

Prezentacja dla wykładowców  
architektury i budownictwa

**Rozdział 05:**  
**Odporność korozyjna**  
**stali nierdzewnych**

# Spis treści

1. Większość materiałów z czasem ulega zniszczeniu
2. Dlaczego stale nierdzewne opierają się korozji
3. Typy korozji stali nierdzewnych
4. Jak dobrać stal nierdzewną o odpowiedniej odporności korozyjnej
  - Zastosowania konstrukcyjne
  - Inne zastosowania
5. Źródła

1. Większość materiałów  
z czasem ulega zniszczeniu

# Większość materiałów z czasem ulega zniszczeniu

Materiał	Drewno	Stal	Beton
			
Typ zniszczenia	Grzyby Owady Słońce + deszcz	Rdza	Pękanie/ Kruszenie się
Działania łagodzące skutki	Chemikalia Farby/lakiery	Galwanizacja Malowanie	Odporne na korozję pręty zbrojeniowe

# Większość materiałów z czasem ulega zniszczeniu

Materiał	Kamień	Szkło	Polimery
			
Typ zniszczenia	Zużycie Uszkodzenia spowodowane zanieczyszczeniem	Pękanie	Kruchość pod wpływem światła UV
Działania łagodzące skutki	Zwykle niepodjęmowane	Szkło hartowane	Ulepszone typy materiałów polimerowych

# Większość materiałów z czasem ulega zniszczeniu

Materiał	Aluminium*	Miedź	Stal nierdzewna
			
Typ zniszczenia	Korozja wżerowa, możliwa korozja galwaniczna	Z czasem powstaje zielona patyna	Brak niszczenia
Działania łagodzące skutki	Korozji galwanicznej można zapobiec	Brak	Nie wymagane

\* Na powierzchni aluminium powstaje cienka warstwa ochronnych tlenków – tak jak na stali nierdzewnej, lecz o dużo niższej odporności korozyjnej

# Korozja betonu

(zjawiska korozyjne nie ograniczają się jedynie do powierzchni zewnętrznej!)



Image courtesy of Arminox Stainless



Stal nierdzewna wewnątrz betonu zapewnia zarówno wytrzymałość, jak i odporność korozyjną, umożliwiając długotrwałe użytkowanie bez konieczności konserwacji konstrukcji.

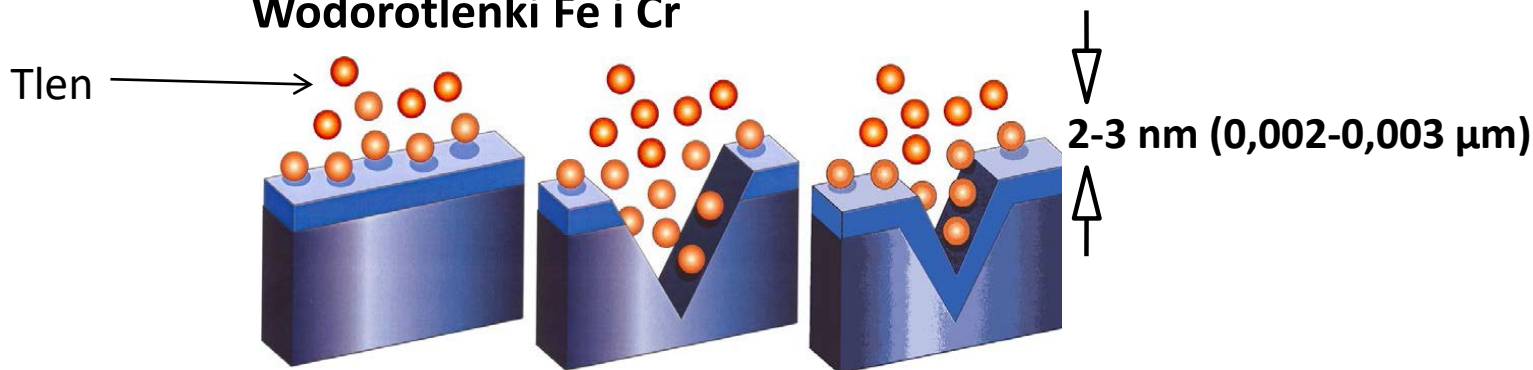
- Korozja niezabezpieczonej stali węglowej zachodzi nawet wewnątrz konstrukcji ze zbrojonego betonu pod wpływem chlorków obecnych w środowisku (morskim/stosowania soli drogowej), które przenikają przez beton.
- Produkty korozji (rdza) posiadają większą objętość od metalu, a powstające naprężenia wewnętrzne powodują kruszenie się otuliny betonowej.
- Działania łagodzące skutki korozji prętów zbrojeniowych w betonie to konieczność.
- Stosuje się różne techniki: grubsza pokrywa betonowa, ochrona katodowa, membrany, powłoki epoksydowe... i stale nierdzewne zamiast stali węglowych.

## 2. Dlaczego stale nierdzewne opierają się korozji



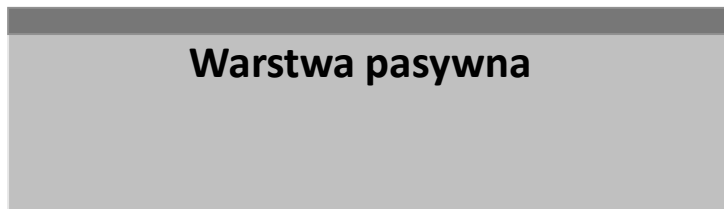
# Warstwa pasywna w porównaniu do powłok malarskich

**WARSTWA PASYWNA:**  
Wodorotlenki Fe i Cr

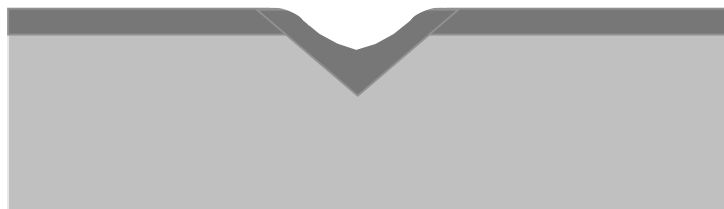


# Zniszczenie warstwy ochronnej

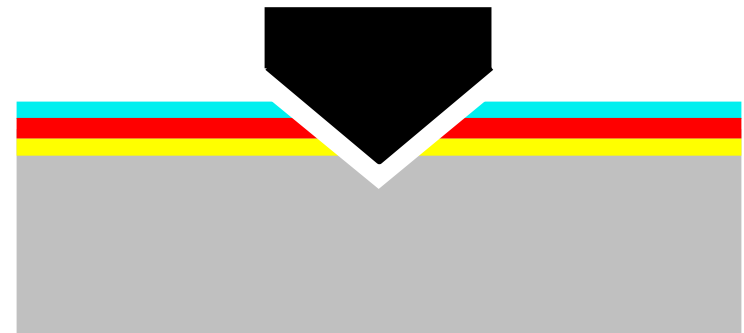
## Stal nierdzewna



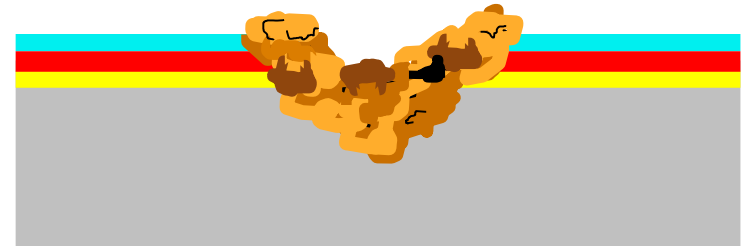
## Samoczynna naprawa



## Stal węglowa



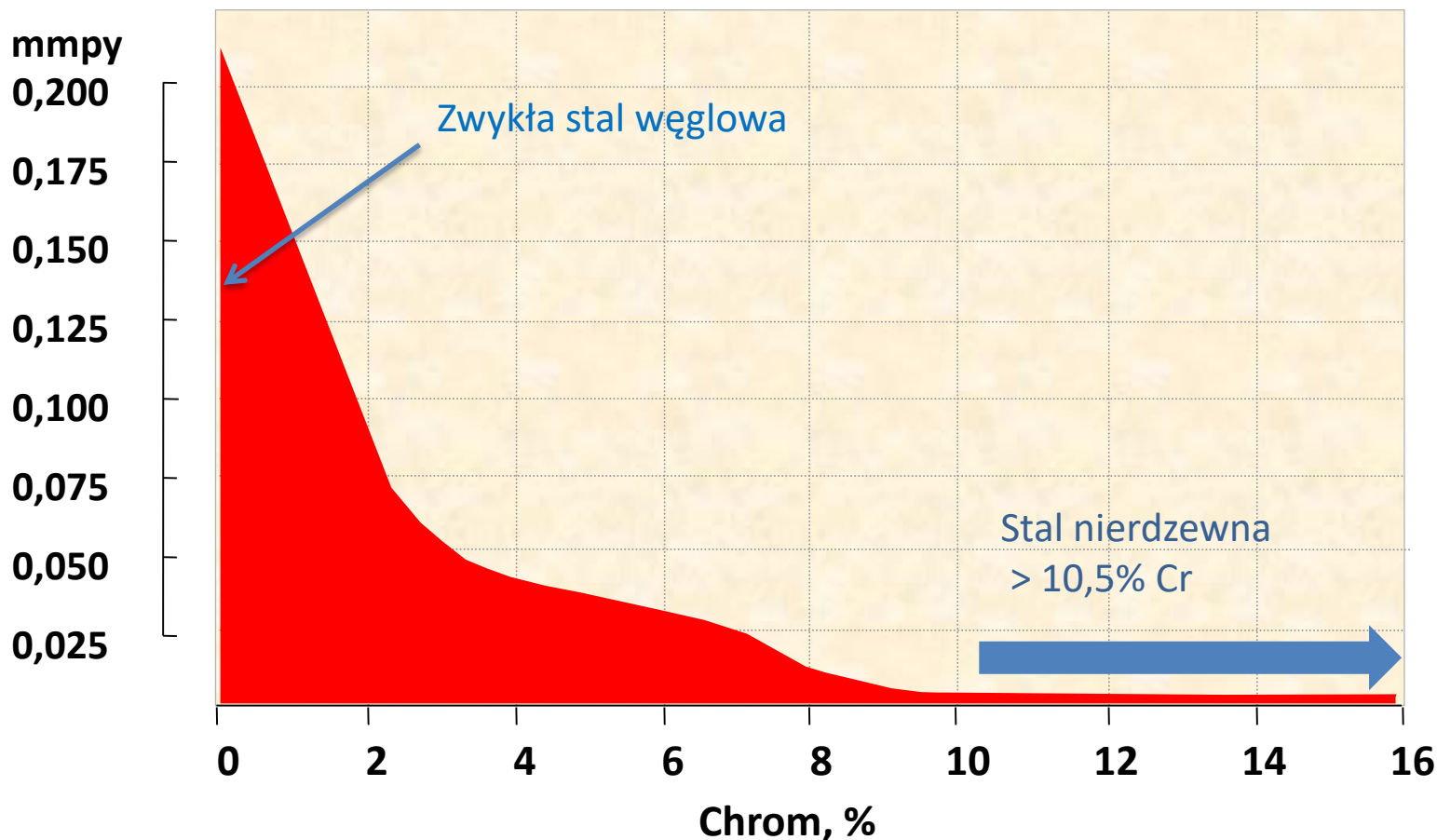
## Produkty korozji



# 3. Typy korozji stali nierdzewnych

# Wpływ zawartości chromu na odporność na korozję atmosferyczną (korozję równomierną)

Szybkość korozji



Gdy wybór gatunku stali nierdzewnej nie został wykonany prawidłowo, może wystąpić korozja

...żaden materiał nie jest idealny!

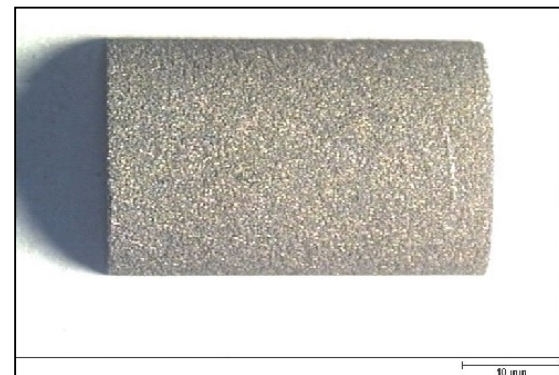
Myśleć o tym jak o wyborze właściwego pojazdu do planowanego użytku

# Typy korozji stali nierdzewnych

- a) Równomierna (ogólna)
- b) Wżerowa
- c) Szczelinowa
- d) Galwaniczna
- e) Międzykrystaliczna
- f) Naprężeniowa (korozyjne pękanie naprężeniowe)

## a) co to jest korozja równomierna?

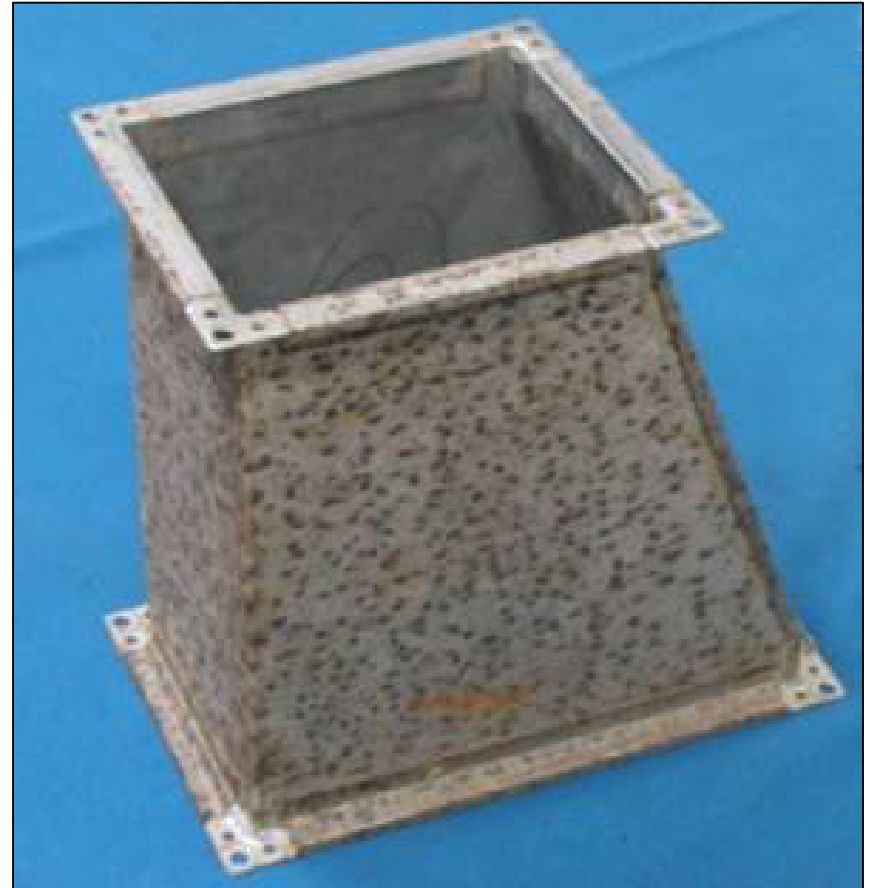
- Gdy warstwa pasywna ulegnie zniszczeniu pod wpływem środowiska korozyjnego cała powierzchnia ulega korozji równomiernie, co pozwala wyznaczyć szybkość ubytku metalu – szybkość korozji wyrażoną w  $\mu\text{m}/\text{rok}$ .
- Jest typowa dla niezabezpieczonych stali węglowych.
- Nie występuje w stalach nierdzewnych stosowanych w budownictwie, ponieważ warunki korozyjne nigdy nie są na tyle agresywne, aby ją wywołać (zachodzi typowo w środowiskach kwasów).



## b) co to jest korozja wżerowa<sup>1,2,3,7</sup>?

Korozja wżerowa (pitting) jest formą korozji lokalnej, która prowadzi do powstania na powierzchni materiału drobnych dziurek – wżerów.

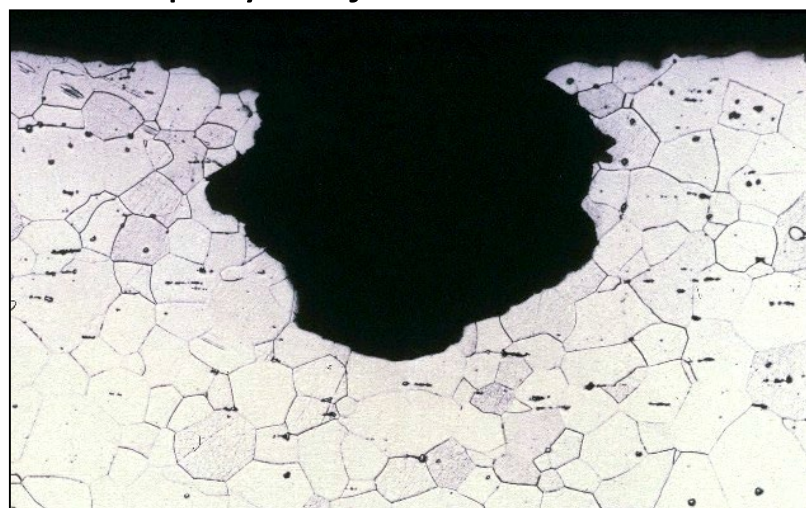
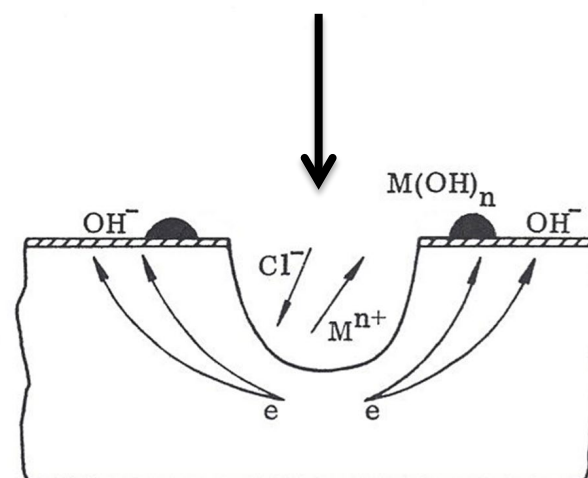
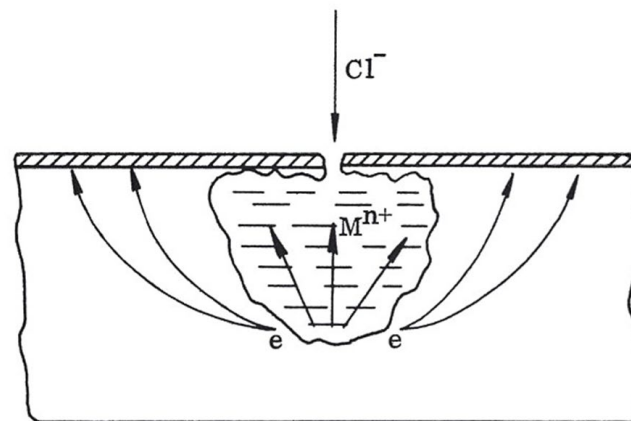
Na rysunku przedstawiono korozję wżerową stali nierdzewnej typu 1.4310 wynikającą z niedostatecznej odporności korozyjnej gatunku na bardzo agresywne środowisko zawierające chlorki.





# Mechanizm korozji wżerowej

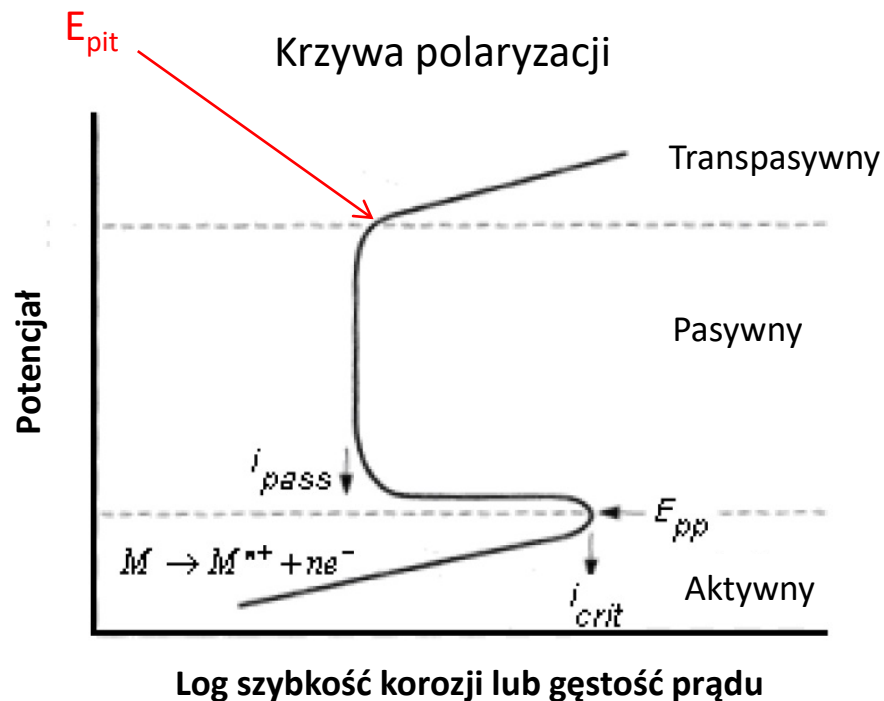
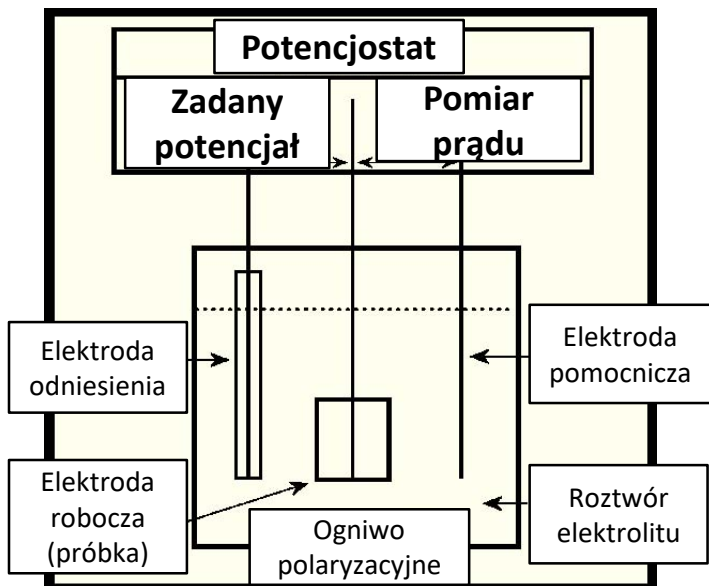
1. Zapoczątkowanie procesu korozji następuje w bardzo małych nieregularnościach powierzchni lub w obszarze wtrąceń niemetalicznych
2. Rozprzestrzenianie się korozji następuje w wyniku reakcji elektrochemicznych wewnątrz wżerów, gdzie nie dochodzi do repasywacji stali



# Korozję wżerową można symulować w badaniach elektrochemicznych<sup>4</sup>

- W trakcie korozji następuje rozpuszczanie metalu, to znaczy zachodzi proces elektrochemiczny związany z:
  - reakcjami elektrochemicznymi na powierzchni metalu oraz
  - przepływem prądu elektrycznego między korodującym metalem (anoda) i katodowym elementem.
- Proces korozji może być symulowany w ogniwie elektrochemicznym – układ służący do badań procesów korozyjnych.

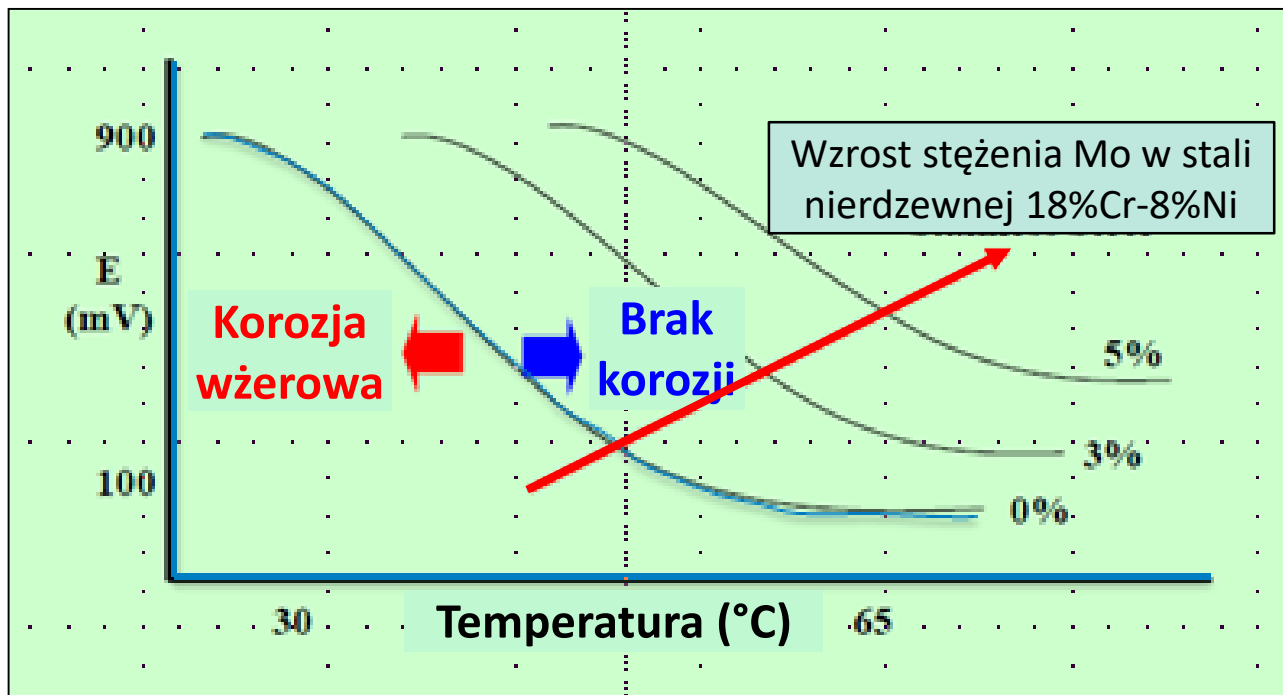
Ogniwo elektrochemiczne



# Główne czynniki wpływające na korozję wżerową<sup>1</sup>

(generalnie jako kryterium korozji wżerowej stosuje się potencjał korozyjny  $E_{pit}$ )

## 1. Temperatura



Wzrost temperatury drastycznie obniża odporność na korozję wżerową

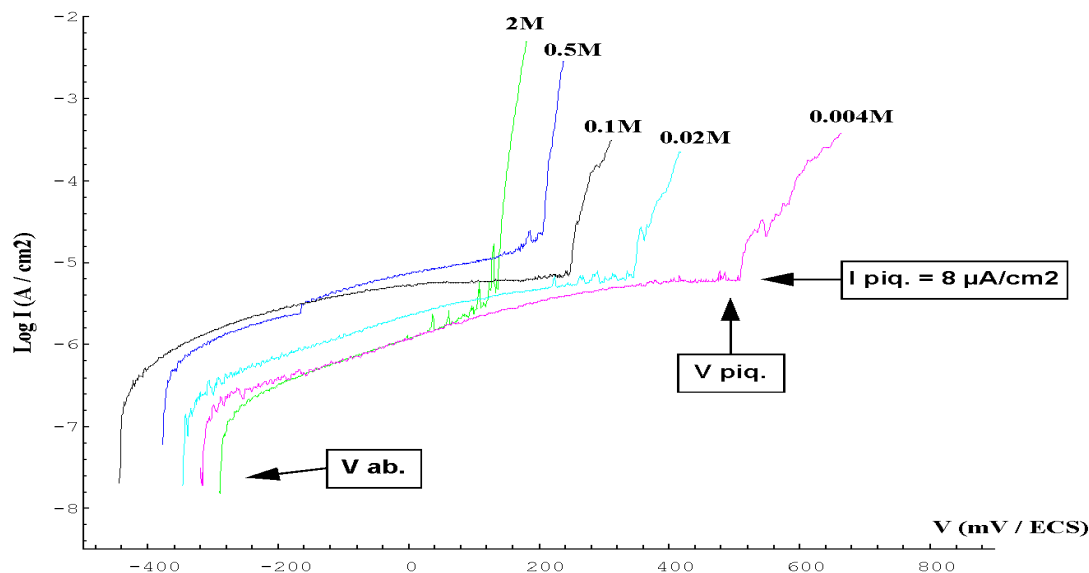
# Główne czynniki wpływające na korozję wżerową<sup>5</sup>

(generalnie jako kryterium korozji wżerowej stosuje się potencjał korozyjny  $E_{pit}$ )

## 2. Stężenie chlorków

Odporność na korozję wżerową zmniejsza się ze wzrostem stężenia  $Cl^-$  (logarytmu stężenia chlorków  $Cl^-$ )

$$E_{pit} = A \log [Cl^-] + B$$

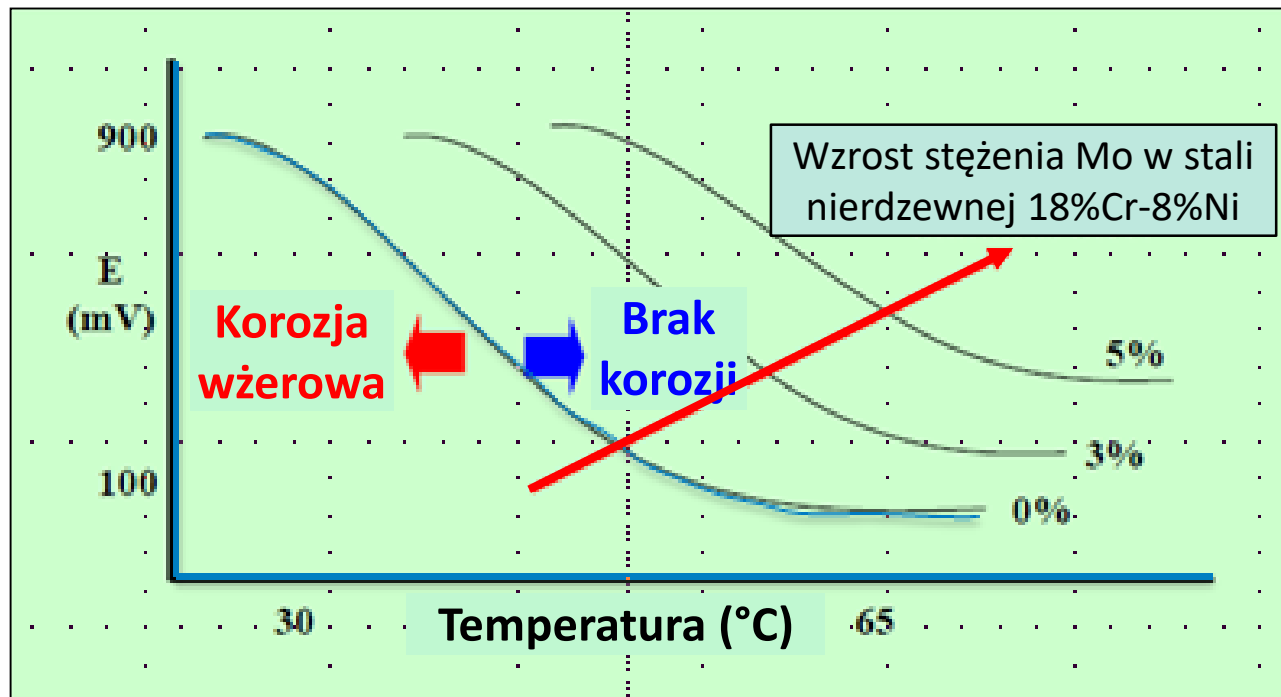


# Główne czynniki wpływające na korozję wżerową<sup>1</sup>

(generalnie jako kryterium korozji wżerowej stosuje się potencjał korozyjny  $E_{pit}$ )

## 3. Analiza stali nierdzewnych

Odporność na korozję wżerową wzrasta ze stężeniem niektórych pierwiastków stopowych: N, Mo, Cr



Oddziaływanie pierwiastków stopowych opisuje wskaźnik odporności na korozję wżerową PREN (Pitting Resistance Equivalent Number)

# Wskaźnik odporności na korozję wżerową PREN<sup>6</sup>

- Obliczając PREN możliwe jest porównanie gatunków stali nierdzewnych pod względem odporności na korozję wżerową. Wyższy numer oznacza wyższą odporność korozyjną.
- Nie można stosować tylko samego wskaźnika PREN do określenia, czy dany gatunek będzie nadawać się do danego zastosowania.

$PREN = Cr + 3.3Mo + 16N$ , gdzie

Cr = stężenie chromu

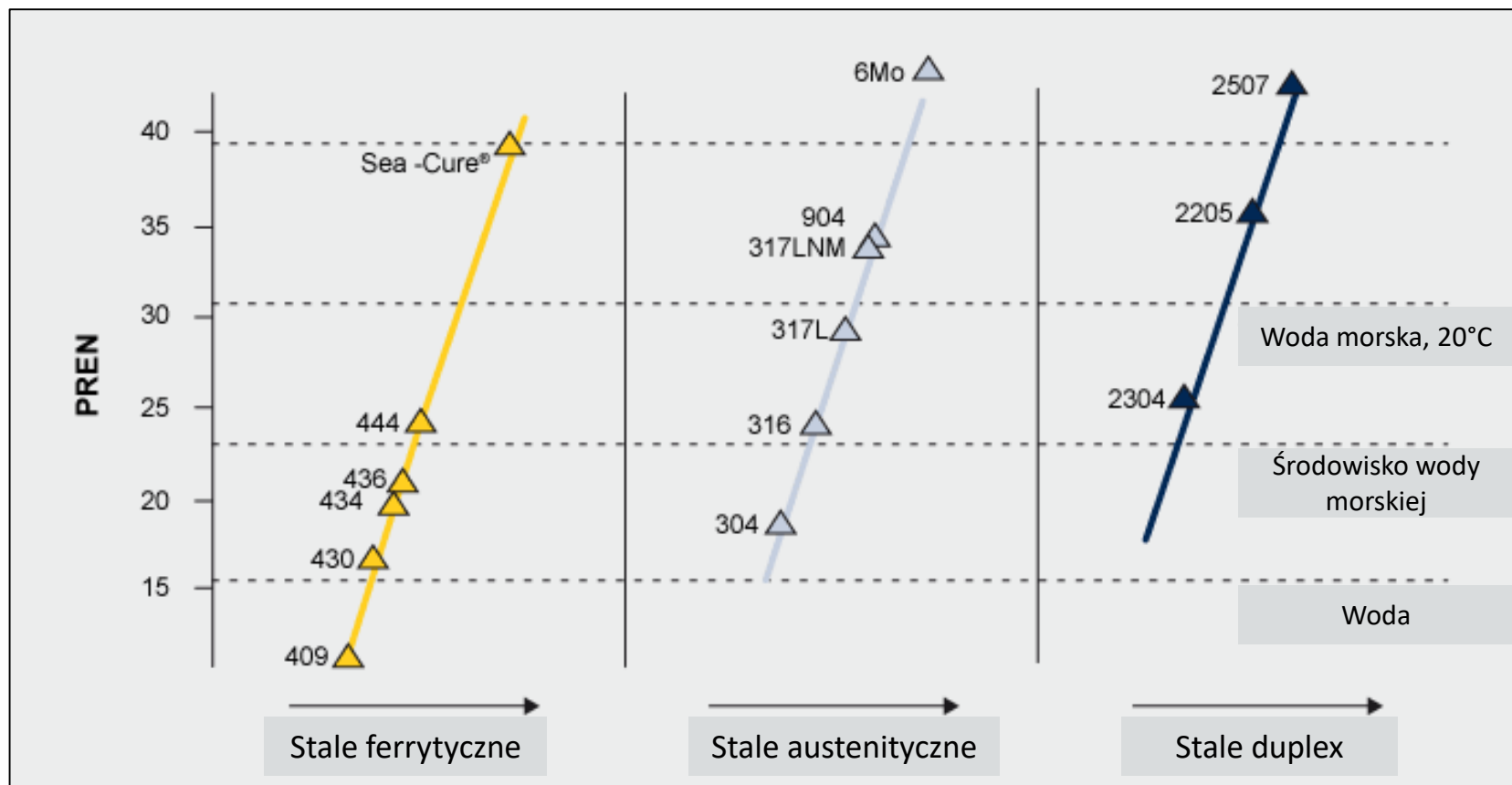
Mo = stężenie molibdenu

N = stężenie azotu

**Wskaźnik PREN nie uwzględnia Ni. Odporność stali nierdzewnej na korozję wżerową nie zależy od zawartości Ni. Zobacz następnny slajd.**

Gatunek stali	PREN
1.4003	10,5 - 12,5
1.4016	16,0 - 18,0
1.4301	17,5 - 20,8
1.4311	19,4 - 23,0
1.4401/4	23,1 - 28,5
1.4406	25,0 - 30,3
1.4439	31,6 - 38,5
1.4539	32,2 - 39,9
1.4547	42,2 - 47,6
1.4529	41,2 - 48,1
1.4362	23,1 - 29,2
1.4462	30,8 - 38,1
1.4410	➤ 40
1.4501	➤ 40

# Wskaźnik PREN niektórych popularnych gatunków stali <sup>9</sup>



Uwaga: porównaj załącznik z oznaczeniami gatunków wg EN

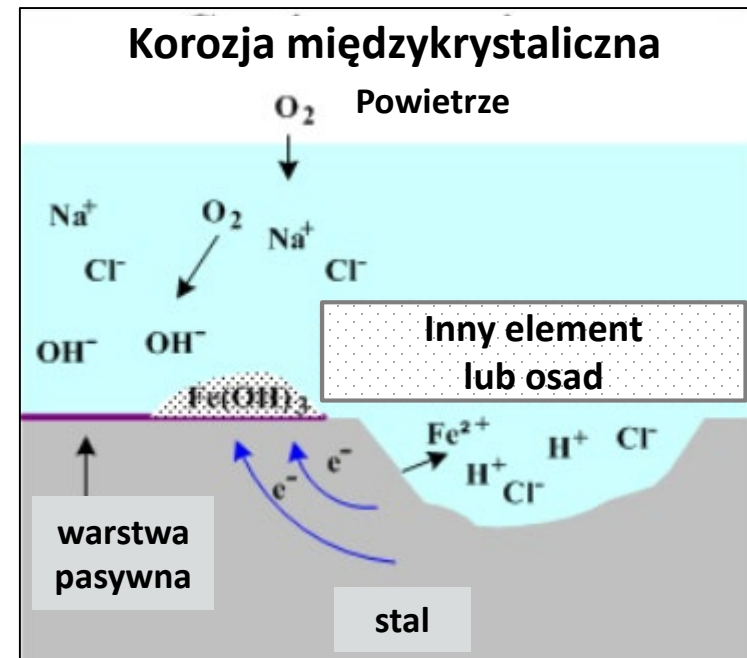
## c) Co to jest korozja szczelinowa<sup>1</sup>?

Korozja szczelinowa to korozja zachodząca w zamkniętych obszarach o utrudnionym dostępie medium roboczego. Takie obszary ogólnie nazywa się szczelinami. Przykładami szczelin są luki i powierzchnie styku między elementami, pod podkładkami i uszczelkami, wewnątrz pęknięć i rys, obszary wypełnione osadami oraz przestrzenie pod takimi osadami.



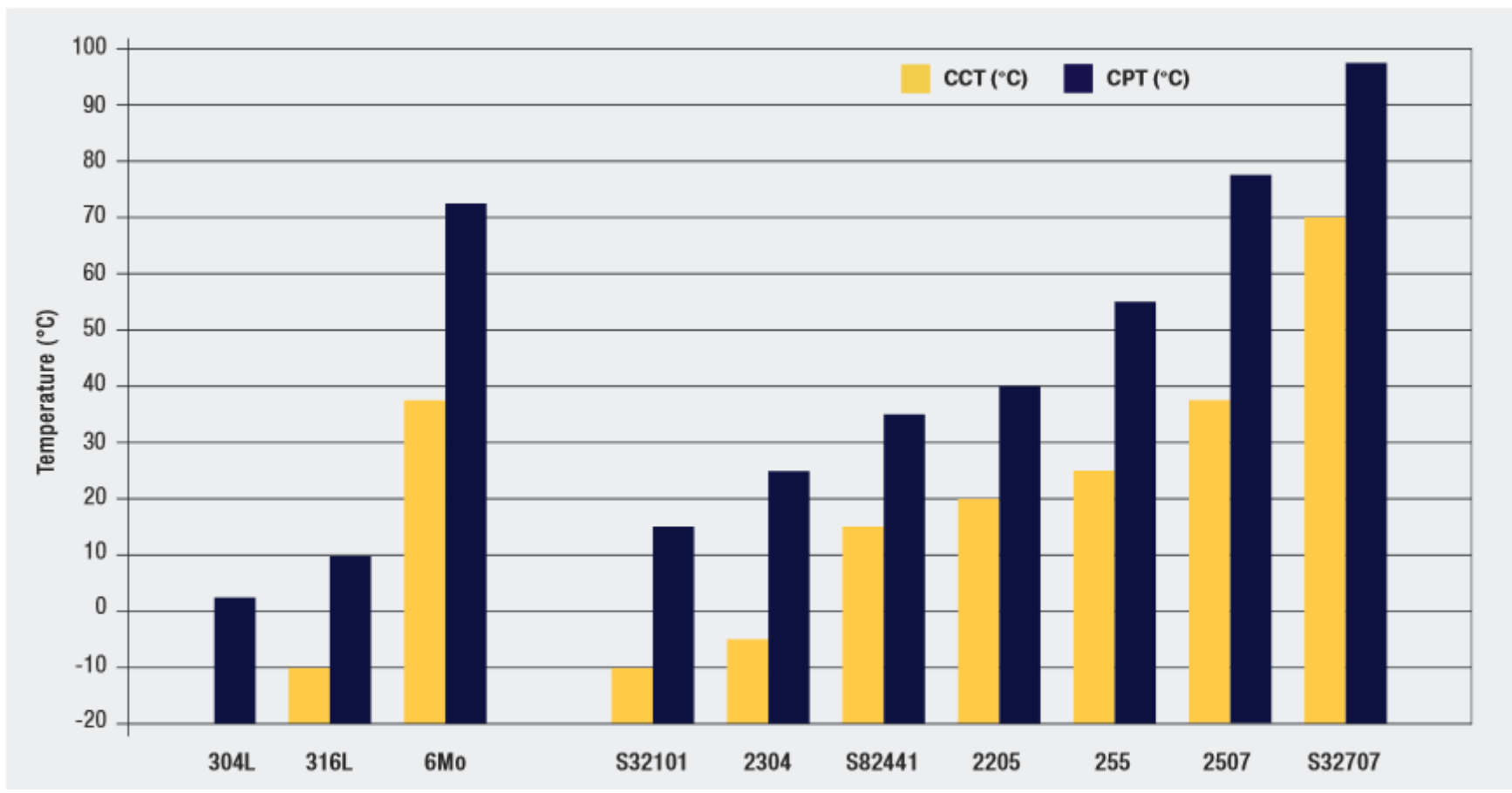
# Mechanizm korozji szczelinowej

- Początkowo brak różnicy między szczeliną a pozostałą powierzchnią.
- Sytuacja zmienia się, gdy obszar szczeliny zostaje zubożony w tlen.
- Dochodzi wtedy do reakcji elektrochemicznych wewnątrz szczeliny, co powoduje wzrost stężenia chlorków  $\text{Cl}^-$  i lokalne obniżenie pH do wartości, która uniemożliwia proces pasywacji.
- Następnie metal w szczelinie ulega korozji równomiernej.



# Temperatura krytyczna korozji wżerowej (CPT) i Temperatura krytyczna korozji szczelinowej (CCT) wybranych gatunków austenitycznych i duplex<sup>8</sup>

Uwaga: Wyższa temperatura oznacza lepszą odporność korozyjną



Rysunek 9. Temperatura krytyczna korozji wżerowej i szczelinowej niespawanych austenitycznych stali nierdzewnych (po lewej) i stali duplex (po prawej) w stanie po przesycaniu (określona w 6% chlorku żelaza zgodnie z ASTM G48).

Uwaga: porównaj załącznik z oznaczeniami gatunków wg EN

# Jak zapobiegać korozji szczelinowej

1. Optymalizacja projektu:
  - a) Stosować połączenia spawane,
  - b) Projektować zbiorniki gwarantujące pełne odprowadzenie cieczy.
2. Czyścić, aby usunąć osady (zawsze kiedy jest to możliwe).
3. Dobrać stal nierdzewną o odpowiedniej odporności korozyjnej (więcej w 4 części tego rozdziału).

## d) Co to jest korozja galwaniczna<sup>1</sup> (znana także jako korozja bimetaliczna)?

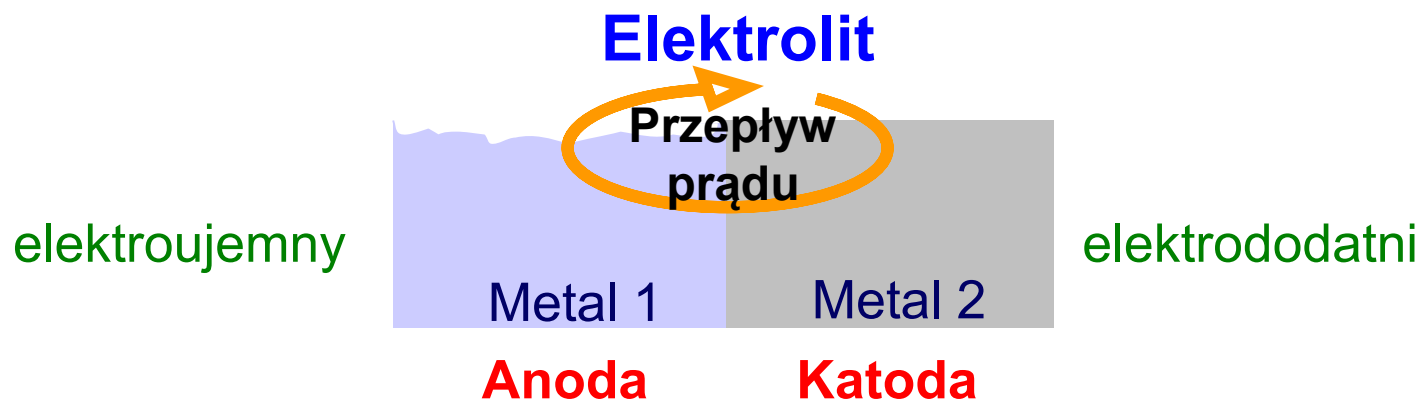


Korozja, która może zachodzić na styku dwóch metali charakteryzujących się dużą różnicą potencjałów galwanicznych. Metal bardziej anodowy ulega korozji.

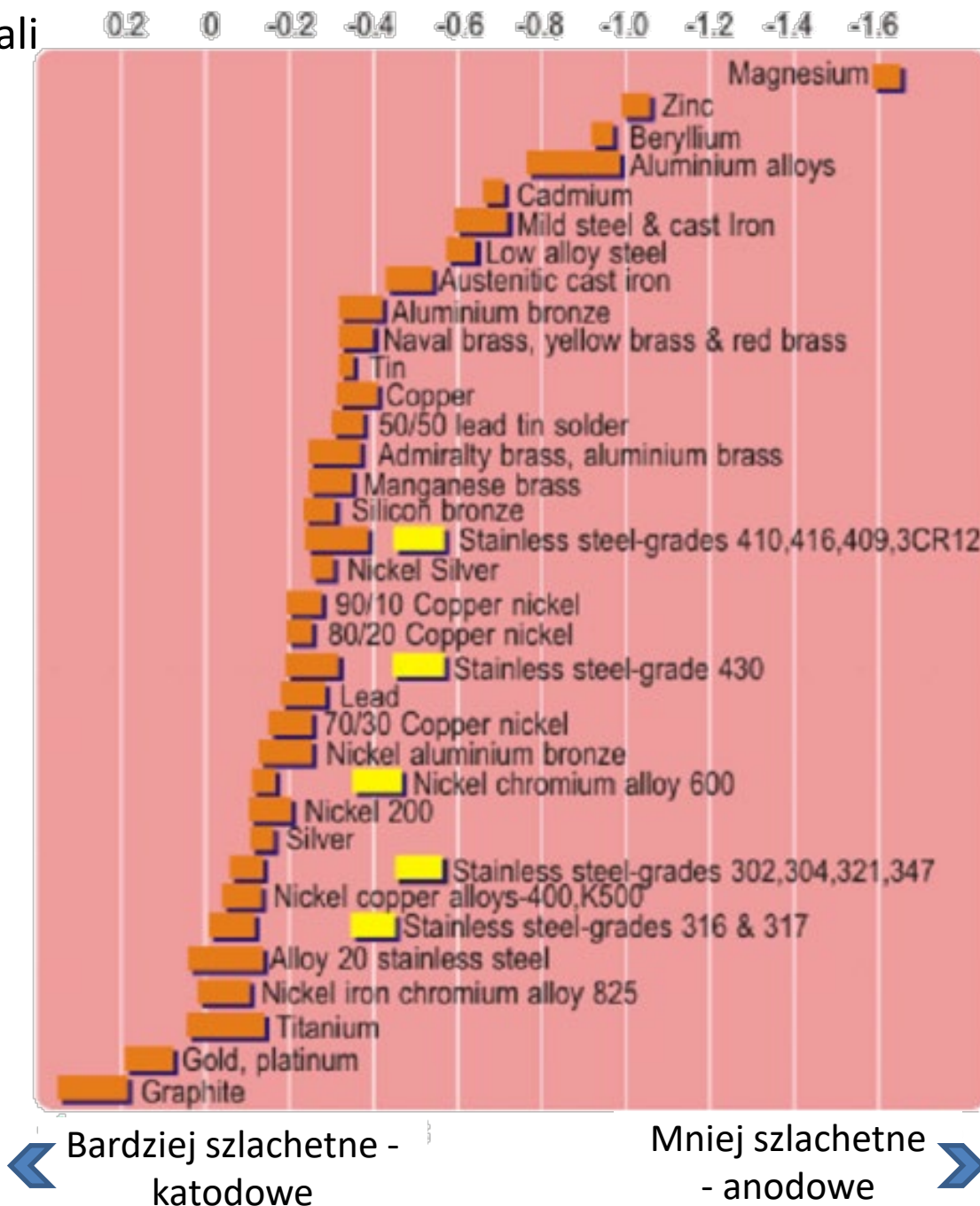
Przykład na zdjęciu po lewej: Zbiornik i płyta ze stali nierdzewnej zostały połączone przy użyciu śrub ze stali czarnej – doszło do korozji galwanicznej śrub ze stali czarnej w obecności wilgoci (=elektrolit).

# Mechanizm korozji galwanicznej

- Każdy z metali wykazuje charakterystyczny potencjał elektrochemiczny, gdy zostanie zanurzony w elektrolicie (mierzony względem elektrody odniesienia)
- W sytuacji, gdy dwa metale stykają się z przewodzącym prąd elektryczny elektrolitem (wystarczy wilgoć) oraz, gdy
- dwa metale wykazują dużą różnicę potencjałów,
- prąd elektryczny będzie płynął od bardziej elektroujemnego (anoda) do bardziej elektrododatniego (katoda)
- Jeżeli powierzchnia anody jest mniejsza, będzie następowało rozpuszczanie metalu



Szereg napięciowy metali w płynącej wodzie morskiej.



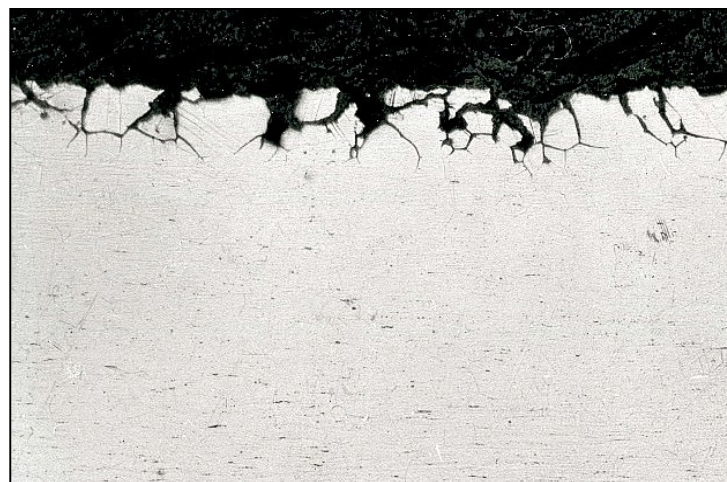
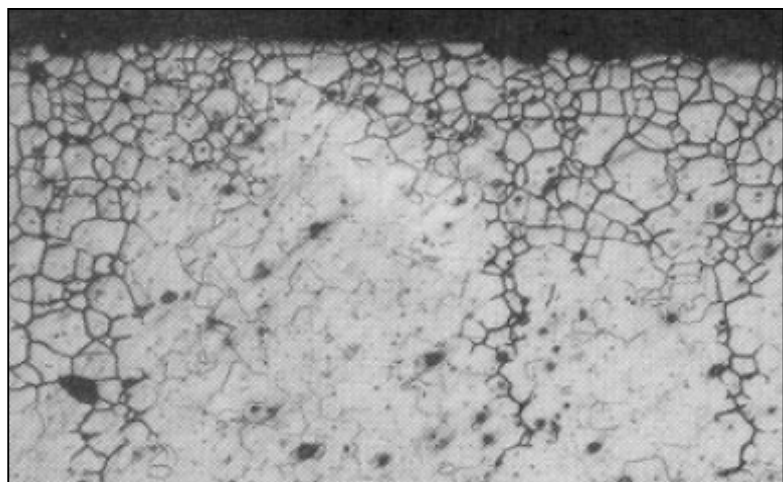
# Podstawowe zasady jak zapobiegać korozji galwanicznej

- Unikać łączenia ze sobą różnych materiałów metalowych
- Gdy występuje kontakt między różnymi metalami, materiał mniej szlachetny (anoda) powinien mieć większą powierzchnię niż materiał bardziej szlachetny (katoda), przykłady:
  - można stosować nierdzewne elementy złączne do łączenia aluminium (ale nigdy nie stosować aluminiowych elementów złącznych do łączenia stali nierdzewnej),
  - tak samo podczas łączenia stali nierdzewnych ze stalą węglową.

**W betonie (o wysokim pH) zanieczyszczonym przez chlorki, pręty zbrojeniowe ze stali nierdzewnej NIE ZWIĘKSZAJĄ ZNACZĄCO szybkości korozji prętów zbrojeniowych ze stali węglowej przez połączenie galwaniczne tych materiałów. [www.stainlesssteelrebar.org](http://www.stainlesssteelrebar.org)**

## e) Co to jest korozja międzykrystaliczna<sup>1</sup>?

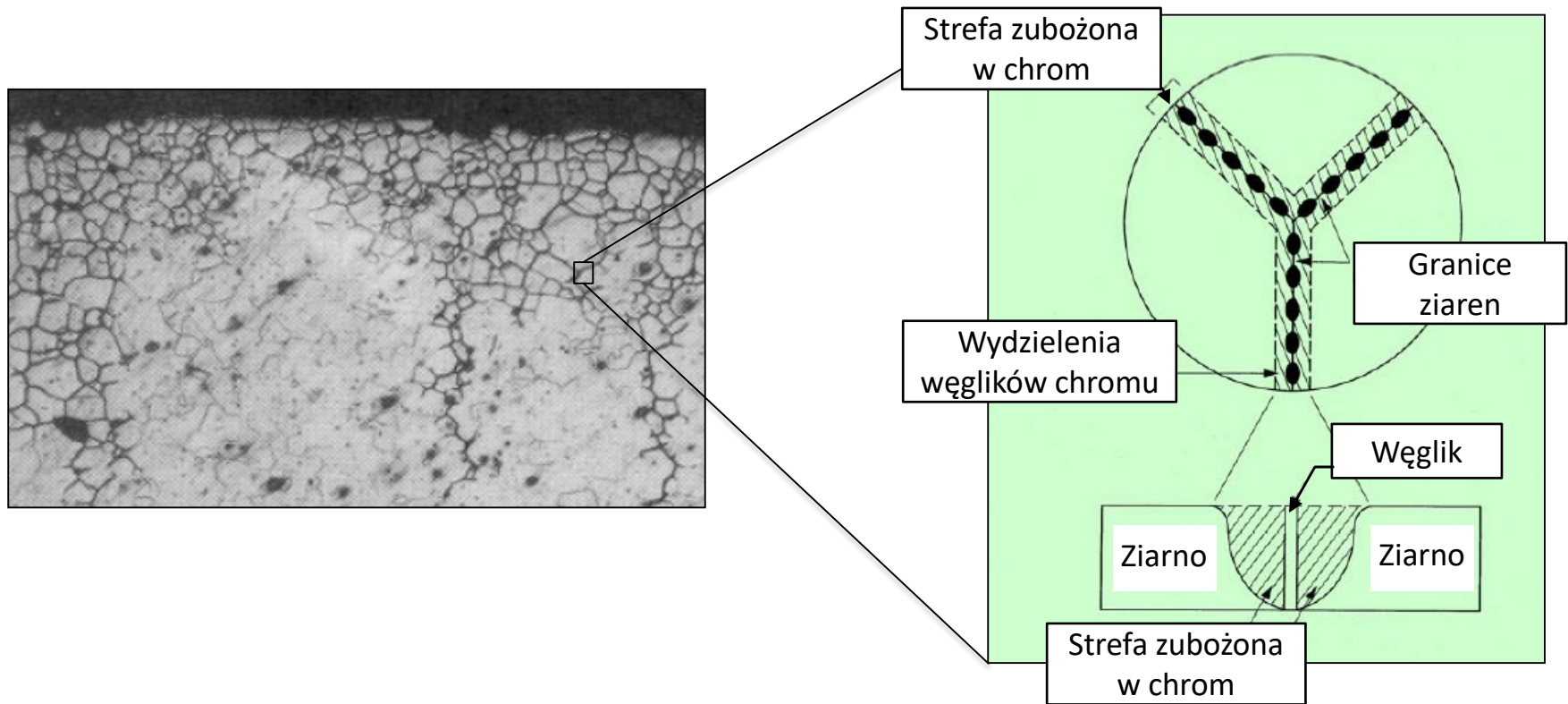
Korozja międzykrystaliczna jest wynikiem wydzielenia się na granicach ziaren węglików chromu typu  $(Fe,Cr)_{23}C_6$ , co powoduje w tych miejscach obniżenie stężenia chromu i pogorszenie stabilności warstwy pasywnej.



*Na zdjęciach próbka ze stali nierdzewnej polerowana i następnie wytrawiana w silnym kwasie. Sieć czarnych linii odpowiada silnemu wytrawieniu próbki na granicach ziaren, które wykazują dużo niższą odporność korozyjną niż same ziarna.*

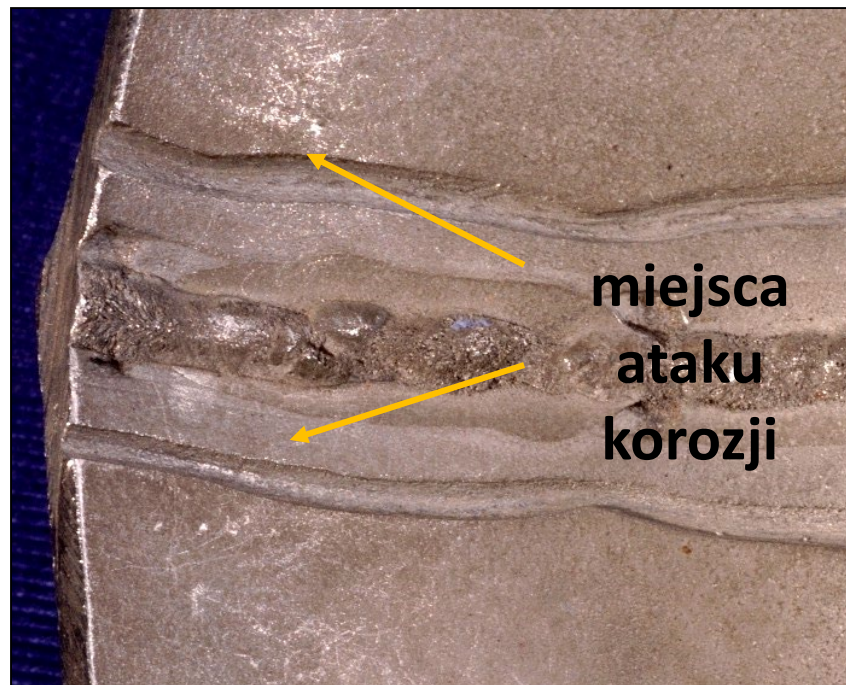


# Schemat wydzielenia węglików chromu i zubożenia granic ziaren w Cr



# Kiedy występuje korozja międzykrystaliczna?

- Prawidłowo obrabiane stale nierdzewne nie są podatne na korozję międzykrystaliczną
- Korozja może wystąpić w strefie wpływu ciepła SWC spoin (z każdej strony ściegu spoiny), gdy:
  - stężenie węgla w stali jest wysokie,
  - stal nie jest stabilizowana przez dodatki Ti, Nb, Zr\*, które wiążą węgiel w osnowie, przez co nie jest on dostępny do tworzenia węglików na granicach ziaren



**Korozja spoiny**

\*Z tego względu gatunki z dodatkiem pierwiastków stopowych: Ti i/lub Nb i/lub Zr, są nazywane gatunkami „stabilizowanymi”

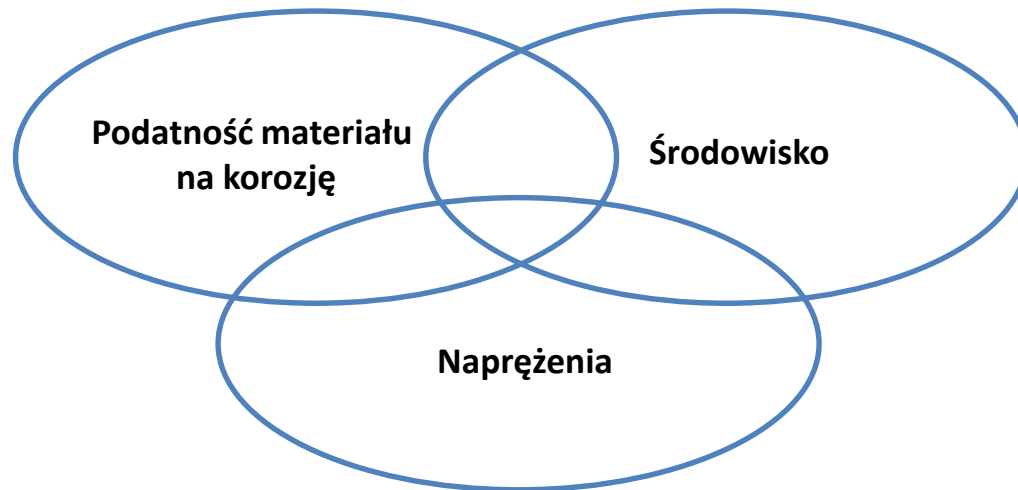
[Aby znaleźć więcej informacji dotyczących spawania oraz innych metod łączenia, prosimy przejść do Modułu 09](#)

# Zapobieganie korozji międzykrystalicznej

- Stosować gatunki niskowęglowe, stężenie węgla poniżej 0,03% dla stali austenitycznych
- Stosować gatunki stabilizowane stali ferrytycznych i austenitycznych
- Dla stali austenitycznych można wykonać obróbkę cieplną: przesycanie (w 1050°C wszystkie węgliki zostają rozpuszczone) z kolejnym szybkim chłodzeniem. Zwykle niewykonalna dla elementów architektonicznych.

## f) Co to jest korozja naprężeniowa<sup>1</sup> (SCC)?

- Nagłe pękanie i zniszczenie elementu bez wstępnego odkształcenia.
- Korozja może wystąpić, gdy:
  - element jest naprężony (przez przyłożenie obciążenia lub przez naprężenia szczątkowe),
  - środowisko jest agresywne korozyjnie (wysokie stężenie chlorków, temperatura powyżej 50°C),
  - stal nierdzewna jest niewystarczająco odporna na korozję naprężeniową.

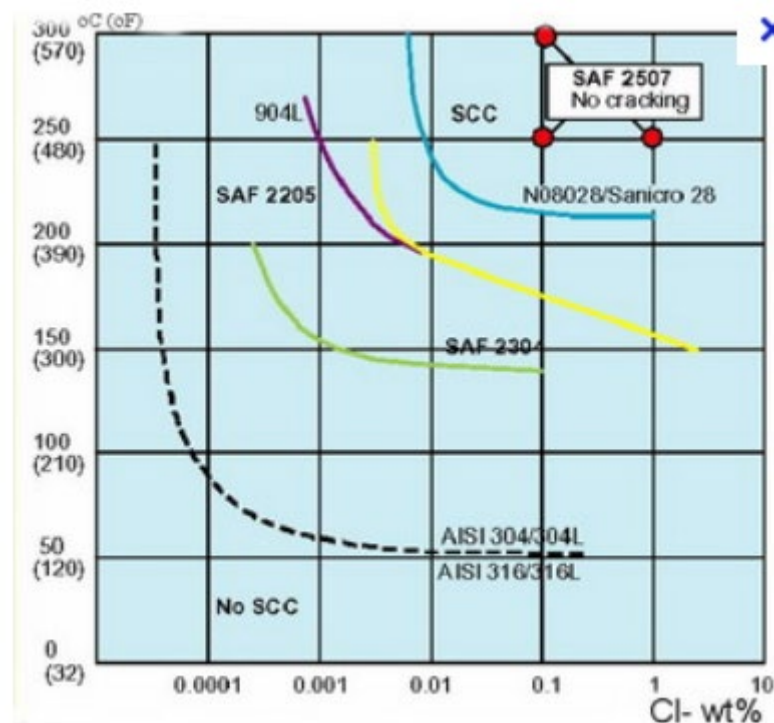


**Stale ferrytyczne i duplex (ferrytyczno-austenityczne)  
są odporne na korozję naprężeniową**

# Mechanizm korozji naprężeniowej

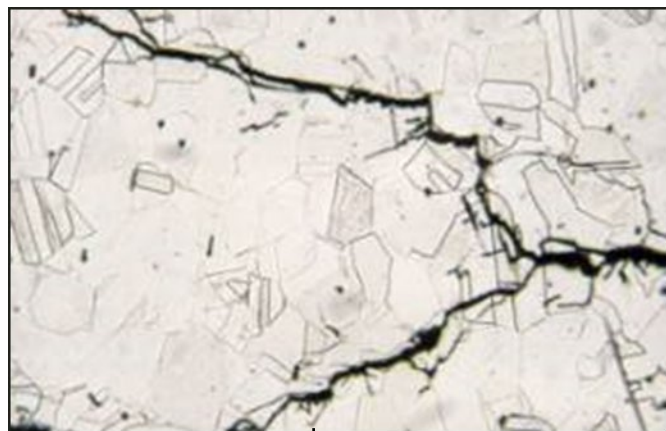
Połączone oddziaływanie warunków środowiskowych (chlorki/wysoka temperatura) oraz naprężeń – zarówno przyłożonych jak i szczątkowych powoduje następującą sekwencję zjawisk:

1. wystąpienie korozji wżerowej,
2. pękanie rozpoczyna się, od miejsc inicjacji wżerów,
3. pękanie rozprzestrzenia się w materiale w sposób transkryystaliczny lub międzykryystaliczny,
4. występuje zniszczenie.



Uwaga: porównaj załącznik z oznaczeniami gatunków wg EN

# Zapobieganie korozji naprężeniowej – dwie metody



Korozja naprężeniowa wywołana chlorkami w standardowych austenitycznych stalach nierdzewnych typu 1.4301/304 lub 1.4401/316

+Ni  
+Mo

1.4539  
1.4547

+Cr

Wybrać stale typu duplex, które wykazują większą stabilność cenową (niskie stężenie niklu)

1.4462  
1.4410  
1.4501

Wybrać austenityczne stale nierdzewne o wysokim stężeniu Ni i Mo (wyższa odporność korozyjna)

Stale ferrytyczne oraz stale typu duplex są odporne na korozję naprężeniową (ferryty, w przeciwieństwie do austenitów, nie są czułe na tego typu korozję).

Aby uzyskać więcej informacji na temat tych gatunków, prosimy przejść do Modułu 04

## 4. Jak dobrać stal nierdzewną o odpowiedniej odporności korozyjnej

Dwa różne przypadki:

1. Zastosowania konstrukcyjne <sup>10a</sup>
2. Inne zastosowania zewnętrzne <sup>10b</sup>

# 4 – 1 Zastosowania konstrukcyjne

- Normy Eurokod 1-4 podają procedurę doboru właściwego gatunku stali nierdzewnej dla środowiska pracy elementów konstrukcyjnych. (Należy pamiętać, że w chwili obecnej, czyli listopad 2014, opisane zmiany nie zostały jeszcze wprowadzone do normy EN 1993-1-4 ).

- Procedurę przedstawiono na kolejnych slajdach.

Znajduje ona zastosowanie dla:

- elementów nośnych,
- zastosowań zewnętrznych,
- środowisk eksploatacji bez częstego obmywania wodą morską,
- dla pH między 4 a 10,
- braku ekspozycji na strumień mediów występujących w procesach chemicznych.



# Jak działa procedura

1. Środowisko jest oceniane za pomocą współczynnika odporności korozyjnej (CRF) złożonego z 3 składowych ( $CRF = F1 + F2 + F3$ ), gdzie
  - a) F1 określa ryzyko wystawienia na oddziaływanie chlorków pochodzących ze słonej wody lub soli drogowej,
  - b) F2 określa ryzyko wystawienia na oddziaływanie dwutlenku siarki,
  - c) F3 określa wymogi okresowego czyszczenia lub naturalnego zmywania przez deszcz
2. Gatunki stali nierdzewnych podzielono na klasy odporności korozyjnej (CRC) od I do V
3. Tablica klasyfikacji gatunków i środowisk korozyjnych wskazuje dla danego współczynnika CRF odpowiednią klasę odporności korozyjnej CRC gatunku

Na kolejnych 4 slajdach przedstawiono tablice określania składowych współczynnika CRF oraz dopasowania współczynnika CRF środowiska i klasy odporności korozyjnej CRC gatunku

# F<sub>1</sub> Ryzyko wystawienia na oddziaływanie chlorków (pochodzących ze słonej wody lub soli drogowej)

Uwaga: M to odległość od morza a S to odległość od dróg, gdzie stosuje się sól drogową

1	<b>Środowisko wewnętrzne budynków - kontrolowane</b>	
0	<b>Niskie ryzyko oddziaływania</b>	M > 10 km lub S > 0,1 km
-3	<b>Średnie ryzyko oddziaływania</b>	1 km < M ≤ 10 km lub 0,01 km < S ≤ 0,1 km
-7	<b>Wysokie ryzyko oddziaływania</b>	0,25 km < M ≤ 1 km lub S ≤ 0,01 km
-10	<b>Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania</b> Tunele drogowe, gdzie stosuje się sól drogową lub gdzie pojazdy mogą przewozić sól drogową	
-10	<b>Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania</b> Wybrzeża Morza Północnego Niemiec Wszystkie obszary nadbrzeżne morza Bałtyckiego	M ≤ 0,25 km
-15	<b>Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania</b> Linia wybrzeża Atlantyku Portugalii, Hiszpanii, Francji, Wybrzeża Wielkiej Brytanii, Francji, Belgii, Holandii, południowej Szwecji Wszystkie inne obszary nadbrzeżne Wielkiej Brytanii, Norwegii, Dani i Irlandii Wybrzeża śródziemnomorskie	M ≤ 0,25 km

## F<sub>2</sub> Ryzyko wystawienia na oddziaływanie dwutlenku siarki

Uwaga: Warunki europejskich środowisk przybrzeżnych zwykle wykazują niską zawartość dwutlenku siarki. Dla środowisk wewnątrz lądu zawartość dwutlenku siarki może być zarówno niska jak i średnia. Obszary o wysokiej zawartości dwutlenku siarki są zwykle związane z obszarami silnie uprzemysłowionymi lub specyficznym środowiskiem – np. tunele drogowe. Stężenie dwutlenku siarki może być wyznaczone zgodnie z metodą podaną w normie ISO 9225.

0	Niskie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie <10 µg/m <sup>3</sup>
-5	Średnie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie 10 – 90 µg/m <sup>3</sup>
-10	Wysokie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie 90 – 250 µg/m <sup>3</sup>

## F<sub>3</sub> Wymogi okresowego czyszczenia lub naturalnego zmywania przez deszcz

(jeżeli F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> = 0, to F<sub>3</sub> = 0)

0	Całkowicie wystawione na zmywanie przez deszcz
-2	Sprecyzowane wymogi okresowego czyszczenia
-7	Brak zmywania przez deszcz lub brak wymogów okresowego czyszczenia







# Tablica doboru stali

<b>Tablica A.2: Określenie klasy odporności korozyjnej CRC</b>	
Współczynnik odporności korozyjnej środowiska (CRF)	Klasa odporności korozyjnej gatunku (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
CRF < -20	V

# Klasy odporności korozyjnej stali nierdzewnych

Tablica A.3: Gatunki w każdej klasie odporności korozyjnej CRC

	Klasy odporności korozyjnej CRC			
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4539	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4462	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4578		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4162		

	Ferrytyczne		Standardowe austenityczne		Austenityczne molibdenowe
	Lean duplex		Superaustenityczne		Duplex/superduplex

Uwaga: Porównaj załącznik z oznaczeniami gatunków wg EN  
Nie ma zastosowania dla basenów pływackich

# 4 – 2 Inne zastosowania

- Zwykle nie stosuje się żadnych szczegółowych regulacji
- Dobór gatunku musi być adekwatny do oczekiwanej odporności korozyjnej
- Jak to zrobić:
  - Zapytać eksperta
  - Poprosić o pomoc organizację promującą użycie stali nierdzewnych (w Polsce: Stowarzyszenie Stal Nierdzewna)
  - Poszukać udanego przypadku zastosowania stali w podobnym środowisku (zwykle dostępne informacje)

# Wskazówki do doboru gatunku dla architektów<sup>10</sup>

Uwaga: NIE MAJĄ zastosowania, gdy

- Wygląd zewnętrzny nie ma znaczenia
- Wytrzymałość konstrukcji jest głównym problemem (wtedy korzystać z pkt. 4 – 1)

# Jak działa procedura

- Wyznacza się punktację oceniając kryteria
- W zależności od końcowej liczby punktów otrzymuje się zalecane gatunki stali nierdzewnych

Kryteria oceniane podczas procedury doboru (na kolejnych slajdach):

- i. Zanieczyszczenie środowiska
- ii. Oddziaływanie warunków morskich i soli drogowej
- iii. Lokalny charakter klimatu
- iv. Charakterystyka projektu
- v. Harmonogram konserwacji



# i. Zanieczyszczenie środowiska

Punkty	
	Wiejskie
0	Brak lub bardzo niskie zanieczyszczenia
	Zanieczyszczenia miejskie (lekki przemysł, spaliny samochodowe)
0	Niskie
2	Umiarkowane
3	Wysokie *
	Zanieczyszczenia przemysłowe (agresywne gazy, tlenki żelaza, chemikalia itd.)
3	Niskie i umiarkowane
4	Wysokie *

\* Miejsca o wysokiej korozyjności, skonsultować z ekspertem ds. korozji.

## ii. A) Oddziaływanie warunków morskich

Punkty	
	Oddziaływanie stref przybrzeżnych lub morskich
1	Niskie (>1,6 - 16km (1-10 mil) od słonej wody) **
3	Umiarkowane (30m- 1,6km (100 stóp do 1 mili) od słonej wody)
4	Wysokie (<30m (100 stóp) od słonej wody)
5	Morskie (mgła solna lub sporadyczne spryskiwanie) *
8	Surowe morskie (ciągłe spryskiwanie) *
10	Surowe morskie (ciągłe zanurzenie) *

\* Miejsca o wysokiej korozyjności, skonsultować z ekspertem ds. korozji

\*\* Zakres ten pokazuje, jak daleko migrują chlorki od dużych zbiorników słonowodnych. Niektóre miejsca tego typu są narażone na występowanie chlorków, a w innych ich brak.

## ii. B) Oddziaływanie soli drogowej

Punkty	
	<b>Oddziaływanie soli drogowej (odległość od drogi lub gruntu)</b>
0	Brak soli w próbce pobranej z terenu - brak wpływu
0	Ruch drogowy zbyt niski, aby powodować unoszenie soli z podłoża lub zbyt słaby wiatr, aby przenosić chlorki, na chodnikach nie stosuje się soli
1	Bardzo niskie ( $\geq 10$ m do 1 km (33 do 3280 stóp) lub 3 do 60 piętra) **
2	Niskie ( $< 10$ do 500 m (33 do 1600 stóp) lub 2 do 34 piętra) **
3	Umiarkowane ( $< 3$ do 100 m (10 do 328 stóp) lub 1 do 22 piętra) **
4	Wysokie ( $< 2$ do 50 m (6.5 do 164 stóp) lub 1 do 3 piętra) * **

\* Miejsca o wysokiej korozyjności, skonsultować z ekspertem ds. korozji  
\*\* Zakres ten pokazuje, jak daleko migrują chlorki od małych wiejskich i dużych bardzo zatłoczonych dróg. Powierzchniowe stężenie chlorków.

Uwaga: jeżeli równocześnie występuje oddziaływanie warunków przybrzeżnych i obecność soli drogowej, skonsultować się z ekspertem ds. korozji

### iii. Lokalny charakter klimatu

Punkty	
-1	Umiarkowany lub zimny klimat, regularne obfite opady
-1	Ciepły lub zimny klimat o typowej wilgotności poniżej 50%
0	Umiarkowany lub zimny klimat, sporadyczne silne opady deszczu
0	Tropikalny lub podzwrotnikowy, wilgotny, regularne lub sezonowe silne opady deszczu
1	Umiarkowany klimat, rzadkie deszcze, wilgotność ponad 50%
1	Regularne bardzo lekkie deszcze lub częste mgły
2	Ciepły, wilgotność ponad 50%, bardzo słabe lub brak opadów deszczu ***

\*\*\* Jeżeli jednocześnie występuje sól lub zanieczyszczenia należy skonsultować z ekspertem ds. korozji

# iv. Charakterystyka projektu

Punkty	
0	Powierzchnie swobodnie wystawione na łatwe zmywanie przez deszcz
0	Powierzchnie pionowe z pionowym kierunkiem lub bez wykończenia
-2	Powierzchnie wytrawione, elektropolerowane lub o chropowatości $R_a \leq 0,3 \text{ mm}$ ( $12 \mu\text{in}$ )
-1	Chropowatość wykończenia powierzchni $R_a 0,3 \mu\text{m}$ ( $12 \mu\text{in}$ ) $< X \leq R_a 0,5 \mu\text{m}$ ( $20 \mu\text{in}$ )
1	Chropowatość wykończenia powierzchni $R_a 0,5 \mu\text{m}$ ( $20 \mu\text{in}$ ) $< X \leq R_a 1 \mu\text{m}$ ( $40 \mu\text{in}$ )
2	Chropowatość wykończenia powierzchni $R_a 1 \mu\text{m}$ ( $40 \mu\text{in}$ )
1	Miejsca osłonięte lub otwarte szczeliny ***
1	Powierzchnie poziome
1	Powierzchnie poziome z kierunkowym wykończeniem

\*\*\* Jeżeli jednocześnie występuje sól lub zanieczyszczenia należy skonsultować z ekspertem ds. korozji

Tabela ta pokazuje, że odporność na korozję zależy również od wykończenia powierzchni. Aby uzyskać więcej informacji na temat dostępnych metod wykańczania powierzchni, prosimy przejść do Modułu 08

## v. Harmonogram konserwacji

Punkty	
0	Brak czyszczenia
-1	Mycie przynajmniej w sposób naturalny
-2	Czyszczenie cztery lub więcej razy w roku
-3	Czyszczenie przynajmniej co miesiąc

# System punktacji doboru stali nierdzewnej

Suma punktów	Zalecane gatunki stali nierdzewnych
0 do 2	Gatunek typu 304/304L jest zwykle najbardziej opłacalny
3	Gatunek typu 316/316L lub 444 jest zwykle najbardziej opłacalny
4	Zalecany gatunek 317L lub o wyższej odporności korozyjnej
≥ 5	Wymagane gatunki o wyższej odporności korozyjnej takie jak: 4462, 317LMN, 904L, superduplex, superferrytyczne lub superaustenityczne z 6% Mo.

Uwaga: Porównaj załącznik z oznaczeniami gatunków wg EN

Dobór odpowiednich gatunków stali nierdzewnych pozwala na zachowanie niskiego kosztu życia produktu. Wpływa też na zdecydowane ograniczenie kosztów związanych z utrzymaniem i modernizacją danej konstrukcji. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w Module 11.

# Wnioski

- Prawidłowy dobór odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej dla danej aplikacji i środowiska wymaga szczególnej uwagi.
- Gdy to nastąpi, stal nierdzewna zapewni nieograniczony czas użytkowania bez konserwacji.

[W Module 2 znaleźć można opis wielu przykładów zastosowania stali nierdzewnych w różnych miejscach na świecie.](#)



# 5. Źródła

1. Korozja. Kurs zaawansowany. Proszę zwrócić uwagę na rozdział 7 (Korozja galwaniczna), 8 (Korozja międzykrystaliczna), 11 (Korozja szczelinowa) 12 (Korozja wżerowa) 14 (Korozja naprężeniowa) and 15 (Korozja naprężeniowa stali nierdzewnych)  
Źródło oryginalne: <http://corrosion.kaist.ac.kr> Dostępne pod tym linkiem:  
[http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education\\_references/Zrefs\\_on\\_corrosion.zip](http://www.worldstainless.org/Files/issf/Education_references/Zrefs_on_corrosion.zip)
2. Podstawowe wiadomości na temat korozji <http://corrosion-doctors.org/Corrosion-History/Course.htm#Scope>
3. Korozja. Kurs online [http://www.corrosionclinic.com/corrosion\\_online\\_lectures/ME303L10.HTM#top](http://www.corrosionclinic.com/corrosion_online_lectures/ME303L10.HTM#top)
4. Informacje na temat testów elektrochemicznych <http://mee-inc.com/esca.html>
5. Ugitech: private communication
6. Strona BSSA (British Stainless Steel Association) „Obliczanie wskaźnika odporności na korozję wżerową (PREN)”  
<http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=111>
7. O korozji wżerowej
8. [https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG\\_JournalElectrochemicalSociety\\_1998\\_v145n6\\_p2186-2198.pdf?sequence=1](https://kb.osu.edu/dspace/bitstream/handle/1811/45442/FrankelG_JournalElectrochemicalSociety_1998_v145n6_p2186-2198.pdf?sequence=1)
9. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/Duplex Stainless Steel 3rd Edition.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/Duplex%20Stainless%20Steel%203rd%20Edition.pdf)
10. <http://www.imoa.info/molybdenum-uses/molybdenum-grade-stainless-steels/steel-grades.php>
11. [http://www.imoa.info/download\\_files/stainless-steel/IMOA Houska-Selecting Stainless Steel for Optimum Performance.pdf](http://www.imoa.info/download_files/stainless-steel/IMOA_Houska-Selecting_Stainless_Steel_for_Optimum_Performance.pdf)
12. [http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic corrosion](http://en.wikipedia.org/wiki/Galvanic_corrosion)
13. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=668>
14. [http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW\\_0812\\_duplex.pdf](http://www.stainless-steel-world.net/pdf/SSW_0812_duplex.pdf)
15. <http://www.outokumpu.com/en/stainless-steel/grades/duplex/Pages/default.aspx>
16. [http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex Maastricht EN-22p-7064Ko.pdf](http://www.aperam.com/uploads/stainlesseurope/TechnicalPublications/Duplex_Maastricht_EN-22p-7064Ko.pdf)
17. <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=606>
18. a) 通用不锈钢板材EN 10088-2的化学组成: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=44> b) 通用不锈钢长材EN 10088-3的化学成分: <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=46>

# Załącznik: Oznaczenia<sup>17</sup>

Oznaczenie EN		Alternatywne oznaczenia			
Znak stali	Numer stali	AISI	UNS	Inne US	Ogólne/ handlowe
<b>Ferrytyczne stale nierdzewne – gatunki standardowe</b>					
X2CrNi12	1.4003		S40977		3CR12
X2CrTi12	1.4512	409	S40900		
X6CrNiTi12	1.4516				
X6Cr13	1.4000	410S	S41008		
X6CrAl13	1.4002	405	S40500		
X6Cr17	1.4016	430	S43000		
X3CrTi17	1.4510	439	S43035		
X3CrNb17	1.4511	430N			
X6CrMo17-1	1.4113	434	S43400		
X2CrMoTi18-2	1.4521	444	S44400		
<b>Martensytyczne stale nierdzewne – gatunki standardowe</b>					
X12Cr13	1.4006	410	S41000		
X20Cr13	1.4021	420	S42000		
X30Cr13	1.4028	420	S42000		
X3CrNiMo13-4	1.4313		S41500	F6NM	
X4CrNiMo16-5-1	1.4418				248 SV
<b>Martensytyczne i umacniane wydzieleniowo – gatunki specjalne</b>					
X5CrNiCuNb16-4	1.4542		S17400		17-4 PH

Oznaczenie EN		Alternatywne oznaczenia			
Znak stali	Numer stali	AISI	UNS	Inne US	Ogólne/ handlowe
<b>Austenityczne stale nierdzewne – gatunki standardowe</b>					
X10CrNi18-8	1.4310	301	S30100		
X2CrNi18-9	1.4307	304L	S30403		
X2CrNi19-11	1.4306	304L	S30403		
X2CrNiN18-10	1.4311	304LN	S30453		
X5CrNi18-10	1.4301	304	S30400		
X6CrNiTi18-10	1.4541	321	S32100		
X4CrNi18-12	1.4303	305	S30500		
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	316LN	S31653		
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	316	S31600		
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	316Ti	S31635		
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	316L	S31603		
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	316L	S31603		
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	317L			
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539		N08904		904L
<b>Austenityczno-ferrytyczne stale nierdzewne – gatunki standardowe</b>					
X2CrNiN22-2	1.4062		S32202		DX 2202
X2CrMnNiMoN21-5-3	1.4482		S32001		
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162		S32101		2101 LDX
X2CrNiN23-4	1.4362		S32304		2304
X2CrNiMoN12-5-3	1.4462		S31803/ S32205	F51	2205

Uwaga: Tablica ma formę uproszczoną. Dla innych gatunków porównaj literatura 17.

Dziękuję za uwagę