

**Globalne potrzeby
rozpowszechniania wiedzy,
badań oraz kontroli
nad degradacją materiałową
i korozją**



**Globalne potrzeby
rozpowszechniania wiedzy,
badań oraz kontroli
nad degradacją materiałową
i korozją**

Günter Schmitt

**we współpracy z
Michael Schütze, George F. Hays,
Wayne Burns, En-Hou Han, Antoine Pourbaix
i Gretchen Jacobson**

Maj 2009

Współautorzy

Prof. Günter Schmitt

IFINKOR-Institute for Maintenance and Corrosion Protection Technologies n.f.p. Ltd.
Kalkofen 4, D-58638 Iserlohn, Germany, gue.schmitt@t-online.de

Prof. Michael Schütze

President of the World Corrosion Organization (WCO)
Past President of the European Federation of Corrosion (EFC)
Karl-Winnacker-Institut der DECHEMA Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main, Germany

George F. Hays, P.E.

Director General of the World Corrosion Organization (WCO)
Past President of NACE International
99 Skyline Drive Morristown, NJ 07960-5148, USA

Wayne Burns

Chairman of the Australasian Corrosion Association Foundation (ACA)
1/458 Middleborough Road, Blackburn Victoria 3130
PO Box 112, Kerrimuir Victorial Australia 3130

Prof. En-Hou Han

Vice-President of the World Corrosion Organization (WCO)
Institute of Metal Research
Chinese Academy of Sciences
62 Wencui Road, Shenyang, Liaoning 110016, China

Prof. Antoine Pourbaix

President of the International Corrosion Council (ICC)
Centre Belge d'Etude de la
Corrosion - CEBELCOR
Avenue des Petits-Champs 4A, 1410 Waterloo, Belgien

Gretchen Jacobson *Director of Publications*

NACE International
1440 South Creek Drive, Houston, TX, USA 77084-4906

Copyright © 2009
World Corrosion Organization
Worldwide rights reserved

Wydanie polskie: Polskie Stowarzyszenie Korozyjne, ul. Elbląska 133A, 80-718 Gdańsk

Tłumaczenie: Leszek Augustynek, Agnieszka Królikowska, Urszula Paszek

Redakcja: Urszula Paszek, Aleksandra Baraniak, Agnieszka Królikowska

Skład: Urszula Paszek

Druk i oprawa: IBBI GROUP Sp. z o.o., Warszawa

Wydanie pierwsze

ISBN: 978-83-945138-0-1

Szanowni Państwo,

polskie tłumaczenie Białej Księgi „Globalne potrzeby rozpowszechniania wiedzy, badań oraz kontroli nad degradacją materiałową i korozją” zostało wykonane specjalnie na X konferencję Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego. Możliwość udostępnienia Państwu tego niezwykle cennego i unikatowego na rynku polskim opracowania zawdzięczamy uprzejmości Światowej Organizacji Korozyjnej, do której należy Polskie Stowarzyszenie Korozyjne.

Bardzo często, podnosząc wagę problemów korozyjnych brakuje nam dowodów i argumentów jak ważne jest to zagadnienie i jak powszechne w każdej gałęzi gospodarki i naszego życia codziennego. Ta publikacja dostarcza nam danych liczbowych, opisowych i fotograficznych. Opiera się na wieloletnich doświadczeniach autorów, którzy są prominentnymi, światowymi naukowcami w tej dziedzinie reprezentującymi Europę, Stany Zjednoczone, Azję i Australię.

Zwraca uwagę, poza niebagatelnym aspektem ekonomicznym, na trzy podstawowe przyczyny dla czego należy ograniczyć procesy korozyjne: katastrofy (w tym katastrofy ekologiczne, takie jak wycieki z rurociągów czy tankowców), utrudnienia (spowodowane na przykład awariami wodociągów, wież energetycznych itd.) i szpetotę korozyjną (włączając w to pozbawienie nas piękna, gdy korodują zabytki kultury).

Dokument ten powstał, aby podnieść ogólną świadomość korozyjną. Podkreślono w nim znaczenie zrozumienia przez rządy, przemysł i społeczeństwa, że właściwa strategia korozyjna oznacza wzrost bezpieczeństwa, większą efektywność użytkowania, wyższy komfort życia, ochronę środowiska i w dłuższym okresie czasu również oszczędności.

Wszystkie te cele wpisują się w statutową działalność naszego Stowarzyszenia i sądzę, że w potrzeby nas wszystkich. Dlatego jeszcze raz gorąco dziękuję Światowej Organizacji Korozyjnej, a wszystkich zachęcam do szerokiej popularyzacji Białej Księgi i idei w niej zawartych.

Prezes Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego
dr inż. Agnieszka Królikowska

24 kwietnia 2016 r.
Dzień Świadomości Korozyjnej

Przedmowa

Korozja była przedmiotem badań naukowych przez ponad 150 lat. Jest to naturalnie występujące zjawisko, powszechnie określane jako degradacja materiału (zwykle metalu) lub pogorszenie jego właściwości w wyniku reakcji z otoczeniem. Podobnie jak inne zagrożenia naturalne, takie jak trzęsienia ziemi lub poważne zakłócenia atmosferyczne, korozja może powodować niebezpieczne i kosztowne uszkodzenia wszystkiego: od rurociągów, mostów i budynków użyteczności publicznej po pojazdy, systemy oczyszczania ścieków oraz wody, a nawet sprzętu AGD. W przeciwieństwie do katastrof spowodowanych przez pogodę, istnieją jednak metody sprawdzone w długim okresie czasu, mające na celu zapobieganie i kontrolę korozji, mogące ograniczyć lub wyeliminować ich wpływ na bezpieczeństwo publiczne, gospodarkę i środowisko.

Nauka o zapobieganiu korozji i jej kontroli jest bardzo złożona, a dodatkowo utrudniającym czynnikiem jest fakt, że korozja może przybierać wiele różnych form i podlegać wpływom wielu czynników zewnętrznych. Specjaliści ds. korozji muszą rozumieć i przewidywać: skutki oddziaływania warunków środowiskowych, takich jak: oporność gleby, wpływ wilgotności i słonej wody na różne rodzaje materiałów, skutki przetwarzania, przekazywania lub transportowania różnego typu produktów, wymagających zapewnienia odpowiedniej trwałości konstrukcji lub jej części oraz skutki zjawisk powodujących korozję, takich jak prądy błędzące pochodzące od systemów kolejowych, a także muszą umieć dobrać odpowiednie metody ochrony do konkretnego problemu korozyjnego oraz określić skuteczność tego rozwiązania.

Korozja może przybierać różnorodne formy występowania, w zależności od przyczyn, które je wywołują, co czyni ją wyjątkowo skomplikowaną, dlatego też odpowiedni dobór skutecznych metod jej zapobiegania wymaga ogromnej wiedzy i znacznych środków. W 2001 r. amerykańska Federalna Administracja Autostrad (*US FHWA - US Federal Highway Administration*) sfinansowała opracowanie pt. „Koszty korozji oraz strategia zapobiegania jej w Stanach”¹, w którym podano roczne bezpośrednie koszty korozji na oszałamiającym poziomie \$276 miliardów, co stanowi 3,1% produktu krajowego brutto (PKB). Raporty opracowane w innych krajach - Chiny, Japonia, Wielka Brytania i Wenezuela wykazały koszty na podobnym co Stany Zjednoczone poziomie, lub nawet jeszcze większym, dając ogólnoswiatowy przybliżony bezpośredni koszt przekraczający \$1,8 bilionów dolarów. Korozja jest tak powszechna i przybiera tak wiele

form, że jej występowanie i związane z tym koszty nigdy nie zostaną całkowicie wyeliminowane, jednakże wszystkie opracowania wskazują, że dzięki zastosowaniu optymalnych sposobów zarządzania problemami korozyjnymi, możliwe jest obniżenie rocznego poziomu kosztów od 25 do 30%.

Krytycznym elementem niezbędnym do dokładnego zrozumienia korozji i możliwości jej zapobiegania jest wymiana wiedzy między jednostkami i społeczeństwami na całym świecie. Poważny problem korozyjny, który wystąpił w jednym miejscu, jak np. uszkodzenie kadłuba statku lub podziemnego rurociągu, może zostać już rozwiązany w innej części świata. Dlatego też, ta pilna potrzeba globalnej współpracy doprowadziła do utworzenia Światowej Organizacji Korozyjnej (*WCO - World Corrosion Organization*) mającej na celu podnoszenie świadomości społecznej o korozji, określanie najlepszych praktyk w tej dziedzinie, dostarczanie wiedzy i ustalanie globalnych standardów.

WCO, założona w 2006 roku przez Australijskoazjatyckie Stowarzyszenie Korozyjne (*ACA - Australasian Corrosion Association*), Chińskie Stowarzyszenie ds. Korozji i Ochrony (*CSCP – Chinese Society of Corrosion and Protection*), Europejską Federację Korozyjną (*EFC – European Federation of Corrosion*) i Międzynarodowe Stowarzyszenie NACE* jest międzynarodowym stowarzyszeniem towarzystw i organizacji biorących udział w zarządzaniu i zapobieganiu korozji. Członkowie WCO spotykają się regularnie i pracują nad ważnymi inicjatywami, mającymi na celu zminimalizowanie skutków korozji w każdym kraju. Aby pomóc w osiągnięciu założonych celów, WCO niedawno wystąpiło do Organizacji Narodów Zjednoczonych (*ONZ, ang. UN - United Nations*) z wnioskiem o uznanie jej jako organizacji pozarządowej (*NGO*)**.

WCO dokłada wielu starań, aby rządy, przemysł, środowisko akademickie i opinia publiczna zrozumiały, że przyjmując odpowiednie strategie i pozyskując wystarczającą ilość środków na programy badawczo-rozwojowe w zakresie korozji, można osiągnąć najlepsze rozwiązania inżynierskie. Zyskiem stanie się zwiększone bezpieczeństwo publiczne, niezawodne działanie, maksymalizacja czasu eksploatacji obiektów, ochrona środowiska i zysk ekonomiczny w dłuższej perspektywie.

* NACE - *National Association of Corrosion Engineers* (założona w 1930 r.). W 1943 r. przekształcona w *NACE International* (przypis tłumacza)

** WCO otrzymała statut NGO przy UN w 2010 r. (przypis tłumacza)

1 Wprowadzenie

Korozja ma ogromny wpływ na praktycznie wszystkie aspekty infrastruktury na świecie, od autostrad, mostów i budynków do systemów kanalizacyjnych, dróg przesyłu ropy naftowej i gazu, przetwórstwa chemicznego i wody (rys. 1). Oprócz wyrządzania ogromnych szkód i stwarzania zagrożeń dla bezpieczeństwa publicznego, korozja zakłóca działanie urządzeń, wymaga kosztownych remontów oraz napraw lub wymiany uszkodzonych obiektów. Roczny koszt korozji na całym świecie szacuje się na ponad \$1.8 biliona², co przekłada się na 3 do 4% produktu krajowego brutto (PKB) w krajach uprzemysłowionych.



Rys. 1: Obszary, które zależą od niezawodnej ochrony przed korozją.³

Na szczęście jest bardzo wielu doświadczonych specjalistów w dziedzinie korozji, wykorzystujących innowacyjne i sprawdzone technologie, którzy mogą skutecznie przeciwdziałać korozji, posiadając odpowiednie zasoby finansowe. Jednak wielu decydentów, w przemyśle i rządach nie rozumie ogromnego zasięgu korozji oraz konsekwencji związanych z jej występowaniem, a także faktu, że procesy te należy kontrolować. Nie jest również doceniana potrzeba ciągłego prowadzenia prac badawczo-rozwojowych, mająca na celu dalsze zmniejszenie skutków korozji wpływających na ludzi, majątek i środowisko.

Stan taki wskazuje na potrzebę edukowania społeczeństw w zakresie znaczenia ochrony przed korozją, w tym znaczenia prac badawczo-rozwojowych w takich dziedzinach, jak: rozwój i dobór materiałów, innowacyjne systemy ochrony powierzchni, rozwój monitoringu opartego na działaniu czujników i zdalnych metod zbierania danych. Potrzebne są również globalne standardy bazujące na dobrych praktykach. Pozwoli to na efektywne dzielenie się wiedzą dotyczącą metodologii ochrony przed korozją na całym świecie.

Organizacja została założona po to, aby stowarzyszenia i towarzystwa korozyjne mogły wspólnie połączyć siły w walce z korozją w skali światowej. Z 27 organizacjami członkowskimi, reprezentującymi ponad 50 000 naukowców, inżynierów i techników z całego świata z dziedziny korozji, WCO promuje edukację, szkolenia, wymianę technologii i ogólnej wiedzy o korozji z korzyścią dla całego społeczeństwa.

Organizacja jako część swojego planu strategicznego, ma następujące główne cele:

- Cel nr 1: Podniesienie świadomości społecznej w zakresie łagodzenia skutków korozji.
- Cel nr 2: Określenie najlepszych praktyk w zarządzaniu korozją.
- Cel nr 3: Ułatwianie dostarczenia wiedzy rządowi, przemysłowi i społeczności nt. przeciwdziałania korozji.
- Cel nr 4: Normalizacja standardów związanych z korozją na całym świecie

Oto niektóre z działań realizowane w ramach każdego celu:

Cel nr 1

- ustanowienie Światowego Dnia Świadomości Korozyjnej,
- stworzenie i utrzymanie kampanii PR na witrynie WCO (www.corrosion.org) z linkami do filmów, raportów i innych użytecznych informacji,
- wdrożenie programu organizacji afiliowanych przy WCO,
- zachęcanie do zaangażowania całej społeczności w zarządzanie korozją.

Cel nr 2

- współpraca z Międzynarodową Radą Korozji (*ICC - The International Corrosion Council*) w celu zachęcenia rządów i przemysłu do finansowania badań korozyjnych,
- przekonywanie rządów do tworzenia zachęt finansowych dla firm opracowujących i wdrażających programy łagodzące skutki korozji,
- opracowanie i utrzymywanie ogólnoświatowej biblioteki najlepszych praktyk,
- położenie nacisku na rozwój praktyk zarządzania korozją ukierunkowanych na ochronę środowiska.

Cel nr 3

- współpraca z ICC w celu skatalogowania wiedzy na temat korozji i podstawowych danych w tym zakresie.

Cel nr 4

- harmonizacja istniejących norm dotyczących korozji,
- aktywne współdziałanie w ramach procesów w Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej (*ISO - International Organization for Standardization*)
- normalizacja wymogów w zakresie kształcenia i certyfikacji.

Jesienią 2008 roku WCO podczas konferencji i spotkań, organizowanych przez jej członków-założycieli w różnych częściach świata, przeprowadzała warsztaty, mające na celu zidentyfikowanie globalnych potrzeb w zakresie upowszechniania wiedzy na temat badań i rozwoju w dziedzinie degradacji materiałów:

- EUROCORR 2008, 11 września, Edynburg, konferencja zorganizowana przez Europejską Federację korozją (EFC).
- Tydzień Technologii Antykorozyjnej, 16 września, Salt Lake City, Utah, konferencja zorganizowana przez NACE International.
- 28 września, Pekin, Chiny, spotkanie zorganizowane przez Chińskie Towarzystwo do Ochrony przed Korozją (CSCP)
- 17. Międzynarodowy Kongres Korozyjny, 9 października, Las Vegas, Nevada, kongres zorganizowany przez NACE International i Międzynarodową Radę Korozji (ICC).
- Korozja i Profilaktyka, 18 listopada, Wellington, Nowa Zelandia, konferencja zorganizowana przez Australijskoazjatyckie Stowarzyszenie Korozyjne (ACA).

Niniejsze opracowanie stanowi podsumowanie wyników tych warsztatów oraz podkreśla potrzebę ogólnościowego upowszechniania wiedzy w dziedzinie korozji i jej zapobiegania, a także konieczność zdobycia nowej wiedzy i prowadzenia rozległych prac badawczo-rozwojowych, stanowiących integralną część zaawansowanych technologii, zapewniających ochronę infrastruktury ziemskiej i bezpieczeństwa zasobów dla przyszłych pokoleń.

2 Potrzeba upowszechniania wiedzy

Pierwsza ocena kosztów korozji została przeprowadzona we wczesnych latach 70-tych (the Hoar-Report⁴) i ujawniła, że kraje uprzemysłowione tracą od 3 do 4% PKB rocznie z tytułu strat korozyjnych. Wszystkie podobne próby oszacowania kosztów, przeprowadzone później przez różne organizacje, w zasadzie podały podobny wynik. Ostatnie oszacowanie kosztów korozji

zostało opublikowane przez US FHWA w 2001 r.¹ przy wsparciu NACE International. Raport w sposób czytelny udokumentował, że w Stanach Zjednoczonych, z powodu korozji, przepada rocznie 3,14% PKB, co stanowi \$276 miliardów.

Kwota ta obejmuje wyłącznie koszty bezpośrednie, związane z wymianą uszkodzonych materiałów i elementów. Koszty pośrednie, takie jak utrata produkcji, wpływ na środowisko, zakłócenia komunikacyjne, urazy i wypadki śmiertelne, oszacowano jako koszt równy kosztowi bezpośredniemu. Całkowite koszty korozji na terytorium USA są więc rzędu wielkości \$552 miliardów².

Raport Hoar'a podkreśla, że 25% rocznych kosztów korozji można uniknąć tylko przez zastosowanie istniejących rozwiązań w zakresie ochrony przed korozją. Stosując tę wartość do obliczenia możliwych oszczędności na całym świecie (co jest wspierane w raporcie FHWA) można uniknąć rocznie \$450 miliardów kosztów. Zwrot z takiej inwestycji jest ogromny, co ilustruje poniższy przykład.

Departament Obrony USA w 2008 r.⁵, w wyniku swoich wysiłków zmierzających do zmniejszenia korozji sprzętu wojskowego i infrastruktury wojskowej, ocenił że średnia stopa zwrotu z inwestycji z ponad 80 projektów ograniczających korozję, przeprowadzonych w ciągu 3 lat wynosi około 50:1. Podkreśla to, jak ogromne znaczenie ma rozpowszechnianie wiedzy w tej dziedzinie.

Rozpowszechnianie wiedzy dotyczy wszystkich dziedzin życia codziennego i gałęzi przemysłu. Zagadnienia obejmują:

- **Infrastrukturę**, w tym konstrukcje budowlane (lądowe i morskie), transport (drogi, mosty, tunele), sieci wodociągowe, dystrybucję energii (elektrycznej, gazu i ropy naftowej) oraz systemy łączności i urządzenia komunikacyjne.
- **Środki transportu**, w tym koleje, branżę motoryzacyjną (materiałoznastwo, technologie powłokowe, tzw. czyste technologie zmniejszające ilość wydzielanych spalin - produkcja katalizatorów i filtrów), przemysł lotniczy i okrętowy (silniki Diesla).
- **Produkcję energii i jej przechowywanie**, w tym paliwa kopalne, paliwa jądrowe, paliwa z biomasy, alternatywne źródła energii i technologie wodorowe.
- **Surowce**, w tym surowce w górnictwie, hutnictwie, recyklingu oraz ropa i gaz do celów nieenergetycznych.
- **Technologie produkcji** w rafineriach, petrochemii, chemii, przemyśle papierniczym i elektronice.
- **Żywność**, w tym rolnictwo, technologie produkcji żywności i technologie uzdatniania i udostępniania wody
- **Zdrowie**, w tym materiały i technologie implantologiczne.
- **Bezpieczeństwo i integralność społeczną**.

Oczywiście, upowszechnianie wiedzy i transfer technologii będzie różny w krajach o różnym stopniu rozwoju. Jednak celem nadrzędnym musi być podniesienie wiedzy w każdym kraju, w stopniu proporcjonalnym do jego rozwoju. Edukacja na temat korozji i ochrony przed korozją wymaga dostosowania do różnych poziomów wiedzy w szkołach i uczelniach wyższych⁶.

Następnym krokiem powinno być ustanowienie organów odpowiedzialnych w każdym kraju za implementację lokalnych systemów zarządzania i ochrony przed korozją. Celem jest zbudowanie sieci niezależnych ekspertów na całym świecie, którzy rozpowszechnią doświadczenia (dobre i złe) oraz najlepsze praktyki.

Wpływ korozji na zdrowie człowieka w życiu codziennym ilustruje prosty przykład. Przedstawił go prof. Lucien Bonou z Burkina Faso w Afryce, podczas warsztatów WCO w trakcie 17. Międzynarodowego Kongresu Korozji⁷ we wrześniu 2008 r. Badał on skład metalowych garnków produkowanych w swoim kraju z odzyskiwanych stopów aluminiowych (rys. 2). Stwierdził, że w skład stopu wchodziło 32% żelaza i 10% miedzi. Ponadto, obecne były również znaczące ilości innych metali ciężkich (10% cynku, 2,5% ołowiu i 0,12% kadmu).



Rys. 2: Garnki podatne na korozję wykonane ze stopów aluminium.³

Ten dziwny skład metalowych garnków, wynikający z użycia odpadów zawierających aluminium, pochodzących ze złomowanych części samochodów puszek, puszek po napojach, rur, itp. (rys. 3), powodował, że garnek łatwo ulegał korozji w wyniku reakcji z gotowaną żywnością. W wyniku czego, jony metali ciężkich przenikały do żywności i pogarszały stan zdrowia ludzi, którzy ich używali. Dlatego tak ważne jest, aby nagłośnić ten problem w sferze publicznej i podjąć działania, aby tylko czyste stopy aluminium, odporne na korozję były używane do produkcji garnków do gotowania. Jest to typowy przykład, w którym istniejąca wiedza może rozwiązać problem i zapobiec zagrożeniu dla zdrowia. Pokazuje to również, że konsekwencje problemów korozyjnych mogą wystąpić nie tylko w materiale, który koroduje, ale także w substancjach będących z nim w kontakcie. (rysunki 4 i 5)⁸.



Rys. 3: Złom metalowy używany do produkcji garnków.³



Rys. 4: Uszkodzenie materiału spowodowane korozją.



Rys. 5: Zanieczyszczenie medium z powodu korozji.

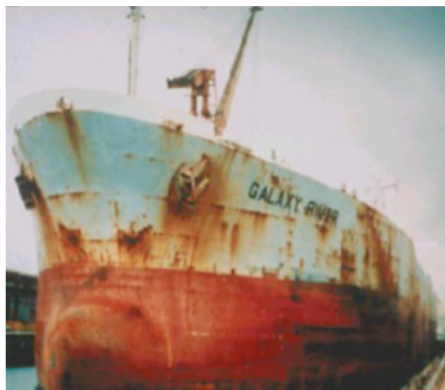
Potrzeba zapewnienia zdrowego środowiska i zagwarantowania zdrowego odżywiania w każdym kraju jest ogromna i stanowi nierozwiązany do tej pory problem. Najważniejszym, niezbędnym do życia produktem jest woda, jej dostępność i dystrybucja (rys. 6). Dlatego dystrybucja wody o określonej czystości i właściwościach higienicznych jest niezastąpionym wkładem w zdrowie i odżywianie ludności na całym świecie.



Rys. 6: Woda pitna – fundament odżywiania.⁹ Zgodnie z ruchem wskazówek zegara od góry do lewej: dostępność, dystrybucja, zdrowie i czystość.

Dystrybucja wody wymaga rurociągów, zbiorników, pomp, armatury, kształtek i systemów hydraulicznych. Wybrane materiały decydują o jakości i właściwościach wody. Na przykład: Dyrektywa Europejska dotycząca wody pitnej¹⁰, w połączeniu z europejską normą EN 12502¹¹ daje wytyczne i opisuje warunki brzegowe dla powstania bezpiecznego i zdrowego systemu dystrybucji wody. Ta ostatnia odnosi się do stężenia metali w wodzie (zarówno jonów, jak i pierwiastków, takich jak ołów, miedź, żelazo, nikiel, cynk, kadm, aluminium i inne). Stężenie jonów metali w wodzie do picia zależy od wyboru materiałów, którymi mogą być stal, stal ocynkowana, stal nierdzewna, miedź, mosiądz, brąz, czy tworzywa sztuczne, a także od rozpuszczonych w niej substancji i zawartości mikroorganizmów. Tak więc, wartość pH wody, nie tylko determinuje prawdopodobieństwo uszkodzeń korozyjnych (np. korozję wżerową), ale również uwalniającą się w procesach korozyjnych zawartość metali w wodzie¹¹. Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że do dystrybucji i przechowywania wody najlepiej jest używać materiałów z tworzyw sztucznych. Jednakże, materiały te nie są odporne na degradację oraz mogą ułatwić tworzenie się bio-filmu, co z kolei powoduje problemy związane z korozją i higieną. Jest to mniej prawdopodobne w przypadku materiałów metalowych.

Szeroki zakres ochrony przed korozją, który wymaga jedynie zastosowania obecnej wiedzy dotyczy prac remontowych i inspekcji w przemyśle. Kilka osób wypowiadających się podczas różnych warsztatów WCO podkreślało, że obiekty zbyt szybko tracą trwałość z powodu nieistniejących lub nieodpowiednich planów zarządzania korozją, nieodpowiedniego utrzymania i niewłaściwych inspekcji (rys. 7)¹², braku know-how, braku przestrzegania procedur i logiki postępowania, natomiast największy problem stanowi brak świadomości korozyjnej kierownictwa i osób na szczeblach decyzyjnych. Świadomość i kompetencje w zakresie zapobiegania korozji muszą być wspierane i udoskonalane na całym świecie. Wydłużenie okresu trwałości wykonanych inwestycji wymaga wdrożenia audytów korozyjnych, oceny szacowania ryzyka korozji i zarządzania nią.



Środowisko morskie



Środowisko górnicze

Rys. 7: Niewystarczające utrzymanie oraz brak inspekcji korozyjnych.¹¹

Podczas warsztatów poruszano również kwestię braku podstawowej edukacji o korozji i ochronie materiałowej w programach nauczania uczelni wyższych, nawet w krajach wysokorozwiniętych. Jeszcze bardziej rozczarowujący jest fakt, że nawet w miejscach, gdzie nauka o korozji jest

uwzględniona w programach nauczania na kierunkach przyrodniczych lub inżynierskich, albo nawet prowadzona jako oddzielny kierunek, wiele osobistości akademickich oraz dziekanów wydziałów, odmawia wsparcia tego ważnego tematu. Wydziały zajmujące się do tej pory na uczelniach korozją i ochroną przed korozją są przekształcane w wydziały zajmujące się dziedzinami uważanymi za bardziej nowoczesne jak np. wydziały biotechnologii czy nanotechnologii. Takie tendencje są obserwowane zwłaszcza w Europie i Stanach Zjednoczonych.^{6,13} Dlatego też, celem WCO jest wspieranie edukacji technologów i inżynierów, którzy powinni posiadać wiedzę na temat korozji. Zaleca się objęcie tym programem wydziałów inżynierii materiałowej (MSE), jak i innych wydziałów inżynierskich, których korozja stanowi poważny problem. Powinno to dotyczyć, zarówno wykształcenia na poziomie inżynierskim, magisterskim jak i doktorskim⁶.

Chociaż aspekt ten odnosi się głównie do kształcenia ogólnego i przekazywania istniejącej wiedzy, to stanowi również istotne wsparcie szkolnictwa wyższego w doskonaleniu wiedzy specjalistów w zakresie elektrochemii, korozji i inżynierii materiałowej, zwiększając tym samym znajomość mechanizmów korozji i ochrony materiałowej z poziomu makro do nanoskali. Dlatego też, zaawansowany system edukacyjny powinien stanowić bazę wiedzy dla wysoce-wykwalfikowanych specjalistów, umożliwiając im prowadzenie efektywnych i innowacyjnych badań w zakresie korozji i ochrony przed korozją na poziomie „nanoświata”¹⁴.

Innym problemem jest kwestia certyfikowania kompetencji w dziedzinie korozji i ochrony przed korozją. Przemysł i agencje rządowe szukają wykonawców, których kwalifikacje zostały potwierdzone przez niezależne organy, takie jak NACE International. Ale nie istnieją żadne uzgodnione jednolite standardy potwierdzające kwalifikacje wykonawców lub materiałów w tym zakresie. Zarówno dla firm działających w wielu krajach, jak i dla przemysłu i agencji rządowych, które muszą ocenić kwalifikacje wykonawców wykształconych i dyplomowanych w innych krajach stanowi to prawdziwy problem.

Obecnie istnieje wiele organizacji oferujących programy edukacyjne w zakresie łagodzenia skutków korozji, jednak nie ma żadnej spójności pomiędzy nimi, a wiele z nich jest czysto teoretyczna. Inne natomiast skupiają się na praktycznych zastosowaniach do tego stopnia, że prezentują poradnikowe podejście, nie dając uczniowi wystarczającej wiedzy przy rozwiązywaniu problemów korozyjnych, co zazwyczaj wiąże się z różnym podejściem do sprawy. Najlepsze programy łączą teorię ze szkoleniem praktycznym w terenie.

Niezbędna jest globalna harmonizacja norm w zakresie edukacji, certyfikacji kompetencji, a także w zakresie norm związanych z korozją. Pierwsze kroki zostały już poczynione, jednak nadal istnieje wiele sprzecznych norm zarówno w Europie, jak i pomiędzy Europą, Ameryką Północną, Japonią i innymi krajami itp. Ten problem przyjęcia jednolitych standardów w całej organizacji stanowi utrudnienie dla firm działających w wielu krajach, jednakże nie należy mylić norm z krajowymi przepisami. Wprowadzane przez agencje rządowe regulacje, zawierające modyfikacje norm, wynikają ze specyfiki danego kraju lub regionu i są zgodnym konsensusem wypracowanym przy współpracy z organizacjami branżowymi. Najlepszym rozwiązaniem byłby brak sprzecznych ze sobą standardów. Dlatego cele WCO obejmują harmonizowanie norm związanych z korozją.

3 Badania i rozwój mające sprostać dzisiejszym potrzebom i jutrzejszym wyzwaniom

3.1 Uwagi ogólne

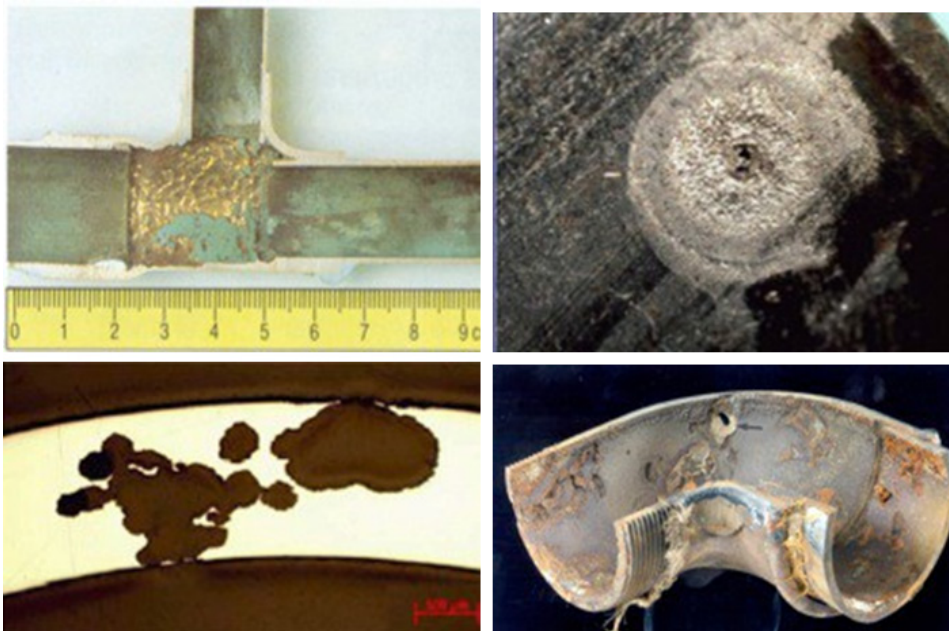
Odżywianie (w tym woda), zdrowie, energia, infrastruktura, dostępność zasobów, ochrona środowiska, bezpieczeństwo społeczne i indywidualna integralność stanowią podstawowe potrzeby człowieka. Rządy, przemysł i społeczności, starają się sprostać tym podstawowym potrzebom, jednak na ogół są nieświadome, że sukces i osiągnięcia w tych dziedzinach są nierozzerwalnie związane z rozwiązywaniem problemów materiałowych, w tym degradacji materiałów i ich ochrony. Dlatego ważne jest, aby zainicjować globalną świadomość, że materiały stanowią fizyczną materię wszystkich produktów i systemów inżynierskich oraz że właściwości tychże materiałów (w tym odporność na korozję) często definiują zarówno możliwości, jak i ograniczenia technologii. Musi zostać publicznie zaakceptowany fakt, że właściwości materiałów oraz ich ochrona przed korozją są fundamentalnym i kluczowym czynnikiem dla wszystkich technologii. Zatem, badania i rozwój (R&D) w tej dziedzinie mają nadrzędne znaczenie, w związku z tym muszą otrzymać najwyższy poziom wsparcia finansowego. Celem tego opracowania jest uwypuklenie w nim przykładów problemów z wielu dziedzin życia publicznego i różnych gałęzi przemysłu.

3.2 Odżywianie i zdrowie

Jak opisano w rozdziale 2, bezpieczna dystrybucja i magazynowanie wody ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia prawidłowego odżywiania. Zostały opracowane najlepsze praktyki, które umożliwiają dystrybucję wysokiej jakości wody z niskim prawdopodobieństwem awarii korozyjnych. Rys. 8 ilustruje typowe uszkodzenia, którym należy zapobiegać. W dalszym

ciągu niezbędne jest prowadzenie badań rozwojowych w dziedzinie korozyjności materiałów i ograniczenia skutków awarii, na przykład, przez odpowiednie metody przygotowania powierzchni i dobór materiałów.

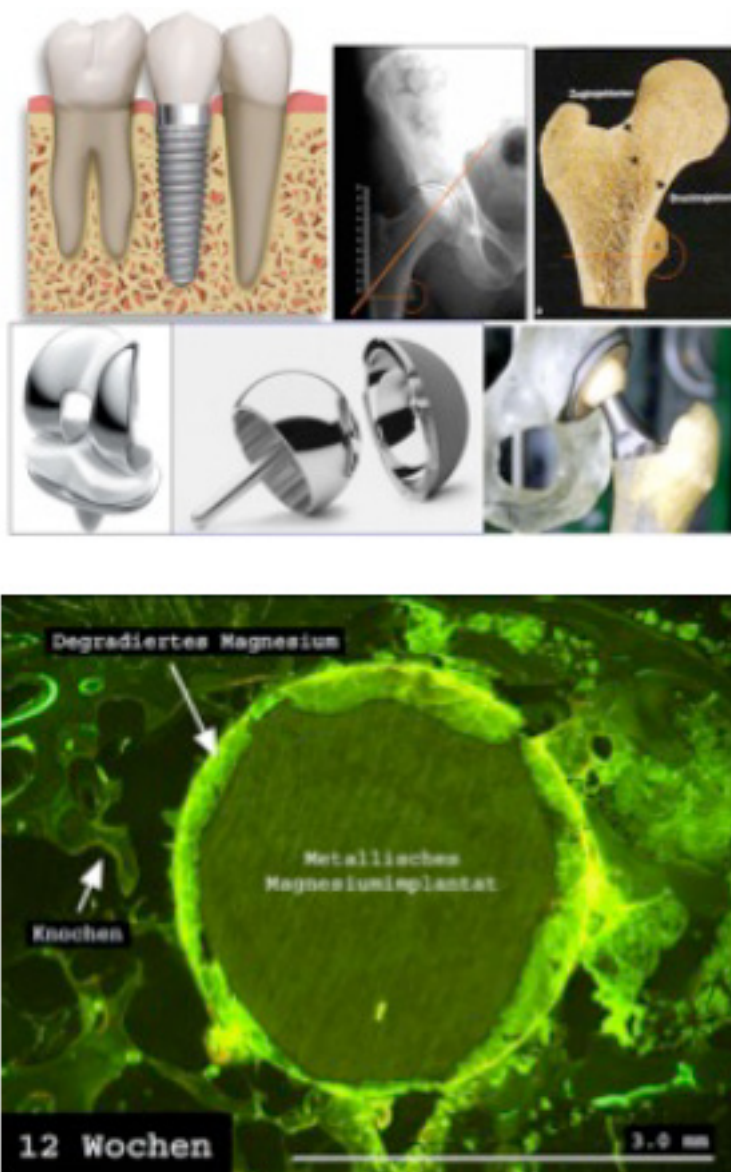
Dotyczy to również odpowiedniego uzdatniania wody, gdyż sposób uzdatniania decyduje o prawdopodobieństwie wystąpienia uszkodzeń korozyjnych instalacji wodociągowych. W zakresie systemów instalacji wodnych i technik sanitarnych należy jeszcze wiele poprawić. Kolejnym ważnym celem badań rozwojowych jest przewidywanie czasu życia materiałów z tworzyw sztucznych, a zwłaszcza określenie czasu ich eksploatacji pod wpływem działania jonów metali i środków uzdatniających. Należy również udoskonalić techniki detekcji przecieków.



Rys. 8: Awarie korozyjne w instalacjach hydraulicznych, zgodnie z ruchem wskazówek zegara: Erozja-korozja rurociągów miedzianych, korozja wżerowa stali nierdzewnej w obecności chloru (widok powierzchni), korozja wżerowa stali nierdzewnej w obecności chloru (przekrój poprzeczny ścianki rurociągu) i korozja wżerowa rurociągu ze stali ocynkowanej.

Kolejnym miejscem, gdzie technologia materiałowa przyczynia się do poprawy zdrowia jest branża materiałów i technologii implantologicznej. Przewiduje się, że w starzejącej się społeczności światowej, zastosowanie implantów (metalicznych lub niemetalicznych) znaczenie wzrośnie (rys. 9). Od materiałów stosowanych w implantologii wymaga się bardzo specyficznych właściwości, spośród których jedną z najważniejszych jest odporność korozyjna. Jest ona również niezbędna w przypadku materiałów stomatologicznych zawierających tytan i jego stopy. Natomiast w przypadku implantów zawierających magnez i wszczepianych do kości lub stosowanych

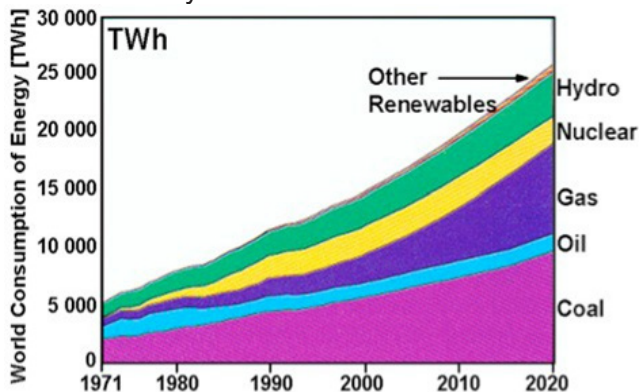
w układzie sercowo-naczyniowym, niezbędne jest udoskonalenie ich pod kątem zwiększenia odporności na rozpuszczanie się metalu pod wpływem płynów ustrojowych¹⁵. Zatem, materiały i technologie implantologiczne stanowią dodatkowe pole, gdzie przy badaniach rozwojowych niezbędna będzie wiedza i doświadczenie ekspertów korozyjnych.



Rys. 9: Przykłady implantów ludzkich.¹⁵⁻²⁰

3.3 Wytwarzanie i magazynowanie energii

Produkcja energii na całym świecie opiera się w przeważającej mierze na paliwach kopalnych, wliczając w to węgiel, ropę i gaz (rys. 10). Prognozuje się, że ten stan, ze względu na dużą podaż i duże zasoby oraz rozsądną dostępność, utrzyma się jeszcze co najmniej przez najbliższe dwie lub trzy dekady. Jednak spalanie paliw kopalnych wywarza CO_2 , który jest jednym z głównych problemów w globalnym ociepleniu. Należy znacznie zmniejszyć, w ciągu najbliższych dziesięcioleci, spowodowane przez człowieka uwalnianie CO_2 podczas produkcji energii, a także produkcji stali i betonu. Aby osiągnąć ten cel niezbędne są zastosowanie innych technologii oraz częstsze używanie słów kluczowych takich jak „sekwestracja”, „przechwytywanie” i „magazynowanie”. Jednakże faktem jest, o czym nie mówi się publicznie, że przy każdej nowej technologii pojawiają się nowe problemy korozyjne, wynikające z zastosowania nowych materiałów w nowym środowisku.



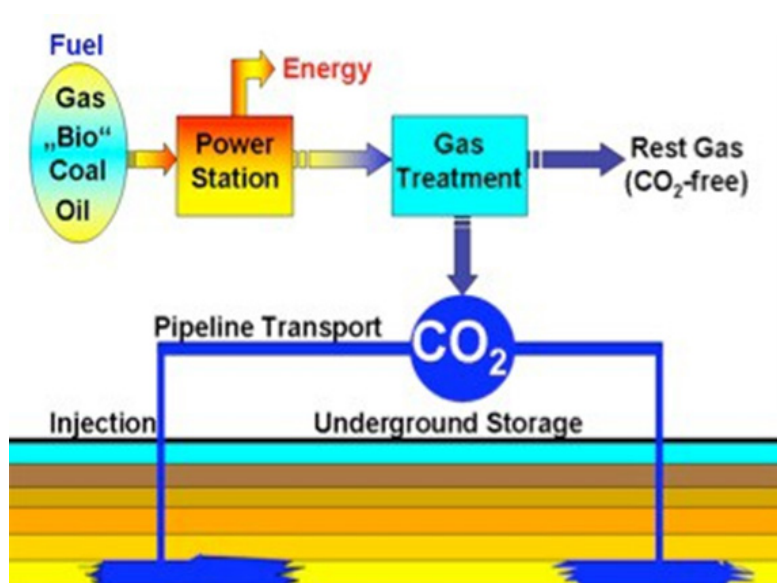
Rys. 10: Światowe zużycie energii (1971-2020).²¹

Jako przykład weźmy, realizowany w kilku częściach świata, pilotażowy program, polegający na podziemnym składowaniu na dużą skalę CO_2 (ze spalin elektrowni) w wyeksploatowanych złożach gazowych lub warstwach wodonośnych (rysunki 11 i 12).²² Narażenie na korozję całej infrastruktury w otworach wiertniczych (orurowane lub obetonowane otwory wiertnicze), w porównaniu do tradycyjnie występujących warunków przy produkcji ropy i gazu, jest znacznie silniejsze ze względu na ostrzejsze warunki środowiskowe spowodowane ciągłą ekspozycją na CO_2 (rys. 12). Około 60% wszystkich uszkodzeń korozyjnych w branży przetwórstwa ropy naftowej i gazu jest związane z oddziaływaniem CO_2 (rys. 13).²³ W podziemnym magazynowaniu (technologia wychwytywania i składowania dwutlenku węgla [CCS]), CO_2 będzie prawdopodobnie przechowywany w stanie nadkrytycznym. Bezwzględnie należy przewidzieć problemy korozyjne, ponieważ nieznane stężenia zanieczyszczeń takich jak tlen, tlenek węgla

(CO) i gazy zawierające siarkę, jak dwutlenek siarki (SO_2) i siarkowodor (H_2S), występujące w gazach spalinowych będą stanowić zagrożenie korozyjne dla rur i innych elementów konstrukcyjnych. Niezbędne są nowe i zapewniające trwałą ochronę przeciwkorozyjną koncepcje, gwarantujące integralność urządzeń w znacznie dłuższych niż dzisiaj okresach eksploatacji (na przykład więcej niż 100 lat).



Rys 11: Proponowane miejsca przechowywania gazu w technologii (CCS).²²

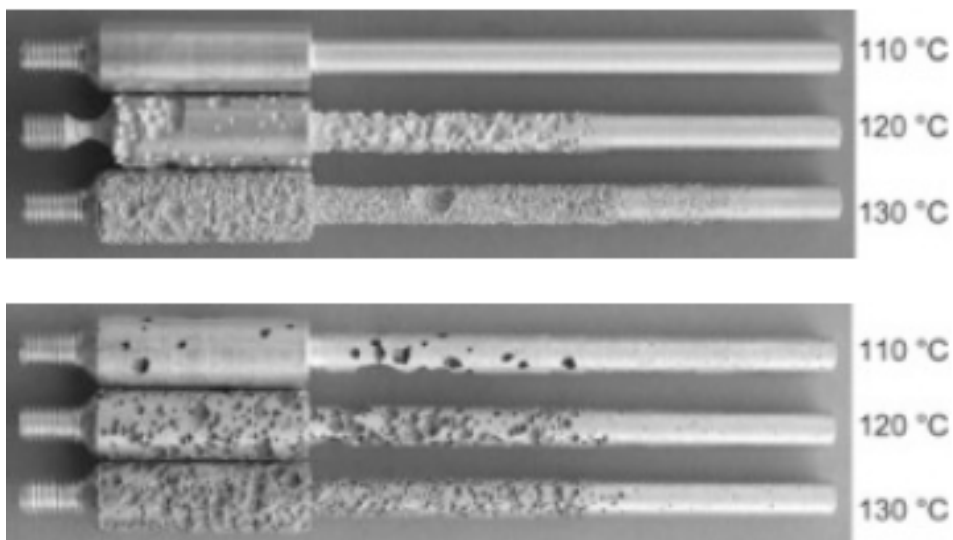


Rys 12: Produkcja energii bez emisji CO_2 do atmosfery.

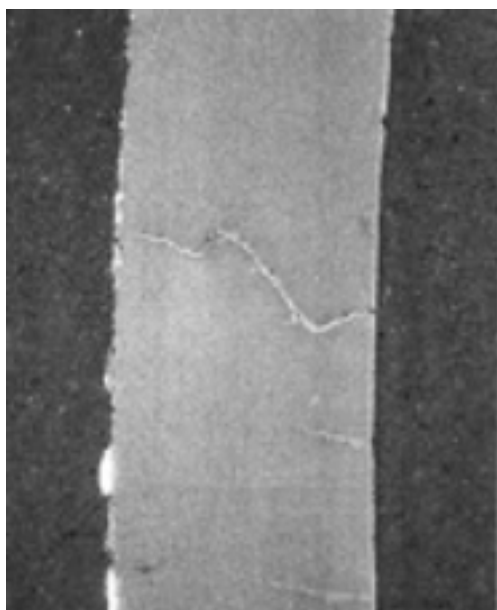


Rys. 13: Korozja rur spowodowana oddziaływaniem CO_2 .

Wykorzystanie biopaliw w samochodach osobowych i ciężarowych jest również źródłem problemów korozyjnych. W porównaniu do klasycznego oleju napędowego, charakteryzują się one innym składem chemicznym, przez co materiały uszczelniające, uszczelki oraz niektóre części wykonane z materiałów organicznych wymagają modyfikacji. Dotyczy to również powłok zabezpieczających zbiorniki paliwa. W aluminium mogą wystąpić poważne wżery, a w stali węglowej może wystąpić korozja naprężeniowa (rysunki 14 i 15). Przykłady te pokazują, że decyzje o zmianie technologicznej tj. odejście od paliw kopalnych na rzecz biopaliw mogą być łatwo podejmowane na poziomie zarządzania. Jednak prawdziwe problemy pojawią się w momencie wprowadzenia zmian. Oczywiście, znowu należy najpierw rozwiązać problemy materiałowe i korozyjne.



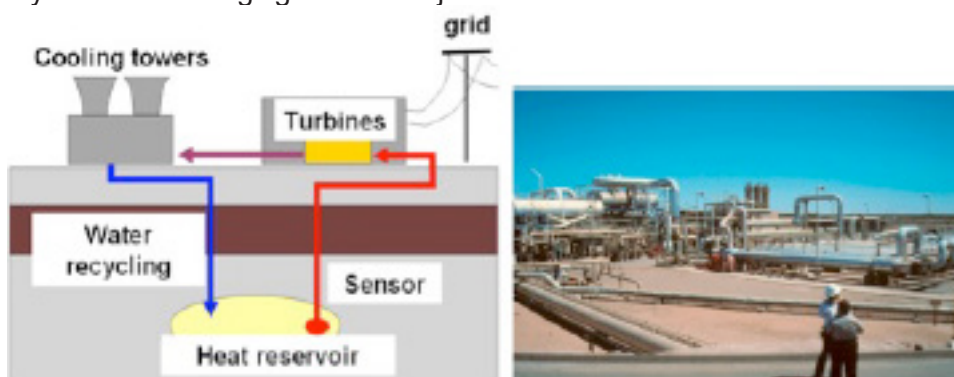
Rys. 14: Korozja wżerowa aluminium i stopów aluminium w biopaliwach.²⁴



Rys. 15: Pęknięcie stopu aluminium w wyniku korozji naprężeniowej w biopaliwach.^{24,25}

A co w przypadku alternatywnych źródeł energii, takich jak energia słoneczna, wiatr, woda oraz energia geotermalna? Wszystkie technologie stosowane w produkcji energii z alternatywnych źródeł napotkają problemy materiałowe i korozyjne. W technologii fotowoltaicznej, problemy z degradacją materiałów występują w elementach fotowoltaicznych i rurach wymiennika ciepła zasilanych promieniowaniem słonecznym. Mogą one poważnie korodować, jeżeli nie zastosuje się inhibitorów korozji, które będą utrzymywać ich sprawność w wysokotemperaturowym środowisku.

Ciepło geotermalne jest długotrwałym źródłem energii. Przechowywane w pierwszych 3 000 m skorupy ziemskiej, teoretycznie może zaspokoić dzisiejsze światowe zapotrzebowanie na energię na następne 100 000 lat. Jednak globalna dostępność ciepła geotermalnego jest różna, co tłumaczy różne wykorzystanie jej w różnych krajach (rys. 16). W Islandii energia geotermalna zapewnia 56% zapotrzebowania na energię. Na Filipinach, jej udział stanowi 20%.²⁶ Głównym problemem może być korozja wyposażenia elektrowni oraz konstrukcji wewnątrz i wokół instalacji wytwarzania energii geotermalnej, wynikająca z obecności soli, siarkowodoru (H_2S) oraz krzemianów w wodzie geotermalnej, powodujących korozję lokalną i tworzenie zendry w studniach, osłonach i innym wyposażeniu wytwarzającym energię (rys. 17).²⁶ Kluczowym jest wybór materiałów, wymagający długoterminowego sprawdzenia celem zmniejszenia ryzyka uszkodzeń, a dzięki temu osiągnięcia znacznych oszczędności. Pokazano to na przykładzie Filipin, które są obecnie drugim co do wielkości na świecie producentem energii geotermalnej (3000 MW). Ciągła kontynuacja działań ograniczających skutki korozji będzie miała ogromny wpływ na obniżenie kosztów cyklu eksploatacyjnego lokalnego wytwarzania energii geotermalnej.²⁶



Rys. 16: Elektrownia geotermalna.



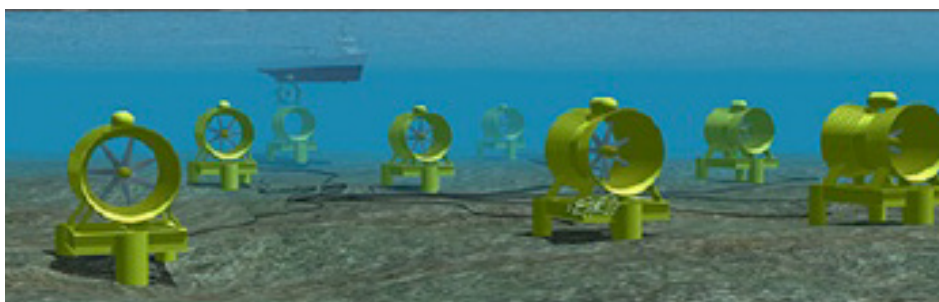
Rys 17: Korozja materiałów konstrukcyjnych spowodowana środowiskiem o wysokiej korozyjności.²⁶

Farmy wiatrowe (rys. 18) są obecnie instalowane w wielu miejscach na świecie. W Niemczech około 20 000 wież wiatrowych wytwarza około 3% krajowej energii elektrycznej. W ciągu 10 najbliższych lat, na Morzu Północnym i Bałtyku planowana jest instalacja kolejnych 20 000 wiatraków. W związku z tym pojawią się olbrzymie problemy wynikające z nieprzyjazznego, morskiego środowiska, w którym będą one musiały pracować, m.in: korozja elementów łączących, platform masztowych i elementów kotwiących. Dodatkowo pojawi się oddziaływanie mechaniczne wiatru i fal. Będą musiały również zostać rozwiązane problemy tribologiczne w systemach przekładni, poprzez odpowiedni dobór materiałów, udoskonaloną konstrukcję i zoptymalizowane smarowanie. W celu zapobiegania awariom, będzie musiał zostać opracowany obowiązkowy, kompleksowy, aczkolwiek ciągle udoskonalany system monitoringu. W przeciwnym razie, żadna firma nie podejmie ryzyka ubezpieczenia tego typu urządzeń. Awaria zabezpieczeń antykorozyjnych wiatraków morskich zmniejszy spodziewany zysk, założony w danym okresie użytkowania konstrukcji. Problem ten wynika z trudności zainstalowania rusztowań niezbędnych do przeprowadzania prac remontowych.



Rys. 18: Farmy wiatrowe: przybrzeżne oraz lądowe.

Jako tanią technologię produkcji energii przedstawia się obecnie elektrownie pływowe. Napędzane pływowo podwodne turbiny (rys. 19) będą działać w regionach morskich o wysokim potencjale pływowym.²⁷ Wyzwaniem przy realizacji tych projektów będą odpowiedni dobór znakomitych materiałów i oczywiście problemy korozyjne. Również ekonomicznie opłacalne rozwiązania materiałowe, jak i ochronne będą wymagały szeroko zakrojonych prac badawczo-rozwojowych.



Rys. 19: Gigantyczna instalacja pływowa, wybudowana przy brzegu Korei Południowej (300 jednostek) oraz instalacja u brzegów Walii (8 jednostek). Turbiny osadzone są na głębokiej wodzie, aby nie stanowiły zagrożenia dla statków.²⁷

Od dawna wiadomo, że środowisko morskie jest bardzo agresywne. Szybkość korozji zmienia się w zależności od różnych stref morskich (tabela 1). Strefa zmiennego zanurzenia rozciągająca się w danym roku od najniższego oznaczenia do 10 stóp (3m) nad najwyższym oznaczeniem pływu, jest narażona na największe zagrożenie korozyjne.

Tabela 1: Szybkość korozji w różnych strefach morskich

Strefy morskie	Szybkość korozji (ubytek stali) w warunkach przybrzeżnych (mm/rok)
Strefa namulisk morskich	0.1
Strefa zanurzenia	0.2
Strefa pływowa	0.25
Strefa zmiennego zanurzenia	0.4
Strefa atmosferyczna	0.1

W wodach przybrzeżnych oraz w ujściach rzek, obserwuje się znaczący wpływ korozji mikrobiologicznej (MIC), związany z powszechnie stosowanymi produktami rolnymi, przedostającymi się do wód oraz stanowiącymi źródło składników odżywczych dla mikro- i makroorganizmów. Organizmy tlenowe atakują strefy zmiennego zanurzenia, a organizmy beztlenowe, bakterie

redukujące siarczany i wykwyty alg powodują problemy korozyjne w strefie pływów. MIC jest przyspieszona w strefie niskiej wody. Przyspieszona korozja w niskiej wodzie (*ALWC - Accelerated low-water corrosion*) (rys. 20-22),²⁸ nowo zaobserwowane i coraz częściej pojawiające się zjawisko (rys. 21), zwiększa szybkość korozji od 10- do 20-razy w stosunku do oczekiwanej szybkości korozji, w pobliżu najniższych poziomów pływów astronomicznych, przy czym zjawisko to jest bardzo trudne do zaobserwowania. Przyczyną tego, wydaje się być „zainfekowanie” nowym szczepem drobnoustrojów, które przetrwały i ewoluowały w morskich osadach. Ta dotkliwa korozja pojawia się w wyniku wytwarzanych przez nie metabolitów takich jak H_2S . Oprócz niezależnego wyposażenia konstrukcji w system ochrony katodowej lub całkowitego zastąpienia zabezpieczenia nowym, brak jest obecnie skutecznego rozwiązania tego problemu, przy czym w obydwu przypadkach jest to kosztowny zabieg. Tak czy inaczej, należy powstrzymywać degradację materiałów spowodowaną tymi procesami.



Rys. 20: Korozja morska stalowych pali.²⁸



Rys. 21: Korozja grodzic w strefie niskiej wody.²⁹



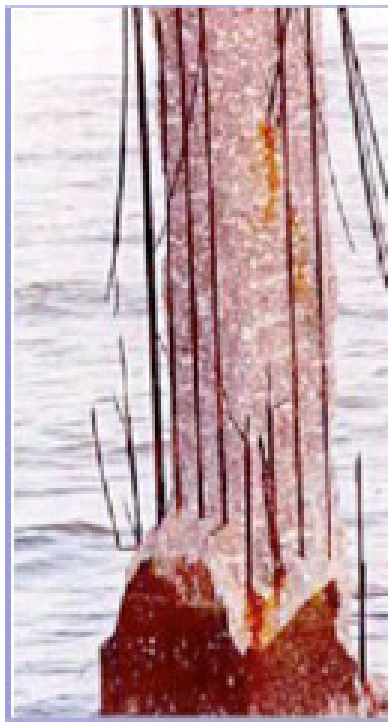
Rys. 22: Korozja wżerowa oraz perforacja ścian stalowych pali spowodowana korozją mikrobiologiczną (MIC).²⁸

Ochrona katodowa - jest techniką pozwalającą obniżyć szybkość korozji powierzchni metalowych poprzez zamianę ich w katodę ogniwa elektrochemicznego. Jest często wykorzystywana do zabezpieczenia przed korozją w środowisku morskim, ale nie jest skuteczna w zapobieganiu korozji mikrobiologicznej.

Inną opcję stanowi zastosowanie różnego rodzaju powłok malarskich, ale wymagane jest długie doświadczenie i dbałość w zakresie ich doboru i stosowania (rys. 23). Niezbędne są badania i rozwój w celu optymalizacji zabezpieczania stref podwodnych i stref zmiennego zanurzenia. Podobnie jak w przypadku zbrojonych pali betonowych (rys. 24).²⁹



Rys. 23: Powłoki ochronne w strefie podwodnej i zmiennego zanurzenia.²⁹



Rys. 24: Korozja zbrojonych pali betonowych w strefie zmiennego zanurzenia.²⁹

Kolejnym wielkim wyzwaniem jest opracowanie efektywnych i przyjaznych środowisku powłok przeciwpiorostowych dla statków. Szacuje się, że biologiczne porastanie statków przez glony, pąkle i inne organizmy morskie zwiększa zużycie paliwa o 8%. Na podstawie szacunkowego zużycia paliwa na poziomie 350 milionów ton dla przemysłu morskiego na całym świecie w 2007 roku, okazało się, że 28 mln ton paliwa zużyto dodatkowo ze względu na porastanie podwodnej części kadłubów statków. Ponadto szacuje się, że statki wyemitowały 1,120 mln ton CO₂ w 2007 r.²⁹ Dlatego też prawidłowo zaprojektowane i zastosowane powłoki przeciwpiorostowe mogą w istotny sposób przyczynić się do zmniejszenia zanieczyszczenia środowiska.

Również energetyka jądrowa musi stawić czoło problemom materiałowym i korozyjnym, zarówno w technologii rozszczepienia i syntezy jądrowej. Liczba elektrowni jądrowych gwałtownie wzrasta na całym świecie, ponieważ ten rodzaj produkcji energii nie przyczynia się do globalnego ocieplenia. Najwyższe wskaźniki wzrostu występują obecnie w Chinach i Rosji. Do 4% całkowitej produkcji energii w Chinach będzie pochodzić z elektrowni jądrowych do 2020 roku. Procent wydaje się niewielki, jednakże daje to do 40 000 MW energii.³⁰ Niektóre kraje już dziś z energii jądrowej

zaspokajają swoje potrzeby energetyczne w 80%, np. Francja. Z drugiej strony, wadami elektrowni jądrowych są duży koszt początkowy inwestycji, obawa przed wyciekami jądrowymi i skażeniem radioaktywnym oraz problemy ze składowaniem odpadów, co opóźnia rozwój tej technologii w innych krajach. W krajach rozwiniętych, pomimo wykonania wielu podstawowych badań, zdarzają się wypadki i przecieki wskazujące na wady procesowe i na konieczność dodatkowych badań.

Zidentyfikowano trzy główne obszary wiedzy na temat korozji, które wymagają pogłębienia oraz znalezienia zrozumienia w przemyśle jądrowym:³¹

- W jaki sposób wydłużyć cykl życia elektrowni jądrowych z 30/40 lat jak wstępnie planowano do 50/60 lat lub więcej bez obniżenia bezpieczeństwa?
- W jaki sposób oszacować długotrwałe zmiany własności metali biorąc pod uwagę utylizację odpadów nuklearnych w sytuacjach gdzie potrzeba bezpiecznego składowania liczona jest w tysiącach lat?
- W jaki sposób dokonywać doboru i analizy materiałów przeznaczonych do użytku w wysokich temperaturach w elektrowniach jądrowych IV generacji oraz w środowiskach zawierającego gaz (hel), wodę w stanie nadkrytycznym, ciekłe metale i sole?

Aktualnie problemy badawcze w publikacjach z 2007 r. i 2008 r. obejmują:³¹

- pękanie w wyniku korozji naprężeniowej stalowych rurociągów,
- wybór inhibitorów korozji do wody chłodzącej i odkażania chemicznego mediów,
- erozja-korozja w rurach,
- nieniszczące metody badań korozji,
- oprogramowanie do obliczania szybkości korozji,
- odporność na korozję atmosferyczną wewnątrz wygaszonych zbiorników reaktorów,
- korozyjne pękanie rur w wymiennikach ciepła,
- zagrożenia korozyjne w systemach chłodzenia,
- monitorowanie korozji zmęczeniowej w wytwornicach pary,
- atmosferyczna, niskotemperaturowa indukowana chlorem korozja naprężeniowa stali nierdzewnej pojemników na odpady nuklearne.

Nowe podejście technologiczne, w celu uzyskania bezpiecznej produkcji i składowania odpadów wymagają nowych materiałów i rozwiązań zabezpieczających przed korozją. Niezbędne są szeroko zakrojone programy badawczo-rozwojowe, realizowane w skali międzynarodowej. Jednak nie jest to wystarczające, gdyż brak jest wyszkolonych

i doświadczonych inspektorów i innych pracowników kontrolujących korozję w elektrowniach atomowych. Wzmożone wysiłki edukacyjne w tym zakresie muszą być integralną częścią strategii dla przyszłego bezpiecznego wykorzystania energii jądrowej jako źródła energii.

Jednym ze sposobów optymalizacji oszczędności energii jest produkcja energii tak efektywnie, jak to tylko możliwe. Wyższą efektywność elektrowni uzyskuje się z wyższych temperatur gazu. Jeden z celów operacyjnych opiera się na „700°C elektrowniach ciepłych”.³² Cel ten można osiągnąć tylko i wyłącznie dobierając odpowiednie materiały i innowacyjne metody ochrony powierzchni, które pozostaną skuteczne w tak ekstremalnych warunkach środowiskowych.³³ Opracowano powłoki barierowe, pozwalające na nagrzanie się materiału do temperatury 1000°C, a na powierzchni do 1350°C.³⁴ Przewidywanie czasów eksploatacji oraz rozszerzanie warunków procesowych do nawet wyższych temperatur w systemach przemysłowych są kwestiami, które wymagają intensywnych działań badawczo-rozwojowych. Stoi w sprzeczności z przekonaniem, że nabyta w ostatnich latach wiedza o korozji wysokotemperaturowej jest wystarczająca do rozwiązania tych problemów. Bardziej dogłębna analiza ujawniła jednak, że w większości przypadków warunki przemysłowe są zbyt skomplikowane dla takiego podejścia. Niektóre efekty synergiczne mogą uniemożliwić wiarygodne przewidywanie korozji i trwałości elementów będących w użyciu. Ponadto szereg nowych technologii stworzyło nowe zapotrzebowanie na badania z powodu ich oddziaływania na środowisko. Należy podwyższyć temperatury procesów, celem zoptymalizowania wydajności cieplnej i zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. Przykłady obejmują różnego rodzaju systemy konwersji energii cieplnej, takich jak wysokotemperaturowe ogniwa paliwowe (stałe ogniwa tlenkowe) i spalanie paliw bardziej agresywnych (odpady, biomasa, etc.). Ponadto, nowe grupy materiałów stopowych doprowadziły do znacznego zapotrzebowania na badania nad zrozumieniem zawiłości zjawiska ich korozji oraz opracowania konkretnych rozwiązań ochronnych.³⁵

3.4 Transport

Oszczędność energii, surowców i zasobów jest interdyscyplinarnym wyzwaniem w wielu dziedzinach techniki. Dobrym przykładem jest opracowywany w branży motoryzacyjnej „Samochód za \$3000” mający charakteryzować się niskim zużyciem paliwa, małym wpływem na środowisko i niskim kosztem, który jest obecnie w fazie rozwoju (rys. 25). Jego realizacja jest możliwa tylko w przypadku wspólnych interdyscyplinarnych starań nad poprawą funkcjonalności materiałów. Nowe rozwiązania są potrzebne do produkcji materiałów konstrukcyjnych, metod łączenia, projektowania silników, komponowania składu paliw, czystości spalin, ochrony powierzchni, bezpieczeństwa pasażerów i wielu innych. Nowe pomysły i nowe technologie (wśród nich opłacalne, neutralne dla środowiska, długotrwałe i skutecznie chroniące przed korozją) wymagają starannego i skoordynowanego połączenia w celu kształtowania zrównoważonej przyszłości transportu do potrzeb szybko rosnącego światowego społeczeństwa.



Lista życzeń dla samochodu za 3000\$

- niskie zużycie
- mały wpływ na środowisko
- wysokie bezpieczeństwo
- niski koszt

Nowych rozwiązań wymaga:

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| • technologie łączenia | • czystość spalin |
| • materiały konstrukcyjne | • ochrona powierzchni |
| • projekt silnika | • bezpieczeństwo pasażerów |
| • skład paliwa | • łatwość użytkowania |

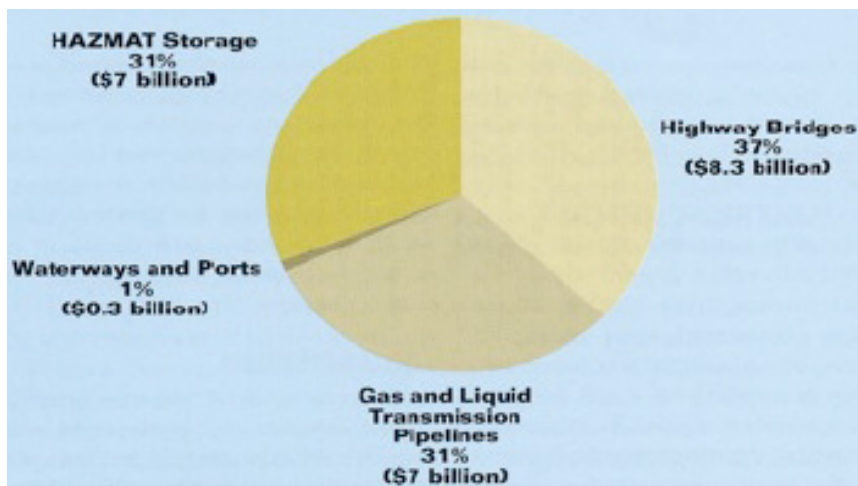
Rys. 25: Lista życzeń dla samochodu za \$3000 — wkład w oszczędzanie energii surowców i zasobów.

3.5 Infrastruktura

W ostatnich latach pogorszenie stanu infrastruktury, tj. budynków, dróg, mostów, tuneli, torów kolejowych, sieci dystrybucji wody, systemów dystrybucji energii dla energii elektrycznej, gazu i ropy naftowej oraz systemów łączności i urządzeń stało się bardzo oczywiste. Bezpieczeństwo publiczne jest coraz bardziej zagrożone, a nawet w niektórych przypadkach, z powodu braku odpowiedniego rozwiązania problemów korozyjnych, ludzie stracili życie (rys. 26). W Stanach Zjednoczonych, koszt związany tylko i wyłącznie z korozją mostów wynosi około 8,3 miliarda dolarów rocznie (rys. 27).^{1,36}



Rys. 26: Autostrada, katastrofa mostu 35W nad rzeką Mississippi w Minneapolis 1 sierpnia, 2007.^{37,38}



Rys. 27: Roczny koszt korozji w infrastrukturze USA (razem \$226 miliardów).¹

Jedną trzecią bieżących kosztów korozji na amerykańskich mostach autostradowych można byłoby zaoszczędzić, jeśli istniejące, w pełni zaawansowane technologie zapobiegania korozji, zostałyby zastosowane na mostach i ich konstrukcjach wsporczych.³⁷ Skłoniło to Stany Zjednoczone do wydania H.R. 1682, „Ustawy o przedłużeniu czasu eksploatacji mostów” z roku 2008.^{36,39} Wymaga się w nim od Stanów poszukujących federalnych funduszy na wybudowanie nowego lub remont starego mostu przedstawienia planu zapobiegania i ograniczenia strat spowodowanych korozją. Obejmuje to staranny dobór konstrukcji, przedstawienie planowanych metod zapobiegania korozji (np. stosowanie ochrony katodowej), monitoring i prace utrzymaniowe bazujące na realnych warunkach, w których będzie eksploatowana konstrukcja, zatwierdzenie tego planu przez eksperta korozyjnego oraz szkolenia w zakresie korozji dla wszystkich inspektorów mostowych. W Wielkiej Brytanii Agencja Autostrad wymaga, aby brytyjski Instytut Korozyjny certyfikował inspektorów i aplikatorów powłok ochronnych (farb) na konstrukcjach autostradowych. To pierwszy taki program na świecie, ustanowiony aby poprawić wykonanie konstrukcji na placu budowy, a w konsekwencji przedłużyć jej trwałość i zredukować koszty eksploatacji. Monitorowanie stanu konstrukcji jest kolejnym wyzwaniem w przyszłości i wymagać będzie wysiłków badawczo-rozwojowych dla opracowania odpowiednich metod i urządzeń do monitorowania korozji.

Zawalenie się konstrukcji budowlanych jest kolejnym przykładem, gdzie właściwe środki ochrony przed korozją mogły ocalić życie i majątek. Do zdarzeń takich można zaliczyć katastrofę dachu Hali Kongresowej w Berlinie, który zawalił się z powodu naprężeń powstałych w wyniku korozji wodorowej stali sprężonej (rys. 28) lub oberwanie się podwieszanych sufitów na pływalniach z powodu spękania i korozji naprężeniowej spowodowanej chlorkami (rys. 29 i 30).



Przed zawaleniem



Po zawaleniu

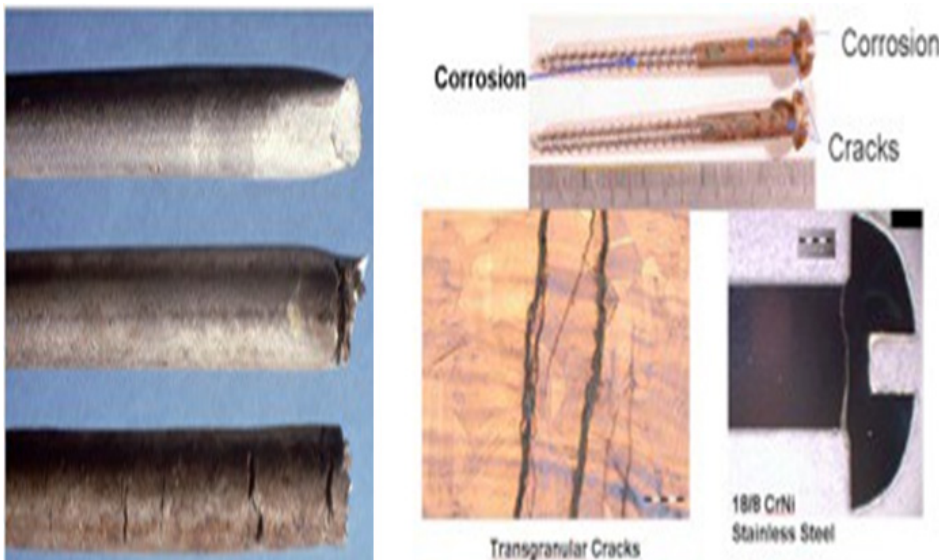


Powód zawalenia: pękanie z powodu korozji naprężeniowej stali sprężonej w połączeniach montażowych

Rys. 28: Zawalenie Hali Kongresowej w Berlinie w 1980.⁴



Rys. 29: Oberwanie się sufitów podwieszanych na pływalni z powodu zastosowania niewłaściwych elementów mocujących. Awaria spowodowana została spękaniami w wyniku korozji naprężeniowej.⁴¹



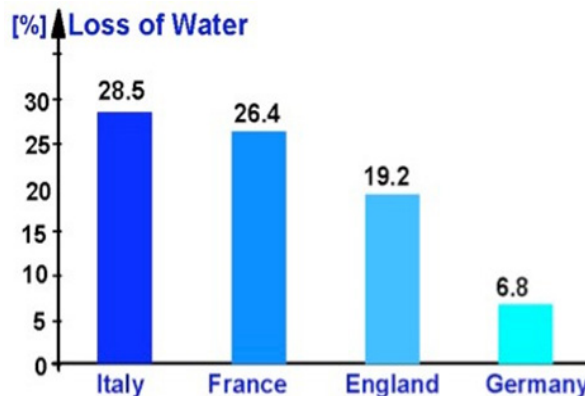
Rys. 30: Spękanie naprężeniowe w elementach mocujących sufity podwieszane w pływalni w Ulsterze (po lewej)⁴² i w Danii (po prawej),⁴² (Rys. 29).

Awarie sieci wodociągowych (rys. 31) to kolejne przykłady korozji związanej ze starzeniem się infrastruktury, coraz częściej dotykające społeczeństwo w ostatnich latach i dodatkowo rzadko opisywanych w prasie, jako awarie korozyjne.

Przeprowadzone w Europie w 2004 roku⁴²⁻⁴³ przeglądy, wykazały, że z powodu uszkodzeń korozyjnych sieci dystrybucji wody, prawie 30% wody pitnej, która opuszcza wodociągi może nigdy nie dotrzeć do konsumenta (rys. 32). Odpowiednie monitorowanie stanu pozwoliłoby inspektorom na wskazanie konkretnych wycieków w instalacji. Rys. 32 pokazuje tylko cztery kraje jako przykłady. Podobne sytuacje występują w innych krajach, gdzie wiek systemów wodociągowych jest podobny. W Wielkiej Brytanii, po lokalnych niedoborach wody sprzed kilku lat, agencje regulujące nakazały poczynienie dużych inwestycji w zakresie instalacji wodociągowych, dzięki czemu, obniżono średnią stratę wody spowodowaną przeciekami korozyjnymi podczas dystrybucji, z ponad 25% do mniej niż 20% w ciągu pięciu lat. Obecnie celem wpisującym się w najlepsze praktyki w Wielkiej Brytanii jest doprowadzenie do obniżenia średniej straty do około 12-15%.



Rys. 31: Uszkodzenia wodociągów.



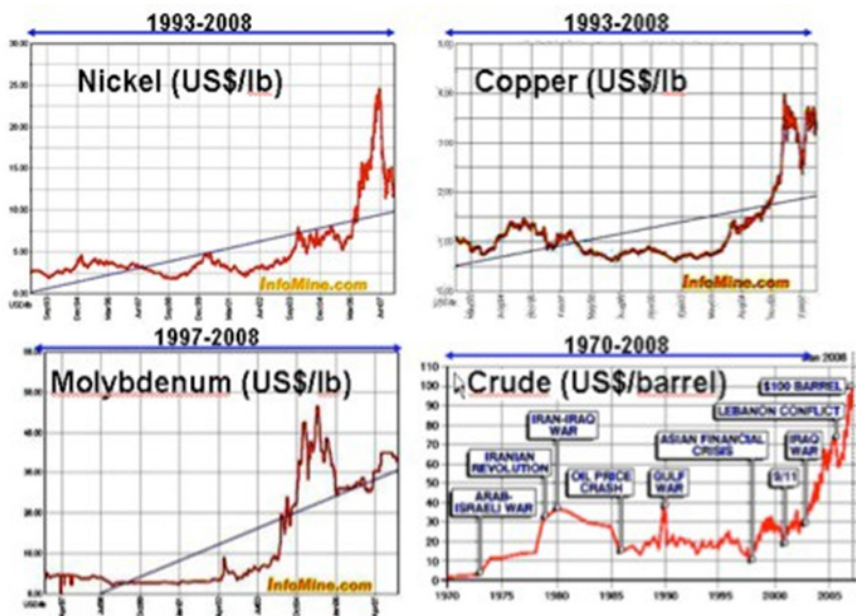
Rys. 32: Woda, która opuszcza wodociągi, ale nigdy nie dociera do konsumenta.⁴²⁻⁴³

Instalacje wodociągowe, jako infrastruktura o światowym zasięgu, również osiągnie kres swojej trwałości, czego wynikiem będzie szybkie pogorszenie się jej stanu, dlatego też niezbędnym do zagwarantowania bezpieczeństwa publicznego jest zarówno monitorowanie stanu instalacji, jak i jej odpowiednia konserwacja. W związku z tym muszą zostać opracowane nowe techniki teledetekcji, które będą stwarzały więcej możliwości, niż obecnie dostępne technologie. Wymaga to wykonania badań i opracowania czujników monitorujących korozję - bardziej wiarygodnych, wszechstronnych i przyjaznych dla użytkownika, co się niestety wiąże z większymi środkami finansowymi.

3.6 Surowce

W 2008 r., ceny wielu surowców osiągnęły poziom sufitowy (rys. 33).⁴⁴⁻⁴⁶ Przykładami są nikiel, miedź, chrom, molibden, aluminium, magnez, ropa naftowa i gaz ziemny. Zmusza to do poszukiwania nowych technologii w górnictwie, hutnictwie i produkcji ropy naftowej. Potrzebne są dalsze badania określające odporność korozyjną stopów z niższą zawartością drogich pierwiastków stopowych, takich jak chrom, nikiel i molibden. Optymalne zastosowanie tych metali, w połączeniu z surowcami wtórnymi, jest istotne dla długoterminowego zrównoważonego rozwoju. Należy usprawnić proces wtórnego przerobu stali, aluminium, magnezu, jak również i innych metali. Wyzwaniem jest zarówno pod względem materiałowym, jak i korozyjnym, wydobywanie ropy i gazu z głębokich, gorących lądowych i morskich szybów (głębokość ponad 5000m). Opracowano wiele fascynujących technologii z przeznaczeniem do stosowania w konstrukcjach podwodnych, jednak największe problemy z materiałem i korozją pozostały. Należą do nich groźna korozja rurociągów i innych elementów wyposażenia instalacji.

Ponadto, rosną wysiłki zmierzające do wydobywania ropy z roponośnych piasków i łupków. Specyfika tej technologii stwarza nieprzyjazne warunki dla materiałów budowlanych, które korodując, powodują poważne awarie. Nie będzie wielkiego postępu technologicznego w tych stosunkowo nowych metodach produkcji bez innowacyjnych rozwiązań w zakresie ochrony materiałów i ochrony przed korozją.



Rys. 33: Wzrost cen surowców.⁴⁴⁻⁴⁶

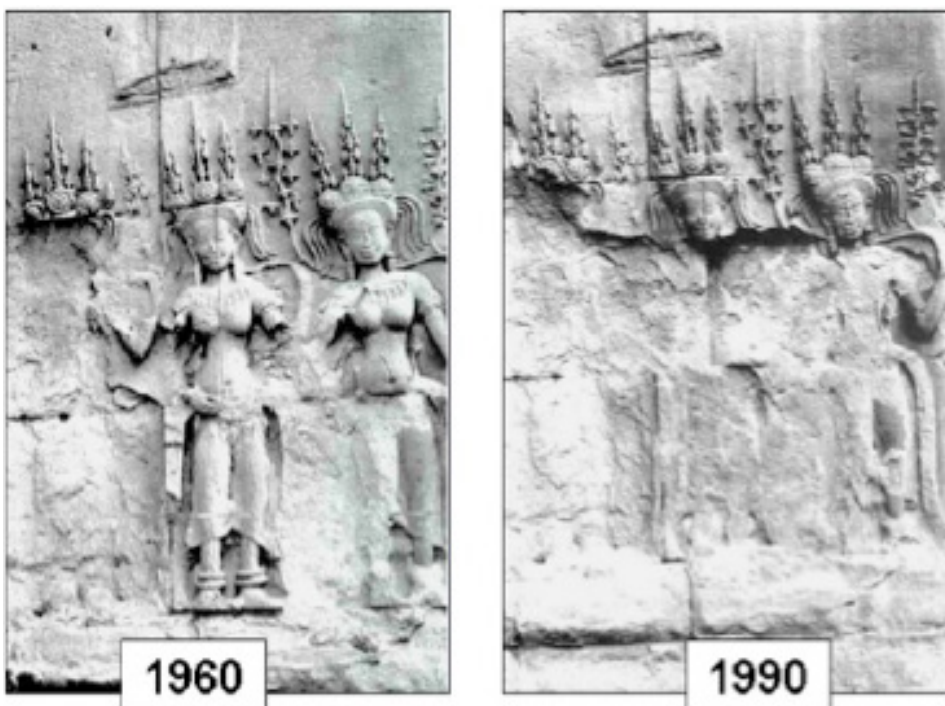
3.7 Technologie produkcji

Nowe technologie produkcyjne są wdrażane w petrochemii i przemyśle chemicznym. Inżynierowie zmagają się z nietypowymi materiałami i problemami korozyjnymi, dla których rozwiązania nie zostały jeszcze opracowane. Celem jest tworzenie procesów o niskim zużyciu energii oraz małym wpływie na środowisko. Naukowcy skupiają się między innymi na biotechnologii i tworzeniu mikroreaktorów.

Inną kwestią jest przekształcanie odpadów organicznych, w tym gnojowicy, w produkty nieszkodliwe. Jedną z interesujących i stosowanych metod jest nadkrytyczne utlenianie wody (SCWO - *Supercritical Water Oxidation*), zwane hydrotermalnym utlenianiem (*Hydrothermal Oxidation*). Jednakże ten wysokotemperaturowy/wysokociśnieniowy proces może powodować poważne problemy związane z korozją. Z drugiej jednak strony, proces ten jest bardziej akceptowalnym dla środowiska rozwiązaniem niż spalanie odpadów, a zatem zasługuje na więcej wysiłków badawczo-rozwojowych.

3.8 Dziedzictwo kulturowe

Na całym świecie, w wyniku interakcji między materiałem, a środowiskiem stale niszczone czyli ulega korozji, dziedzictwo kulturowe. W wielu przypadkach destrukcja postępuje niepokojąco szybko (rys. 34).⁴⁷ Nie ma zbyt wielu budynków, obiektów sztuki czy pomników, które są tak dobrze zabezpieczone jak Wieża Eiffla w Paryżu we Francji. Co siedem lat, ten stalowy monument, przy użyciu 50 ton farby, zostaje świeżo zabezpieczony przed korozją atmosferyczną. Zwrot inwestycji jest realizowany poprzez przyciąganie 5,3 mln turystów rocznie. Jest to doskonały przykład tego, jak odpowiednie utrzymanie i konserwacja elementów naszego dziedzictwa kulturowego może być nawet opłacalna.



Rys. 34: Wietrzenie kamiennych artefaktów w Chinach.⁴⁷

Niestety, w wielu miejscach na całym świecie, obiekty dziedzictwa kulturowego ulegają stopniowo korozji spowodowanej czynnikami naturalnymi i ludzkimi. Czynniki naturalne obejmują nagłe katastrofy, takie jak: trzęsienia ziemi, huragany czy zmiany temperatury i wilgotności, zanieczyszczenie środowiska, promieniowanie słoneczne, wodę, tlen i atak mikroorganizmów, powodując degradację materiałów w wyniku wietrzenia, przebarwienia, kurczenia się, pęknięcia, łuszczenia, wypaczania,

ataków robactwa i pleśni oraz wzrastającą kruchość materiału. Końcowym rezultatem jest całkowite zniszczenie cennych kulturowo zabytków. Czynniki ludzkie obejmują brak stosowania odpowiednich środków ochronnych i metod zarządzania, co w wielu krajach oznacza ogromne straty dóbr kultury.

WCO jest zobowiązana do współpracy przy konserwacji, zabezpieczaniu i ochronie zabytków kultury, na zasadzie połączenia wiedzy ekspertów korozyjnych z całego świata. Koniecznym jest stworzenie interdyscyplinarnego systemu naukowego do ochrony dóbr kultury, a także stałego doskonalenia i ujednolicania przepisów i standardów w zakresie ochrony. Podstawą jest zachowanie pierwotnej formy historycznych zabytków, minimalizowanie interwencji człowieka i utrzymywanie ich wyglądu, jak gdyby były nienaruszone. Sprawia to, że konieczna jest poprawa wiedzy naukowej na temat mechanizmów korozji relikwów historycznych oraz wpływu na nich różnych czynników środowiskowych, szukania możliwości kontrolowania czynników środowiskowych, poszukiwania nowych materiałów i sposobów zachowania zabytków i integracja tradycyjnych umiejętności z nowoczesną nauką i techniką.

Ochrona dziedzictwa kulturowego jest interdyscyplinarnym problemem, a zagadnienia korozji, ochrony materiałów i modyfikacji powierzchni odgrywają kluczową rolę. W celu zapewnienia optymalnej efektywności w tej dziedzinie, WCO oferuje swoich kompetentnych ekspertów na całym świecie.

4. Wnioski

Aby zaspokoić podstawowe potrzeby 6,3 miliarda ludzi na całym świecie, w tym właściwe odżywianie, czystą wodę, dobre zdrowie, bezpieczeństwo mieszkania, niezawodną energię, skuteczną komunikację i mobilność, musi zajść wiele zmian technologicznych o wymiarze globalnym. Choć koncepcja ta jest powszechnie rozumiana, to często istnieje tylko ograniczona świadomość, jak istotnym jest rozwiązanie problemów korozyjnych i jakie niesie to rzeczywiste skutki dla społeczeństwa.

Intencją niniejszego opracowania jest przedstawienie kilku przykładów, podkreślających, że przyszłość wyzwań technologicznych zależy od ogromnych nakładów w prace badawczo-rozwojowe w zakresie materiałów, ochrony powierzchni, kontrolowania korozji i monitorowania warunków na całym świecie. Postęp w tych dziedzinach jest konieczny w celu zwiększenia możliwości i zmniejszenia ograniczeń istniejących i przyszłych technologii.

Innowacyjne podejście zdecyduje o tym, czy będzie można poprawić efektywność energetyczną, czy komunikacja, transport i systemy infrastruktury cywilnej mogą być bardziej zaawansowane i przyjaźniejsze dla środowiska oraz czy techniczne i publiczne bezpieczeństwo może być trwale zagwarantowane.

Wydaje się, że dosłownie we wszystkich przypadkach kluczowym zadaniem jest rozwiązanie problemów związanych z degradacją materiałów i korozją. Wiąże się to z trwałością materiałów w nowych warunkach środowiskowych, albo dopasowaniem środowiska i materiałów przez odpowiednią modyfikację właściwości materiałów. Zakres prac musi obejmować efektywne zarządzanie ograniczające skutki korozji i spójność działania. Jednym z nieodłącznych czynników zapewniających integralność takiego działania jest monitorowanie panujących warunków. Jednakże, może być to osiągnięte tylko przy zastosowaniu innowacyjnych i znakomitych przyrządów czujnikowych.

Należy też opracować globalne standardy, żeby te postępowania stały się postępowaniami standardowymi. WCO jest zaangażowana w prace nad tymi celami i ich osiągnięciem. Jako członek NGO przy ONZ, WCO skupi na sobie międzynarodową uwagę, która jest niezbędna, aby jej wysiłki okazały się skuteczne na arenie międzynarodowej.

5 Bibliografia

1. G.H. Koch, M.P.H. Brongers, N.G. Thompson, Y.P. Virmani, J.H. Payer, "Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States" (Washington D.C.: FHWA, 2001)
2. CIA (Central Intelligence Agency), The World Fact Book, Country Comparison of GDP (Gross Domestic Product = purchasing power parity); World GDP (2008 estimate: \$ 69,490,000,000,000, updated April 9, 2009). <https://cia.gov/library/publications/the-world-factbook/rankorder/2001rank.html>
3. <http://www.corrosioncost.com/home.html>
4. T.P. Hoar, Report of the Committee on Corrosion and Protection, London, U.K., Her Majesty's Stationary Office, 1971
5. http://www.corrdefense.org/CorrDefense%20Magazine/Summer%202007/PDF/2007_DOD_Corrosion_Report.pdf. Accessed August 2008
6. „Assessment of Corrosion Education,” National Research Council, The National Academies Press, Washington, DC, 2009. ISBN-10: 0-309-11703-8, ISBN-13: 978-0-309-11703-6. http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=12560
7. L. Bonou, T. Ramde, J.B. Legma, "The Corrosion Behaviour of the Piping System of Human-driven Pumps and of Recycled Aluminum Alloys for Cooking Pots," WCO-Workshop at 17th International Corrosion Congress, October 6-10, 2008, Las Vegas, Nevada, USA, organized by Nace International, Houston, Texas, USA
8. EN ISO 8044:2000-04-15; Corrosion of metals and alloys—Basic terms and definitions
9. <http://www.sueddeutsche.de/wissen/425/306387/bilder/?img=2.2>
10. European Council Directive of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption (Directive 98/83/EC).
11. DIN EN 12502;2005-01-19; Protection of metallic materials against corrosion—Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems
12. B. Widyanto, M.S. Permana, "Proper Corrosion Prevention Strategy and Corrosion Mangement against Assets Reliability Threat (in Indonesia)," WCO- Workshop at 17th International Corrosion Congress, October 6-10, 2008, Las Vegas, Nevada, USA, organized by NACE International, Houston, Texas, USA

13. G. Frankel, "The Future of Corrosion Education," Plenary Lecture at NACE CORROSION 2009, March 23, 2009, Atlanta, Georgia; NACE International, Houston, Texas, USA
14. Ph. Marcus, "Why Addressing Corrosion Problems at the Nanoscale will be Increasingly Important in the Future," WCO Workshop at 17th International Corrosion Congress, October 6-10, 2008, Las Vegas, Nevada, USA, organized by NACE International, Houston, Texas, USA
15. S. Virtanen, Corrosion Reviews (2008)
16. <http://www.chicagolandimplantdentist.com/dental-implant-bridge.html>
17. <http://www.dubs-ortho.ch/kniegelenk.html>
18. http://www.ortho24.com/hm_optechnik.php
19. <http://www.medizin.uni-halle.de>
20. http://www.fzmb.de/news/2004/nachwachsende_organe_sternartikel.shtml
21. World Consumption of Energy, Prognosis 2002 of International Energy Agency (IEA). http://www.dlr.de/Portaldata/1/Resources/portal_news/newsarchiv2004.html
22. Scottish Centre for Carbon Storage, School of Geosciences, University of Edinburgh (www.geos.ed.ac.uk/ccsmap)
23. R. Nyborg, The Oil and Gas Review (2005)
24. M. Scholz, J. Ellermeier, Materialwiss. u. Werkstofftechnik 37 (2006)
25. R.D. Kane et al., Materials Performance (2005)
26. R.P. Vera Cruz; "Philippine Experience on Geothermal Corrosion Control Under Limited Local Resources," WCO-Workshop at 17th International Corrosion Congress, October 6-10, 2008, Las Vegas, Nevada, USA, organized by NACE International, Houston, Texas, USA
27. www.building.co.uk/story.asp?storycode+3098910
28. W. Burns, Accelerated Low Water Corrosion," WCO-Workshop, Sept. 26-27, 2008, Beijing, China; organized by the Chinese Society for Corrosion Protection, Beijing
29. B. Hou, H. Sun. J. Duan, "Marine Corrosion and Protection of Steel Structures," WCO-Workshop, Sept. 26-27, 2008, Beijing, China, organized by the Chinese Society for Corrosion Protection, Beijing

30. J. Wang, En-hou Han, "Corrosion and Corrosion protection in Nuclear Power Plants in China," WCO-Workshop, Sept. 26-27, 2008, Beijing, China; organized by the Chinese Society for Corrosion Protection, Beijing
31. D. Féron, "Materials and Corrosion Challenges in Nuclear Fields," WCO- Workshop at 17th International Corrosion Congress, October 6-10, 2008, Las Vegas, Nevada, USA, organized by NACE International, Houston, Texas, USA
32. H. Edelmann, M. Effert, K. Wieghardt, H. Kirchner, "The 700 °C Steam Turbine Power Plant—Status of Development and Outlook," Int. J. Energy Techn. Policy 5, (2007) (3): 366-383
33. M. Schütze, "Corrosion Resistance at Elevated Temperatures in Highly Aggressive Environments," CORROSION 2007, paper no. 63: 4-18
34. Anonymous, "White Hot Technology—a Turbine Revolution," Materials World, March 2000, 10-12
35. A. Donchev, B. Gleeson, M. Schütze, "Thermodynamic Considerations of the Beneficial Effect of Halogens on the Oxidation Resistance of TiAl-based Alloys," Intermetallics 11 (2003): 387-398
36. www.govtrack.us/congress/billtext.xpd?bill=h110-6234
37. G. Schmitt, "No Major Technological Progress without New Solutions in Corrosion Mitigation and Service Integrity Management," WCO Workshop at EUROCORR'2008, Sept. 11, 2008, Edinburg/Scotland, U.K., organized by the European Federation of Corrosion
38. xicanopwr.com/2007/08/deadly-bridge-collapse-in-minneapolis/
39. excitedstate.wordpress.com/2008/09/
40. B. Isecke, "Integrity of Infrastructure—Corrosion Protection and Monitoring," WCO Workshop at EUROCORR'2008, Sept. 11, 2008, Edinburg/Scotland, U.K., organized by the European Federation of Corrosion
41. J.N. Holst, Materialprüfung, Denmark, 23 March, 2004
42. www.wasser-macht-schule.com/index.php?id=39
43. BGW-Water Study 2005/2006, Germany; Results for Germany from Federal Departments of Statistics, 2004
44. www.makingsenseofmyworld.blogspot.com (nickel, copper)
45. www.gold-speculator.com/images/articles/speccomp/Molybdenum20Price.gif

46. www.dollardaze.org/blog/?post_id=00475&cat_id=20
47. Xu Chunchun, "Corrosion and Protection in Cultural Relics," WCO-Workshop, Sept. 26-27, 2008, Beijing, China; organized by the Chinese Society for Corrosion Protection, Beijing.

