

GLINICKA Aniela¹
KOZŁOWSKA Barbara²

Przykład modelowania okresu utrzymania wybranych elementów konstrukcji stalowych poddanych korozji

utrzymanie,
stal,
korozja

Streszczenie

W pracy przedstawiono przykład modelowania okresu utrzymania elementów konstrukcji ze stali S235JR poddanych korozji atmosferycznej i korozji chemicznej. Przyjęto wyidealizowaną liniową zależność między szybkością korozji a czasem ekspozycji. Model zbudowano na podstawie danych z literatury i wyników własnych badań korozyjnych. Wyniki wzrastania szybkości korozji w czasie oceniono z punktu widzenia wytrzymałości materiałów.

THE EXAMPLE OF THE MODELLING OF THE PERIOD OF THE MAINTENANCE OF CHOSEN ELEMENTS OF THE CONSTRUCTION OF STEEL-SUBJECTS OF THE CORROSION

Abstract

In the work one presented the example of the modelling of the period of the maintenance of elements of the construction steel S235JR of subjects of the atmospheric corrosion and the chemical corrosion. One accepted the idealized linear dependence between the speed of the corrosion and times the exposition. The model was built on the basis data from the literature and results of own corrosive research. Results of the growing of the speed of the corrosion in time one evaluated from the point of view of the strength of materials.

1. WSTĘP

Korozję ogólnie definiuje się jako niszczenie materiałów spowodowane reakcją z otaczającym środowiskiem [1, 2]. Elementy konstrukcji inżynierskich i konstrukcje mogą być odporne na korozję lub ulegać korozji. Zależy to od materiału konstrukcji oraz warunków ekspozycji, czyli warunków środowiskowych. Najkorzystniejsze warunki środowiskowe dają środowisko suche (np. środowisko panujące we wnętrzach budynków). Mniej korzystne są środowiska: wilgotne wewnątrz budynków, mokre zewnętrzne, mokre ze skokami temperatur. Najgorsze są środowiska silnie mokre i nasłonecznione (korozja jest w nich najintensywniejsza), środowiska wody morskiej i środowiska agresywne chemicznie (gazowe, płynne lub stałe). W zależności od przewidywanych warunków środowiskowych powinno się dobierać odpowiednie materiały na konstrukcje (np. stale trudno rdzewiejące), stosować powłoki ochronne [1], czy też stosować systemy ochronne w obiektach np. odprowadzające z nich wodę deszczową [3]. W ten sposób trwałość konstrukcji znajdujących się w warunkach środowiskowych podatnych na korozję zostaje podwyższona. Skutki korozji szacuje się z różnych punktów widzenia (są one wieloaspektowe) biorąc pod uwagę najnowszą wiedzę z danej dyscypliny naukowej. W niniejszej pracy skutki korozji oceniono z punktu widzenia wytrzymałości materiałów.

W niniejszej pracy do rozważań przyjęto budowlaną stal konstrukcyjną, korozję atmosferyczną i korozję chemiczną.

2. SZACOWANIE SKUTKÓW KOROZJI ATMOSFERYCZNEJ W CZASIE

Szybkość korozji stali węglowej, żeliwa i stali wysokostopowych zależy od atmosfery, w której one się znajdują, ponieważ atmosfera może być nasycona różnymi zanieczyszczeniami przemysłowymi lub solami; niebezpieczna jest atmosfera morska (najgorsza jest morska tropikalna). Szybkość korozji trzech wybranych gatunków stali w atmosferze przemysłowej wg monografii [4] jest: 80 μm/rok - stal miękka, 35 μm/rok - stal miedziowa, 10 μm/rok - stal niskostopowa z małymi dodatkami niklu i chromu. Należy tu nadmienić, że wg literatury [2, 5] miary szybkości korozji są następujące:

1. liniowa szybkość korozji $V_p = \Delta g / \Delta t$; [mm/rok], [mm/doba],
2. masowa szybkość korozji $V_c = \Delta m / S \cdot \Delta t$; [g/mm²·doba], [g/mm²·rok], [g/m²·doba]

gdzie: Δg – średni ubytek wymiaru liniowego próbki, np. grubości,

Δm – średni ubytek masy próbki następujący na powierzchni czynnej próbki S przed korozją,

Δt – czas ekspozycji.

Szybkość korozji masowej można przeliczyć [2] na szybkość korozji liniowej wg zależności: V_p [g/m²·doba] = $V_c \cdot a$ [mm/rok]; $a = 365 / 1000 \cdot d$, d gęstość stali 7,85 g/cm³.

¹ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Warszawa 00-637, Al. Armii Ludowej 16. Tel.: + 48 22 234 65 14.
E-mail: a.glinicka@il.pw.edu.pl oraz Szkoła Wyższa im. Bogdana Jańskiego w Warszawie Wydz. Zarządzania.

² Politechnika Warszawska, Wydział Mechatroniki, Warszawa 02-525, ul.Św. A. Boboli 8 te. +48 22 234 8302.
E-mail: B.Kozłowska@mchtr.pw.edu.pl

W normie ISO 9223 [4] zaproponowano pięciostopniową klasyfikację korozji różnych metali w atmosferze miast przemysłowych (główne zanieczyszczenia miast to jony chloru $-Cl^-$ i dwutlenek siarki – SO_2), wykonaną na podstawie badań korozyjnych w czasie 8 lat w 51 różnych miastach świata, tab.1.

Tab. 1 Kategorie korozji stali w atmosferze miast przemysłowych wg ISO 9223 [4]

Kategoria korozji	C1	C2	C3	C4	C5
Szybkość korozji [g/m ² rok]	≤10	11-200	201-400	401-650	651-1500
Szybkość korozji [mm/rok]	≤0,00127	0,0014-0,0255	0,0256-0,0509	0,051-0,0828	0,0829-0,191

Są też inne skale odporności korozyjnej znane we współczesnej literaturze; w Polskiej Normie PN-H-04608 [6], tab.2, podano sześciostopniową skalę odporności metali na korozję, a w monografii AB Sandvik Steel Corrosion Handbook [4] podano trzy stopniową skalę odporności stali na korozję tab.3.

Tab. 2. Skala odporności metali na korozję wg PN-H-04608 [4]

Grupa odporności korozyjnej		Stopień odporności korozyjnej	Szybkość korozji [mm/rok]	Trwałość korozyjna T _r [rok]
Określenie	Oznaczenie			
Całkowicie odporne	I	1	<0,001	Nie określa się
Bardzo odporne	II	2	0,001-0,005	Nie określa się
		3	0,005-0,01	
Odporne	III	4	0,01-0,05	10-100
		5	0,05-0,1	
O mniejszej odporności	IV	6	0,1-0,5	1-10
		7	0,5-1,0	
Mało odporne	V	8	1,0-5,0	0,1-1
		9	5-10	
Nieodporne	VI	10	10	<0,1 (36 dni)

Tab. 3. Skala odporności stali na korozję wg Sandvik Steel Corrosion Handbook [4]

Szybkość korozji [mm/rok]	Odporność stali	Określenie
<0,1	0	Odporna na korozję
0,1-1,0	1	Nie odporna na korozję, można stosować warunkowo
>1,0	2	Poważna korozja, nie nadaje się do użytku

Za graniczną szybkość korozji dla celów aplikacyjnych przyjmuje się wartość średniego rocznego ubytku grubości elementu równą 0,1 mm [2, 5].

Zależność szybkość korozji – czas ekspozycji może być funkcją liniową lub dla danego procesu funkcją potęgową [4, 5, 7]. W niniejszym opracowaniu przyjęto liniowy model tej krzywej, przechodzącej przez początek układu współrzędnych. Tego typu liniowy – wyidealizowany model, ma charakter aplikacyjny, np. przy projektowaniu i utrzymaniu kominów przemysłowych [5].

3. MODELOWANIE KRZYWEJ UTRZYMANIA ELEMENTÓW STALOWYCH

Modelowanie to przeprowadzono na podstawie przedstawionych powyżej danych literaturowych i własnych badań korozyjnych. W laboratorium przeprowadzono korozję próbek ze stali S235JR w roztworze 5% kwasu solnego.

Przeprowadzono proces korodowania próbek stalowych przez okres 38 dób w następujących warunkach w laboratorium:

- seria 1 – przez całkowite zanurzenie w nieruchomym roztworze wodnym 5% kwasu solnego w naczyniu nie zamkniętym ustawionym w oświetlonym światłem dziennym pomieszczeniu w temperaturze 20°C,
- serie 2, 3, 4 – przez całkowite zanurzenie w nieruchomym roztworze wodnym 5% kwasu solnego w wannie zamkniętej ustawionej w zaciemnionym pomieszczeniu w temperaturze 20°C.

Po wyjęciu z roztworu kwasu próbki zostały wysuszone, zmierzone i zważone oraz nalot korozyjny został oceniony poprzez oględziny skorodowanych próbek nieuzbrojonym okiem; nie stwierdzono wżerów i plam rys. 1. W tab. 4 zamieszczono zestawienie wyników pomiarów i obliczone wartości szybkości korozji. W pracy [8] opisano badania doświadczalne cech mechanicznych serii próbek 2 – 4, rys. 2, stwierdzono na ich podstawie niewielkie zmniejszenie wartości granicy plastyczności skorodowanej stali.

Tab. 4. Zestawienie wyników badań próbek ze stali S235JR korodowanych w roztworze 5% HCl.

Wielkość zmierzona lub obliczona (średnia)	Seria 1	Seria 2	Seria 3	Seria 4
Średnica zewnętrzna rury [mm]	20	20	20	20
Średnica wewnętrzna rury [mm]	16	16	16	16
Długość rury [mm]	30	111	236	320
Początkowa masa rury [g]	26,7	98,4	209,4	286,5
Względny ubytek masy [%]	19,4	9,8	8,2	5,58
Szybkość korozji [g/mm ² ·doba]	0,00004	0,00002	0,000017	0,000012
Szybkość korozji [mm/rok]	1,83	0,92	0,78	0,55



Rys. 1. Widok powierzchni próbki skorodowanej



Rys. 2. Badanie skorodowanej próbki

Jak widać z danych zamieszczonych w tab. 3 i 4, próbki serii 1 z uwagi na szybkość korozji równą 1,83 mm/rok, a więc przekraczającą szybkość korozji 1 mm/rok, należy uznać za nie nadające się do użytku. Próbki serii 2 – 4 przyjęto do dalszych rozważań. Przyjęto, że w stosunku do konstrukcji stalowej zbudowanej z tych rur, bez powłoki ochronnej i bez warstwy malarskiej, agresywna jest:

1. atmosfera przestrzeni otwartej, która oddziałuje od początku do czasu końcowego,
2. roztwór 5% kwasu solnego, który oddziałuje od pewnego założonego czasu początkowego do czasu końcowego.

Założono, że w przyjętej sytuacji korozyjnej obok korozji atmosferycznej stali po czasie początkowym 0,1 roku (tj. 36 dni) wystąpiła korozja chemiczna w 5% kwasie solnym. Jest to realne w konstrukcjach przemysłowych. Celem naszym jest określenie czasu trwałości takiej konstrukcji stalowej i ustalenie ilościowego wpływu tego dodatkowego czynnika korozyjnego. Rozważaną stal można zaliczyć do piątej kategorii korozyjnej wg tab. 1 lub do czwartej grupy odporności korozyjnej i jednocześnie szóstego stopnia odporności korozyjnej wg tab. 2 lub do drugiej grupy odporności korozyjnej wg tab. 3 (na świecie stosuje się różne skale).

Zaproponowano następujący wzór do obliczenia ubytku grubości rury Δg :

$$\Delta g = V_p^{at} \cdot t_i + (V_p^{at} + V_p^{mk})(t - t_i) \quad (1)$$

gdzie: V_p^{at} – szybkość korozji atmosferycznej,
 V_p^{mk} – szybkość korozji w medium kwasowym,
 t_i – czas oddziaływania samej atmosfery,
 $t - t_i$ – czas oddziaływania atmosfery i 5% kwasu solnego.

Jeśli występuje sama korozja atmosferyczna, to wzór na ubytek grubości rury jest:

$$\Delta g = V_p^{at} \cdot t \quad (2)$$

Wzór (1) zbudowano biorąc pod uwagę opracowanie [5], w którym łączny stopień zagrożenia korozyjnego komina przemysłowego oblicza się jako sumę oddziaływań czynników dodatnich (powodujących korozję) i ujemnych (hamujących korozję).

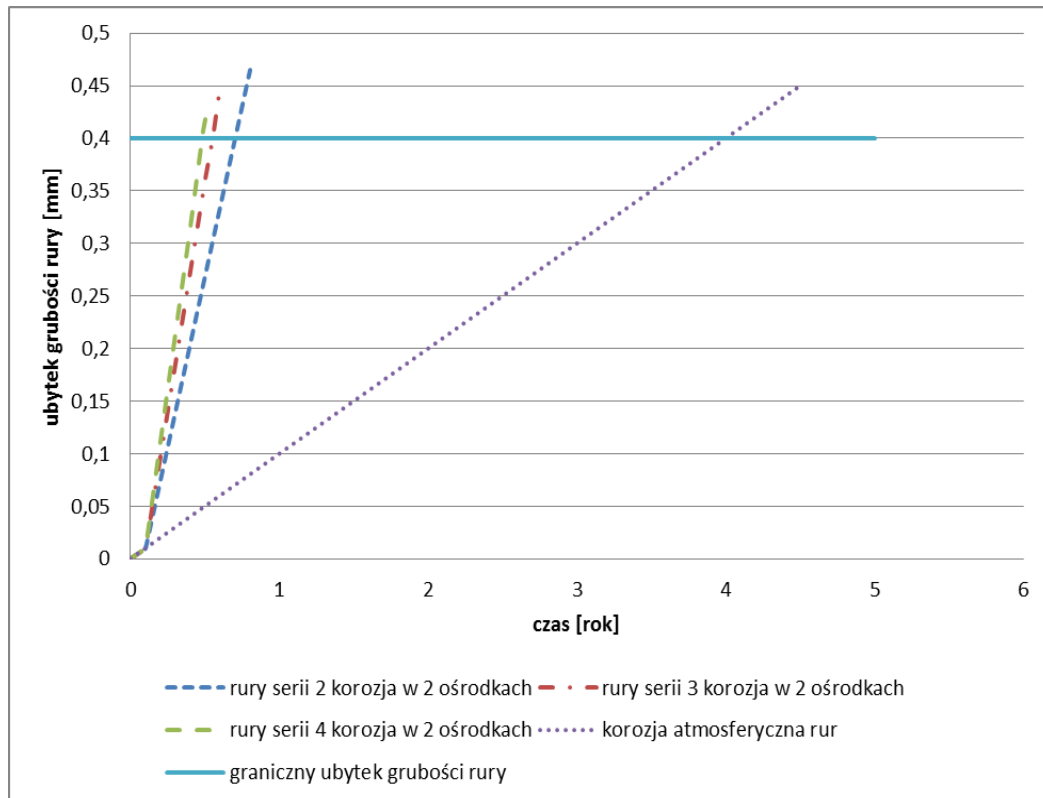
W dalszy ciąg wykonano dwa przykłady. Na rys. 3 (przykład 1) przedstawiono zależności ubytek grubości – czas, które pochodzą z następujących związków ustalonych z uwzględnieniem wyznaczonych szybkości korozji:

$$\begin{aligned} \Delta g_{s2} &= 0,1t_i + (0,1 + 0,55)(t - t_i), \\ \Delta g_{s3} &= 0,1t_i + (0,1 + 0,78)(t - t_i), \\ \Delta g_{s4} &= 0,1t_i + (0,1 + 0,92)(t - t_i) \end{aligned}$$

gdzie: Δg_{s2} , Δg_{s3} , Δg_{s4} – odpowiednio ubytek grubości rur serii 2, 3, 4.

Na rys. 3 występuje też linia pozioma o równaniu: $\Delta g_k = 0,4\text{mm} = \text{const}$; oznacza ona graniczną wartość ubytku grubości rury (jest to 20% względnego ubytku grubości rury). Założono, że nieprzekraczalne zwiększenie naprężeń normalnych na skutek ubytku grubości skorodowanej rury przy osiowym jej rozciąganiu wynosi 3%. Czyli, jeśli w rurze nieskorodowanej naprężenia normalne wynoszą σ , to w rurze skorodowanej wynoszą one $1,03\sigma$. Przyjmując określoną wartość Δg można na podstawie znajomości funkcji szybkości korozji określić okres użytkowania konstrukcji. Jeśli działa tylko korozja atmosferyczna na wymienione rury, to obliczony okres użytkowania wynosi 4 lata. Jeśli po okresie 0,1 roku działania na rury korozji atmosferycznej, dołączy się do niej korozja w 5% kwasie solnym, to okres użytkowania znacznie się skróci:

- w wypadku rur serii 2 wyniesie on 0,7 roku,
- w wypadku rur serii 3 wyniesie on 0,55 roku,
- w wypadku rur serii 4 wyniesie on 0,49 roku.



Rys. 3. Zależności ubytek grubości rury – czas korozji, $\Delta g - t$; przykład 1

Przedstawimy teraz drugi przykład. Załóżmy, że rozważana stal znalazła się w takich warunkach ekspozycji, w których wzrosła zawartość soli w powietrzu. Wówczas można stal S235JR zaliczyć czwartej grupy odporności korozyjnej i jednocześnie do siódmego stopnia odporności korozyjnej wg tab. 2. Zmieni się wówczas szybkość korozji stali w tej atmosferze [9]. Inne szybkości korozji pozostają bez zmian. Na rys. 4 (przykład 2) przedstawiono zależności ubytek grubości – czas, które pochodzą z następujących związków uwzględniających nową szybkość korozji w atmosferze:

$$\Delta g_{s2} = 0,5t_i + (0,5 + 0,55)(t - t_i)$$

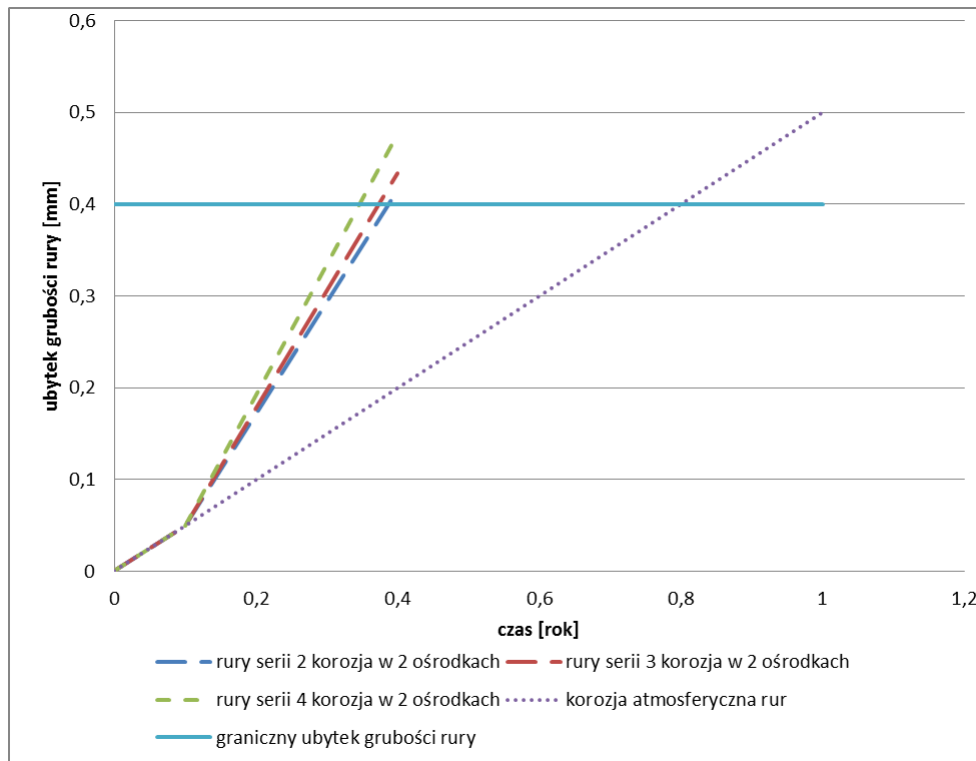
$$\Delta g_{s3} = 0,5t_i + (0,5 + 0,78)(t - t_i)$$

$$\Delta g_{s4} = 0,5t_i + (0,5 + 0,92)(t - t_i)$$

Graniczna wartość $\Delta g_k = 0,4\text{mm} = \text{const}$, pozostaje bez zmian. Jeśli działa tylko korozja atmosferyczna na rury w takich warunkach ekspozycji, to obliczony okres użytkowania wynosi 0,8 roku. Jeśli po okresie 0,1 roku działania na rury korozji atmosferycznej, dołączy się do niej korozja w 5% kwasie solnym, to okres użytkowania skróci się:

- w wypadku rur serii 2 wyniesie on 0,43 roku,
- w wypadku rur serii 3 wyniesie on 0,37 roku,
- w wypadku rur serii 4 wyniesie on 0,35 roku.

Przy takiej szybkości korozji, rury te mogą być stosowane tylko warunkowo, tzn. wymagają powłok ochronnych.



Rys. 4. Zależności ubytek grubości rury – czas korozji, $\Delta g - t$; przykład 2

Przedstawiony model przewidywania okresu utrzymania konstrukcji stalowej może być dalej wykorzystany, tzn. przy innych szybkościach korozji stali w atmosferze, innych szybkościach korozji stali w roztworach kwasów, innym czasie początkowym.

4. WNIOSKI

Zaproponowano liniowy model obliczania ubytków wymiarów liniowych korodujących prętów stalowych. Zastosowano go do określenia czasu utrzymania tych elementów, czyli do oceny skutków korozji w prętach korodujących jednocześnie w atmosferze i w medium kwasowym. Do budowy modelu potrzebna jest znajomość szybkości korozji w danym ośrodku. Na podstawie tego modelu określono czas użytkowania rur stalowych ze stali S235JR. Obliczono, że oddziaływanie 5% roztworu HCl na rury znajdujące się w atmosferze normalnej skraca ich czas użytkowania:

- z 4 lat odpowiednio do 0,7 roku, 0,55 roku i 0,49 roku;

oraz, że oddziaływanie 5% roztworu HCl na rury znajdujące się w atmosferze nasyconej solą skraca ich czas użytkowania:

- z 0,8 roku odpowiednio do 0,43 roku, 0,37 roku i 0,35 roku.

Odpowiada to wzrostowi naprężeń normalnych przy osiowym rozciąganiu rur o 3%.

Przedstawiony model przewidywania okresu utrzymania konstrukcji stalowej może być przeniesiony na konstrukcje wykonane z innych materiałów i korodujące w innych ośrodkach.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Bursa J.: *Rury stalowe z powłokami z tworzyw sztucznych*. WNT. Warszawa 1973.
- [2] Grzesiak P., Motała R.: *Korozja stali w kwasie siarkowym*. Instytut Ochrony Roślin. PIB. Poznań 2008.
- [3] Glinicka A., Wasilewska K.: *Niebezpieczeństwo korozji obiektów infrastruktury miejskiej*. Logistyka 6/2011. S.1131 – 1138.
- [4] Roberge P.R.: *Corrosion Engineering. Principles and Practice*. McGraw-Hill. USA. 2008.
- [5] Meller M., Pożoga T.: *Wybrane zagadnienia korozji i utrzymania kominów przemysłowych*. Wyd. Uczelniane politechniki Koszalińskiej. Koszalin 2003.
- [6] Polski Komitet Normalizacyjny. *Norma PN-H-04608 – korozja metali. Skala odporności metali na korozję*.
- [7] Paik J.K., Lee J.M., Park Y., Hwang J.S., Kim C.W.: *Time –variant ultimate longitudinal strength of corroded bulk carriers*. Marine Structures 16/2003, s. 567-600.
- [8] Glinicka A., Kruk M.: *Ocena wpływu małego stopnia korozji próbek na właściwości mechaniczne stali niskostopowej*. Przegląd Mechaniczny Zeszyt 6/2010 s. 42 – 44.
- [9] Shreir L. L.: *Korozja*. tom 1 WNT, Warszawa 1966r.