wyniosły 275 miliardów dolarów, co odpowiada 3,1% PKB [1].

Jedną z metod ochrony przed tym zjawiskiem jest stosowanie inhibitorów korozji. Powszechnie stosowane inhibitory korozji są substancjami, które często wykazują negatywny wpływ nie tylko na środowisko, ale także na zdrowie człowieka. Przykładem takiego związku chemicznego może być benzotriazol [2], którego strukturę chemiczną przedstawiono na Rys. 1.





Rys. 1. Struktura chemiczna 1,2,3-benzotriazolu

Z tego powodu, w ostatnich latach zielone inhibitory korozji zyskują coraz większą popularność. Są to związki chemiczne pochodzenia naturalnego, których zadaniem jest spowolnienie procesów korozyjnych metali i stopów. Nie wykazują one szkodliwego działania ani dla zdrowia człowieka, ani dla środowiska. Kolejną zaletą takich inhibitorów jest fakt, że na ogół są one tańsze od nieekologicznych odpowiedników, a przy tym zapewniają równie satysfakcjonującą wydajność inhibicji korozji.

Rodzaje korozji

W zależności od dobranych kryteriów, można wyróżnić kilka podziałów korozji. Jednym z nich jest geometria oraz lokalizacja obszarów zmian korozyjnych, a także warunki, w których korozja zachodzi. Biorąc pod uwagę powyższe kryteria klasyfikacyjne, można wyodrębnić następujące rodzaje korozji [3]:

- korozja ogólna (równomierna) – ubytek materiału warstwy wierzchniej następuje równomiernie wskutek reakcji metalu ze środowiskiem korozyjnym,
- korozja wżerowa (pitting) – korozja lokalna, która dotyczy głównie metali w stanie pasywnym, zachodząca w środowiskach zawierających jony halogenkowe,
- korozja naprężeniowa – powodowana przez jednoczesne działanie agresywnego środowiska korozyjnego oraz czynników mechanicznych,
- korozja gazowa – zachodzi w środowisku utleniającym w podwyższonej temperaturze, na skutek dyfuzji utleniacza w głąb materiału.

Biorąc pod uwagę środowisko, w jakim zachodzi korozja oraz jej mechanizm, znane są następujące rodzaje korozji [4]:

1. Korozja w środowisku wilgotnym zachodząca według mechanizmu elektrochemicznego:
 - korozja w wodzie i roztworach wodnych,
 - korozja atmosferyczna,
 - korozja w glebie,
2. Korozja w stopionych solach zachodząca zgodnie z mechanizmem elektrochemicznym,
3. Korozja w gazach suchych, zachodząca według mechanizmu chemicznego,

4. Korozja w bezwodnych cieczach organicznych oraz gazach, zachodząca według mechanizmu chemicznego:
 - korozja w węglowodorach chlorowanych,
 - korozja w alkoholach,
5. Korozja w metalach stopionych, zachodząca według mechanizmu fizycznego.

Elektrochemiczny mechanizm korozji polega na tworzeniu się mikroogniw korozyjnych na powierzchni metalu. Na obszarach anodowych metal utlenia się i przechodzi do roztworu w postaci jonów. Na obszarach katodowych natomiast może dochodzić do redukcji jonów wodorowych bądź tlenu rozpuszczonego w wodzie [3].

Mechanizm chemiczny korozji zachodzi w przypadku materiałów o małej bądź praktycznie zerowej przewodności. Korozję chemiczną wywołują związki chemiczne takie, jak np.: gorące gazy spalinowe, ropa naftowa oraz jej pochodne, suche gazy – H_2 , CO_2 , NH_3 [3].

Mechanizm fizyczny korozji występuje w przypadku rozpuszczania lub pęknięcia metali stałych, które stykają się z metalami ciekłymi, jak np. ołów czy rtęć. Korozja w tym przypadku nie jest spowodowana reakcjami chemicznymi, a fizycznym procesem rozpuszczania materiału z wytworzeniem stopu [4].

Metody ochrony przed korozją

Istnieje wiele rodzajów metod ochrony przed korozją. Na szczególną uwagę zasługują inhibitory korozji, czyli substancje, które w środowisku korozyjnym spowalniają szybkość korozji poprzez hamowanie procesów anodowych, katodowych lub obu równocześnie [4].

Inhibitory anodowe

Inhibitory anodowe zwiększają napięcie polaryzacji anodowej, przesuwając przy tym potencjał korozji w kierunku bardziej dodatnim. Zazwyczaj są to aniony, które w roztworze elektrolitu przemieszczają się do powierzchni metalu i ulegają adsorpcji na powierzchniach anodowych. Przykładami takich związków chemicznych mogą być ortofosforany, krzemiany czy benzoesany. Pomimo dobrej efektywności tych inhibitorów, mogą one zadziałać w niepożądany sposób. W przypadku użycia zbyt małego stężenia inhibitora, nie jest on w stanie całkowicie pokryć powierzchni anodowej metalu. Wówczas ta powierzchnia jest relatywnie mała w porównaniu z powierzchnią katodową, co może prowadzić do korozji wżerowej [4].

Inhibitory katodowe

Jako inhibitory katodowe najczęściej stosowane są kationy, przesuwające się w roztworze wodnym w stro-



nę obszarów katodowych metalu, na których mogą się osadzać. W wyniku tego procesu, powierzchnia metalu zostaje częściowo zablokowana (odizolowana). Przykładem takich inhibitorów mogą być kationy As^{3+} lub Sb^{3+} , które spowalniają procesy korozyjne żelaza w środowisku kwasowym [4].

Organiczne inhibitory mieszane

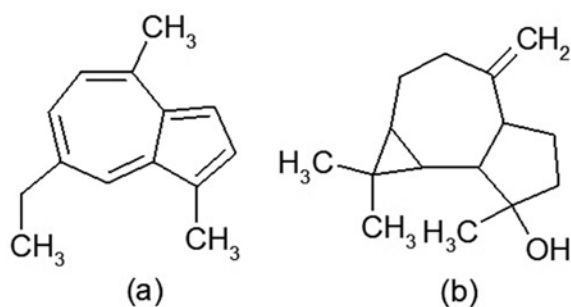
Organiczne inhibitory mieszane zawierają azot, siarkę bądź oba te pierwiastki. Adsorbują się na całej powierzchni metalu, tzn. na obszarach anodowych i katodowych. Nazywane są też inhibitorami anodowo-katodowymi, gdyż mają zdolność do spowalniania zarówno procesów anodowych, jak i katodowych. Do grupy organicznych inhibitorów mieszanych zaliczyć można np. aminy bądź związki zawierające siarkę w postaci S^{2-} [4].

Zielone inhibitory korozji

Zielonymi inhibitorami korozji mogą być ekstrakty z roślin, które zawierają związki organiczne, takie jak np. ketony, aldehydy, kwasy. W ostatnich latach obserwuje się znaczący wzrost zainteresowania tymi substancjami, jako środkami ochrony przed korozją [5]. Zielone inhibitory pozyskiwane są na ogół w procesach ekstrakcji. Zaletą ekstrakcji jest dosyć prosta procedura, która nie wymaga zastosowania skomplikowanej aparatury. Ekstrakty zawierają substancje aktywne pochodzące z roślin lub ich części (liście, łodygi, korzenie, kwiaty). Charakteryzują się właściwościami przeciwtleniającymi, przeciwzapalnymi, przeciwwirusowymi oraz antybakteryjnymi. Fitozwiązki obecne w ekstraktach roślinnych stosuje się jako inhibitory korozji ze względu na ich zdolność do adsorpcji na powierzchni metalu, co powoduje powstanie powłoki ochronnej blokującej miejsca aktywne [6]. Istotną zaletą zielonych inhibitorów korozji

jest również ich biodegradowalność, a także odnawialność, co znacznie ułatwia ich utylizację [7,8].

Przykładem zielonych inhibitorów mogą być związki zawarte w ekstraktach z kalafiora, które wykorzystano do zabezpieczenia stali Q235 przed korozją w środowiskach kwaśnych. Otrzymane wyniki wskazywały na efektywność inhibicji na poziomie 90% [5]. Innym przykładem rośliny, której ekstrakt można wykorzystywać jako inhibitor korozji, jest rumianek. Obecne są w nim takie związki chemiczne, jak chamazulen, czy spatulenol, które wykazują aktywność biologiczną [9]. Wyniki badań stali w 0,5 M roztworze NaCl, przy użyciu ekstraktu z rumianku wskazują na efektywność inhibicji wynoszącą 98,9%. Dla stali miękkiej natomiast, w przypadku której inhibitor adsorbował się na powierzchni metalu, przez co uległa zmianie energia aktywacji, otrzymano wydajność inhibicji wynoszącą 93,3% [9]. Na Rys. 2 przedstawiono strukturę chemiczną chamazulenu i spatulenolu.

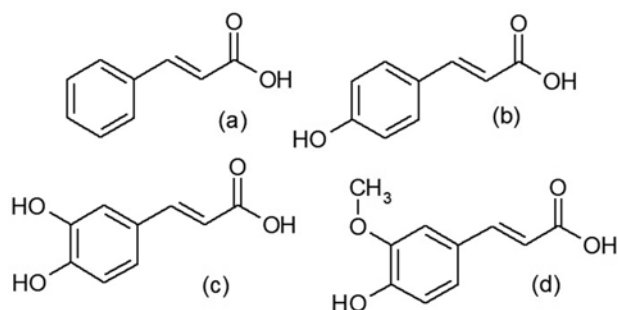


Rys. 2. Struktury chemiczne chamazulenu (a) i spatulenolu (b)

Ciekawymi zielonymi inhibitorami wydają się być kwas cynamonowy oraz jego pochodne (kwas kumarowy, kofeiny i ferulowy). Struktury tych związków są pokazane na Rys. 3, a ogólne informacje dotyczące tych związków są przedstawione w Tabeli 1.

Tabela 1. Ogólne informacje dotyczące kwasu cynamonowego i jego pochodnych [10]

Nazwa związku	Nazwa IUPAC	Wzór cząsteczkowy	Masa molowa, [g/mol]	CAS no.
kwas cynamonowy	kwas (E)-3-fenylprop-2-enowy	$C_9H_8O_2$	148,17	140-10-3
kwas kumarowy	kwas 3-(4-hydroksyfenyl)-prop-2-enowy	$C_9H_8O_3$	164,15	501-98-4
kwas kofeiny	kwas (E)-3-(3,4-dihydroksyfenyl)prop-2-enowy	$C_9H_8O_4$	180,16	331-39-5
kwas ferulowy	kwas (E)-3-(4-hydroksy-3-metoksyfenyl)prop-2-enowy	$C_{10}H_{10}O_4$	194,18	537-98-4



Rys. 3. Struktury chemiczne kwasu cynamonowego (a), kumarowego (b), kofeinowego (c) i ferulowego (d)

Kwas cynamonowy zyskuje coraz większe zainteresowanie ze względu na właściwości biologiczne i farmakologiczne. Znajduje on również zastosowanie jako inhibitor korozji stali węglowej. Zbadano wydajność inhibicji kwasu cynamonowego bez oraz z dodatkiem 2 mM roztworu KI. Z rezultatów wynika, że wydajność inhibicji kwasu cynamonowego wynosi 70%, a dodatek KI powoduje jej zwiększenie do 80% [11].

Jedną z pochodnych kwasu cynamonowego, wykorzystanych jako inhibitor korozji, jest kwas kumarowy. Sprawdzone wydajność inhibicji zarówno powłok ochronnych wykonanych z tego związku chemicznego, jak i samego kwasu, jako dodatku do środowiska korozyjnego. Z rezultatów badań wynika, że lepszą metodą ochrony żelaza jest nakładanie warstewek kwasu o-kumarowego. Maksymalna wydajność inhibicji, jaką udało się otrzymać stosując tę metodę, to 82%. W przypadku dodatku tego związku do środowiska korozyjnego, maksymalna wydajność inhibicji wyniosła 60%. Nieznacznie gorsze wyniki uzyskano dla kwasu p-kumarowego [12].

Kwas kofeinowy jest również pochodną kwasu cynamonowego. Jako zielony inhibitor korozji był wykorzystany do ochrony stali miękkiej w środowisku kwasowym. Maksymalna wydajność inhibicji, jaką udało uzyskać, wynosiła aż 96% [13].

W ekstrakcie z miechunki peruwiańskiej obecny jest kwas ferulowy, który został wykorzystany, jako inhibitor korozji stali w kwasie fosforowym. Badania potwierdziły tworzenie się warstewki ochronnej kwasu ferulowego na powierzchni metalu, a wydajność inhibicji wyniosła około 80% [14].

Zielone inhibitory korozji można dodawać do środowiska korozyjnego, powodując jego modyfikację, ale również można je wykorzystać do wytworzenia powłok ochronnych na chronionej powierzchni metali i stopów.

Otrzymywanie zielonych inhibitorów

Istnieje wiele metod ekstrakcji służących do pozyskiwania zielonych inhibitorów. W każdym przypadku jednak, pierwszym krokiem jest wybranie tej części rośliny, w której znaj-

duje się największe stężenie pożądanej substancji aktywnej. Ekstrakty można wykonać ze wszystkich części roślin, tzn. liści, łodyg, korzeni, owoców, a w każdej z nich obecne są inne fitozwiązki [6]. Procesy ekstrakcji na ogół polegają na separacji ciała stałe/ciecz, w której zanurza się roślinę w odpowiednio dobranym rozpuszczalniku. W celu otrzymania zielonych inhibitorów korozji najczęściej, myje się, suszy, a następnie rozgniata się korzenie, korę, liście lub inne części roślin aż do otrzymania proszku. Proszek taki poddaje się ekstrakcji rozpuszczalnikami organicznymi, takimi jak etanol czy metanol, w których pozostawia się go do nasiąknięcia przez 1 do 3 dób w temperaturze pokojowej. Mieszanina następnie jest filtrowana w celu uzyskania rozpuszczonego ekstraktu roślinnego. Aby otrzymać zielony inhibitor należy następnie podgrzać roztwór ekstraktu w celu usunięcia nadmiernej ilości rozpuszczalnika. Otrzymane ekstrakty roślinne są później wykorzystywane do przygotowania roztworów inhibitora korozji i są testowane pod kątem wydajności inhibicji w odniesieniu do różnych metali i stopów [7].

Badania korozyjne

Badania procesów korozyjnych można wykonywać w warunkach laboratoryjnych albo w warunkach naturalnych [3,4]. Zatem wyróżnia się dwa podstawowe rodzaje badań korozyjnych: badania laboratoryjne i badania eksploatacyjne. Badania laboratoryjne obejmują badania długotrwałe (modelowe) i badania przyspieszone.

Badania eksploatacyjne

Badania eksploatacyjne obejmują zarówno próby technologiczne, jak i badania polowe. W próbach technologicznych dąży się do określenia najlepszych metod ochrony przed korozją dla danego urządzenia przemysłowego. Natomiast w badaniach polowych, pomiary wykonuje się w warunkach naturalnych i mają one na celu znalezienie materiałów najbardziej wytrzymałych na korozję w badanych warunkach oraz zaproponowanie najbardziej skutecznej metody ochrony przed korozją w tych warunkach [4].

Badania laboratoryjne długotrwałe

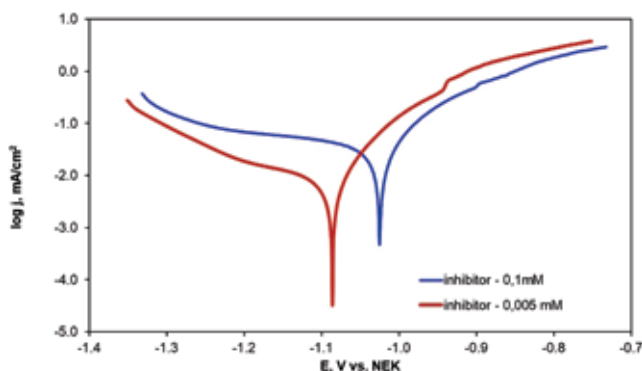
W urządzeniach laboratoryjnych odzwierciedla się warunki panujące w atmosferze przemysłowej. Zastosowanie tego typu badań pozwala na precyzyjne dobranie metody ochrony dla konkretnych materiałów i procesów. Zapewniają one lepszą kontrolę warunków badania niż w przypadku badań eksploatacyjnych. Pozwalają też wykluczyć wpływ zaburzeń związanych z procesami produkcyjnymi. Czasami badania laboratoryjne długotrwałe mogą być stosowane z dobrymi wynikami zamiast badań w warunkach naturalnych [4].



Badania laboratoryjne przyspieszone

Badania przyspieszone wykonuje się w specjalnie przygotowanych komorach, w których odzwierciedlane są warunki korozyjne. Prowadzi to do przyspieszenia procesów korozyjnych metali i stopów. W komorach intensyfikowane jest działanie czynników takich, jak np.: temperatura, wilgotność względna, czy stężenie substancji powodujących korozję. Czas trwania badań zależy od rodzaju materiału, stosowanej metody i celu badania. Najczęściej, laboratoryjne badania przyspieszone trwają od 24 do 720 h [3].

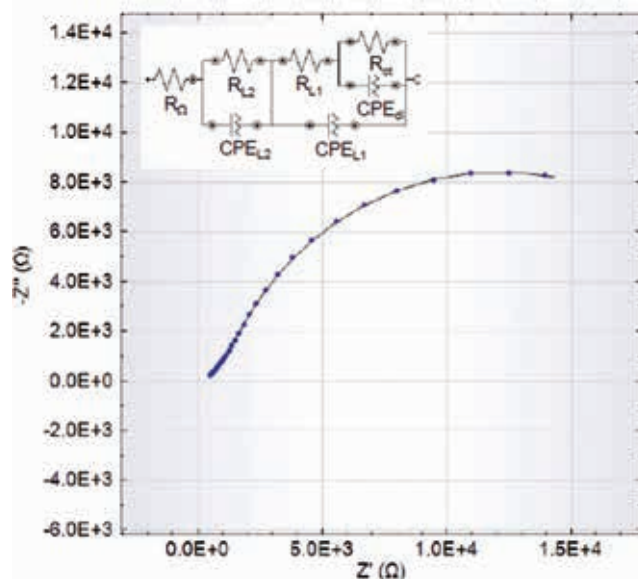
Badania elektrochemiczne korozji również można zaliczyć do badań przyspieszonych. Polegają one na wyznaczeniu parametrów charakteryzujących procesy korozyjne podczas pomiarów galwanostatycznych, potencjostatycznych, potencjodynamicznych, impedancyjnych i innych. Metoda potencjodynamiczna polega na polaryzacji badanego materiału i rejestrowaniu zmian natężenia prądu. Z badań potencjodynamicznych otrzymuje się zależność gęstości prądu w funkcji zmian potencjału – $j = f(E)$ [3]. Zależności te są następnie przekształcane na wykresy Tafela, tzn. $\log j = f(E)$. Przykładowe wykresy przedstawiono na Rys. 4. Na podstawie wykresów Tafela można wyznaczyć podstawowe parametry korozji, np. potencjał korozyjny, nachylenia gałęzi anodowej i katodowej (b_a i b_k) oraz gęstość prądu korozyjnego, którą wykorzystuje się do obliczenia szybkości korozji.



Rys. 4. Przykładowa zależność $j = f(E)$ dla cynku w 0,1M roztworze NaCl z dodatkiem różnych stężeń inhibitora

Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS) polega na pomiarze impedancji pomiędzy badanym metalem lub stopem, a elektrodą pomocniczą w relatywnie szerokim zakresie częstotliwości. Impedancja opisuje zależność pomiędzy prądem i napięciem w warunkach prądu zmiennego [15]. Przykładowy wykres otrzymany w pomiarach EIS przedstawiono na Rys. 5.

Metoda EIS umożliwia badanie powłok ochronnych, scharakteryzowanie odporności korozyjnej metali i sto-



Rys. 5. Wykres Nyquista dla próbki aluminium pokrytej złotem [16]

pów oraz określenie mechanizmu zachodzących procesów korozyjnych.

Badania elektrochemiczne procesów korozyjnych mają tę przewagę nad innymi metodami, że w stosunkowo krótkim czasie pozwalają uzyskać wyniki. Ponadto, charakteryzują się dużą dokładnością.

Podsumowanie

Opracowanie skutecznej metody ochrony przed korozją powszechnie używanych metali i stopów jest niezwykle istotnym zagadnieniem, gdyż koszty związane ze skutkami korozji są ogromne. Ponadto, należy pamiętać, że skorodowane materiały mogą stanowić potencjalne niebezpieczeństwo dla zdrowia i życia człowieka. Nie można jednak zapominać o zagrożeniach, jakie są związane z wykorzystaniem klasycznych inhibitorów korozji. Negatywne skutki działania takich związków na środowisko są dobrze zbadane i opisane w literaturze. Nie ulega wątpliwości, że jak najszybciej trzeba zastępować te substancje zielonymi inhibitorami korozji. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się coraz większe zainteresowanie badaniem różnych roślin, w celu zastosowania pozyskanych z nich ekstraktów, jako środków ochrony przed korozją. Kwas cytrynowy i jego pochodne, a także chamaulen, czy spatulenol to tylko niektóre przykłady zielonych inhibitorów korozji, a nieodkrytych możliwości wykorzystania innych substancji jest z pewnością znacznie więcej.

Zielone inhibitory korozji mogą być też stosowane w ochronie historycznych obiektów zabytkowych, ze względu na fakt, że są ekologiczne i nietoksyczne. Szczególną uwagę należy zwrócić na fakt, aby stosowane inhibitory nie wpływały na wygląd i charakter chronionych obiektów. W swojej pracy doktorskiej zamierzam wykorzystać

kwasy cynamonowe i jego pochodne do ochrony obiektów wykonanych z metali i stopów, np. cynku, miedzi, brązu, mosiądzu, czy stali.

Literatura

[1] Kobus J., Lutze R., 2016, Ocena ekonomicznych skutków korozji metodą kosztów cyklu życia z zastosowaniem monitoringu korozyjnego, *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe* 6, 210-215.

[2] Alotaibi M.D., Mckinley A.J., Patterson B.M., Reeder A.Y., 2015, Benzotriazoles in the Aquatic Environment: A Review of Their Occurrence, Toxicity, Degradation and Analysis, *Water, Air & Soil Pollution* 226, 226.

[3] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2002.

[4] Wranglen G., Podstawy korozji i ochrony metali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1985.

[5] Zhou Y., Wei Z., Zhi H., Wang Y., Yao X., 2022, Eco-friendly Ginkgo Leaf Extract as a Green Corrosion Inhibitor to Protect N80 Steel in 1 M HCl, *International Journal of Electrochemical Science* 17, 220956.

[6] Miralrio A., Vazquez A.E., 2020, Plant Extracts as Green Corrosion Inhibitors for Different Metal Surfaces and Corrosive Media: A Review, *Processes* 8, 942.

[7] Fazal B.R., Becker T., Kinsella B., Lepkova K., 2022, A review of plant extracts as green corrosion inhibitors for CO₂ corrosion of carbon steel, *NPI Materials Degradation* 5, 1-14.

[8] Marzorati S., Verotta L., Trasatti S.P., 2019, Green corrosion inhibitors from natural sources and biomass wastes, *Molecules* 24,48.

[9] Abdullah H.A., Anaee R.A., Khadom A.A., Abd Ali A.T., Malik A.H., Kadhim M.M., 2023, Experimental and theoretical assessments of the chamomile flower extract as a green corrosion inhibitor for aluminum in artificial seawater, *Results in Chemistry* 6, 101035.

[10] Merck – informacje na temat produktów, <https://www.sigmaaldrich.com/PL/pl> (Data dostępu: 15.11.2023).

[11] Aquino-Torres E., Camacho-Mendoza R.L., Gutierrez E., Rodriguez J.A., Feria L., Thangarasu P., Cruz-Borbolla J., 2020, The influence of iodide in corrosion inhibition by organic compounds on carbon steel: Theoretical and experimental studies, *Applied Surface Science* 514, 145928.

[12] Roncevic I.S., Vladislavic N., Buzuk M., Buljac M., Podrug M., 2021, The effect of coumaric acid on corrosion of iron, *Current Topics in Electrochemistry* 23, 11-24.

[13] de Souza F.S., Spinelli A., 2009, Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel, *Corrosion Science* 51, 642-649.

[14] Abdel-Gaber A.M., Ezzat A., Mohamed M.E., 2022, Fenu-greek seed and cape gooseberry leaf extracts as green corrosion inhibitors for steel in the phosphoric acid industry, *Scientific Reports* 12, 22251.

[15] Scholl H., Błaszczuk T., Krzyczmonik P., *Elektrochemia. Zarys teorii i praktyki*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 1998.

[16] Autolab Application Note COR09, 2015, Electrochemical impedance spectroscopy of three coated aluminum samples, Metroh m Autolab B.V.

Albert Berent, Andrzej Żarczyński

e-mail: 231343@edu.p.lodz.pl; andrzej.zarczyński@p.lodz.pl

Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej, Wydział Chemiczny, Politechnika Łódzka

Wstępny projekt instalacji energetycznej PV o mocy 10 MW na obrzeżu Łodzi – aspekty techniczne, lokalizacyjne, ekonomiczne i ekologiczne

Wprowadzenie

Na przestrzeni ostatnich trzydziestu lat na świecie znaczną popularność zyskały instalacje fotowoltaiczne (PV) – zarówno wśród prywatnych odbiorców jak i przedsiębiorców, głównie za sprawą osiąganych korzyści energetycznych, a jednocześnie finansowych [1-6]. W wielu krajach pracują także elektrownie (farmy) fotowoltaiczne [1, 3, 6, 7]. Stosunek ceny instalacji PV do ilości wytwarzanej energii czyni energię słoneczną konkurencyjną w porównaniu do trady-

cyjnych źródeł energii. Z literatury wynika, że w przyszłości energetyka słoneczna może stać się znaczącą alternatywą dla paliw kopalnych nie tylko zagranicą, ale i w Polsce [4, 8, 9].

Udział energii ze źródeł odnawialnych w pozyskaniu energii pierwotnej w Polsce ogółem wzrósł w latach 2015-2019 z 13,25 do 15,96%. Struktura pozyskania energii ze źródeł odnawialnych dla Polski wynika przede wszystkim z charakterystycznych dla naszego kraju warunków geo-

