



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

Wskaźniki odporności na korozję wżerową – PREN

Czym jest wskaźnik PREN?

PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) jest wskaźnikiem stosowanym do porównywania odporności stali nierdzewnych i innych stopów odpornych na korozję na **korozję wżerową**, szczególnie w środowiskach zawierających chlorki. **Korozja wżerowa** jest jedną z najbardziej niebezpiecznych form korozji miejscowej. W przeciwieństwie do **korozji równomiernej** nie prowadzi do jednakowego ubytku materiału na całej powierzchni. Atak koncentruje się w niewielkich obszarach, w których dochodzi do lokalnego uszkodzenia warstwy pasywnej. Powstające wżery mogą rozwijać się w głąb materiału i doprowadzić do perforacji elementu przy stosunkowo niewielkim całkowitym ubytku masy.

Szczególnie istotnym czynnikiem sprzyjającym powstawaniu wżerów są **jony chlorkowe Cl^-** , dlatego zagadnienie to ma duże znaczenie m.in. w przemyśle chemicznym, petrochemicznym, morskim, spożywczym, energetycznym oraz w instalacjach pracujących z wodą morską, solankami i roztworami zawierającymi chlorki.

PREN pozwala w prosty sposób porównać potencjalną odporność różnych gatunków stali na tego rodzaju korozję na podstawie ich składu chemicznego.

Jak oblicza się PREN?

Jednym z najczęściej stosowanych wzorów jest:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \times \% \text{Mo} + 16 \times \% \text{N}$$

gdzie:

- **Cr** – zawartość chromu [% mas.],
- **Mo** – zawartość molibdenu [% mas.],
- **N** – zawartość azotu [% mas.].

W przypadku stopów zawierających wolfram stosowana jest również rozszerzona postać:

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \times (\% \text{Mo} + 0,5 \times \% \text{W}) + 16 \times \% \text{N}$$



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

gdzie **W** oznacza zawartość wolframu w procentach masowych.

Właśnie taki sposób uwzględniania Cr, Mo, W i N występuje m.in. w normach stosowanych przy doborze materiałów dla przemysłu naftowego i gazowego.

Należy jednak pamiętać, że w literaturze technicznej można spotkać kilka odmian równania PREN. Przykładowo współczynnik przypisany azotowi może mieć inną wartość. Dlatego porównując wartości PREN pochodzące z różnych źródeł, należy zawsze sprawdzić, według jakiego równania zostały obliczone.

Dlaczego chrom, molibden i azot wpływają na PREN?

W równaniu PREN poszczególnym pierwiastkom przypisano różną wagę. Nie jest to przypadkowe – wynika z ich wpływu na zachowanie stali w środowiskach sprzyjających korozji miejscowej.

Chrom - Cr

Chrom jest podstawowym pierwiastkiem odpowiadającym za odporność korozyjną stali nierdzewnych.

Odpowiednio wysoka zawartość chromu umożliwia powstanie na powierzchni materiału bardzo cienkiej, zwartej warstwy pasywnej. Warstwa ta oddziela metal od środowiska i może samoczynnie odbudowywać się po niewielkim uszkodzeniu, jeżeli warunki środowiska na to pozwalają.

W równaniu PREN wpływ chromu przyjęto ze współczynnikiem **1**.

Molibden - Mo

Molibden odgrywa szczególnie istotną rolę w zwiększaniu odporności na korozję miejscową w środowiskach zawierających chlorki.

W klasycznym równaniu PREN jego udział mnożony jest przez **3,3**, co pokazuje, jak istotny jest jego wpływ na odporność na powstawanie i rozwój wżerów.

Dlatego stal AISI 316L zawierająca molibden wykazuje z reguły wyższą odporność na korozję wżerową niż AISI 304L, mimo że oba gatunki należą do popularnych austenitycznych stali nierdzewnych.

Azot - N

Azot jest bardzo silnie uwzględniany w równaniu PREN:



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

16 × %N

Oznacza to, że nawet stosunkowo niewielki wzrost zawartości azotu może zauważalnie zwiększyć obliczeniową wartość PREN.

Znaczenie azotu jest szczególnie widoczne w nowoczesnych [stalach duplex](#), [superduplex](#) i wysokostopowych stalach austenitycznych.

Wolfram - W

W niektórych wysokostopowych materiałach występuje również wolfram. W rozszerzonym równaniu PREN jego wpływ uwzględnia się razem z molibdenem:

Mo + 0,5W

Oznacza to, że w tym modelu 1% W odpowiada pod względem wpływu na PREN około połowie wpływu 1% Mo.

Przykład obliczenia PREN

Założmy stal zawierającą:

- Cr = 22,0%
- Mo = 3,2%
- N = 0,18%

PREN obliczamy:

$$\text{PREN} = 22,0 + (3,3 \times 3,2) + (16 \times 0,18)$$

czyli:

$$\text{PREN} = 22,0 + 10,56 + 2,88$$

$$\text{PREN} = 35,44$$

Materiał ma więc obliczeniową wartość PREN około **35,4**.

Jeżeli drugi stop ma PREN równy przykładowo 25, można oczekiwać, że – przy porównywalnym stanie materiału i powierzchni – stop o PREN 35,4 będzie miał większy potencjał odporności na korozję wżerową w środowisku chlorkowym. Nie oznacza to jednak, że będzie odporny na korozję w każdych warunkach eksploatacyjnych.

Jak interpretować wartość PREN?

Podstawowa zasada jest prosta:

im wyższa wartość PREN, tym większa przewidywana odporność materiału



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

na korozję wżerową w środowiskach chlorkowych.

PREN należy jednak traktować jako wskaźnik porównawczy, a nie bezwzględną skalę odporności.

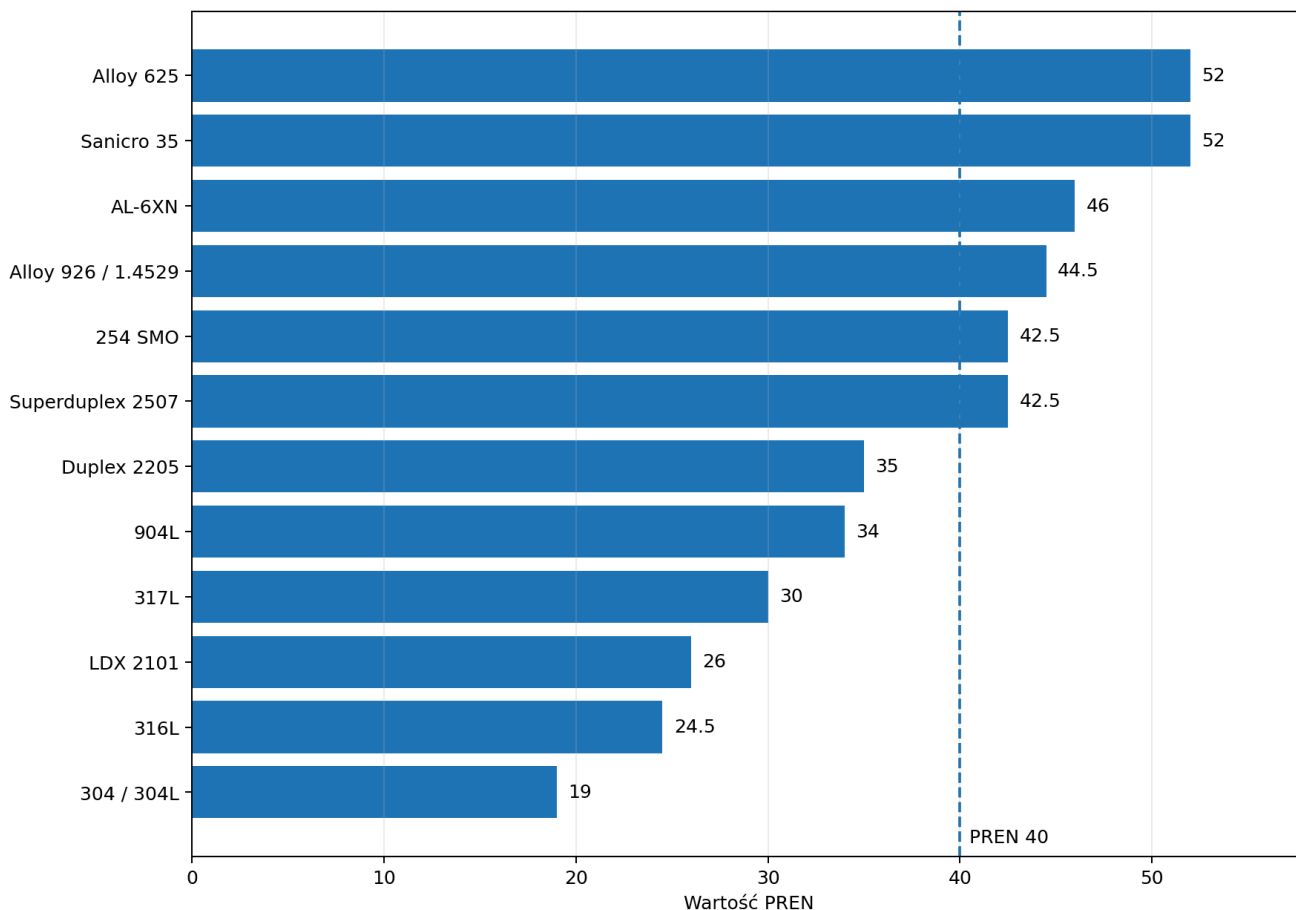
PREN	Orientacyjna odporność na korozję wżerową
poniżej 20	stosunkowo niska
20-30	umiarkowana
30-40	wysoka
≥ 40	bardzo wysoka – obszar typowy dla wielu stali superduplex i gatunków 6Mo
≥ 45	bardzo wysoka odporność charakterystyczna dla wybranych wysoko stopowych materiałów

Granice te mają charakter orientacyjny. PREN nie jest uniwersalną skalą, według której można automatycznie zakwalifikować stal do konkretnego zastosowania.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnych i stopów niklu

PREN – orientacyjna odporność na korozję wżerową



Wartości orientacyjne z artykułu Alfa-Tech. Dla zakresów pokazano wartość środkową. Stopy C-276, Alloy 22, Alloy 59 i Alloy 2120 pominięto, ponieważ podano je według zmodyfikowanego równania VDM i nie należy porównywać ich bezpośrednio z klasycznym PREN.

PREN popularnych grup stali nierdzewnych

Różnice w składzie chemicznym powodują znaczne różnice wartości PREN pomiędzy poszczególnymi grupami materiałów.

AISI 304 / 304L

Stale typu 18Cr-8Ni praktycznie nie zawierają molibdenu, dlatego ich PREN jest stosunkowo niski i wynosi zazwyczaj około:

PREN ≈ 18-20

Są to stale bardzo szeroko stosowane, ale w środowiskach o większej zawartości



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

chlorków ich odporność na korozję wżerową może być niewystarczająca.

AISI 316 / 316L - 1.4401 / 1.4404

Dodatek około 2-2,5% molibdenu powoduje wyraźny wzrost odporności na korozję miejscową.

Typowe wartości znajdują się w przybliżeniu w zakresie:

PREN ≈ 23-27

Właśnie obecność molibdenu jest jedną z głównych przyczyn przewagi 316L nad 304L w wielu środowiskach chlorkowych.

Duplex 1.4462 / UNS S31803 / S32205

Stale duplex zawierają zwykle około 22% Cr, około 3% Mo oraz zwiększoną zawartość azotu.

W efekcie osiągają:

PREN ≈ 32-36

Zapewnia to znacznie wyższą odporność na korozję wżerową niż w przypadku klasycznych stali 304L i 316L.

Superduplex 1.4410 / UNS S32750

Dzięki zawartości około 25% Cr, podwyższonej zawartości Mo oraz N wartość PREN przekracza zazwyczaj:

PREN ≥ 40

Materiały tej grupy stosowane są w szczególnie agresywnych środowiskach chlorkowych, m.in. w instalacjach offshore, systemach wykorzystujących wodę morską oraz przemyśle chemicznym.

Stale austenityczne typu 6Mo

Do tej grupy należą wysoko stopowe stale austenityczne zawierające około 6% molibdenu, np. gatunki 1.4547, 1.4529 czy UNS N08367.

Dzięki wysokiej zawartości Cr, Mo i N ich PREN może przekraczać **40**, zapewniając bardzo wysoką odporność na korozję miejscową.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

PREN ≥ 40 – dlaczego ta wartość jest istotna?

Wartość **PREN 40** jest często spotykaną granicą techniczną przy klasyfikowaniu materiałów przeznaczonych do bardzo wymagających środowisk.

Przykładowo w klasyfikacjach stosowanych w sektorze oil & gas materiały typu 6Mo są opisywane jako stale o PREN co najmniej 40 i nominalnej zawartości około 6% Mo. Dla stali duplex 25Cr spotyka się zakres PREN około 40–45.

Nie oznacza to jednak, że:

PREN = 39 – materiał jest nieodporny,

PREN = 40 – materiał jest odporny.

Nie istnieje taka nagle fizyczna granica.

Wartość 40 jest przede wszystkim użytecznym kryterium klasyfikacyjnym i projektowym.

PREN a korozja wżerowa

Wżer powstaje w miejscu lokalnego załamania pasywności powierzchni stali.

W obecności chlorków proces może mieć charakter samopodtrzymujący. Wewnątrz rozwijającego się wżeru zmienia się lokalny skład chemiczny środowiska, obniża się pH i zwiększa agresywność roztworu. W efekcie niewielki początkowo defekt może rozwijać się głęboko w materiale.

Jest to szczególnie niebezpieczne, ponieważ powierzchnia elementu może wyglądać na niemal nieuszkodzoną, podczas gdy pojedyncze wżery osiągają znaczną głębokość.

Dlatego w instalacjach ciśnieniowych, zbiornikach, wymiennikach ciepła i rurociągach korozja wżerowa może prowadzić do utraty szczelności bez wcześniejszego wystąpienia dużego, łatwego do zauważenia ubytku materiału.

PREN a korozja szczelinowa

Wysoki PREN jest również zwykle związany z lepszą odpornością na korozję szczelinową, ale obu zjawisk nie należy utożsamiać.

[Korozja szczelinowa](#) może rozwijać się m.in.:

- pod uszczelkami,
- w połączeniach kołnierzowych,
- pod osadami,
- w gwintach,



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

- w zakładkach,
- w miejscach stagnacji medium.

Warunki chemiczne powstające wewnątrz szczeliny mogą być znacznie bardziej agresywne niż w głównej objętości medium.

Dlatego materiał, który wykazuje dobrą odporność na swobodnie eksponowanej powierzchni, może ulec korozji w ciasnej szczelinie.

PREN a temperatura

Temperatura jest jednym z czynników, których prosty wzór PREN **nie uwzględnia**. Ma to ogromne znaczenie praktyczne.

Ten sam materiał może zachowywać się prawidłowo w roztworze chlorkowym przy niskiej temperaturze, a w podwyższonej temperaturze stać się podatny na korozję miejscową.

Dlatego przy dokładniejszej ocenie materiałów stosuje się m.in. pojęcie: **CPT - Critical Pitting Temperature**, czyli krytycznej temperatury korozji wżerowej.

Jest to temperatura, powyżej której w określonych warunkach badania może rozpocząć się stabilny rozwój wżerów.

PREN a badania ASTM G48

PREN jest wartością obliczeniową wynikającą ze składu chemicznego. Jeżeli wymagana jest rzeczywista ocena zachowania materiału, stosuje się badania laboratoryjne.

Jedną z najważniejszych metod jest **ASTM G48 - Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by Use of Ferric Chloride Solution**.

Norma obejmuje metody badań odporności na korozję wżerową i szczelinową stali nierdzewnych oraz stopów pokrewnych w agresywnym środowisku chlorkowym. Badania tego typu pozwalają m.in. porównywać materiały oraz określać krytyczne temperatury inicjacji korozji wżerowej lub szczelinowej.

Dlaczego PREN nie wystarcza do wyboru stali?

To najważniejsze ograniczenie całej metody.

PREN nie jest gwarancją odporności korozyjnej materiału.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

Wzór uwzględnia przede wszystkim skład chemiczny, natomiast rzeczywista odporność zależy również od wielu innych czynników.

Temperatura

Wzrost temperatury może bardzo znacząco zwiększyć ryzyko korozji miejscowej.

Stężenie chlorków

Większa zawartość Cl^- zazwyczaj zwiększa agresywność środowiska.

pH

Kwaśne środowisko może destabilizować warstwę pasywną.

Potencjał elektrochemiczny i obecność utleniaczy

Warunki utleniające mogą istotnie zmieniać podatność materiału na inicjację wżerów.

Stan powierzchni

Chropowatość, zgorzelina, zanieczyszczenia żelazem, przebarwienia spawalnicze i niewłaściwa obróbka powierzchni mogą pogorszyć rzeczywistą odporność.

Spawanie

[Proces spawania stali nierdzewnej](#), może lokalnie zmieniać mikrostrukturę oraz rozkład pierwiastków stopowych.

Szczególne znaczenie ma to w stalach duplex i superduplex, gdzie prawidłowy udział ferrytu i austenitu oraz brak niekorzystnych wydzieliń mają duże znaczenie dla odporności korozyjnej.

Mikrostruktura

PREN obliczony ze średniego składu chemicznego nie opisuje dokładnie lokalnego składu poszczególnych faz.

Jest to szczególnie ważne dla stali duplex. Chrom, molibden i azot nie rozkładają się identycznie pomiędzy ferryt i austenit. Lokalna odporność jednej z faz może więc



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

być niższa niż wynikałoby to z PREN obliczonego dla całego materiału.

Konstrukcja elementu

Nawet bardzo odporny materiał może ulec korozji, jeśli konstrukcja powoduje:

- stagnację medium,
- powstawanie osadów,
- występowanie ciasnych szczelin,
- niedostateczne płukanie powierzchni,
- koncentrację chlorków.

Dlatego prawidłowy dobór materiału musi uwzględniać zarówno gatunek stali, jak i konstrukcję urządzenia.

PREN nominalny a PREN rzeczywistego wytopu

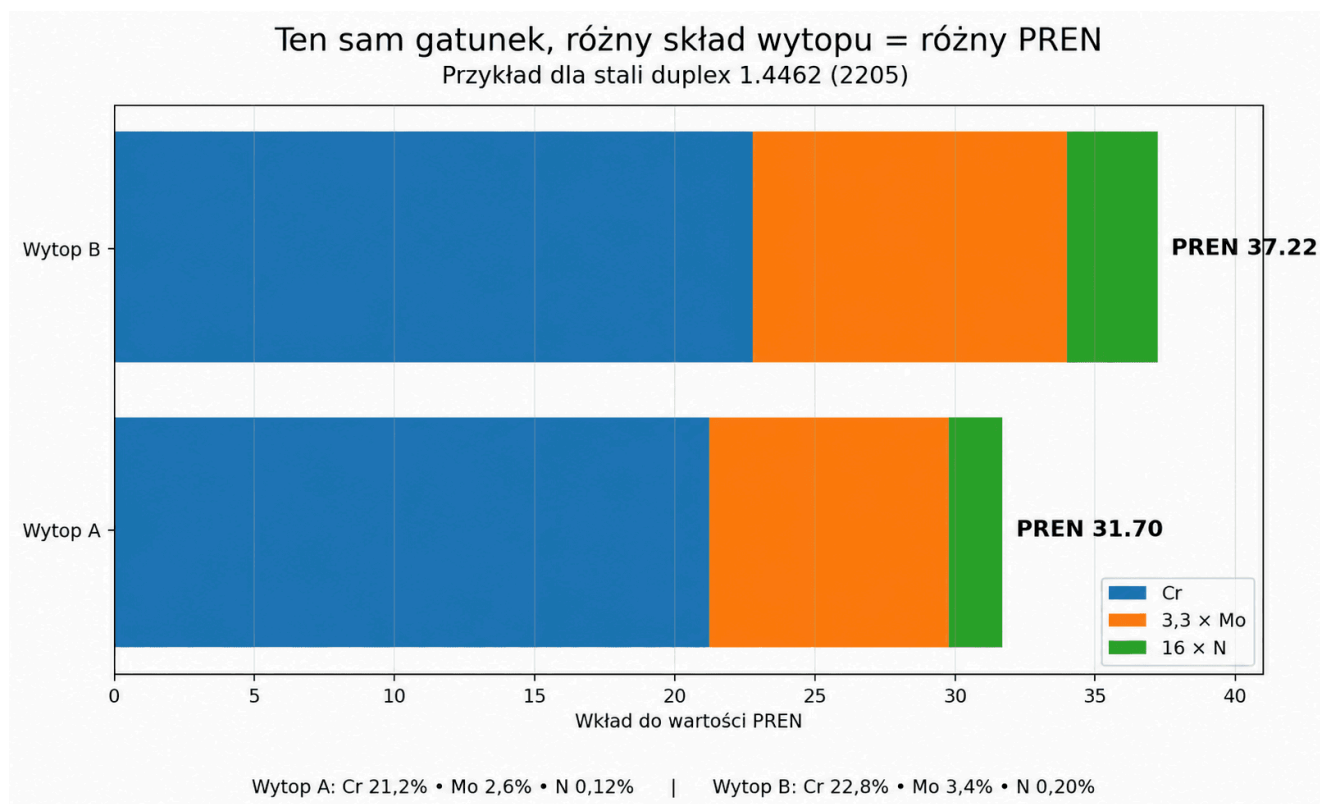
Kolejną istotną kwestią jest sposób obliczania PREN.

Skład chemiczny gatunku stali określony w normie występuje zazwyczaj jako

zakres dopuszczalnych zawartości pierwiastków, np.:



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnych i stopów niklu



- Cr = 21,0-23,0%
- Mo = 2,5-3,5%
- N = 0,10-0,22%

Nie istnieje więc jedna absolutna wartość PREN dla każdego materiału należącego do danego gatunku.

Można obliczyć PREN na podstawie:

- minimalnych zawartości pierwiastków według normy,
- wartości nominalnych,
- średnich wartości składu,
- rzeczywistej analizy chemicznej konkretnego wytopu.

W zastosowaniach wymagających potwierdzenia minimalnej wartości PREN najbardziej miarodajne jest obliczenie jej na podstawie **rzeczywistego składu chemicznego konkretnej partii materiału**, np. danych zawartych w świadectwie odbioru 3.1.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

Przykład wpływu składu rzeczywistego na PREN

Rozważmy dwa wytopy tego samego gatunku stali.

Wytop A:

- Cr = 21,2%
- Mo = 2,6%
- N = 0,12%

PREN:

$$21,2 + 3,3 \times 2,6 + 16 \times 0,12 = 31,70$$

Wytop B:

- Cr = 22,8%
- Mo = 3,4%
- N = 0,20%

PREN:

$$22,8 + 3,3 \times 3,4 + 16 \times 0,20 = 37,22$$

Oba materiały mogą formalnie należeć do tego samego gatunku, a mimo to ich obliczeniowe PREN różni się o ponad 5 punktów.

Pokazuje to, dlaczego w wymagających zastosowaniach technicznych samo oznaczenie gatunku może być niewystarczające.

Czy nikiel zwiększa PREN?

W klasycznym równaniu PREN **nikiel nie występuje**.

Nie oznacza to jednak, że nikiel nie ma znaczenia dla właściwości korozyjnych stali.

[Nikiel](#) silnie wpływa m.in. na stabilność austenitu, mikrostrukturę materiału oraz odporność w wielu środowiskach chemicznych. PREN został jednak skonstruowany jako wskaźnik odnoszący się przede wszystkim do odporności na **korozję wżerową w środowiskach chlorkowych**.

Dlatego nie wolno interpretować PREN jako ogólnego wskaźnika „odporności chemicznej” stali.

Materiał o wyższym PREN nie musi być bardziej odporny od materiału o niższym PREN na każdy kwas, zasadę czy środowisko procesowe.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

PREN nie określa odporności na wszystkie rodzaje korozji

Wysoka wartość PREN nie oznacza automatycznie wysokiej odporności na:

- [korozję równomierną](#),
- [korozję międzykrystaliczną](#),
- [korozję naprężeniową SCC](#),
- [korozję galwaniczną](#),
- [korozję wysokotemperaturową](#),
- [utlenianie](#),
- [nawęglanie](#),
- siarkowanie.

PREN należy więc stosować dokładnie zgodnie z jego przeznaczeniem – jako **wskaźnik porównawczy odporności na korozję wżerową**, przede wszystkim w środowiskach zawierających chlorki.

PREN, CPT i rzeczywisty dobór materiału

Przy wstępnym porównaniu gatunków PREN jest niezwykle wygodnym parametrem. Przy odpowiedzialnym doborze materiału warto jednak analizować jednocześnie:

- **PREN** – wynikający ze składu chemicznego potencjał odporności na wżery,
- **CPT** – [krytyczną temperaturę korozji wżerowej](#),
- **CCT** – [krytyczną temperaturę korozji szczelinowej](#),
- **wyniki badań korozyjnych**, np. według ASTM G48,
- temperaturę pracy,
- stężenie chlorków,
- pH,
- obecność utleniaczy,
- prędkość przepływu,
- możliwość stagnacji,
- obecność szczelin i osadów,
- sposób wykonania i spawania instalacji,
- stan powierzchni.

Dopiero zestawienie tych informacji daje podstawę do właściwego doboru materiału.



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

Podsumowanie

PREN (Pitting Resistance Equivalent Number) jest jednym z najbardziej użytecznych wskaźników do szybkiego porównywania potencjalnej odporności stali nierdzewnych na korozję wżerową.

Najczęściej stosowany wzór ma postać:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N$$

a dla materiałów zawierających wolfram:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 16 \times \%N$$

Wyższa wartość PREN oznacza z reguły większą odporność na inicjację korozji wżerowej w środowiskach chlorkowych.

Nie należy jednak traktować PREN jako samodzielnego kryterium doboru stali. Wskaźnik nie uwzględnia temperatury, pH, stężenia chlorków, mikrostruktury, jakości powierzchni, warunków spawania ani konstrukcji urządzenia.

Dlatego PREN najlepiej traktować jako **pierwszy etap selekcji materiałów**. W wymagających zastosowaniach powinien być uzupełniony analizą środowiska pracy oraz – jeżeli jest to konieczne – wynikami badań odporności na korozję wżerową i szczelinową.

Porównanie wartości PREN stali nierdzewnych, duplex i stopów niklu

Poniższa tabela przedstawia orientacyjne wartości **PREN (Pitting Resistance Equivalent Number)** dla popularnych stali nierdzewnych, stali duplex i superduplex, wysokostopowych stali austenitycznych oraz wybranych stopów niklu. Dla większości stali nierdzewnych wartość PREN oblicza się według wzoru:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N$$

Wartość PREN jest parametrem porównawczym. Im wyższa wartość, tym większa jest zazwyczaj odporność materiału na inicjację korozji wżerowej w środowiskach zawierających chlorki. Nie jest to jednak uniwersalny wskaźnik całkowitej odporności korozyjnej materiału.

Gatunek / stop	EN / W.Nr.	UNS / AISI	Typ materiału	Cr [%]	Mo [%]	N [%]	PREN	Orientacyjna odporność na korozję wżerową
AISI 304	1.4301	S30400	austenityczna	17,5–19,5	–	≤0,11	ok. 18–20	podstawowa



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnych i stopów niklu

AISI 304L	1.4307	S30403	austenityczna	17,5–19,5	–	≤0,11	ok. 18–20	podstawowa
AISI 321	1.4541	S32100	austenityczna, stabilizowana Ti	17–19	–	≤0,10	ok. 18–20	podstawowa
AISI 316	1.4401	S31600	austenityczna Mo	16,5–18,5	2,0–2,5	≤0,11	ok. 23–26	umiarkowana
AISI 316L	1.4404	S31603	austenityczna Mo	16,5–18,5	2,0–2,5	≤0,11	ok. 24–25	umiarkowana
AISI 316Ti	1.4571	–	austenityczna Mo- Ti	16,5–18,5	2,0–2,5	≤0,11	ok. 24–26	umiarkowana
316L high Mo	1.4436	–	austenityczna Mo	ok. 17	ok. 2,6	ok. 0,06	ok. 27	umiarkowana / podwyższona
AISI 317L	1.4438	S31703	austenityczna wysokie Mo	18–20	3–4	≤0,10	ok. 29–31	wysoka
904L	1.4539	UNS N08904	wysokostopowa austenityczna	19–21	4–5	≤0,15	ok. 34	wysoka
LDX 2101	1.4162	S32101	lean duplex	ok. 21–22	ok. 0,3	ok. 0,22	ok. 26	umiarkowana
Duplex 2304	1.4362	S32304	lean duplex	ok. 23	ok. 0,3	ok. 0,09	ok. 25	umiarkowana
Duplex 2205	1.4462	S31803 / S32205	duplex	ok. 22	ok. 3,1	ok. 0,17	ok. 35	wysoka
Superduplex 2507	1.4410	S32750	superduplex	ok. 25	ok. 3,8	ok. 0,29	ok. 41–42,5	bardzo wysoka
Superduplex Zeron 100	1.4501	S32760	superduplex	ok. 25	ok. 3,5	ok. 0,25	ok. 40–42	bardzo wysoka
254 SMO	1.4547	S31254	superaustenityczna 6Mo	19,5–20,5	6–7	0,18–0,25	≥42,5	bardzo wysoka
Alloy 926 / 6Mo	1.4529	N08926	superaustenityczna 6Mo	19–21	6–7	0,15–0,25	ok. 42–47	bardzo wysoka
AL-6XN	–	N08367	superaustenityczna 6Mo	20–22	6–7	0,18–0,25	ok. 44–48	bardzo wysoka
Sanicro 35	1.4562	N08935	Fe-Ni-Cr-Mo	ok. 27	ok. 6,5	ok. 0,4	ok. 52	bardzo wysoka
Alloy 825	2.4858	N08825	Ni-Fe-Cr-Mo-Cu	19,5–23,5	2,5–3,5	–	ok. 29–33	wysoka
Alloy 625	2.4856	N06625	Ni-Cr-Mo-Nb	20–23	8–10	–	ok. 52	bardzo wysoka
Alloy C-276	2.4819	N10276	Ni-Cr-Mo-W	ok. 16	ok. 16	–	ok. 75*	bardzo wysoka
Alloy 22	2.4602	N06022	Ni-Cr-Mo-W	ok. 22	ok. 13	–	ok. 70*	bardzo wysoka



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnych i stopów niklu

Alloy 59	2.4605	N06059	Ni-Cr-Mo	ok. 23	ok. 16	-	ok. 76*	bardzo wysoka
Alloy 2120	2.4700	N06058	Ni-Cr-Mo-N	ok. 21	ok. 19	ok. 0,075	ok. 86*	bardzo wysoka

* Wartości PREN oznaczone gwiazdką dla wybranych stopów niklu Ni-Cr-Mo pochodzą z obliczeń według zmodyfikowanego równania stosowanego przez VDM Metals:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 30 \times \%N$$

W równaniu tym uwzględniono wpływ wolframu oraz zastosowano wyższy współczynnik dla azotu niż w klasycznym równaniu stosowanym powszechnie dla stali nierdzewnych. Dlatego wartości PREN oznaczonych gwiazdką nie należy bezpośrednio porównywać liczbowo z wartościami PREN obliczonymi według wzoru **Cr + 3,3Mo + 16N**.

Jak interpretować różnice wartości PREN?

Tabela pokazuje wpływ składu chemicznego na odporność na korozję wżerową. Typowe stale austenityczne bez dodatku molibdenu, takie jak **1.4301 / AISI 304** i **1.4307 / AISI 304L**, osiągają PREN około 18-20. Dodanie molibdenu w stalach typu **316L / 1.4404** podnosi wartość PREN do około 24-25.

Kolejny poziom odporności reprezentują stale o większej zawartości molibdenu, takie jak **317L** i **904L / 1.4539**. Dla stali 904L wartość PREN wynosi około 34. Bardzo wyraźny wzrost odporności występuje w stalach duplex. Dla **duplex 2205 / 1.4462** typowa wartość PREN wynosi około 35, podczas gdy dla stali **superduplex 2507 / 1.4410** przekracza 40. Dane producentów wskazują dla 2507 wartość minimalną około **42,5**. Dla porównania Outokumpu podaje w swojej tabeli wartości PRE około 25 dla 2304, 26 dla LDX 2101, 35 dla 2205 oraz 41 dla 2507.

Stale 6Mo i PREN powyżej 40

W grupie materiałów przeznaczonych do bardzo agresywnych środowisk chlorkowych znajdują się wysokostopowe stale austenityczne typu **6Mo**. Jednym z najbardziej znanych przykładów jest **254 SMO / 1.4547 / UNS S31254**. Producent podaje dla tego materiału minimalną wartość **PREN ≥ 42,5**.

Podobną klasę odporności reprezentują gatunki **1.4529 / Alloy 926** oraz **AL-6XN / UNS N08367**. Dzięki połączeniu wysokiej zawartości chromu, około 6-7% molibdenu oraz dodatku azotu osiągają wartości PREN przekraczające 40.

Sanicro 35 i Alloy 625 - PREN około 52

Jeszcze wyżej znajduje się **Sanicro 35 / 1.4562 / UNS N08935**. Alleima podaje



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

nominalną wartość PREN około **52**, obliczoną według klasycznego wzoru **Cr + 3,3Mo + 16N**. Producent wskazuje jednocześnie, że jest to poziom porównywalny z Alloy 625.

Alloy 625 / 2.4856 / UNS N06625 zawiera około 20–23% Cr i aż około 8–10% Mo. Bardzo wysoka zawartość molibdenu powoduje, że jego orientacyjna wartość PREN wynosi około 50–53.

Dlaczego przy C-276, Alloy 22, Alloy 59 i Alloy 2120 znajduje się gwiazdka?

Dla wysoko stopowych materiałów Ni-Cr-Mo należących do tzw. C-family firma VDM Metals stosuje zmodyfikowane równanie:

$$\text{PREN} = \%Cr + 3,3 \times (\%Mo + 0,5 \times \%W) + 30 \times \%N$$

Według tej metody VDM podaje orientacyjne wartości:

- **Alloy C-276 / 2.4819 - PREN około 75***,
- **Alloy 22 / 2.4602 - PREN około 70***,
- **Alloy 59 / 2.4605 - PREN około 76***,
- **Alloy 2120 / 2.4700 - PREN około 86***.

Wartości te pochodzą bezpośrednio z zestawienia VDM Metals, w którym dla C-276 przyjęto typowo około 16% Cr, 16% Mo i 3,5% W, dla Alloy 22 około 22% Cr, 13% Mo i 3% W, dla Alloy 59 około 23% Cr i 16% Mo, a dla Alloy 2120 około 21% Cr, 19% Mo i 0,075% N.

Gwiazdka jest więc istotna, ponieważ liczba 75 czy 86 może sugerować, że jest bezpośrednio porównywalna np. z PREN 42,5 stali 254 SMO. Tymczasem wartości te zostały obliczone przy zastosowaniu innego równania.

Czy materiał o PREN 50 jest zawsze lepszy od materiału o PREN 40?

Nie. PREN opisuje przede wszystkim potencjalną odporność na **korozję wżerową w środowiskach chlorkowych**. Nie jest uniwersalnym rankingiem odporności chemicznej.

Na rzeczywistą odporność materiału wpływają również temperatura, pH, stężenie chlorków, obecność utleniaczy i reduktorów, naprężenia, stan powierzchni, mikrostruktura, proces spawania oraz możliwość występowania szczelin i osadów. Dobrym przykładem jest **Alloy 825**. Jego PREN może być niższy niż PREN duplex



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

2205, mimo że jest to wysokostopowy materiał nikłowy bardzo dobrze sprawdzający się w określonych środowiskach kwasowych. Sam PREN nie uwzględnia bowiem całego wpływu niklu, miedzi ani innych pierwiastków stopowych na odporność chemiczną.

PREN a CPT - dwa różne parametry

Przy porównywaniu materiałów warto obok PREN analizować również **CPT (Critical Pitting Temperature)**, czyli krytyczną temperaturę korozji wżerowej. PREN wynika ze składu chemicznego, natomiast CPT opisuje zachowanie materiału w określonych warunkach badania.

Dlatego dwa materiały o podobnej wartości PREN nie muszą mieć identycznej odporności w rzeczywistej instalacji. Przy bardzo wysokostopowych materiałach różnice najlepiej oceniać również na podstawie badań według ASTM G48 lub ASTM G150. Dla przykładu Alleima podaje dla Sanicro 35 bardzo wysoką krytyczną temperaturę wżerową, jednocześnie porównując ten materiał z 254 SMO, Alloy 625 i C-276.

Wniosek: PREN jest doskonałym narzędziem do wstępnego porównania materiałów, szczególnie stali nierdzewnych o podobnym mechanizmie pasywacji. Im bardziej jednak przechodzimy od klasycznych stali nierdzewnych w stronę wysoko stopowych stopów niklu Ni-Cr-Mo-W, tym ostrożniej należy traktować prostą interpretację liczbową PREN.

Rodzaje korozji stali i metali

[Korozja równomierna stali i metali](#)

[Korozja wżerowa stali nierdzewnych](#)

[Korozja szczelinowa stali nierdzewnych](#)

[Korozja międzykrystaliczna stali nierdzewnej](#)

[Korozja naprężeniowa SCC](#)

[Korozja galwaniczna](#)

[Korozja erozyjna](#)

[Korozja kawitacyjna](#)

[Korozja zmęczeniowa](#)

[Korozja cierna](#)

[Korozja mikrobiologiczna MIC](#)

[Korozja wysokotemperaturowa](#)



PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali
nierdzewnych i stopów niklu

Podział korozji ze względu na środowisko

Korozja morska - korozja stali i metali w wodzie morskiej

Korozja atmosferyczna

Korozja gruntowa

Korozja w wodzie słodkiej i przemysłowej

Korozja w środowiskach chlorkowych

Korozja w środowiskach kwaśnych

Korozja w środowiskach alkalicznych

Korozja w gazach i spalinach

Korozja w ściekach i instalacjach kanalizacyjnych

Korozja w środowiskach chemicznych i petrochemicznych

Tematy powiązane

CPT - krytyczna temperatura korozji wżerowej stali nierdzewnych i stopów niklu

PREN - wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnej

CCT - krytyczna temperatura korozji szczelinowej stali nierdzewnych i stopów niklu