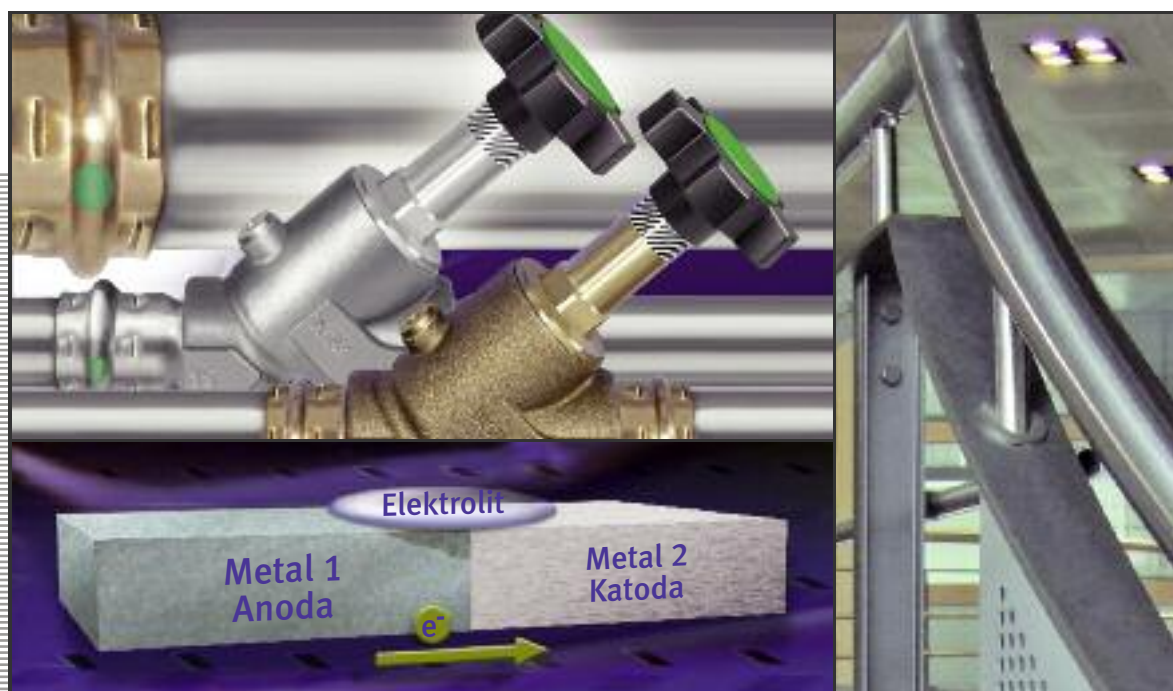


## Kontakt stali nierdzewnej z innymi materiałami metalowymi



## Euro Inox

Euro Inox jest stowarzyszeniem zajmującym się rozwojem europejskiego rynku stali nierdzewnych. Członkami Euro Inox są następujące organizacje i instytucje:

- europejscy producenci stali nierdzewnych
- krajowe organizacje zajmujące się rozwojem stali nierdzewnych
- stowarzyszenia zajmujące się wprowadzaniem dodatków stopowych

Głównym celem działania Euro Inox jest rozwijanie świadomości na temat wyjątkowych własności stali specjalnych i propagowanie ich szerszego zastosowania oraz zdobywanie nowych rynków. Aby osiągnąć ten cel, Euro Inox organizuje konferencje i seminaria oraz wydaje przewodniki w formie drukowanej i elektronicznej, dla umożliwienia architektom, projektantom, zaopatrzeniowcom, producentom oraz użytkownikom lepszego zapoznania się z tym materiałem. Euro Inox wspiera również techniczne i rynkowe prace badawcze.

ISBN 978-2-87997-328-9

978-2-87997-263-3	wersja angielska
978-2-87997-322-7	wersja holenderska
978-2-87997-323-4	wersja francuska
978-2-87997-324-1	wersja czeska
978-2-87997-325-8	wersja fińska
978-2-87997-326-5	wersja szwedzka
978-2-87997-327-2	wersja turecka
978-2-87997-329-6	wersja włoska
978-2-87997-330-2	wersja hiszpańska

## Członkowie zwyczajni

### Acerinox

[www.acerinox.com](http://www.acerinox.com)

### Aperam

[www.aperam.com](http://www.aperam.com)

### Outokumpu

[www.outokumpu.com](http://www.outokumpu.com)

### ThyssenKrupp Acciai Speciali Terni

[www.acciaiterni.com](http://www.acciaiterni.com)

### ThyssenKrupp Nirosta

[www.nirosta.de](http://www.nirosta.de)

## Członkowie stowarzyszeni

### Acroni

[www.acroni.si](http://www.acroni.si)

### British Stainless Steel Association (BSSA)

[www.bssa.org.uk](http://www.bssa.org.uk)

### Cedinox

[www.cedinox.es](http://www.cedinox.es)

### Centro Inox

[www.centroinox.it](http://www.centroinox.it)

### Informationsstelle Edelstahl Rostfrei

[www.edelstahl-rostfrei.de](http://www.edelstahl-rostfrei.de)

### International Chromium Development Association (ICDA)

[www.icdachromium.com](http://www.icdachromium.com)

### International Molybdenum Association (IMOA)

[www.imoa.info](http://www.imoa.info)

### Nickel Institute

[www.nickelinstitute.org](http://www.nickelinstitute.org)

### Paslanmaz Çelik Derneği (PASDER)

[www.turkpasder.com](http://www.turkpasder.com)

### Polska Unia Dystrybutorów Stali (PUDS)

[www.puds.pl](http://www.puds.pl)

### SWISS INOX

[www.swissinox.ch](http://www.swissinox.ch)

Kontakt stali nierdzewnej z innymi materiałami metalowymi

Seria: Materiały i zastosowania, zeszyt 10

© Euro Inox 2011

Przetłumaczono na podstawie ARLT, N. / BURKERT, A. / ISECKE, B., *Edelstahl Rostfrei in Kontakt mit anderen Werkstoffen* (Merkblatt 829), Düsseldorf, Informationsstelle Edelstahl Rostfrei, wydanie czwarte 2005

Polskie tłumaczenie: Zbigniew Brytan, CTP, Warszawa, Polska

#### Wydawca:

Euro Inox, Diamant Building, Bd. Aug. Reyers 80,

1030 Bruksela, Belgia

Telefon +32 2 706 82 67, Fax +32 2 706 82 69

#### Źródła zdjęć:

Atomium asbl / vzw, Bruksela (B)

Centro Inox, Mediolan (I)

Bundesanstalt für Materialprüfung und -forschung, Berlin (D)

David Cochrane, Sidcup (UK)

Benoît Van Hecke, Hasselt (B)

Outokumpu, Tornio (FIN)

Thomas Pauly, Bruksela (B)

Christoph Seeberger, Monachium (D)

ThyssenKrupp Nirosta GmbH, Krefeld (D)

Schöck Bauteile GmbH, Baden-Baden (D)

Viega GmbH & Co. KG, Attendorn (D)

#### Zastrzeżenie

Euro Inox dotożył wszelkich starań, aby informacje zawarte w tej publikacji były technicznie poprawne. Jednakże, zwraca się uwagę czytelnika, że materiał zawarty w niniejszym opracowaniu stanowi tylko ogólną informację. Euro Inox, jego członkowie, personel i konsultanci nie ponoszą żadnej odpowiedzialności za jakiegokolwiek straty, zniszczenia lub szkody wynikające z zastosowania informacji zawartych w niniejszym opracowaniu.

## Spis treści

1	Wstęp	2
2	Podstawy korozji galwanicznej	3
3	Istotne czynniki i przykłady	5
3.1	Rezystancja elektrolitu	5
3.2	Czas zwilżania i środowisko	6
3.3	Kinetyka reakcji elektrodowych	8
3.4	Stosunek powierzchni katody do anody	8
4	Praktyczne przykłady dla różnych zastosowań	10
4.1	Woda i oczyszczanie ścieków	11
4.2	Elementy pracujące w warunkach atmosferycznych	14
4.3	Stal nierdzewna w budownictwie i konstrukcjach	15
4.4	Stal nierdzewna w zastosowaniach transportowych	18
5	Zapobieganie korozji galwanicznej	22
6	Literatura	23

#### Uwagi o prawie autorskim

Opracowanie niniejsze jest objęte prawem autorskim. Euro Inox zastrzega sobie wszelkie prawa do tłumaczenia na wszystkie języki, przedruku, użycia ilustracji, cytowania lub rozpowszechniania. Żadna część tej publikacji nie może być powielona, przechowywana w systemach wyszukiwawczych ani przekazywana w żaden inny sposób: elektroniczny, mechaniczny, za pomocą fotokopii czy nagrań bez uprzedniej pisemnej zgody właściciela praw autorskich tj. Euro-Inox, Luksemburg. Naruszenie tych praw może podlegać procedurze prawnej w zakresie odpowiedzialności za wszelkie szkody pieniężne wynikające z tego naruszenia jak również poniesienia kosztów i opłat prawnych oraz podlega ściganiu w ramach przepisów luksemburskiego prawa autorskiego oraz przepisów obowiązujących w Unii Europejskiej.

# 1 Wstęp

Złożone wymagania projektowe mogą zakładać konieczność połączenia różnych materiałów metalowych w jeden komponent. Zdarza się, że takie połączenie jest powodowane jedynie dostępnością danych elementów, na przykład elementów złącznych lub podkładek. W pewnych przypadkach takie mieszane połączenie różnych materiałów może prowadzić do korozji jednego z nich. Takie zjawisko powodowane jest korozją galwaniczną, w której dwa różne materiały tworzą ogniwo galwaniczne.

Wynikiem powstania ogniwa galwanicznego jest możliwość wystąpienia przyśpieszonej korozji mniej szlachetnego materiału. Jego szybkość korozji będzie znacznie większa, niż jaką wykazuje on bez kontaktu z bardziej szlachetnym metalem. Zniszczenia powodowane korozją takie jak krytyczne pogorszenie wyglądu zewnętrznego, przecieki rurociągów lub pęknięcie elementów złącznych mogą drastycznie ograniczyć czas eksploatacji elementów i prowadzić do ich

przedwczesnej wymiany. W większości zastosowań technicznych stale nierdzewne w połączeniu z innymi metalami wykazują bardziej dodatni potencjał korozyjny, skutkiem tego jest zwykle niebezpieczeństwo korozji materiału, z którym się stykają.

Ryzyko wystąpienia korozji galwanicznej zależy od wielu czynników. Oprócz zastosowanych materiałów, elementem krytycznym jest środowisko i konstrukcja elementów. Dlatego też trudno jest a priori ocenić kompatybilność użytych materiałów. W tej publikacji opisano podstawy korozji galwanicznej i główne czynniki, jakie umożliwiają projektantom oszacowanie ryzyka pojawienia się korozji.

<sup>1</sup>Przyśpieszona korozja metalu w wyniku oddziaływania ogniwa korozyjnego. Korozja może być powodowana także przez ogniwa stężeniowe, aktywacyjno-pasywne i tlenowe ogniwa stężeniowe.

## 2 Podstawy korozji galwanicznej

Korozja galwaniczna zachodzi, jeżeli:

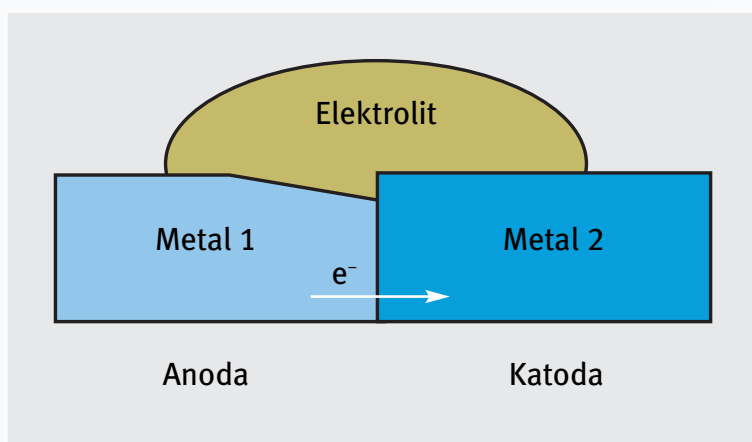
- w danym układzie metale charakteryzują się różnym potencjałem korozyjnym,
- między metalami występuje przewodzące połączenie,
- przewodzący prąd elektryczny elektrolit (warstwa wilgoci) łączy oba metale.

Rysunek 1 przedstawia trzy czynniki wymagane dla wystąpienia korozji galwanicznej.

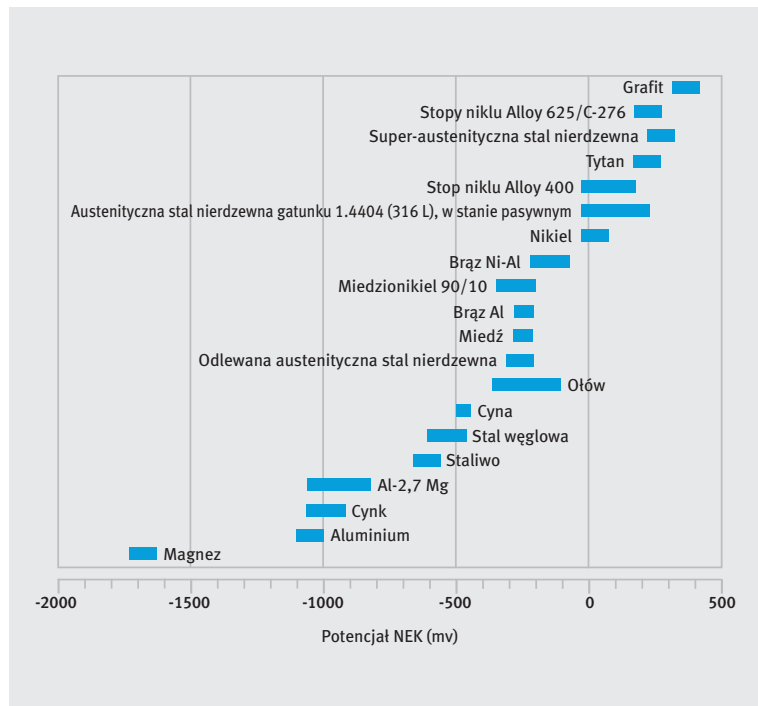
Jeżeli wystąpi korozja galwaniczna to mniej szlachetny materiał – anoda – preferencyjnie ulega korozji, podczas gdy materiał bardziej szlachetny – katoda – jest nawet chroniony przed korozją. Właściwie to podstawą ochrony katodowej jest zastosowanie anody protektorowej, która korodując zapobiega korozji drugiego materiału.

Kontakt metali o różnym potencjale elektrochemicznym w środowisku przewodzącym prąd elektryczny powoduje przepływ

elektronów z anody do katody. Występujące reakcje elektrochemiczne są takie same jak te, które naturalnie wystąpiłyby w metalu odizolowanym, jednak w tym przypadku atak korozyjny na anodzie jest znacznie przyspieszony. W niektórych przypadkach powstanie ogniwa galwanicznego powoduje korozję materiałów, które normalnie są odporne na korozję w danym środowisku. Może to dotyczyć materiałów w stanie pasywnym takich jak aluminium, które mogą być lokalnie spolaryzowane w pewnych środowiskach. W takich przypadkach można obserwować zjawiska korozji lokalnej - szczelinowej i wżerowej. Nie wystąpiłyby one bez przesunięcia potencjału korozyjnego w wyniku powstania ogniwa galwanicznego.



Rysunek 1:  
Czynniki wymagane dla wystąpienia korozji galwanicznej.

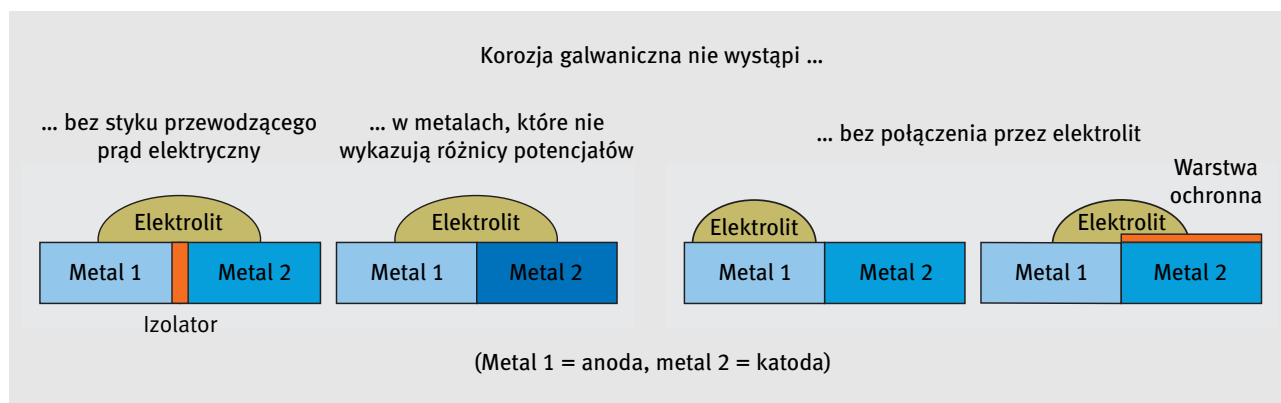


Rysunek 2:  
Szereg napięciowy metali w wodzie morskiej przy 10 °C [11].

W przeciwieństwie do powszechnego przekonania, różnica potencjałów w ogniwie galwanicznym nie jest dobrym wskaźnikiem faktycznego ryzyka wystąpienia korozji galwanicznej. Wskazuje ona jedynie czy należy brać pod uwagę lub nie takie niebezpieczeństwo. Należy pamiętać, że powszechnie dostępne tablice standardowych potencjałów metali podają jedynie przybliżoną różnicę potencjałów. Decydującym czynnikiem nie jest różnica potencjałów w standaryzowanych warunkach badawczych, lecz faktyczna różnica potencjałów w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Z tej przyczyny doświadczalne tablice szeregu napięciowego metali opracowano dla typowych środowisk eksploatacji, np. dla wody morskiej. Lokalizują one potencjały różnych metali w danym środowisku (rysunek 2).

Znajomość czynników wymaganych do powstania korozji galwanicznej oraz właściwe zrozumienie przykładu z rysunku 3 umożliwia określenie środków zapobiegawczych, co omówiono w rozdziale 5.

Rysunek 3:  
Warunki w jakich nie wystąpi korozja galwaniczna.



### 3 Istotne czynniki i przykłady

Zganie z prawem Faraday'a procesy korozji elektrochemicznej są bezpośrednio związane z przeniesieniem ładunku, to znaczy przepływem prądów. Z tego powodu do pomiaru korozji często stosuje się prąd lub gęstość prądu korozyjnego. W warunkach korozji galwanicznej, całkowity prąd korozyjny  $I_{tot}$  jest sumą cząstkowego prądu korozji własnej  $I_s$  (część korozji niezależna od kontaktu z innym metalem) i cząstkowego prądu ogniwa  $I_{el}$  (część korozji wywołana prądem ogniwa między stykającymi się metalami (równanie 1)).

$$I_{tot} = I_s + I_{el} \quad (\text{Równanie 1})$$

Intensywność korozji ogniwa jest określona przez różnicę potencjałów między dwoma metalami ( $\Delta U$ ), rezystancją elektrolitu ( $R_{el}$ ) i rezystancją (opór) polaryzacji odpowiednio anody ( $R_{p,a}$ ) i katody ( $R_{p,c}$ ) (Równanie 2).

$$I_{el} = \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Równanie 1})$$

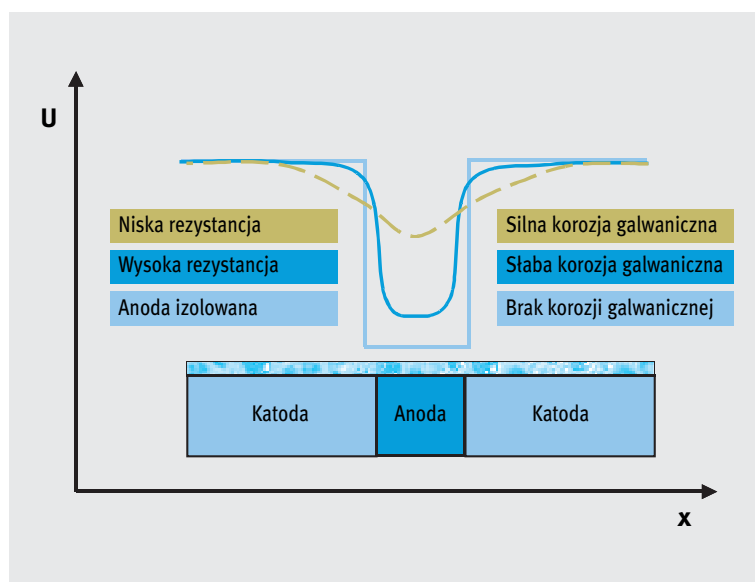
Na podstawie tego równia można opisać czynniki determinujące korozję galwaniczną. Czynniki te są decydujące pod względem oceny czy zjawisko korozji stanie się realnym zagrożeniem dla danego przypadku. Wpływ poszczególnych czynników zostanie omówiony indywidualnie.

#### 3.1 Rezystancja elektrolitu

Niebezpieczeństwo korozji galwanicznej zmniejsza się ze wzrostem oporu elektrolitu. Dzieje się tak, ponieważ zmniejsza się zasięg prądu galwanicznego a przesunięcie po-

tencjału na anodzie jest ograniczone, rysunek 4.

Wielkość potencjałów anody i katody jest wyznaczona przez niezależny pomiar na powierzchni każdej elektrody, przy odizolowanej anodzie. W obszarze przejścia obserwuje się skok wartości potencjału. Jeżeli między katodą i anodą zaistnieje przewodzące połączenie to obserwuje się słabą polaryzację anody w kierunku wyższych wartości, w elektrolitach o wysokiej rezystancji (takich jak



Rysunek 4: Wpływ rezystancji elektrolitu na polaryzację anodową.

skondensowana warstwa wody na powierzchni). W przypadku warstw elektrolitów o niskiej rezystancji (woda morską) dochodzi do bardzo silnej polaryzacji. Im wyższa polaryzacja tym wyższa szybkość korozji anody, gdy materiał jest w stanie aktywnym lub większe jest prawdopodobieństwo osiągnięcia krytycznego potencjału korozji (inicjującego korozję), jeżeli materiał jest w stanie pasywnym. *Tablica 1* przedstawia wartości przewodności właściwej różnych typów wody.

### 3.2 Czas zwilżania i środowisko

Istnieje silna zależność między rezystancją elektrolitu oraz czasem zwilżania powierzchni. Ma to decydujące znaczenie wszędzie tam, gdzie elementy nie są stale zwilżane przez ciecz. Tak jak wspomniano w opisie warunków wymaganych dla zaistnienia korozji galwanicznej, kluczową rolę odgrywa warstwa elektrolitu. Bez takiej warstwy korozja galwaniczna nie występuje. Oznacza to w praktyce, że łączenie ze sobą różnych materiałów metalowych bez obecności warstwy elektrolitu nie jest niebezpieczne pod względem korozji. Jest to typowe dla wnętrz gdzie nie występuje zjawisko kondensacji. Dla opraw oświetleniowych lub elementów wystroju wnętrz, można praktycznie łączyć ze sobą wszystkie materiały, w normalnie napowietrzonym i ogrzanym środowisku bez ograniczeń ze względu na wystąpienie korozji (rysunek 5).

Zarówno długość czasu oddziaływania jak i rezystancja elektrolitu są zależne od warunków lokalnych. W środowisku morskim, przemysłowym lub wewnątrz budynków pływalni prawdopodobieństwo korozji galwanicznej jest znacznie wyższe niż dla środowiska atmosfery wiejskiej. Rysunek 6 przedstawia wpływ środowiska eksploatacji na szybkość korozji cynku w kontakcie oraz bez kontaktu ze stalą nierdzewną. Można zauważyć, że udział korozji ogniwa (różnica między szybkościami korozji) przewyższa udział korozji własnej (to znaczy szybkość korozji cynku niestykającego się ze stalą nierdzewną) w atmosferze nadmorskiej i pryskającej wody morskiej.

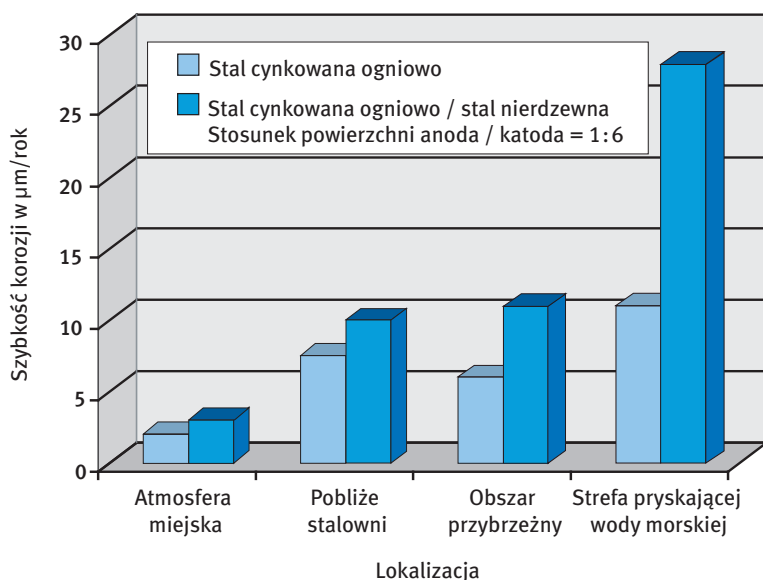
Poza środowiskiem powietrza atmosferycznego również ważny jest sam projekt elementu. Czynniki, które ułatwiają szybko osuszyć warstwę wilgoci (odpowiednie na-

Tablica 1:  
Typowe wartości przewodności właściwej różnych typów wody.

Środowisko	Przewodność właściwa w $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$
Woda czysta	$5 \cdot 10^{-8}$
Woda zdemineralizowana	$2 \cdot 10^{-6}$
Woda deszczowa	$5 \cdot 10^{-5}$
Woda pitna	$2 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$
Woda rzeczna	$5 \cdot 10^{-3}$
Woda morska	$3,5 \cdot 10^{-2} - 5 \cdot 10^{-2}$



powietrze, brak szczelin, swobodne odprowadzenie wody deszczowej) obniżają ryzyko korozji. Trwale wilgotne obszary szczelin, obszary zakryte, brudne powierzchnie i zalegająca (stojąca) woda mogą poważnie przyspieszyć szybkość korozji galwanicznej.



*Rysunek 6:  
Szybkość korozji stali cynkowanej ogniowo w kontakcie i bez kontaktu ze stalą nierdzewną, w różnych środowiskach.*

*Rysunek 5:  
W normalnie napowietrzonym i ogrzewanym środowisku wewnątrz nie występują elektrolity a połączenie stali nierdzewnej z innymi materiałami metalowymi takimi jak pomalowana stal węglowa zwykle nie pociąga za sobą korozji galwanicznej.*

### 3.3 Kinetyka reakcji elektrodowych

Kinetyka reakcji elektrodowych jest opisana *Równaniem 3* przez wartości rezystancji polaryzacji anody i katody. Nawet niewielka różnica potencjałów rzędu 100 mV może doprowadzić do korozji, podczas gdy metale o znacznie większej różnicy potencjałów mogą być łączone ze sobą bez problemu. W rzeczywistości różnica potencjałów nie dostarcza informacji o kinetyce korozji galwanicznej. Kinetyka reakcji zależy od samego metalu. Na przykład, na tytanie proces redukcji tlenu zachodzi trudniej niż dla miedzi. Tłumaczy to, dlaczego stale węglowe korodują dużo szybciej w kontakcie z miedzią niż z tytanem, pomimo że posiada on wyższy dodatni potencjał niż miedź.

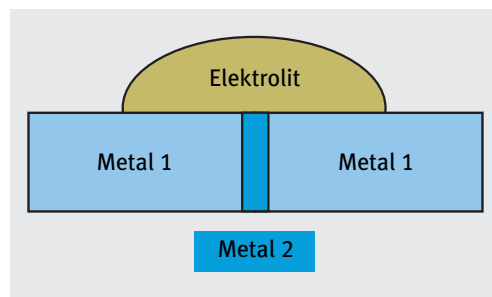
W tym kontekście, tworzenie warstwy skorodowanej na powierzchni odgrywa także ważną rolę. Może ona znacząco zmienić potencjał metalu i być przeszkodą dla reakcji anodowej lub katodowej.

### 3.4 Stosunek powierzchni katody do anody

Gęstości prądu ogniwa  $i_{el}$  (związana z powierzchnią elektrod) jest stosunkiem obszaru powierzchni katodowej ( $A_c$ ) do anodowej ( $A_a$ ). Wpływa on silnie na szybkość korozji galwanicznej (*Równanie 3*).

$$i_{el} = \frac{A_c}{A_a} \cdot \frac{\Delta U}{R_{el} + R_{p,a} + R_{p,c}} \quad (\text{Równanie 3})$$

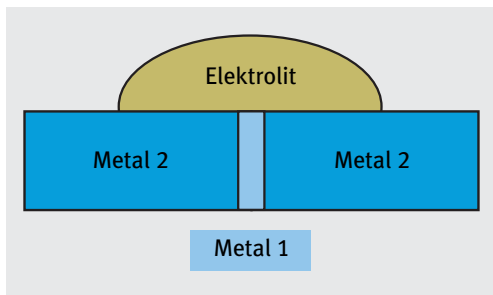
Jeżeli katodowy obszar powierzchni (metal bardziej szlachetny w ogniwie galwanicznym) jest bardzo mały w porównaniu do anodowego obszaru powierzchni (mniej szlachetnego metalu) to nie obserwuje się



Rysunek 7:  
Jeżeli katoda (metal 2) jest mniejsza od anody (metal 1) to nie obserwuje się efektów korozji.

Rysunek 8a, 8b:  
Elementy złączne ze stali nierdzewnej na dużo większym elemencie ze stali ocynkowanej zwykle nie powodują korozji.





Rysunek 9:  
Należy się spodziewać, że korozja galwaniczna wystąpi, jeżeli anoda (metal 1) jest mniejsza a katoda (metal 2) jest większa.

zjawiska korozji. Taką sytuację przedstawiono na *rysunku 7*.

Typowym przykładem jest zastosowanie elementów łącznych ze stali nierdzewnej do łączenia aluminium lub ocynkowanej stali węglowej. Na *rysunku 8* przedstawiono dwa praktyczne przykłady. Materiały te w zasadzie nawet w warunkach korozyjnych nie powodują korozji galwanicznej.

W warunkach rzeczywistych czasem bywa trudno jednoznacznie oszacować czynne proporcję powierzchni anodowej i katodowej. Jednak ze względów praktycznych jest to nawet niekonieczne. Zwykle wystarcza rozpatrywać ogólnie cały układ. W przypad-

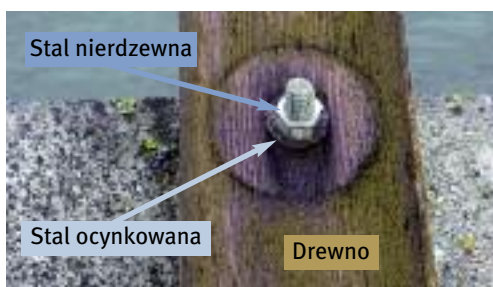
ku łączenia materiałów, elementy łączne zawsze powinny być wykonane z materiału bardziej szlachetnego, więc powierzchnia katodowa będzie mniejsza.

Sytuacja przeciwna może powodować problem. Jeżeli mała powierzchnia anody jest otoczona dużą powierzchnią katodową to może wystąpić korozja galwaniczna, jak pokazano na *rysunku 9*.

Typowy przykład takiej sytuacji pokazano na *rysunku 10*. W tym przypadku jest oczywiste, że w warunkach korozyjnych materiał będący w kontakcie ze stalą może ulegać przyśpieszonej korozji.



Rysunek 11:  
W celu przeciwdziałania korozji galwanicznej do łączenia paneli ze stali nierdzewnej należy stosować elementy łączne jedynie ze stali nierdzewnej.



Rysunek 10a, 10b:  
Praktyczne przykłady sytuacji z *rysunku 9* (ocynkowana stal węglowa stykająca się ze stalą nierdzewną w środowisku atmosfery morskiej).

## 4 Praktyczne przykłady dla różnych zastosowań

Dostępne są liczne badania laboratoryjne oraz praktyczne przykłady zastosowań opisujące zjawiska korozyjne podczas łączenia stali nierdzewnych z innymi materiałami. W *tablicach od 2 do 5* przedstawiono kilka stosownych przykładów. Wszystkie wyniki dotyczą stabilizowanych stali nierdzewnych o normalnym stężeniu węgla. W praktyce można je także zastosować dla

gatunków o obniżonym stężeniu węgla takich jak 1.4307 lub 1.4404. Więcej informacji można znaleźć w stosowanej literaturze, gdzie przytoczony układ korozyjny jest rozpatrywany jako całość.

Na podstawie praktyki, poza wartościami liczbowym zawartymi w tablicach można sformułować bardziej ogólne wnioski, które opisano w kolejnych częściach tej broszury.

Tablica 2: Szybkość korozji różnych materiałów metalowych w kontakcie ze stalą nierdzewną.

Ogniwo galwaniczne		Środowisko	Stosunek powierzchni	Szybkość korozji (mm/rok)
1.4016	Stal węglowa Zn 99.9 Al 99.9 Cu-DGP Ti	Woda pitna, napowietrzona	1:1	0,47 0,26 0,17 0,07 <0,01
1.4541	SF-Cu	Sztuczna woda morska	1:1	0,12
			1:10	0,07
			10:1	1,00
	Stal węglowa		1:1	0,38
			1:10	0,25
			10:1	1,10
Zn Ti	1:1	0,61		
	1:1	<0,01		

Tablica 3: Szybkość korozji stopu ZnCuTi w kontakcie ze stalą nierdzewną gatunku 1.4541 i 1.4571 w roztworze 0,1 N NaCl (napowietrzonym, nasyconym CO<sub>2</sub>, w temperaturze pokojowej) zgodnie z DIN 50919.

Ogniwo galwaniczne		Stosunek powierzchni	Szybkość korozji (mm/rok)
1.4541	ZnCuTi	1:1	4,39
		1:5	1,43
1.4571	ZnCuTi	1:1	3,88
		1:5	0,91

Tablica 4: Szybkość korozji różnych materiałów metalowych w kontakcie ze stalą nierdzewną w roztworze wodnym NaCl 5 % obj., NaCl o temperaturze 35 °C, stosunek powierzchni 1:1 (DIN 50919).

Ogniwo galwaniczne	Szybkość korozji (mm/rok)		
	X6CrMo17-1 1.4113	X2CrTi12 1.4512	X5CrNi18-10 1.4301
Stal węglowa	0,62	0,66	0,69
Stal cynkowana ogniowo	0,51	0,51	0,55
ZnAl 4 Cu 1	0,66	0,66	0,69
AlMg 1	0,15	0,29	0,29
Cu-DGP	0,04	0,04	0,04
CuZn 40	0,04	0,04	0,04

Tablica 5: Szybkość korozji różnych materiałów w kontakcie ze stalą nierdzewną gatunku 1.4439 w Morzu Północnym (próba terenowa), czas trwania 1 rok.

Ogniwo galwaniczne		Stosunek powierzchni	Szybkość korozji (mm/rok)
1.4439	Stal węglowa	1:1	0,31
		4:1	0,75
		10:1	2,10
1.4439	AlMg 4,5 Mn	1:1	0,17
		4:1	0,26
		10:1	0,95
1.4439	CuNi 10 Fe	4:1	0,07
1.4439	CuZn 20 Fe	4:1	0,18

#### 4.1 Woda i oczyszczanie ścieków

Oddziaływanie korozyjne wody na stal nierdzewną może znacznie się zmieniać w zależności od jej składu: woda demineralizowana bez zanieczyszczeń nie jest korozyjna (z wyjątkiem bardzo wysokich temperatur). Woda pitna oraz wody o podobnym składzie zawierają umiarkowane stężenie jonów chlorkowych (maks. 250 mg/L, zgodnie z Dyrektywa UE dotyczącą jakości wód pitnych). W niesprzyjających warunkach mogą one doprowadzić do korozji wżerowej i szczelinowej a pod wpływem łącznego oddziaływania wysokiej temperatury i stężenia chlorków do korozji naprężeniowej. W większości przypadków austenityczne gatunki stali CrNiMo takie jak 1.4401, 1.4404 i

1.4571 są odporne na korozję, jeżeli będą poddane prawidłowej obróbce. Istnieją także liczne przypadki udanego zastosowania gatunku 1.4301.

W wodzie pitnej ryzyko korozji galwanicznej jest umiarkowane. Od wielu lat z powodzeniem, bez awarii w wyniku korozji galwanicznej (rysunek 12) stosuje się połączenia stali nierdzewnej z miedzią, stopami miedzi oraz tombakiem w zastosowaniach takich jak rury ciepłej i zimnej wody, złączki rurowe oraz zbiorniki. W wodzie o niskim stężeniu tlenu można stosować połączenia stali węglowej ze stalą nierdzewną, podczas gdy łączenie stali ocynkowanej i stopów aluminium może skutkować korozją galwaniczną aluminium [2].

W systemach ścieków komunalnych wa-



runki pracy są mniej oczywiste. Takie wody charakteryzują się różnym składem, niektóre wykazują wysokie przewodnictwo i niebezpieczeństwo korozji galwanicznej jest także podwyższone, z powodu wysokiej ogólnej korozyjności ścieków dla wielu materiałów. W tabelicy 6 podano kompatybilność różnych materiałów w napowietrzonych ściekach. W przypadku połączeń lutowanych decydującym czynnikiem jest dobór lutu odpornego na korozję.

Rysunek 12:  
W instalacjach wodociągowych z powodzeniem stosuje się połączenia stali nierdzewnej z miedzią i jej stopami np. brązem ołowiowym.

Tablica 6: Kompatybilność materiałów w środowisku napowietrzonych ścieków.

		Materiał o małej powierzchni				
		Stal węglowa / żeliwo	Zn / stal ocynkowana	Al	Cu	Stal nierdzewna
Materiał o dużej powierzchni	Stal węglowa / żeliwo	+*	+*	-	o / -	+*
	Zn / stal ocynkowana	-	+	-	o*	+*
	Al	-	o / -	+*	-	+*
	Cu	-	-	-	+*	+*
	Stal nierdzewna	-	-	-	o	+
	Stal w betonie	-	-	-	+	+

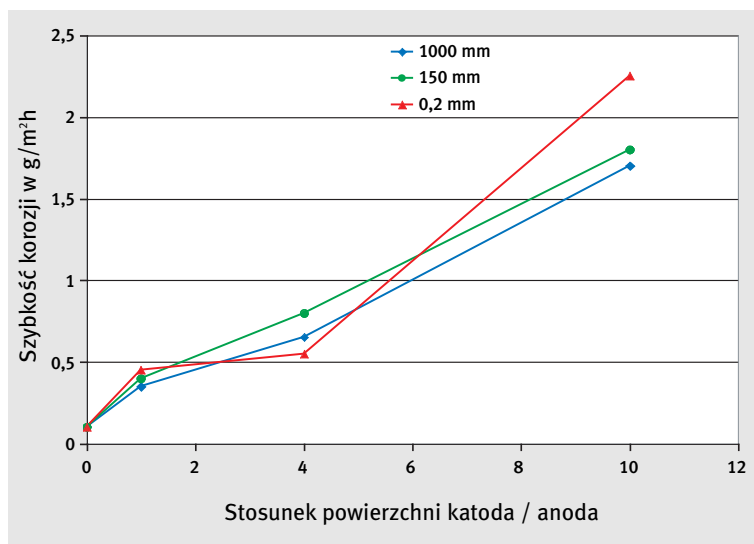
Legenda: + dobra o niepewna - słaba

\* Łączenie tych materiałów ma niewielki wpływ na przyśpieszenie korozji, ale ich połączenie nie jest zalecane z powodu wysokiej szybkości korozji własnej materiału mniej szlachetnego w takiej parze.

Woda morska (o stężeniu chlorków około 16000 mg/L) oraz podobne wody o wysokim stężeniu chlorków powodują silną korozję stali i zwykle wymagają użycia gatunków wysokostopowych takich jak EN 1.4462, 1.4439, 1.4539, i 1.4565 lub stopów niklu. Zalecenia dla przeciwdziałania korozji różnych materiałów metalowych w systemach wodnych są zawarte w normie EN 12502, części 1 do 5 [2]. Ryzyko korozji galwanicznej zasadniczo zależy od przewodności wody (zobacz rozdział 2). Pod tym względem woda demineralizowana jest zwykle bezpieczna.

Środowiska o wysokiej przewodności takie jak woda morska sprzyjają korozji galwanicznej. Dotyczy to nie tylko elementów ze stopów aluminium, cynku lub ocynkowanych stali węglowych, ale także z miedzi i brązu ołowiowego. *Rysunek 13* przedstawia wpływ stosunku powierzchni anody i katody oraz odległości między nimi na szybkość korozji połączenia stali nierdzewnej ze stalą węglową. Można zauważyć, że w środowisku o wysokim przewodnictwie odległość między katodą i anodą ma wpływ na szybkość korozji. Elementy metalowe mogą ulegać korozji galwanicznej nawet, jeżeli są od siebie oddalone pod warunkiem, że między nimi występuje elektrycznie przewodzące połączenie (na przykład przez zwykły grunt).

W systemach uzdatniania wody, gdzie wystąpi kontakt stali nierdzewnej z aktywnym węglem, powszechnie używanym w filtrach wodnych występuje ryzyko korozji ogólnej. W niektórych przypadkach luźne cząstki materiału filtracyjnego mogą mieć kontakt ze stalą nierdzewną. Duża powierzchnia styku takich cząstek może oddziaływać jak katoda i przesuwać polaryza-



*Rysunek 13:* Wpływ stosunku powierzchni anody i katody oraz odległości między nimi na szybkość korozji stali węglowej stykającej się ze stalą nierdzewną w środowisku wody morskiej (trwale zanurzenie w Morzu Północnym).

cję stali nierdzewnej w kierunku wartości dodatnich z 200 do 300 mV. Takie przesunięcie może wywołać korozję szczelinową i wżerową gatunków ferrytycznych i nierdzewnych stali austenitycznych bez dodatku molibdenu, nawet w środowisku o niskim stężeniu chlorków. Przykład takiego procesu przedstawiono na *rysunku 14*. Uszkodzenia korozyjne w zakładach wodociągowych w niektórych zbiornikach z wodą zasilającą o średnim stężeniu chlorków 150 mg/L występowały głównie w elementach złącznych ze stali nierdzewnej łączących płytę podstawy filtra ze zbrojonym betonem. Korozję wżerową i szczelinową obserwowano jedynie w zbiornikach filtracyjnych, w których zastosowano aktywny węgiel i mógł on mieć kontakt z elementami złącznymi podczas operacji płukania. Na różne podzespoły i elementy złączne zastosowano stale 1.4301, 1.4571 i 1.4401, ale raz przez pomyłkę użyto ferrytycznej stali nierdzewnej gatunku 1.4016. Nie jest zaskakujące, że był on najbardziej zaatakowany przez korozję.

Rysunek 14:  
Korozja galwaniczna elementów złącznych ze stali nierdzewnej w zbiorniku filtracyjnym, w instalacji uzdatniania wody, gdzie zastosowano aktywny węgiel: złącze (po lewej) i rozmontowana śruba kołtująca ze stali nierdzewnej 1.4016 (po prawej) wykazują znaczny ubytek materiału w wyniku korozji.



## 4.2 Elementy pracujące w warunkach atmosferycznych

Pomimo, że elektrolit jest typowo na stałe obecny w przewodach i zbiornikach na medium wodne to niekoniecznie jest to przypadek elementów pracujących w warunkach atmosferycznych. W takich warunkach korozja może wystąpić jedynie podczas wystawienia na działanie wilgoci. Powierzchnia niekoniecznie musi mieć bezpośredni styk z deszczem lub pryskającą wodą. Często na powierzchni w wyniku absorpcji pary wodnej z powietrza może powstać mikroskopowa warstwa wilgoci lub też wystąpić widoczna kondensacja. Zanieczyszczenia i higroskopijne osady obecne na powierzchni mogą mieć znaczący wpływ na czas trwania takiej warstwy wilgoci. Słabe napowietrzenie szczelin, np. pod podkładkami lub między blachami łączonymi na zakładkę może doprowadzić do praktycznie trwałej obecności wilgoci. W przeciwieństwie do korozji elementów w systemach wodnych, powstałe ogniwka mogą obejmować bardzo ograniczoną powierzchnię. Dwa materiały oddziałują na siebie w bardzo ograniczonej strefie wzdłuż linii styku, bez wystąpienia dużej powierzchni styku, która odgrywa decydującą rolę. W tym przypadku stosunek powierzch-

ni ma ograniczony wpływ, więc dobrze znane zasady stosunku powierzchni nie obowiązują.

Ze względu na ograniczony zasięg ogniwka w warunkach atmosferycznych, aby zapobiec korozji galwanicznej wystarcza zwykle zakrycie stali nierdzewnej na wąskim obszarze wzdłuż linii styku.

Trwale wilgotne obszary szczelin między stalą nierdzewną i mniej szlachetnymi materiałami takim jak aluminium, cynk lub elementy ocynkowane mogą stanowić problem. Sprawdzone środkiem zapobiegawczym są elastyczne uszczelnienia wypełniające szczelinę. Uszczelnienia podatne na wzrost kruchości i pękanie wewnątrz szczeliny mogą jednak pogorszyć sytuację.

W *tablicy 7* zawarto dane o kompatybilności różnych materiałów w warunkach atmosferycznych.



### 4.3 Stal nierdzewna w budownictwie i konstrukcjach

Użycie stali nierdzewnych w budownictwie i konstrukcjach ciągle wzrasta. Poza możliwościami wzornictwa architektonicznego jest ona łatwa w obróbce i wykazuje wysoką odporność na korozję. Stale nierdzewne są stosowane na liczne powierzchnie, elementy konstrukcyjne oraz złączne (np. śruby). Najczęściej stosowane są gatunki typu 18/8 CrNi i 17/12/2 CrNiMo – ten drugi zwłaszcza na wysokiej jakości powierzchni użytkowane w środowisku przemysłowym i miejskim lub elementy konstrukcyjne takie jak podpory elewacji. Często trudno jest uniknąć połączenia stali nierdzewnej z innymi materiałami metalowymi. Zjawiska korozyjne zależą w szczególności od czynników projektowych: od wielkości powierzchni zwilżanej przez deszcz lub skraplanie, czy jest to środowisko zewnętrzne czy wewnętrzne, a wzajemne oddziaływanie metali nie ma dużego zasięgu i nabie-

ra znaczenia jedynie w pobliżu obszaru wzdłuż linii styku.

W elementach wystawionych na działanie atmosfery zewnętrznej czas zwilżania jest czynnikiem kluczowym. Sporadyczne i krótkookresowe oddziaływanie wilgoci zwykle nie powoduje korozji galwanicznej. Na skutek tego wszystkie czynniki projektowe nabierają dużego znaczenia. Czynniki sprzyjające szybkiemu osuszaniu warstwy wilgoci (dobre napowietrzenie, brak szczelin, swobodny spływ wody deszczowej, gładkie powierzchnie) ograniczają ryzyko korozji. Jednak, obszary trwale zawilgocone (w szczelinach lub miejscach osłoniętych), zalegająca woda i zanieczyszczenia mogą zwiększyć ryzyko korozji galwanicznej. Elementy zewnętrzne, z których deszcz usuwa zanieczyszczenia, o dobrym napowietrzeniu, przez co szybko schną są mniej podatne na korozję niż elementy osłonięte, które pomimo ochrony przed deszczem pozostają wilgotne przez dłuższy czas i na ich powierzchni zbierają się zanieczyszczenia.

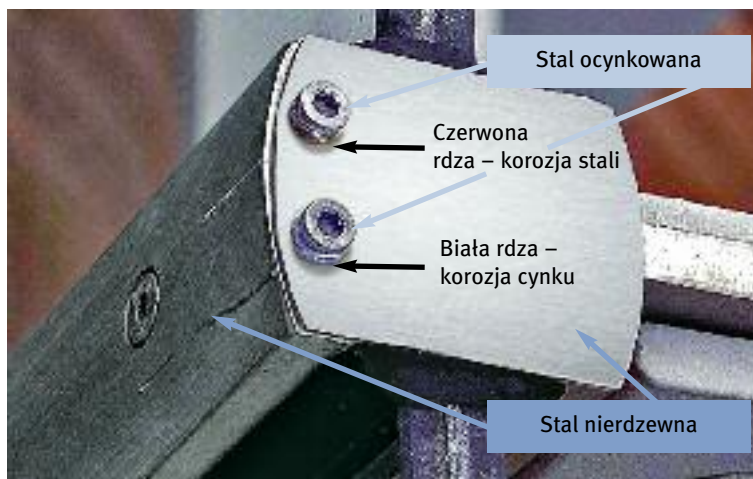
Tablica 7: Kompatybilność materiałów w powietrzu atmosferycznym.

Materiał o dużej powierzchni		Materiał o małej powierzchni				
		Stal węglowa / żeliwo	Zn / stal ocynkowana	Al	Cu	Stal nierdzewna
	Stal węglowa / żeliwo	+	-	-	+	+
	Zn / stal ocynkowana	+	+	+	o	+
	Al	o / -	o	+	o / -	+
	Cu	-	-	-	+	+
	Stal nierdzewna	-	-	o / -	+	+

Legenda: + dobra o niepewna - słaba

\* Łączenie tych materiałów ma niewielki wpływ na przyspieszenie korozji, ale ich połączenie nie jest zalecane z powodu wysokiej szybkości korozji własnej materiału mniej szlachetnego w takiej parze.

Rysunek 15:  
Połączenie pokrywy ze stali nierdzewnej (element elewacji) przy użyciu ocynkowanych śrub: śruby wykazują białą rdzę i początki przebarwień (korozja stali) po roku eksploatacji w atmosferze miejskiej.



Pomimo, że stosunek powierzchni ma ograniczone znaczenie w ustaleniu niebezpieczeństwa korozji to należy unikać projektów, w których występuje mała anoda i relatywnie duża katoda. W takim przypadku korozja galwaniczna może wystąpić nawet w dobrze napowietrzonych obszarach.

Rysunek 15 przedstawia przykład. Górne zakończenie poziomego profilu ze stali nierdzewnej w elewacji ze stali i szkła zostało skręcone dwoma ocynkowanymi śrubami. Począwszy od szczeliny między pokrywą i śrubami widoczna jest biała rdza a na pewnym obszarze nawet korozja materiału bazowego. Zjawiska te zaobserwowano tylko po około 12 miesiącach eksploatacji, co pokazuje, że nie jest to trwałe rozwiązanie. Ocynkowane śruby powinny być zastąpione elementami ze stali nierdzewnej.

W technice dachowej, zarówno podczas remontów jak i w nowych budynkach do łączenia innych materiałów metalowych lub materiałów z powłokami metalicznymi stosuje się głównie elementy złączne ze stali nierdzewnej. W takich połączeniach materiałów z powodu korzystnego stosunku powierzchni anody i katody ogólnie nie wystę-

puje ryzyko korozji. Podczas naprawy dachów nie jest również niezwykle łączenie większych powierzchni stali nierdzewnej z innymi metalami. Takie połączenie można także uznać za bezpieczne chyba, że stosunek powierzchni między stalą nierdzewną i aluminium lub ocynkowaną stalą znacznie przekracza 1:1.

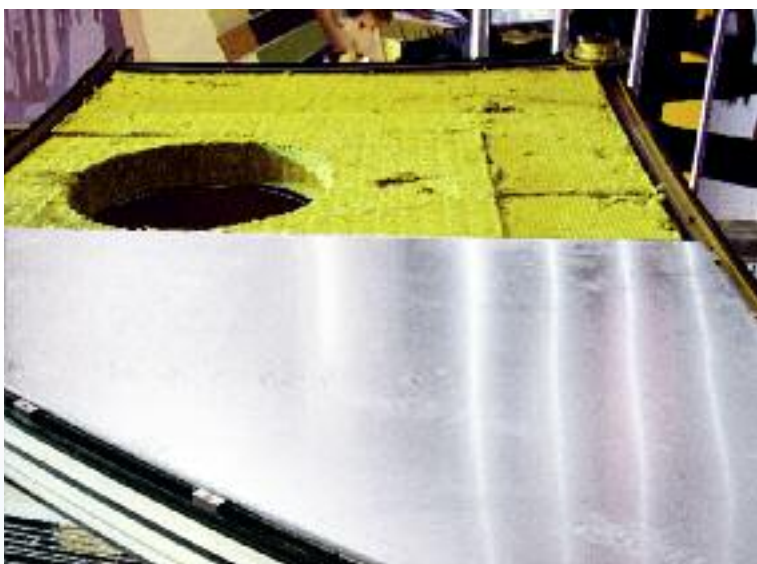
Rysunki od 16 do 19 przedstawiają praktyczne przykłady efektywnego zapobiegania korozji galwanicznej w różnych elementach elewacji budynków.



Rysunek 16:  
Połączenie zewnętrznych paneli ze stali nierdzewnej do szkieletu ze stali węglowej w konstrukcji Atomium, Bruksela.



Rysunek 17:  
Panel zewnętrzny ze stali nierdzewnej jest odizolowany od wewnętrznej konstrukcji nośnej ze stali ocynkowanej przez odpowiednio uszczelnione złącze.



Rysunek 18:  
Wytwarzanie izolowanych paneli, gdzie zewnętrzne poszycie stanowi stal nierdzewna a płaszcz wewnętrzny ocynkowana stal węglowa.



Rysunek 19:  
W celu ochrony przed korozją galwaniczną, okładzina ze stali nierdzewnej jest łączona do wewnętrznej konstrukcji nośnej ze stali węglowej jedynie w obszarach gdzie nie występuje wilgoć.



*Rysunek 20:  
Samochodowe układy  
wydechowe są zwykle  
wytwarzane ze stali  
nierdzewnej. Gumowe  
elementy połączeń  
przeciwdziałają korozji  
galwanicznej.*

*Rysunek 21:  
Stal nierdzewna jest co-  
raz częściej stosowana  
na zbiorniki paliwa.  
Połączenie mocujące  
zbiornik zapewnia  
przerwę w przewodności  
elektrycznej złącza.*



#### 4.4 Stal nierdzewna w zastosowaniach transportowych

W samochodach osobowych oraz innych pojazdach drogowych stale nierdzewne (gatunki ferrytyczne o stężeniu 12-18 % chromu i gatunki austenityczne z około 18 % chromu) są stosowane na opaski dekoracyjne, systemy wydechowe (*Rysunek 20*), zbiorniki paliwa (*Rysunek 21*) oraz coraz częściej na elementy nadwozi. W zastosowaniach kolejowych zwykle stosuje się gatunki ferrytyczne w połączeniu z warstwami ochronnymi (*Rysunki 22, 23, 24*). Istnieje także długa tradycja stosowania austenitycznej stali nierdzewnej w wagonach kolejowych (*Rysunek 25*), w wielu częściach świata, bez problemów związanych z korozją galwaniczną.



*Rysunek 22:  
Proste techniki uszczelniania sprawiają, że nadwozia tramwajów z ferrytycznej stali nierdzewnych są kompatybilne z podwoziem ze stali węglowej.*

*Rysunek 23:  
Konstrukcja ściany bocznej i panele zewnętrzne poszycia wagonu osobowego są wykonane z różnych gatunków stali nierdzewnej. Wykazują one jednakowy potencjał, dlatego korozja galwaniczna nie wystąpi.*



*Rysunek 24:  
Stale nierdzewne (zwykle malowane gatunki stali ferrytycznych) użyte do budowy autobusów oraz wagonów dowiodły kompatybilności z podwoziami ze stali węglowych.*

W takich zastosowaniach należy także unikać szczelin między elementami ze stali nierdzewnej i mniej szlachetnymi materiałami, które mogą ulegać korozji z powodu zanieczyszczeń i wilgotności. Kolejny raz szczeliny mogą być wypełnione odpowiednim polimerem. Innym efektywnym środkiem ostrożności przeciw korozji galwanicznej w zastosowaniach transportowych jest stosowanie lokalnych warstw ochronnych w miejscach styku od strony stali nierdzewnej.



*Rysunek 25:  
Wagony kolejowe o zewnętrznym poszyciu z austenitycznej stali nierdzewnej są z powodzeniem stosowane, w wielu częściach świata, bez problemów związanych z korozją galwaniczną.*

## Najczęściej zadawane pytania

### Pytanie:

Czy połączenie stali nierdzewnych o różnym składzie chemicznym powoduje ryzyko korozji galwanicznej?

### Odpowiedź:

Między stalami nierdzewnymi różnego typu (także między stopami o różnej odporności korozyjnej) zwykle nie występuje ko-

rozdzielony na korozję w rozpatrywanych warunkach (*Rysunek 26*).

### Pytanie:

Czy można stosować połączenia stali nierdzewnej z miedzią lub ocynkowaną stalą w domowych systemach wodociągowych?

### Odpowiedź:

Nie należy się spodziewać problemów podczas łączenia stali nierdzewnej z miedzią w instalacjach wodociągowych, ponieważ oba materiały w wodzie pitnej mają podobny potencjał korozyjny. Elementy instalacji wodociągowych ze stali ocynkowanej ognio-wo mogą być także łączone ze stalą nierdzewną, ale zleca się stosować złączki rurowe z miedzi i stopów cynku lub tombaku.

Rysunek 26:

*Między różnymi typami stali nierdzewnych nie wystąpi korozja galwaniczna nawet, jeżeli nie mają one takiej samej odporności korozyjnej.*



rozdzielony na korozję galwaniczną, ponieważ potencjały korozyjne obu stykających się metali są identyczne. Jednak odporność korozyjna każdego ze stopów musi być rozpatrywana indywidualnie. Materiał o niższej odporności korozyjnej musi być również wystarczająco

### Pytanie:

Czy pręt zbrojeniowy ze stali nierdzewnej może być połączony ze stalą węglową w zbrojonym betonie?

### Odpowiedź:

Tak, dla zbrojeń ze stali węglowej takie połączenie zwykle nie zwiększa korozji, ponieważ ich potencjały korozyjne są identycz-

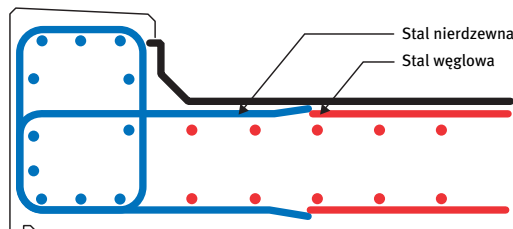
ne. Takie połączenie może być stosowane dla zapobiegania korozji, gdy zbrojenie wnika w beton lub ma styk z rurami. Połączenie musi być dobrze zatopione w betonie z minimalną grubością warstwy betonu na 3 cm. Jeżeli pręty zbrojeniowe ze stali węglowej znajdują się w stanie aktywnym (to znaczy uległy depastywacji pod wpływem jonów chlorkowych lub karbonatyzacji betonu) to może wystąpić korozja galwaniczna. Jednak w większości przypadków takie oddziaływanie jest słabsze niż w wyniku nieuchronnego powstawania ogniw galwanicznych między aktywnymi i pasywnymi prętami zbrojenia ze stali węglowej (korozja galwaniczna w wyniku ogniw aktywacyjno-pasywnego), podczas gdy katodowa wydajność stali nierdzewnej jest dużo niższa niż stali węglowej (Rysunek 27).

**Pytanie:**

Czy podkładki wykonane z izolacyjnego polimeru efektywnie zapobiegają korozji kontaktowej połączeń mechanicznych?

**Odpowiedź:**

Takie połączenie nie przerywa styku mię-



Rysunek 27:

Zbrojenie ze stali nierdzewnej może być łączone ze stalą węglową bez ryzyka korozji galwanicznej, jeżeli zapewniona jest minimalna grubość warstwy betonu oraz stal węglowa znajduje się w stanie pasywnym.

dzy materiałami w obszarze gwintu, więc podkładki mogą być zalecane, podczas gdy powierzchnie bardziej narażone na korozję powinny być dodatkowo chronione.

**Pytanie:**

Czy zakończenia rur balustrady ze stali nierdzewnej mogą być przytwierdzone do słupków ze stali węglowej?

**Odpowiedź:**

Jeżeli projekt konstrukcji zapobiega długotrwałej akumulacji elektrolitu (na przykład deszczu lub topniejącego śniegu) takie połączenie jest akceptowalne. W przeciwnym razie należy zastosować plastikowe tulejki.

## 5 Zapobieganie korozji galwanicznej

Oczywistym sposobem zapobiegania korozji galwanicznej jest dobór w fazie projektowej odpowiednio kompatybilnych materiałów. Jeżeli użyte materiały mogą ze sobą reagować to należy zastosować odpowiednie warstwy ochronne - izolacyjne. Scharakteryzowano je w rozdziale 2. Na *rysunku 3* przedstawiono praktyczne przykłady:

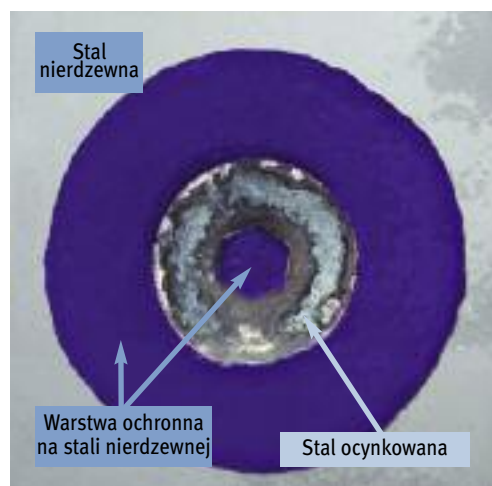
- Elektrycznej izolacji elementów (izolator, plastikowe tulejki lub poliamidowe podkładki),
- Umieszczenia złącza w obszarze, gdzie nie występuje wilgoć,
- Nanoszenia warstwy ochronnej na katodę lub anodę i katodę (zarówno na dużych powierzchniach jak i lokalnie w pobliżu złącza).

Należy zaznaczyć, że umieszczenie warstwy ochronnej jedynie na anodzie nie zapobiega korozji galwanicznej. Niedoskonałości warstwy ochronnej lub jej miejscowe uszkodzenia, których jest trudno uniknąć na placu budowy są czynnikiem krytycznym dla powstania korozji. Każde uszkodzenie warstwy

ochronnej odstawia anodę o małej powierzchni, która może szybko korodować.

W złączach dla ograniczenia katodowego oddziaływania części ze stali nierdzewnej często wystarcza pokryć warstwą ochronną stal nierdzewną jedynie w okolicach połączenia (*Rysunek 28*). Szerokość strefy, jaką należy pokryć zależy od przewodności środowiska korozyjnego. Elementy wystawione na działanie zwykłej atmosfery otoczenia, przy raczej słabo przewodzącej warstwie elektrolitu wystarczy pokryć wzdłuż linii styku na szerokości tylko kilku centymetrów po stronie stali nierdzewnej. Dla ciekłych, słonych elektrolitów o grubości kilku milimetrów, efektywny obszar katodowy staje się szeroki na 10 cm.

*Rysunek 28:*  
Zapobieganie korozji galwanicznej stali ocynkowanej przez zastosowanie warstwy ochronnej na niewielkim obszarze od strony stali nierdzewnej. Rezultaty po 48 godzinach badań w mgie solnej: bez warstwy ochronnej, korozja galwaniczna powoduje rdzę (po lewej) oraz stal nierdzewna z warstwą ochronną w strefie styku zapobiega korozji galwanicznej (po prawej).





## 6 Literatura

- [1] DIN EN ISO 8044,  
Ausgabe:1999-11  
Korrosion von Metallen und  
Legierungen – Grundbegriffe  
und Definitionen
- [2] PN-EN 12502, Części 1-5, Ochrona  
materiałów metalowych przed korozją,  
Wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia  
korozji w systemach rozprowadzania i  
magazynowania wody.
- [3] H. Gräfen,  
"Korrosionsschutz durch  
Information und Normung"  
Kommentar zum DIN-Taschenbuch  
219, Verlag Irene Kuron, Bonn (1988)  
S. 37
- [4] H. Spähn, K. Fäßler  
"Kontaktkorrosion"  
Werkstoffe und Korrosion 17 (1966)  
S. 321
- [5] D. Kuron  
"Aufstellung von Kontaktkorrosions-  
tabellen für Werkstoffkombinationen  
in Wässern"  
Werkstoffe und Korrosion 36 (1985)  
S. 173
- [6] D. Kuron, E.-M. Horn, H. Gräfen  
"Praktische elektrochemische  
Kontaktkorrosionstabellen von  
Konstruktionswerkstoffen des Chemie-  
Apparatebaues"  
Metalloberfläche 26  
(1967) Nr. 2, S. 38
- [7] H. Spähn, K. Fäßler  
"Kontaktkorrosion im  
Maschinen- und Apparatebau"  
Der Maschinen Schaden 40 (1967)  
Nr. 3, S. 81
- [8] W. Schwenk  
"Probleme der Kontaktkorrosion"  
Metalloberfläche 35  
(1981) Nr. 5, S. 158
- [9] K.-H. Wiedemann, B. Gerodetti, R.  
Dietiker, P. Gritsch  
"Automatische Ermittlung von  
Kontaktkorrosionsdaten und ihre  
Auswertung mittels  
Polarisationsdiagrammen"  
Werkstoffe und Korrosion 29 (1978)  
S. 27
- [10] E. Hargarter, H. Sass  
"Kontaktkorrosion zwischen verschie-  
denen Werkstoffen in Meerwasser"  
Jahrbuch der Schiffbautechnischen  
Gesellschaft 80  
(1986) S. 105
- [11] R. Francis  
"Galvanic Corrosion:  
a Practical Guide for Engineers"  
NACE International (2001)  
Houston Texas 77084  
ISBN 1 57590 110 2
- [12] GfKorr-Merkblatt 1.013  
"Korrosionsschutzgerechte  
Konstruktion"  
(2005)
- [13] Allgemeine bauaufsichtliche  
Zulassung Z-30.3-6  
"Erzeugnisse, Verbindungsmittel und  
Bauteile aus nichtrostenden Stählen"  
(jeweils gültige Fassung)  
Sonderdruck 862 der Infor-  
mationsstelle Edelstahl Rostfrei



ISBN 978-2-87997-328-9