

## OCENA EKONOMICZNYCH SKUTKÓW KOROZJI METODĄ KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA Z ZASTOSOWANIEM MONITORINGU KOROZYJNEGO

Artykuł zawiera omówienie metodyki oceny kosztów cyklu życia (LCC) w odniesieniu do obiektów inżynierskich podlegających korozji atmosferycznej. Przedstawiono dokumenty definiujące metodykę LCC oraz zakres jej zastosowania. Zaprezentowano przegląd metod szacowania kosztów ponoszonych na ochronę przed korozją oraz strat z powodu zniszczeń korozyjnych stosowanych w ciągu ostatnich 60 lat w świecie oraz ocenę ich przydatności. Przedstawiono problemy związane z prognozowaniem trwałości infrastruktury drogowej, która narażona jest na działanie znacznie większych stężeń czynników korozyjnych niż w występujących na obszarach poza oddziaływaniem zanieczyszczeń emitowanych przez środki transportu.

### WSTĘP

Podstawowym problemem w metodyce szacowania kosztów strat spowodowanych korozją materiałów i ochrony przed korozją jest zdefiniowanie jednolitego pojęcia kosztów korozji i metodyki ich oceny. W historii stosowano różne definicje i modele rachunków kosztów w odniesieniu do całej gospodarki państw lub jej wybranych działów oraz systemy wspomagane odpowiednimi narzędziami informatycznymi [1-5].

W 2002 roku opublikowano raport Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States, opracowany przez CC Technology Laboratories Inc. przy współpracy z NACE International a finansowany przez Federal Highway Administration (FHWA), w którym do oceny kosztów korozji w kilku gałęziach gospodarki USA zastosowano metodę rachunku kosztów cyklu życia (LCC) [1]. Rachunek kosztów cyklu życia obejmuje wszelkie możliwe koszty w kolejnych fazach istnienia danego obiektu, produktu lub usługi, to jest: badania, rozwój, projektowanie, produkcja, naprawa, modernizacja, utrzymanie, logistyka, szkolenie, testowanie, wycofanie i usuwanie. W każdej z tych faz można wyodrębnić koszty związane z korozją i ochroną przed korozją.

Wprowadzono pojęcie „zarządzanie korozją”, które zdefiniowano, jako działalność zapewniającą funkcjonowanie obiektu albo urządzenia podczas całego okresu życia, obejmującą wszystkie działania, aby złagodzić korozję, naprawić uszkodzenia wywołane korozją i zastąpić obiekt, który stał się niezdatny do użytku w wyniku korozji.

### 1. IDEA CYKLU ŻYCIA PRODUKTÓW I USŁUG

Cykl życia obiektu, wyrobu lub usługi to kolejne powiązane ze sobą okresy czasu między nabyciem w wybranym terminie i zbyciem składnika aktywów, dla których kryteria (np. koszty) są oceniane. Okres ten może być określony dla konkretnej analizy (np. okres najmu lub własności) lub obejmować cały cykl życia.

Idea cyklu życia zawiera szereg rozwiązań optymalizujących zarządzanie wytwarzaniem i sprzedażą produktów i usług poprzez stosowanie odpowiednich narzędzi i technik [1,6-14]. W szczególności są to następujące procesy: zarządzanie cyklem życia - LCM, ocena cyklu życia LCA, koszty cyklu życia - LCC.

Historia analizy kosztów cyklu życia sięga połowy lat sześćdziesiątych XX wieku. Za pomocą tego typu metodyki w Departamencie Obrony Stanów Zjednoczonych podjęto próbę analizy poprawy systemu nabywania broni oraz zaopatrywania w nią armii. Metodę zaczęto stosować w różnych działach gospodarki a przede wszystkim w budownictwie, transporcie, energetyce, przemyśle wydobywczym.

Idea rachunku LCC jest kompleksowe ujęcie problemu decyzyjnego w czasie, analizowanie struktury wydatków i kosztów ponoszonych w poszczególnych fazach cyklu życia różnych wersji technologii lub wyrobów, prognozowanie wyniku w długim okresie oraz korektę realizacji strategii prowadząc do wybór na tej podstawie rozwiązania bardziej opłacalnego. Użytkownicy końcowi mogą używać LCC do określenia, czy stać ich na zakup, która opcja jest najkorzystniejsza, do wyceny gwarancji oraz do analizy efektywności kosztów. Dostawcy skorzystają z LCC dla identyfikacji źródeł kosztów i uszeregowania konkurencyjnych projektów i modeli serwisowania. Często rozwiązania efektywne w krótkim okresie czasu okazują się być drogie w perspektywie długookresowej [12-14]. W tablicy 1 podano przykładowe dane potrzebne do analizy LCC dla budynków. Tablica 2 zawiera główne składniki kosztów ochrony przed korozją konstrukcji stalowych.

Tab. 1. Przykładowe dane wejściowe potrzebne do wykonania LCC dla budynków [13]

Nakłady inwestycyjne	Koszty operacyjne	Dane specyficzne
koszt budynków • koszt miejsca • opłaty projektowe • wartość resztowa • koszty rozbiórki • inne	administracja • energia • woda • ścieki • materiały • czyszczenie/sprzątanie • utrzymanie/konserwacja • ubezpieczenie • stopy procentowe • podatki • inne	typ budynku • typ projektu • rodzaj materiałów • lokalizacja • czas życia • ubezpieczenie • stopy procentowe • podatki • inne

**Tab.2. Główne składniki kosztów ochrony przed korozją konstrukcji według normy NORDSOK O-CR-002, 1 April, 1996**

Koszty bezpośrednie	
Faza projektowania	1. Koszty ogólne ponoszone podczas projektowania i konstruowania nowych obiektów 2. Koszty niezbędnych materiałów do badań i kwalifikacji aplikacji zabezpieczeń
Faza budowy	1. Koszt materiału włączając koszty łączy i spawania 2. Koszty pozwoleń 3. Koszty zakupu i instalowania urządzeń do aplikacji zabezpieczeń 4. Koszty nakładania powłok włączając koszt przygotowania powierzchni, aplikacji i inspekcji 5. Koszty zakupu, instalacji i obsługi systemu monitoringu korozyjnego 6. Koszty zakupu, instalacji i obsługi systemu ochrony katodowej 7. Koszty ochrony antykorozyjnej, które powinny być poniesione pomiędzy instalacją i startem obiektu 8. Koszty zakupu, instalacji i obsługi sprzętu potrzebnego do konserwacji podczas produkcji oraz wykrywania usterek 9. Koszty zakupu, instalacji i obsługi urządzeń zapewniających ochronę przeciwpożarową, bezpieczeństwo w przypadku działania substancji chemicznych.
Koszty operacyjne ponoszone są podczas eksploatacji obiektu	1. Koszty pracy konserwatora i inspektora związane z systemem ochrony przed korozją włączając wyposażenie, koszty materiałowe i części zapasowych 2. Koszty nieplanowych wyłączeń instalacji 3. Koszty monitoringu korozyjnego w tym chemikalia i koszty logistyczne 4. Koszty energii dla uruchomienia systemów ochrony antykorozyjnej i wyposażenia 5. Koszty prac naukowych i wprowadzania ich wyników
Inne	1. Ubezpieczenia 2. Rezerwa części i wyposażenia 3. Nadmiar mocy produkcyjnych 4. Zbyteczne wyposażenie 5. Kary 6. Koszty likwidacji szkód korozyjnych

Koszty pośrednie	
Faza projektowania	1. Powiększone koszty konsumentów produktu (mniej zapasów produktu na rynku powoduje wyższe koszty konsumentów) 2. Stracony czas na szukanie alternatywnych rozwiązań 3. Następstwa dla miejscowej gospodarki (strata miejsc pracy). 4. Następstwa dla środowiska naturalnego (zanieczyszczenie).

Przyjęto założenie, iż koszty cyklu życia w zależności od celu i szczegółowości analizy można podzielić na trzy kategorie: konwencjonalne, środowiskowe i socjalne.

Obecnie stosowane są zdefiniowane prawnie jednolite zasady, pojęcia i procedury metodyczne stosowane do wybranych dziedzin gospodarki i wyrobów. Zawarte są one w dyrektywach Parlamentu Europejskiego i Rady oraz normach [15-17].

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/24/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie zamówień publicznych, uchylająca dyrektywę 2004/18/WE (tzw. dyrektywa klasyczna uwzględniająca aspekty środowiskowe),
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/25/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania zamówień przez podmioty działające w sektorach gospodarki wodnej, energetyki, transportu i usług pocztowych, uchylająca dyrektywę 2004/17/WE,
- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/23/UE z dnia 26 lutego 2014 r. w sprawie udzielania koncesji,
- Dyrektywa 2007/66/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 11 grudnia 2007 r.

zmieniająca dyrektywy Rady 89/665/EWG i 92/13/EWG w zakresie poprawy skuteczności procedur odwoławczych w dziedzinie udzielania zamówień publicznych (Dz. Urz. UE L 335 z 20.12.2007, str. 31) (tzw. dyrektywa odwoławcza) późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne, rozdz. 6, t. 1, str. 315).

- Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/81/WE z dnia 13 lipca 2009 r. w sprawie koordynacji procedur udzielania niektórych zamówień na roboty budowlane, dostawy i usługi przez instytucje lub podmioty zamawiające w dziedzinach obronności i bezpieczeństwa i zmieniająca dyrektywy 2004/17/WE i 2004/18/WE (Dz. U. UE. L. 216 z 20.08.2009, str. 76, z późn. zm.). (tzw. dyrektywa obronnościowa).

Nowe dyrektywy powinny zostać implementowane do prawa krajowego najpóźniej do dnia

18 kwietnia 2016 r., natomiast państwa członkowskie mogą przedłużyć ten termin do 18 października 2018 r. w przypadku przepisów wprowadzających komunikację elektroniczną, przy czym komunikacja elektroniczna w przypadku centralnych jednostek zamawiających powinna stać się obowiązkowa najpóźniej do dnia 18 kwietnia 2017 r.

Dyrektywa wprowadzając terminologię „oferty najkorzystniejszej ekonomicznie” zezwala na ustalenie kryteriów udzielenia zamówienia w oparciu o cenę lub koszt (efektywność kosztową), czy też wykorzystanie podejścia opartego na najlepszej relacji jakości do ceny.

Nowością wprowadzoną nowymi dyrektywami jest wskazana bezpośrednio w przepisach

możliwość wyboru kryterium kosztowego przy wykorzystaniu rachunku kosztów cyklu życia.

Kryterium kosztu pozwala na uwzględnienie innych kategorii kosztów ponoszonych przez instytucje zamawiające w związku z nabyciem produktu, usługi lub robót budowlanych, w tym kosztów utrzymania oraz wycofania z eksploatacji.

## 2. KOSZTY OCHRONY PRZED KOROZJĄ I STRAT KOROZYJNYCH W RACHUNKU KOSZTÓW CYKLU ŻYCIA

Światowa Organizacja Korozyjna (WCO) oceniła bezpośrednie koszty korozji w skali światowej na poziomie 3% GDP krajów uprzemysłowionych [18]. Nie obejmują one kosztów związanych ze szkodami środowiskowymi, usuwaniem odpadów, kosztów utraczonych korzyści i utraty zdrowia. Jako jedną z przyczyn wysokości kosztów wskazano niejednolity system normalizacyjny państw największych gospodarek światowych oraz norm ISO utrudniający porozumienie pomiędzy podmiotami gospodarczymi, niezadawalający poziom wiedzy i zarządzania w dziedzinie ochrony przed korozją.

Mimo postępu technologicznego i stałego monitorowania kosztów spowodowanych przez korozję materiałów, w 2011 roku przewidywano, że całkowite koszty korozji w Stanach Zjednoczonych w 2013 r. przekroczą miliard dolarów, z czego połowa to koszty bezpośrednie, co stanowi ponad 6% PKB, podczas gdy w 1998 r. szacowane były na 276 mld USD [18].

W raporcie EEA *Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe* [19], oszacowano straty materiałowe i koszty utraty zdrowia powstałe w 2009 roku z powodu zanieczyszczenia powietrza przez przemysł na 102-169 mld Euro.

Obecnie od wdrażanych inwestycji, produktów i usług można wymagać, aby były efektywne nie tylko ekonomicznie, ale i środowiskowo. Spełnienie takich, niejednokrotnie sprzecznych, wymagań powoduje konieczność sięgnięcia po rozwiązania, które gwarantują efektywne zarządzanie kosztami w powiązaniu ze zmniejszeniem oddziaływania na środowisko.

Jak wynika z raportów NACE i WCO koszty zniszczeń korozyjnych mogą być obniżone o 25-40% przez racjonalne stosowanie aktualnych rozwiązań technologicznych. Dalsze obniżenie kosztów upatruje się w działaniach edukacyjnych, zastosowaniu nowych

rozwiązań technologicznych i materiałowych, lepszej organizacji zarządzaniem ochroną przed korozją, oraz poprawę w dziedzinie organizacji nadzoru nad wykonywaniem kontroli, konserwacji i remontów zabezpieczeń antykorozyjnych a także szkolenie pracowników służb antykorozyjnych oraz poszerzenie wiedzy w społeczeństwie o ekonomicznych skutkach korozji [1,20].

Analizę kosztów korozji metodą kosztu cyklu życia (LCC) zastosowano po raz pierwszy w raporcie *Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States* opublikowany w 2002 roku, opracowany przez *CC Technology Laboratories Inc.* przy współpracy *NACE International* a finansowany przez *Federal Highway Administration (FHWA)* [1]. Zawiera on opis metodyki liczenia kosztów związanych z korozją materiałów i ochroną przed korozją oraz wyliczone na jej podstawie dane o wydatkach związanych z korozją metali w prawie wszystkich sektorach przemysłu USA w 1997 lub 1998 roku. W raporcie uwzględniono metodykę szacowania kosztów pośrednich ponoszonych przez użytkowników. Raport zawiera między innymi analizę bezpośrednich i pośrednich kosztów korozji w sektorach transportu oraz infrastruktury drogowej i kolejowej. Raport zawiera między innymi analizę bezpośrednich i pośrednich kosztów korozji w sektorach transportu oraz infrastruktury drogowej i kolejowej.

Oceniono, że koszty korozji mostów i autostrad stanowią 37% kosztów infrastruktury branej pod uwagę w raporcie. Z analizy wynika, że koszty związane z zabezpieczaniem i stratami korozyjnymi 586 000 mostów autostradowych mają ok. 6% udział w kosztach korozji w 26 sektorach gospodarki z czego ponad 50% to koszty utrzymania i remonty w celu zapewnienia używalności przez następne 10 lat. Poza tym 10% z branych pod uwagę mostów jest nieużywanych z powodu korozji co generuje koszt pośrednie ponoszone przez potencjalnych użytkowników.

Struktura kosztów zabezpieczania przed korozją mostów stalowych wskazuje, że tylko 4% stanowi koszt materiałów a 10% koszt nakładania powłoki.

Udział ochrony przed korozją i skutków korozji ok. 200 mln. środków transportu wyniósł w 1998 roku 21,5% ogólnych kosztów korozji. Spośród branych pod uwagę środków transportu poszczególne rodzaje stanowiły: samochody-79%, statki-9%, samoloty -7%, transport niebezpiecznych materiałów - 3%, wagony - 2%. Oszacowano, że ok. 50% kosztów korozji środków transportu może być związane ze stosowaniem soli podczas zimy [2]. Koszty związane z korozją pojazdów wynosiły w 1998 r.:23,4 mld USD z czego:

- wzrost kosztów wytwarzania na poprawę odporności korozyjnej
  - 2,56 mld USD/rok
- naprawy i utrzymanie wymuszone przez korozję
  - 6,45 mld USD/rok
- strata wartości związana z korozją
  - 14,46 mld USD/rok

Środki transportu kolejowego ulegają korozji na skutek działania czynników zewnętrznych (atmosfera) i wewnętrznych o intensywności zależącej od rodzaju przewożonych mediów.

Oszacowano, że ok 40% wagonów posiada powłoki wewnętrzne, z czego 10% gumowe. Oceniono, że corocznie należy remontować powłoki zewnętrzne na 7% taboru i powłoki wewnętrzne na 10% wagonów. Koszt roczny utrzymania powłok na wagonach stanowią ok.2,5% kosztów zakupu nowego, więc opłaca się dobra konserwacja istniejącego sprzętu [1].

### 3. MODELOWANIE TRWAŁOŚCI KONSTRUKCJI I ZABEZPIECZEŃ ANTYKOROZYJNYCH DO OCENY LCC

Jedną z metod przewidywania stopnia degradacji materiałów w warunkach korozji atmosferycznej są algorytmy wyrażające zależność szybkości korozji od stężenia wybranych zanieczyszczeń powietrza i warunków klimatycznych takich jak temperatura i wilgotność względna powietrza. Równania te opracowywane są na bazie danych doświadczalnych rejestrujących oba rodzaje parametrów na stanowiskach badawczych na różnych obszarach.

Opracowanie algorytmu zazwyczaj poprzedza analiza korelacyjna pomiędzy wartościami parametrów środowiskowych oraz ubytków korozyjnych. Umożliwia to ustalenie powiązań pomiędzy parametrami środowiskowymi, rankingu ważności ich wpływu na korozję materiałów jak i rodzaju zależności pomiędzy nimi i ubytkami korozyjnymi. Korelacja pomiędzy oszacowaną na podstawie algorytmu i doświadczalną szybkością korozji jest tym lepsza im więcej danych zawiera baza, która służy do wyznaczania zależności i im bardziej jednorodny pod względem środowiskowym jest obszar, z którego zbierane są dane.

Przykłady modelowania szybkości korozji materiałów obejmują obszary o różnej wielkości, od kontynentów poprzez obszar kraju, województwa, dzielnicy miasta do skali mikro np. pojedynczego obiektu. Dla każdej ze skali rodzaj i ranking parametrów wpływających na szybkość korozji może być różny. Wspomaganie modelowania technikami informatycznymi, statystycznymi, w tym sieciami neuronowymi umożliwia bardziej selektywny dobór parametrów wpływających na korozję poszczególnych materiałów jak również dobór funkcji opisujących ich zależność od parametrów atmosfery [21].

Na bazie analiza wyników pomiarów prowadzonych w ramach międzynarodowego programu badawczego ISOCORRAG w 1991 roku znormalizowano warunki ekspozycji próbek materiałów na stanowiskach badawczych zostały co umożliwiło prowadzenie i porównywanie wyników badań w skali globalnej [22-25].

Na podstawie badań prowadzonych w latach 1988-1996 w ramach projektu Co-operative Programme on Effects of Air Pollution on Materials ( UN ECE ICP Materials) oraz w projekcie Model for multi-pollutant impact and assessment of threshold levels for cultural heritage – MULTI-ASSES w latach 2001-2003 wyznaczono algorytmy opisujące postęp korozji stali niskowęglowej, cynku, miedzi i aluminium w zależności od parametrów środowiskowych i czasu [26].

Algorytmy zostały wprowadzone do normy ISO 9223:2012 jako metoda szacowania ubytków korozyjnych do oceny kategorii korozyjności atmosfery.

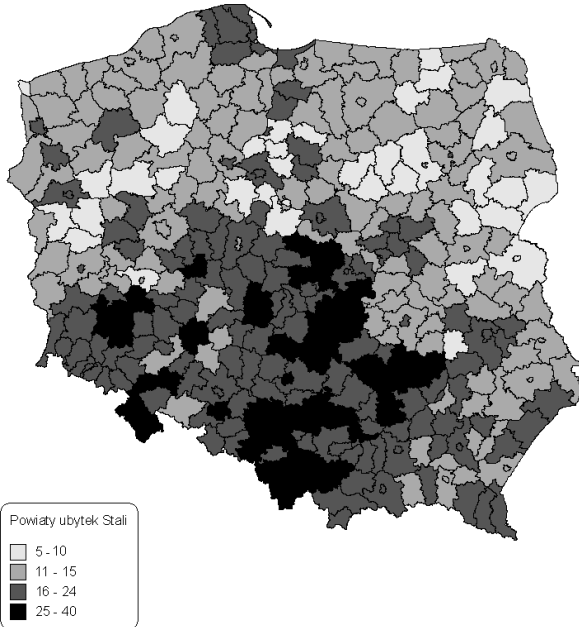
Błąd estymacji przy ich zastosowaniu wynosi od +33% do -100%. Dla obszaru Polski współczynniki **korelacji wartości obliczonych** do doświadczalnych ubytków korozyjnych wynoszą: dla stali - 0,56, dla cynku - 0,76 co uznano za niezadowalające.

Równania nie uwzględniają sytuacji, w których występują specyficzne zagrożenia korozyjne lub warunki ekspozycji materiałów np. występujących w bezpośrednim otoczeniu autostrad, dróg i ulic.

W IMP w oparciu o utworzone bazy danych parametrów klimatycznych (średnia roczna temperatura i wilgotność względna powietrza) i średnie roczne stężenie zanieczyszczeń oraz rocznych doświadczalnych ubytków korozyjnych stali niskowęglowe, cynku, powłoki cynkowej zanurzeniowej i miedzi (zawierających ok.100 pozycji) wyprowadzono algorytmy opisujące zależności tych parametrów dla różnych obszarów Polski (typu miejskiego, przemysłowego i zalesionego). Współczynniki korelacji **wartości obliczonych** do doświadczalnych ubytków korozyjnych wynoszą: dla stali 0,84,

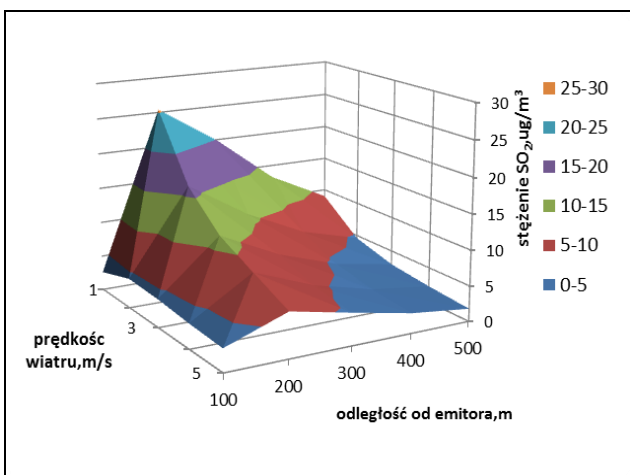
dla cynku 0,79, dla powłoki cynkowej na stali - 0,90. Równania te uwzględniają wpływ tlenków azotu na postęp korozji, ale na obszarach poza drogami. W zakresie błęd estymacji  $\pm 40\%$  znajduje się 90% obliczonych wartości.

Opracowane równania umożliwiły oszacowanie ubytków korozyjnych stali niskowęglowej i cynku oraz kategorii korozyjności atmosfery na obszarze całej Polski z podziałem na obszary powiatów lub gmin. Edytowane są one w postaci baz danych oraz map w systemie Mapviewer. Rysunek 1 przedstawia wielkości ubytków korozyjnych stali niskostopowej w 2010 roku na obszarze Polski z podziałem na powiaty.

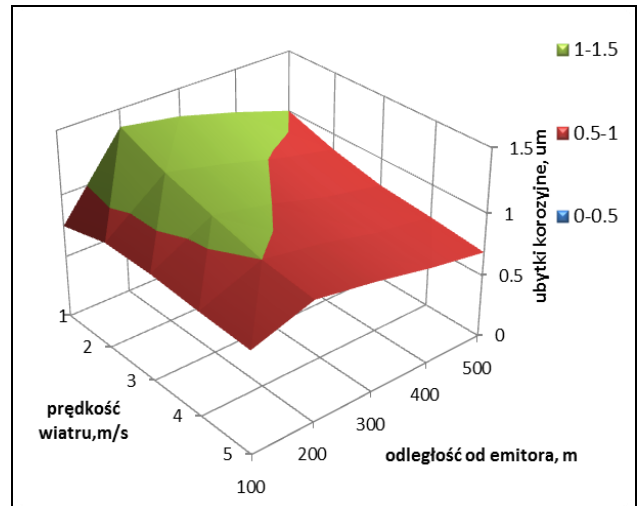


Rys. 1. Ubytki korozyjne stali niskostopowej w 2010 roku

Do przewidywania szybkości korozji na obszarach, gdzie brak jest danych dotyczących parametrów środowiskowych lub jest ich za mało można wykorzystać informacje charakteryzujące emisję zanieczyszczeń. Przykład modelowania stężenia  $SO_2$  i na jego podstawie szybkości korozji stali przedstawiona na rysunkach 2 i 3.



Rys. 2. Rozkład stężenia  $SO_2$  wokół emitora punkowego



Rys. 3. Ubytki korozyjne cynku wokół emitora punkowego obliczone na podstawie oszacowanego stężenia  $SO_2$

Oceny rozprzestrzenienia się zanieczyszczeń gazowych i ich stężeń poszczególnych punktach można dokonać w oparciu o modele dyspersji zanieczyszczeń w zależności od konfiguracji otoczenia źródła emisji [27].

Europejskie Centrum Tematyczne d/s Powietrza i Zmian Klimatu (ETC/ACM) przy Europejskiej Agencji Środowiskowej (EEA) które jest organem doradczym EU do spraw zanieczyszczenia powietrza i zmian klimatu dysponuje on-line katalogiem 119 modeli jakości powietrza i rozprzestrzeniania zanieczyszczeń „Model Documentation System”.

Ministerstwo Środowiska w 2003 roku opublikowało dokument „Wskazówki metodyczne dotyczące modelowania matematycznego w systemie zarządzania jakością powietrza”, gdzie przedstawiono możliwości wykorzystania modelowania do oceny poziomu zanieczyszczeń wokół źródeł emisji [28].

Szczególnym przypadkiem jest ocena stężenia zanieczyszczeń powietrza emitowanych przez pojazdy zarówno na przestrzeni otwartej (drogi, autostrady) jak i w miastach.

Modelowanie i obrazowanie rozkładu zanieczyszczeń w miastach jest szczególnie skomplikowanym i trudnym zagadnieniem. W systemie miejskim emisja pochodzi z wielu różnych źródeł, które kierunki często się krzyżują i mieszają, tak, że na dystansie nawet 100 m mogą występować znaczące różnice w stężeniach, czego nie zarejestrują stanowiska monitorujące. W rezultacie takich zjawisk szybkość degradacji materiałów w różnych fragmentach miasta czy nawet ulicy może się znacznie różnić. Ilustrują to dane przedstawione w tabelicy 3.

W tabelicy podano wielkości średnich rocznych ubytków korozyjnych cynku, kategorię korozyjności atmosfery oraz średnie roczne stężenie  $NO_2$  na kilku stanowiskach badawczych na terenie Katowic, Krakowa i Warszawy usytuowane w pasie drogowym ulic jak i na terenie miasta w odległości większej niż 100 m od ulicy. Badania przeprowadzono podczas ekspozycji w 2014 roku.

**Tab. 3.** Ubytki korozyjne cynku, kategoria korozyjności atmosfery oraz średnie roczne stężenie NO<sub>2</sub> na stanowiskach badawczych na terenie Katowic, Krakowa i Warszawy

Stanowisko	Roczne ubytki korozyjne, μm	Kategoria korozyjności atmosfery	Średnie roczne stężenie NO <sub>2</sub> , μg/m <sup>3</sup>
Katowice, ul. Koshuta	0,6	C2	25
Kraków/Nowa Huta	0,8	C3	32
Stanowiska komunikacyjne			
Katowice/ A4	2,6	C4	41
Kraków/al. Krasin-skiego	3,1	C4	65
Warszawa			
al. Niepodległości	2,7	C4	53
ul. Gen. Maczka	1,4	C3	59
Most M.Skłodowskiej-Curie	3,5	C4	98
Czerwikowska przy Gagarina	3,5	C4	99
Most Siekierkowski	4,5	C5	93
Wiadukt przy Dworcu Centralnym	3,7	C4	70
Al.Prymasa 1000-lecia	3,7	C4	107
Tunel na Wisłostradzie	2,6	C4	129
Wisłostrada/Bielany	2,3	C4	68

Z danych wynika, że kategoria korozyjności atmosfery w bezpośrednim otoczeniu ulic i autostrad jest co najmniej o jedną kategorię wyższa niż na terenie miasta poza tą strefą. Decyduje to o zastosowaniu odpowiednich środków, technologii i materiałów zapewniających przewidywaną trwałość konstrukcji. Wpływa to w oczywisty sposób na koszty inwestycyjne jak i eksploatacyjne jak również na koszty pośrednie ponoszone przez użytkowników podczas np. awarii i remontów.

Do oceny stężenia zanieczyszczeń wzdłuż dróg, autostrad oraz ulic gdzie nie prowadzi się bezpośrednich pomiarów służą modele dyspersji substancji szkodliwych ze środków transportu. Modele te mają złożoną strukturę matematyczną, a wyniki modelowania zależą od dużej liczby wielkości. Jedną z nich są jednostkowe wskaźniki emisji dla różnych typów pojazdów, prędkości ich poruszania się oraz różnych paliw. Ich wartości znacznie zmieniają się w kolejnych latach wraz ze zmianami w konstrukcji silników i składu paliw wymuszonymi ograniczeniami emisji spalin. Poza tym występują różnice w wartościach podawanych przez różne źródła.

## PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody LCC umożliwia porównanie kosztów i strat wynikających z korozji materiałów w całym okresie życia obiektu z uwzględnieniem wszystkich lub prawie wszystkich składników kosztów, nie tylko materiałowych, ale też kosztów obsługi, logistyki, badań, efektywności energetycznej i wpływu na środowisko.

Jakkolwiek metodyka jest stosowana od wielu lat, głównie w USA, to w Europie dyrektywa 2014/24/UE Parlamentu Europejskiego i Rady zaleca stosowanie metodyki LCC do kryteriów udzielania zamówień w oparciu o cenę lub koszt.

W celu określenia i zapewnienia trwałości konstrukcji przez jej okres użytkowania niezbędne są informacje dotyczące charakterystyki korozyjności środowiska eksploatacji. Służą temu modele do szacowania rozkładu zanieczyszczeń i szybkości korozji materiałów opracowane na bazie monitoringu korozyjnego.

## BIBLIOGRAFIA

1. www.corrosioncost.com\_Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States, Report FHWA-RD-01-156
2. Biezma M. V., San Cristóbal J. R., *Methodology to study cost of corrosion*, Corrosion Engineering, Science and Technology, 40, 4, 2005, 344-352
3. Revie R. W., Uhlig H. H., *Uhlig's Corrosion Handbook*, John Wiley & Sons, 2011, Wydanie 3
4. Hodges S., Spicer K., Barson R., John G., *High level corrosion risk assessment methodology, for oil and gas systems*, Corrosion 2010, Congress NACE
5. Gluch P., Baumann H., *The life cycle costing (LCC) approach: a conceptual discussion of its usefulness for environmental decision making*, Building and Environment, 39, 2004, 571-580
6. Guinee B., Heijungs R., Huppes G., Zamagni A., Masoni P., Buonamici R., Ekvall T., Rydberg T., *Life Cycle Assessment: Past, Present and Future*, Environmental Science & Technology, 45, 2011, 90-96
7. <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/lcathinking.vm#> z dnia 24.04.2008 r.
8. Nowak E., Wierziński M., *Rachunek kosztów-modele i zastosowanie*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004, s. 108
9. Joachimiak-Lechman, K., *Środowiskowa ocena cyklu życia (LCA) i rachunek kosztów cyklu życia (LCC). Aspekty porównawcze*, *Ekonomie i Środowisko*, 1, 48, 2014, 80-97
10. Kulczycka J., *Odzwierciedlenie metody oceny cyklu życia w polityce ekologicznej*, *Ekonomia i Środowisko*, 35, 2009, 52-61
11. Fuller S., Petersen S., *Life Cycle Costing Manual for the Federal Energy Management Program*, National Institute of Standards and Technology, 1996
12. Ogden. J. M., Williams R. H., Larson E. D., *Societal life cycle costs of cars with alternative fuels/engines*, *Energy Policy*, 32, 2004, 7-27
13. Selech J., Kurczewski P., *Metoda szacowania kosztu cyklu życia (LCC) i jej zastosowanie w dziedzinie budowy i eksploatacji obiektów technicznych*, *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 5, 2010, 105-106
14. Szrajber J., *Instrukcja oceny efektywności ekonomicznej przedsięwzięć drogowych i mostowych*, Warszawa, Instytut Badawczy Dróg i Mostów, 2006
15. Dragos D., Neamtu B., *Sustainable Public Procurement: Life Cycle Costing (LCC) in the New EU Directive Proposal*, *EPPPL- European Procurement & Public Private Partnership Law Review*, 1, 2013
16. Prawo zamówień publicznych z dnia 29 stycznia 2004 r. (Dz. U. z 2010 r. Nr 113, poz. 759), z uwzględnieniem zmian wprowadzonych przez Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej ustawą w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – Prawo zamówień publicznych (Dz.U. Nr. 0. poz.907) z dnia 28 maja 2013 r.
17. Zamówienia publiczne w Unii Europejskiej po modernizacji. Nowe unijne dyrektywy koordynujące procedury udzielania zamówień publicznych, Urząd Zamówień Publicznych, Warszawa, 2014
18. www.corrosion.org, George F. Hays, Now is the Time, Director General World Corrosion Organization
19. Revealing the costs of air pollution from industrial facilities in Europe (EEA Technical Report No 15/2011)
20. www.G2MT Laboratories/2011/6/nace-cost-corrosion
21. Dagmar Knotkova, Katerina Kreislova, Sheldon W. Dean, Jr. ISOCORRAG International Atmospheric Exposure Program:

- Summary of Results Developed by ISO/TC 156/WG 4, Atmospheric Corrosion Testing and Classification of Corrosivity of Atmosphere
22. ISO 9223:2012- Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres-Classification, determination and estimation
  23. ISO 9224:2012- Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres-Guiding values for the corrosivity categories
  24. ISO 9224:2012- Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres- Measurement of environmental parameters affecting corrosivity of atmospheres
  25. ISO 9226:2012- Corrosion of metals and alloys- Corrosivity of atmospheres Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity
  26. Kucera V., Tidblad J., Kreislowa K., Knotkova D., Faller M., Reiss D., Snethlage R., Yates T., Henriksen J., Schreiner M., Melcher M., Ferm M., Lefevre R.-A., Kobus J.; UN/ECE ICP Materials Dose response Functions for the Multipollutant Situation, Water Air Soil Pollution, 7, 2007, 249-258
  27. M. T. Markiewicz, Podstawy modelowania rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń w powietrzu atmosferycznym. Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2004

### Evaluation of economic effects of corrosion using life cycle costs methodology I

*The article contains a discussion of methodology for assessing the life cycle costs (LCC) of engineering facilities subjected to atmospheric corrosion. The documents defining the methodology of LCC and scope of its application were presented. An overview of methodologies used in the last 60 years for estimation of the corrosion protection costs as well as losses due to corrosion damages over the world and assessment of their suitability is shown. The problems associated with forecasting the sustainability of road infrastructure, which is exposed to much larger concentrations of corrosive substances than detected in areas outside the influence of the pollution generated by vehicles were shown.*

Autorzy:

mgr **Joanna Kobus** – Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie – Zakład Korozji i Technologii Antykorozyjnych, pracownia monitoringu korozji atmosferycznej, adres e-mail asia@imp.edu.pl.

mgr inż. **Rafał Lutze** – Instytut Mechaniki Precyzyjnej w Warszawie – Zakład Korozji i Technologii Antykorozyjnych, pracownia monitoringu korozji atmosferycznej, adres e-mail lutzek@imp.edu.pl.