

## **SLAJD 1**

Charakterystyka i właściwości stali nierdzewnych, zastosowania w konstrukcjach.

## **SLAJD 2**

Stale nierdzewne wraz ze stalami żaroodpornymi i żarowytrzymałymi stanowią grupę stali odpornych na korozję, zawierających minimum 10,5% chromu i maksymalnie do 1,2% węgla. Skład chemiczny stali nierdzewnych bazuje na kilku podstawowych pierwiastkach stopowych. Głównymi pierwiastkami stopowymi są chrom, nikiel i molibden, a ponadto dodatki takich pierwiastków jak tytan, niob, miedź, mangan, krzem, aluminium oraz węgiel i azot, a także pierwiastki traktowane jako zanieczyszczenia, czyli siarka i fosfor. Oprócz wymienionych pierwiastków w stalach nierdzewnych mogą także występować dodatki wolframu, cyrkonu i boru. Właściwe dobranie stężenia poszczególnych pierwiastków stopowych wpływa na uzyskanie odpowiednich właściwości mechanicznych i odporności korozyjnej stali.

## **SLAJD 3**

Istnieje pięć typów stali nierdzewnych: austenityczne, umacniane wydzielinowo, ferrytyczne, martenzytyczne i austenityczno-ferretyczne czyli duplex. Wykresy przedstawiają skład procentowy poszczególnych pierwiastków stopowych dla każdej z tych stali. Najczęściej stosowanymi w konstrukcjach budowlanych są stale austenityczne, duplex oraz ferrytyczne. Najszerzej stosowane stale austenityczne zawierają średnio od 17-18 % chromu i od 8 do 11 % niklu. Ten typ stali jest zdecydowanie najczęściej stosowany w stalowych konstrukcjach budowlanych. Kolejno stale ferrytyczne zawierają średnio od 10,5 do 30 % chromu, a zawartość niklu jest bardzo niska lub bliska zeru. Kolejno stale typu duplex zawierają zwykle od 21-26 % chromu, od 1 do 7 % niklu, do 5 % molibdenu. Łącznie ze stalami ferrytycznymi zawierają mniej niklu niż gatunki austenityczne, ich cena wykazuje mniejszą zmienność.

## **SLAJD 4**

Zgodnie z normami europejskimi istnieją 2 typy oznaczania stali nierdzewnych. Pierwszy system cyfrowy, gdzie oznaczenie gatunku składa się z 5 cyfr. I tak przykładowo gatunek stali austenitycznej 304 L posiada numer stali 1.4307, gdzie 1. oznacza stal, 43 oznacza grupę stali, a 07 wyróżnia konkretny gatunek w grupie. Grupy stali oznaczono wg normy 10027-2. Drugim systemem oznaczania jest system znakowy. Oznaczenie składa się z symboli literowych i cyfr co pozwala na ustalenie składu chemicznego stali. Znak stali o numerze 1.4307 to X2CrNi18-9, gdzie X-oznacza stal wysokostopową, 2 oznacza średnie stężenie węgla w stali w setnych częściach %, CrNi – symbole chemiczne głównych pierwiastków stopowych i 18-9 – to liczby określające średnie stężenie kolejnych pierwiastków stopowych w %. Istnieją też inne systemy oznaczeń stali nierdzewnych, które są mniej używane.

## SLAJD 5

W Eurokodzie 3 cz 4. Do projektowania konstrukcji ze stali nierdzewnych zamieszczono tablicę, która przedstawia skład chemiczny poszczególnych gatunków stali. Wymieniono w niej wiele gatunków stali o strukturze austenitycznej i typu duplex, ale dużo mniej o strukturze ferrytycznej. Należy się spodziewać, że zakres stali ferrytycznych objętych normą PN-EN 1993-1-4 zostanie poszerzony w następnej aktualizacji tej normy.

## SLAJD 6

W zastosowaniach konstrukcyjnych ważne są właściwości mechaniczne stali nierdzewnych. Pierwszą z nich jest charakterystyka naprężenie-odkształcenie. Rysunek 1 przedstawia tę zależność dla różnych stali nierdzewnych i konstrukcyjnej stali węglowej gatunku S355, do odkształcenia 0,75%, Rysunek 2 przedstawia typowe wykresy rozciągania tych samych stali, ale w pełnym zakresie odkształcenia, do momentu zniszczenia-zerwania. Najważniejszą różnicą jest kształt krzywej. Stal węglowa wykazuje liniową zależność w zakresie sprężystym aż do wyraźnie zaznaczonej granicy plastyczności, po której następuje plastyczne płynięcie stali, zanim nastąpi kolejne umocnienie materiału. Wykres rozciągania dla stali nierdzewnej ma bardziej zaokrąglony kształt, a zależność naprężenie-odkształcenie staje się nieliniowa, bez wyraźnie określonej granicy plastyczności. Zatem wysoki stopień umocnienia wpływa na wytrzymałość tych stali.

## SLAJD 7

Ponieważ stale nierdzewne nie wykazują cech wyraźnej granicy plastyczności, dlatego w tym przypadku wyznacza się umowną granicę plastyczności, którą oznacza się jako  $R_{p0,2}$ . Jest to naprężenie powodujące w rozciąganej próbce umowne wydłużenie trwałe równe 0,2%. Rysunek przedstawia zasadę wyznaczania umownej granicy plastyczności. Cyfrą 1 została oznaczona granica sprężystości (proporcjonalności), a 2 umowna granica plastyczności odpowiadająca wydłużeniu trwałemu 0,2%. Jeżeli chodzi o moduł Younga, w projektowaniu konstrukcyjnym zaleca się aby dla wszystkich stali nierdzewnych przyjmować stałą jego wartość czyli 200GPa.

## SLAJD 8

Stal nierdzewna jest ogólnie dostępna w stanie wyżarzonym/przesyconym. Podwyższenie parametrów wytrzymałościowych, czyli umocnienie materiału w szczególności gatunków austenitycznych, następuje w wyniku obróbki plastycznej na zimno, czyli walcowania, gięcia, tłoczenia itp. Wykres przedstawia zależności wytrzymałości na rozciąganie od wydłużenia dla różnych stali nierdzewnych. Stale ferrytyczne także można umacniać, natomiast stale duplex są trudne w umocnieniu, ze względu na ich wysoką wytrzymałość początkową. W Eurokodzie 3 cz.4 do projektowania konstrukcji ze stali nierdzewnych znajduje się tablica, która przedstawia wartości granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie stali konstrukcyjnych przerobionych na zimno. Norma ta zezwala na projektowanie konstrukcji tylko ze stali nierdzewnych umocnionych do poziomu CP350 oraz CP500. W przypadku materiału w stanie umocnienia CP350, fy przyjmuje się jako minimalna 350 N/mm<sup>2</sup>, a dla

poziomu umocnienia CP500 460 N/mm<sup>2</sup>. Można przyjąć wyższą, pod warunkiem potwierdzenia jej odpowiednimi wynikami badań eksperymentalnych.

## **SLAJD 9**

Kolejną cechą jest udarność, czyli zdolność materiału do absorpcji energii przed złamaniem. Wykres przedstawia porównanie udarności różnych typów stali nierdzewnych w zależności od temperatury. Jak widać stale nierdzewne o strukturze austenitycznej nie wykazują charakterystycznej temperatury przejścia w stan kruchy, a ich udarność maleje wraz ze spadkiem temperatury. Mają możliwość pracy w warunkach kriogenicznych do -200°C. Stale nierdzewne typu duplex i o strukturze ferrytycznej wykazują charakterystyczną temperaturę przejścia w stan kruchy ok. -50°C do -20°C, cechują się niższą udarnością i należy już na etapie projektowania dokonywać ich doboru ze względu na kruche pękanie.

## **SLAJD 10**

Teraz chciałabym przejść do kolejnej części tematu, czyli formy wyrobów ze stali nierdzewnych. Głównego podziału wyrobów hutniczych dokonuje się na wyroby płaskie (stanowiące 85% światowego zużycia) oraz wyroby długie (około 15%). Wyroby płaskie to taśmy walcowane na zimno o  $t \leq 8\text{mm}$ , taśmy walcowane na gorąco o  $t \leq 13,5\text{mm}$  oraz blachy walcowane na gorąco o  $t \leq 13,5\text{mm}$ . Wyroby płaskie są dostarczane w stanie wyżarzonym bądź przesyconym i umocnionym przez obróbkę plastyczną na zimno. Są dostarczane w różnym stanie wykończenia powierzchni. Wyroby długie to głównie pręty, druty, kęsy oraz kształtowniki okrągłe, kwadratowe, typu I, U, T czy kątowniki o grubości czy średnicy mniejszej bądź równej 250mm. Wyroby te mogą być dostarczone w stanie powierzchni po walcowaniu na gorąco, po różnych typach obróbki cieplnej i mechanicznej lub po przeróbce plastycznej na zimno. Kolejnymi wyrobami są kształtowniki zamknięte, czyli rury okrągłe i kwadratowe. Rury okrągłe dzielimy na rury stalowe ze szwem i bez szwu. Rury ze stali nierdzewnych są dostępne w szerokim zakresie wymiarów. Ich średnica zewnętrzna waha się od 10-219,1mm, a grubość ścianki od 1 do 4mm. Największy asortyment rur ze stali nierdzewnych stanowią rury spawane ze szwem. Kolejną grupę wyrobów stanowią kształtowniki prostokątne i kwadratowe. Dla przekrojów kwadratowych długość krawędzi bocznej waha się od 10-120mm, a grubość ścianki do 4mm, natomiast w przypadku przekrojów prostokątnych długość dłuższej krawędzi od 20 do 120mm, a krótszej od 10-80mm, grubość ścianki do 4mm. W normie 1993-1-4 znajduje się tablica przedstawiająca nominalne wartości granicy plastyczności i wytrzymałości na rozciąganie konstrukcyjnych stali nierdzewnych dla poszczególnych wyrobów hutniczych.

## **SLAJD 11**

Następnym wyrobem ze stali nierdzewnych są śruby. Zaleca się aby w zastosowaniach konstrukcyjnych były stosowane śruby ze stali austenitycznych lub typu duplex. Stale na śruby i nakrętki są oznaczone literą: A-dla stali austenitycznych, a literą D, w przypadku stali duplex. Ich charakterystyki są zawarte w normie 3506. W tablicy 1 scharakteryzowano właściwości mechaniczne śrub poszczególnych klas. Różne właściwości mechaniczne

uzyskuje się zwykle przez umocnienie zgniotem i są one uzależnione od poziomu obróbki plastycznej na zimno. Śruby ze stali austenitycznych produkowane w klasie właściwości 50 będą niemagnetyczne, a te z wyższych klas mogą wykazywać pewne właściwości magnetyczne. Tablica 2 przedstawia skład chemiczny śrub odpowiednich stali nierdzewnych zalecanych do stosowania na realizację konstrukcyjne.

## **SLAJD 12**

Innym wyrobem ze stali nierdzewnej są pręty zbrojeniowe. Ich średnica może wynosić od 8 do 32mm. Wykonywane są jako gładkie, klasy A-0 i A-I bądź też żebrowane klasy A-II, A-III oraz A-IIIN. Przy wyborze prętów nierdzewnych bardzo ważne znaczenie ma ich obróbka cieplna, która poprawia własności mechaniczne produktu, ułatwia jego formowanie, a także ujednostawia wewnętrzną strukturę. Pręty nierdzewne zbrojeniowe mają szereg zalet przy stosowaniu ich w konstrukcjach betonowych:

- świetna odporność korozyjna na chlorki,
- bardzo dobre właściwości wytrzymałościowe,
- długi czas bezproblemowego użytkowania,
- niska przenikalność magnetyczna,
- odporność na wstrząsy sejsmiczne,
- wyższa odporność termiczna i ogniotrwałość w porównaniu do stali czarnych.

Pręty nierdzewne można, bez ryzyka uszkodzenia struktury, wykorzystać w agresywnym środowisku i wystawić na długotrwałe działanie szkodliwych czynników zewnętrznych.

## **SLAJD 13**

Pozostałymi wyrobami ze stali nierdzewnej są: inne elementy złączne, takie jak wkręty, kołki, nity, zaciski kausze, szekle, elementy elewacji, liny, łańcuchy, elementy mocujące i kotwiące w konstrukcjach drewnianych kamieniu i murze, elementy konstrukcyjne i złączne w budynkach basenu, w komunikacji windy, schody, balustrady, elementy małej architektury, czy też elementy mostów i kładek.

## **SLAJD 14**

Teraz przejdę do wybranych przykładów zastosowań stali nierdzewnych w konstrukcjach budynków. Pierwszym są poszycia dachowe. Możemy je wykonywać jako lekkie poszycia dachowe. W poszyciach tych warstwa izolacyjna, np. wełna szklana jest dość cienka i znajduje się poniżej drewnianej konstrukcji dachu. Niezbędne jest pozostawienie wolnej przestrzeni poniżej pokrycia dachowego z wlotem i wylotem powietrza tak aby umożliwić wentylację. Przykładem takiego poszycia jest zadaszenie centrum badawczego Neuro-Imagerie w Gif-sur-Yvette we Francji. W rejonach gdzie obiekty muszą być projektowane i realizowane z uwzględnieniem zakresu temperatur, lokalizacji i rozkładu obciążenia śniegiem, erozji spowodowanej przez przemieszczanie się śniegu są stosowane samonośne poszycia dachowe ze stali nierdzewnej. Stal nierdzewna doskonale nadaje się do tego typu

klimatu oferując: wysoką odporność na szoki termiczne dzięki niskiej rozszerzalności. Brak kruchości materiału w ujemnych temperaturach. Jest to system poszyc dachowych na rąbek stojący, który jest szczególnie przystosowany do zastosowań w terenie górskim. Niska rozszerzalność stali nierdzewnej zmniejsza liczbę połączeń lutowanych i spoin, co z kolei ogranicza ryzyko nieszczelności zwiększając trwałość konstrukcji. Samonośne pokrycia dachowych ze stali nierdzewnej są coraz częściej stosowane ze względów praktycznych takich jak łatwość obsługi i instalacji, a także ze względów ekonomicznych -niski koszt metra kwadratowego. Przykładem zastosowania takich poszyc dachowych jest Schronisko Topali – Klub alpejski Szwajcaria Vallee Matter. Możemy również wykonywać ciepłe poszycia dachowe. Rozwinęły się na przestrzeni kilku ostatnich lat ze względu na łatwość zastosowania. Pozwalają one na stosowanie grubszych warstw materiałów izolacyjnych zgodnie z nowymi zaleceniami w zakresie regulacji termicznej. W przeciwieństwie do lekkiego pokrycia dachowego, ciepłe pokrycie oznacza brak szczeliny wentylacyjnej pod wspornikiem. Podpora jest wykonana z płyt warstwowych zawierających materiał izolacyjny. Przykładem zastosowania takiego poszycia jest dom jednorodzinny Feuerbacher w Niemczech.

## SLAJD 15

Kolejnym przykładem zastosowań stali nierdzewnych jest wykorzystanie ich na elementy konstrukcyjne. Możemy wykonywać je jako płaskie i przestrzenne dźwigary dachowe, elementy zadaszenia, słupy wsparcze, czy też elementy obudowy. Stale nierdzewne bardzo często wykorzystywane są również na elementy elewacyjne. Przykładem są między innymi dwie najwyższe wieże w Malezji **Petronas Tower**, o łącznej wysokości 452 m. Drapacze chmur w Kuala Lumpur przez 6 lat nosiły miano najwyższych budowli na świecie. Budowa drapaczy chmur rozpoczęła się w 1992 roku, a została zakończona w 1998. Elewację obłożono 65 tysiącami m<sup>2</sup> stali nierdzewnej. Kolejnym przykładem, gdzie zastosowano 25 ton stali nierdzewnej na elewację budynku jest **Stacja Princess Elisabeth**. Czteroletni projekt kierowany był przez Międzynarodową Fundację Polarną (ang. IPF) na zlecenie rządu Belgii. Wśród sponsorów finansowych znalazła się firma ArcelorMittal. Wybrano stal typu EN 1.4301 / 304 2B (o słabej szorstkości). Stal nierdzewna typu austenitycznego, zatwierdzona dla tego projektu, posiada bardzo dobrą wytrzymałość w warunkach ekstremalnego zimna. Pomimo niskiej temperatury stal ta nie staje się krucha - bez ryzyka słabych pęknięć. Bardzo dobra wytrzymałość na ścieranie pozwoli jej również wytrzymać gwałtowność wiatrów, dość częstych w tej strefie.

## SLAJD 16

: Obiekty mostowe zwykle to konstrukcje o znacznych rozmiarach, narażone na szkodliwe działanie czynników atmosferycznych, korozyjnych (używanie soli odladzających podczas zimowego utrzymania), o długim okresie użytkowania (do 100 i więcej lat). Korzystne właściwości stali nierdzewnych pozwalają na projektowanie trwałych obiektów mostowych i/lub ich części wyposażenia, przy jednoczesnym zmniejszeniu (lub wyeliminowaniu) zabiegów utrzymaniowych.

## **SLAJD 17**

Stal nierdzewna stosowana jest w: remontach i elementach wyposażenia obiektów mostowych; kładkach dla pieszych; tunelach i ich elementach wyposażenia oraz mostach i wiaduktach.

## **SLAJD 18**

Pierwszym przykładem jest kładka Milenium Bridge z Yorku, wybudowana w roku 2001. Ustrojem nośnym jest dźwigar łukowy ze stali nierdzewnej do którego podwieszony jest pomost w formie dźwigara skrzynkowego, którego przekrój widzimy na slajdzie. Długość kładki wynosi 80 m. Dźwigar łukowy jest przechylony od pionu o 50 stopni. Stal nierdzewna została zastosowana tutaj również do wieszaków i balustrad.

## **SLAJD 19**

Sztandarowym zastosowaniem stali nierdzewnej w obiektach mostowych jest kładka Helix Bridge w Singapurze, wybudowana w roku 2009. Ustrojem nośnym jest kratownica w kształcie podwójnej spirali (nawiązując do cząsteczki DNA). Kładka jest 5 przęsłowa o najdłuższych przęsłach 65 m. Zewnętrzna średnica spirali wynosi ponad 10 m. W budowie kładki wykorzystano 650 t stali nierdzewnej duplex. U dołu zamieszczono kilka detali dotyczące kładki, m.in. podesty wykształcone na filarach. Dla ochrony użytkowników kładki, konstrukcja jest przykryta szklanym dachem, a nocna iluminacja należy do jednych z najefektowniejszych na świecie.

## **SLAJD 20**

Kolejnym zastosowaniem stali nierdzewnej w obiektach mostowych jest przykład ze Szkocji, gdzie został wyremontowany w roku 2012 most Allt Chonoglais. Modernizacja podyktowana była złym stanem technicznym oraz niewystarczającą nośnością użytkową. W newralgicznych obszarach zastosowano pręty zbrojeniowe wykonane ze stali nierdzewnej, zapewniając odpowiednią ochronę przed chlorkami. Cięcie i gięcie prętów przeprowadzono w wytwórni stali nierdzewnej aby uniknąć kontaktu ze stalą węglową podczas samej budowy.

## **SLAJD 21**

Wysoka wytrzymałość stali nierdzewnych w podwyższonych temperaturach sprawia że znajdują one zastosowanie w kluczowych obiektach narażonych na potencjalne zagrożenie pożarowe. Takimi obiektami są tunele. W roku 2010 wybudowano w Australii tunel North-South Bypass o długości 4,8 km. Ma on kluczowe znaczenie ze względu na jego duże dzienne obciążenie ruchem samochodowym. Stal nierdzewna została tutaj użyta w strefie stropowej do podwieszenia płaskiego stropu żelbetowego. Strefa między stropowa służy do oddymiania tunelu w czasie ewentualnego pożaru, dlatego kotwy podtrzymujące strop musiały być odporne na działanie szkodliwych gazów i wysokiej temperatury.

## **SLAJD 22**

Ostatnie dwa przykłady będą dotyczyły zastosowania stali nierdzewnej w mostach i wiaduktach. Pierwszym mostem kolejowym w którym konstrukcja przęsła w całości została wykonana ze stali nierdzewnej był wiadukt kolejowy w Hiszpanii. Ustrój nośny to dwie kratownice spawane z blach o grubości od 12 do 23 mm. Do tego obiektu wykorzystano 130 ton stali duplex.

## **SLAJD 23**

Największe odnotowane do tej pory wykorzystanie stali nierdzewnej do budowy elementu konstrukcyjnego mostu stanowią dwa pylony mostu wiszącego Stonecutters Bridge, znajdującego się w Hong Kongu wybudowanego w roku 2010. Kilka informacji o tym moście: jego długość całkowita wynosi 1596 m a długość przęsła nurtowego wynosi 1018 m. Pylony do których budowy użyto stali nierdzewnej sięgają do 296 m wysokości. U dołu podano widok na obiekt oraz przekrój poprzeczny mostu. Przekrój pylonów stanowi żelbetowy wewnętrzny pierścień zespolony z obudową ze stali nierdzewnej o grubości od 20 do 25 mm.

## **SLAJD 24**

Stale nierdzewne są na ogół bardzo odporne na korozję i zachowują się zadowalająco w środowiskach większości typów. Granica odporności korozyjnej danej stali nierdzewnej jest uzależniona od jej elementów składowych, co oznacza że każdy gatunek zachowuje się nieco inaczej w tym samym środowisku. Dlatego też należy wybrać odpowiedni gatunek stali nierdzewnej dla danego zastosowania.

Najczęstszymi powodami, dla których metale nie spełniają oczekiwań w zakresie odporności korozyjnej, są:

Błędna ocena środowiska lub narażenie stali na nieoczekiwane warunki jak na przykład skażenie jonami chlorkowymi lub wyższe niż oczekiwane nagromadzenie się ich na jej powierzchni.

Nieodpowiednie techniki wytwarzania (np. spawanie, obróbka cieplna i ogrzewanie podczas formowania), niedostateczne usunięcie zabrudzeń spoiny lub zanieczyszczenie jej powierzchni może również zwiększyć podatność na korozję.

Zbyt szorstkie lub niewłaściwe wykończenie powierzchni.

Doświadczenia wykazują, że najprawdopodobniej poważny problem korozji wystąpi w pierwszych dwóch lub trzech latach eksploatacji.

W pewnych agresywnych środowiskach niektóre gatunki stali nierdzewnej będą podatne na miejscowe ataki korozji. Należy podkreślić, że obecność wilgoci (w tym kondensacji pary wodnej) jest niezbędna aby mogła wystąpić korozja.

Rozróżniamy następujące rodzaje korozji:

równomierna

wżerowa  
szczelinowa  
galwaniczna  
naprężeniowa  
międzykrystaliczna.

## **SLAJD 25**

Rodzaje korozji i właściwości gatunków stali nierdzewnych

Korozja ogólna (równomierna)

W normalnych warunkach zwykle spotykanych w zastosowaniach konstrukcyjnych stale nierdzewne nie ulegają korozji ogólnej-równomiernej, która jest charakterystyczna dla niestopowych stali i żelaza.

Korozja wżerowa

Jak sama nazwa wskazuje korozja wżerowa przybiera postać miejscowych wżerów. Występuje w wyniku lokalnego uszkodzenia warstwy pasywnej, zwykle przez jony chlorkowe, chociaż inne halogenki i inne aniony mogą mieć podobny efekt. W rozwijającym się ubytku tworzy się bardzo żrący roztwór, który powoduje szybkie rozprzestrzenianie się korozji. W większości zastosowań konstrukcyjnych zakres wystąpienia korozji wżerowej jest niewielki, a redukcja przekroju elementów pomijalnie mała. Jednakże produkty korozji mogą przebarwić elementy architektoniczne. Zagrożenie korozją wżerową dotyczy takich ustrojów konstrukcyjnych jak: kanały, rurociągi czy elementy obudowy.

Jony chlorkowe jako dość agresywne są najczęstszą przyczyną powstawania korozji wżerowej w zastosowaniach na zewnątrz, obszarach przybrzeżnych i środowiskach obciążonych solami odladzającymi. Oprócz zawartości chlorków prawdopodobieństwo wystąpienia korozji wżerowej w środowisku pracy jest zależne również od innych czynników takich jak temperatura, żrące substancje zanieczyszczające i cząstki stałe, kwasowość lub zasadowość, zawartość utleniaczy, a także obecność lub brak tlenu.

## **SLAJD 26**

Odporność na korozję stali nierdzewnych zależy od ich składu chemicznego. Chrom, molibden i azot zwiększają odporność na korozję wżerową.

Równoważnik odporności na korozję wżerową(PREN) pozwala w przybliżeniu oszacować odporność na korozję i określa się go jako:

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



Wskaźnik PREN jest pomocny przy porównaniu odporności korozyjnej różnych stali nierdzewnych. Powinien być stosowany jako pierwszy, przybliżony wskaźnik. Małe różnice w wartości wskaźnika PREN mogą być spowodowane wystąpieniem innych czynników, które mają również istotny wpływ na odporność korozyjną stali. Dlatego PREN nie powinien być jedynym czynnikiem w doborze gatunku stali.

## **SLAJD 27**

### Korozja szczelinowa

Korozja szczelinowa występuje w wąskich i niedomkniętych szczelinach gdzie stale gromadzi się powstała woda zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz szczeliny. Szczelina musiałaby być bardzo szczelna aby umożliwić wnikanie wody i rozpuszczonego chlorku, a jednocześnie nie dopuścić do przenikania tlenu do szczeliny.

## **SLAJD 28**

### Korozja bimetaliczna (galwaniczna)

Gdy dwa różne metale znajdują się w kontakcie elektrycznym lub połączone elektrolitem (tzn. elektrycznie przewodzące cieczy, takie jak woda morska lub zanieczyszczona słodka woda), wówczas prąd przepływa z metalu anodowego do katodowego lub szlachetnego metalu. W rezultacie prowadzi to do korozji mniej szlachetnego metalu.

## **SLAJD 29**

### Korozja międzykrystaliczna i korozja spoin

Przy długotrwałym ogrzewaniu austenitycznych stali nierdzewnych w zakresie temperatur od 450 do 850°C, stali do 850°C, w granic ziaren wytrąca się w postaci węgla chromu. Usuwa chrom z roztworu stałego i pozostawia niższą zawartość chromu w sąsiedztwie granic ziaren.

## **SLAJD 30**

### Korozja naprężeniowa

Rozwój korozji naprężeniowej (SCC) wymaga jednoczesnego występowania naprężeń rozciągających i specyficznych czynników środowiskowych, gdzie jest mało prawdopodobne aby mogły wystąpić w normalnej atmosferze budynków. Naprężenia nie muszą być bardzo duże w stosunku do granicy plastyczności materiału i mogą wynikać z obciążenia, czy pozostałości z procesów produkcyjnych, takich jak spawanie lub gięcie.

## **SLAJD 31**

### Projektowanie ze względu na korozję

Najważniejszym krokiem w zapobieganiu problemom korozji jest wybór odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej oraz właściwych procedur produkcji w odniesieniu do danego środowiska. Jednak po określeniu konkretnego gatunku stali nierdzewnej można jeszcze wiele poprawić w osiągnięciu pełnej odporności korozyjnej stali, zwracając większą uwagę na wzmacnianie szczegóły. Zabezpieczenia antykorozyjne powinny być rozważane już na etapie projektowania, szczególnie podczas projektowania szczegółów konstrukcyjnych.

### **SLAJD 32**

Procedura doboru gatunku stali austenitycznych i duplex według normy PN-EN 1993-1-4

Procedura obejmuje następujące etapy:

Określenie Współczynnika Odporności Korozyjnej (CRF) środowiska, oraz

Określenie Klasy Odporności Korozyjnej (CRC) na podstawie CRF

Współczynnika Odporności Koro CRF zależy od stopnia zagrożenia środowiska i oblicza się go w następujący sposób:

$$CRF = F_1 + F_2 + F_3$$

gdzie:

F<sub>1</sub>=Ryzyko narażenia na działanie chlorków ze słonej wody lub soli odładzających;

F<sub>2</sub>=Ryzyko narażenia na dwutlenek siarki;

F<sub>3</sub>=Czyszczenie, zmywanie przez deszcz.

Wartość F<sub>1</sub> dla zastosowań w linii brzegowej zależy od konkretnej lokalizacji w Europie i wynika z doświadczeń z istniejącymi już obiektami, danymi dotyczącymi badań postępu korozji i danymi dotyczącymi dystrybucji chlorków. Duża różnorodność środowisk w Europie oznacza, że w niektórych przypadkach obliczony CRF będzie zachowawczy.

### **SLAJD 33**

Dobór odpowiedniego gatunku stali nierdzewnej powinien uwzględniać środowiskowe warunki eksploatacji, technologie wytwarzania, takie jak gięcie czy spawanie, wykończenie powierzchni i konserwację konstrukcji. Ponadto projektant musi określić kryteria uszkodzenia korozją. Jeśli element konstrukcyjny musi być nośny przez określony czas, a wygląd nie jest istotny oraz jeśli wzięto pod uwagę dopuszczalną szybkość korozji wtedy zastosowanie mniej odpornej na korozję stali może być zadowalające. Jeśli jednak wygląd wolnej od korozji konstrukcji jest ważny, wówczas konieczne może być zastosowanie bardziej odpornej na korozję stali nierdzewnej, gładsze wykończenie powierzchni lub częstsze czyszczenie. Czyszczenie stali nierdzewnej, nawet naturalne zmywanie przez deszcz, może utrzymać lub poprawić początkowy wygląd i pomóc w przedłużeniu żywotności konstrukcji.

Pierwszym krokiem jest charakterystyka środowiska eksploatacji konstrukcji, w tym rozsądnie przewidywane odchylenia od warunków projektowych. Oprócz narażenia na działanie substancji korozyjnych, należy uwzględnić parametry eksploatacyjne, klimatyczne i konstrukcyjne, które mogą wpływać na zachowanie się, a także przewidywaną żywotność konstrukcji.

### **SLAJD 34**

Na przykład w zastosowaniach przemysłowych, żrące związki chemiczne i ich stężenia, gromadzenie się osadu powierzchniowego, kwasowość i czyszczenie mogą wpływać na zagrożenie korozją. W zastosowaniach zewnętrznych natomiast, narażone na duże oblewanie przez deszcz (lub stopień schronienia przed opadem), poziom wilgotności (np. wilgotność, opad deszczu, mgła), stężenie cząstek w powietrzu, rozprzestrzenianie soli (np. skaliste wybrzeża lub droga), rozpryskiwanie lub zanurzenie w chlorku (soli) i podobne czynniki powinny być brane pod uwagę.

### **SLAJD 35**

We wszystkich zastosowaniach szczegóły konstrukcyjne, takie jak nieszczelność szczeliny, kontakt z innymi metalami i specyfika wykończenia mogą wpływać na postęp korozji. Ewentualne przyszłe zmiany lub zmiana sposobu użytkowania powinny być również brane pod uwagę. Określając parametry eksploatacyjne należy uwzględnić również wpływ instalacji znajdujących się w bezpośredniej bliskości analizowanej konstrukcji.

### **SLAJD 36**

Stan graniczny nośności – nośność przekroju

### **SLAJD 37**

Stanami granicznymi określa się warunki, po których przekroczeniu konstrukcja staje się niezdolna do spełnienia określonych kryteriów projektowych. Rozróżnia się trzy typy stanów granicznych: stan graniczny nośności (SGN), stan graniczny użytkowalności (SGU) i stan graniczny trwałości (SGT). Stan graniczny nośności to stan, którego przekroczenie może prowadzić do zawalenia się części lub całej konstrukcji, narażając ludzi na niebezpieczeństwo.

Przy stanach granicznych nośności musi być spełniony następujący warunek:

$E_d \leq R_d$ , gdzie:

$E_d$  – obliczeniowa wartość efektów oddziaływań, np. sił wewnętrznych, naprężeń wynikających z obciążenia oddziałującego na konstrukcję, z uwzględnieniem odpowiednich współczynników obliczeniowych,

$R_d$  – odpowiadająca im nośność obliczeniowa podana w odpowiednich częściach niniejszych zaleceń projektowania.

$\gamma_m$  jest częściowym współczynnikiem, który przyjmuje różne wartości. W tablicy podano wartości współczynnika  $\gamma_m$ , zaczerpnięte z norm PN-EN 1993-1-4 oraz PN-EN 1993-1-8. Wartości te powinny być stosowane dla stali nierdzewnych, również podczas korzystania z zasad projektowania zawartych w innych częściach Eurokodu 3, np. w przypadku mostów czy też wież, masztów i kominów, zastępując rekomendowane w tych częściach wartości współczynnika  $\gamma_m$ . Należy zwrócić uwagę na to, że wartości tego współczynnika przy obliczaniu nośności przekroju i nośności elementu ze względu na niestateczność przyjmują wartość 1,1.

## **SLAJD 38**

Zasadniczo, przekroje ze stali nierdzewnej można klasyfikować w taki sam sposób jak ze stali węglowych. Rozróżnia się cztery klasy przekroju. Klasyfikacja przekroju zależy od najwyższej (najmniej korzystnej) klasy części składowych, które są częściowo lub całkowicie ściskane. Części przekroju są klasyfikowane jako klasa 1., 2. lub 3., w zależności od wartości granicznych przedstawionych w tabl. Te części, które nie spełniają kryteriów 3. klasy, klasyfikuje się do klasy 4.

W przypadku określania klasy przekroju, dla części przęsłowych, wartości graniczne są nieco niższe niż jak dla stali węglowej. Należy pamiętać też o innej wartości modułu Younga i parametru  $\varepsilon$ .

## **SLAJD 39**

Dla wspornikowych części pasów, nie ma żadnych różnic w określaniu klasy przekroju w porównaniu ze stalą węglową. Natomiast dla rur istnieją dwie różne wartości graniczne dla klasy 3 w zależności od sposobu obciążenia przekroju. Pojawia się także dodatkowy przekrój - rura eliptyczna.

## **SLAJD 40**

Po określeniu klasy przekroju, można przystąpić do sprawdzenia jego nośności.

Obliczeniowa nośność przekrojów przy rozciąganiu  $N_{t,Rd}$  może być ustalana jako mniejsza z następujących: obliczeniowej nośności plastycznej przekroju brutto, lub obliczeniowej nośności granicznej przekroju netto z otworami na łączniki

Gdzie:  $A_g$  – pole przekroju brutto,  $A_{net}$  – pole przekroju netto,  $f_y$  – charakterystyczna granica plastyczności,  $f_u$  – charakterystyczna wytrzymałość na rozciąganie,  $k$ - wskaźnik zależny od procesu wytwarzania otworu i rodzaju obciążenia: = 1,0 dla przekrojów z gładkimi otworami, tj. otworami bez na- cięć (np. otwory wykonywane przez wiercenie lub cięcie strumieniem wody), = 0,9 dla przekrojów z nierównymi otworami, tj. otworami z wycięciami (np. otwory wykonywane przez wybijanie lub cię- cie płomieniem), = 0,9 dla konstrukcji poddanych zmęczeniu.

## SLAJD 41

Nośności przy ściskaniu, zginaniu i ścinaniu są określane w taki sam sposób jak dla stali węglowych, ze wzorów podanych poniżej.

## SLAJD 42

Przy obliczaniu nośności przy ścinaniu, należy pamiętać o ewentualnej redukcji tej nośności ze względu na lokalną utratę stateczności środnika. Sposób uwzględniania tej redukcji jest identyczny jak w stalach węglowych. Różnice, pojawiają się w wartościach granicznych, służących do sprawdzenia, czy środnik jest narażony na lokalną utratę stateczności i w wartości  $c$ , potrzebnej do obliczenia udziału pasów w przenoszeniu siły ścinającej (jeżeli uwzględni się wpływ pasów na nośność przy ścinaniu).

## SLAJD 43

Również współczynnik redukcyjny  $\chi$ , którym bezpośrednio redukujemy pole przekroju czynnego przy ścinaniu, określany na podstawie tabeli, ma nieco inne wartości w porównaniu ze stalą węglową.

## SLAJD 44

Po określeniu nośności przekroju, należy sprawdzić nośność elementu z uwagi na utratę stateczności.

## SLAJD 45

W przypadku prętów ściskanych możliwą formą utraty stateczności jest wyboczenie: giętne, skrętne lub giętno-skrętne.

W odniesieniu do elementów ze stali nierdzewnej stosuje się odpowiednie postanowienia dotyczące elementów ze stali węglowej. Nośność przekroju zostaje w odpowiedni sposób zmniejszona przez współczynnik redukcyjny  $\chi$ , uwzględniając w ten sposób powstanie dodatkowych sił wewnętrznych wynikających ze zdeformowanej geometrii pręta.

Wartość tego współczynnika określa się za pomocą tych samych wzorów, co dla stali węglowej, za wyjątkiem parametru  $\phi$ .

W obliczeniach można pominąć wpływ wyboczenia na nośność elementu i ograniczyć się tylko do sprawdzenia nośności przekroju, jeśli spełniony jest warunek:

$$\bar{\lambda} \leq \bar{\lambda}_0 \quad \text{lub} \quad \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq \bar{\lambda}_0^2, \quad \text{gdzie } \lambda_0 \text{ – względna smukłość graniczna określona w tablicy.}$$

## SLAJD 46

Wartości parametrów  $\alpha$  i  $\lambda_0$ , służących do obliczenia wsp. redukcyjnego  $\chi$ , należy określać na podstawie tabeli lub skorzystać z wykresu krzywych wyboczeniowych, zamieszczonych w podręczniku.

## SLAJD 47

Nośność elementu ze względu na wyboczenie skrętne i giętno-skrętne powinna być określona jak w przypadku wyboczenia giętnego z zastąpieniem smukłości  $\lambda \rightarrow \lambda_T$ , obliczonej na podstawie przedstawionych równań oraz z przyjęciem wartości parametrów  $\alpha = 0,34$  i  $\lambda_0 = 0,2$ .

## SLAJD 48

W przypadku elementów zginanych możliwą formą utraty stateczności jest zwichrzenie, czyli wyboczenie pasa ściskanego. Podobnie jak wcześniej, uwzględnienie zwichrzenia polega na odpowiedniej redukcji nośności przekroju przy zginaniu za pomocą współczynnika redukcyjnego  $\chi_{LT}$ . Jediną różnicą w jego obliczaniu w stosunku do stali węglowych są inne wartości parametru  $\alpha_{LT}$ , który może przyjmować wartość 0,34 dla kształtowników profilowanych na zimno i kształtowników zamkniętych (spawanych i bezszwowych), lub 0,76 dla kształtowników spawanych otwartych i pozostałych przekrojów, dla których nie przeprowadzono badań.

## SLAJD 49

Po określeniu nośności elementu ze względu na wyboczenie lub zwichrzenie należy sprawdzić interakcję tych dwóch form utraty stateczności. Dokonuje się tego za pomocą odpowiednich formuł interakcyjnych, w których należy uwzględnić odpowiednie części składowe wzorów w zależności od sposobu obciążenia pręta. Przedstawione formuły uwzględniają ściskanie pręta z jego wyboczeniem, zginanie względem mocniejszej osi ze zwichrzeniem i zginanie względem słabszej osi, biorąc również pod uwagę dodatkowy moment od mimośrodowego działania siły osiowej w przypadku przekrojów klasy 4.

## SLAJD 50

Współczynniki interakcji  $k_y$ ,  $k_z$ , i  $k_{LT}$  dla przekrojów otwartych mogą być obliczane ze wzorów:

$$k_y = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_y - 0,5) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \quad \text{lecz} \quad 1,2 \leq k_y \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_z = 1,0 + 2(\bar{\lambda}_z - 0,5) \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}} \quad \text{lecz} \quad 1,2 \leq k_z \leq 1,2 + 2 \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd})_{\min 1}}$$

$$k_{LT} = 1,0$$

Obecnie PN-EN 1993-1-4 2015 podaje tylko powyższe równania. Wykorzystanie ich do obliczeń przekrojów zamkniętych daje bardzo konserwatywne wyniki. Prawdopodobnie nowa wersja normy będzie zawierać również równania:

$$k_y = 1 + D_1(\bar{\lambda}_y - D_2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}}$$

$$k_z = 1 + D_1(\bar{\lambda}_z - D_2) \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd,y})_{\min 1}} \leq 1 + D_1(D_3 - D_2) \frac{N_{Ed}}{(N_{b,Rd,y})_{\min 1}}$$

## SLAJD 51

Wartości współczynników  $D_1$ ,  $D_2$ , i  $D_3$  zostały określone na podstawie badań i są przedstawione w tabeli.

## SLAJD 52

Ostatni warunek, który należy sprawdzić przy projektowaniu prętów jest warunek wynikający ze spełnienia stanu granicznego użyteczności.

Jest on związany ze stanami, po których przekroczeniu określone kryteria użytkowania przestają być spełnione.

## SLAJD 53

Ugięcie belek sprężystych (tzn. takich, które nie zawierają przegubów plastycznych) może być określane według klasycznej teorii, pod warunkiem że do obliczeń zostanie przyjęty sieczny moduł sprężystości. Wartość tego modułu różni się w zależności od poziomu naprężeń w belce i może być obliczana na podstawie równania:

$$E_s = \frac{(E_{S1} + E_{S2})}{2}$$

gdzie:

$E_{S1}$  - moduł sieczny odpowiadający naprężeniom w pasie rozciągającym  $\sigma_1$ ,

$E_{S2}$  - moduł sieczny odpowiadający naprężeniom w pasie ściskającym  $\sigma_2$ .

Konserwatywnie można przyjąć do obliczeń minimalną wartość  $E_s$  (odpowiadającą maksymalnym wartościom naprężeń  $\sigma_1$  i  $\sigma_2$ ), jednakową na całej długości elementu.

Wartości  $E_{S1}$  i  $E_{S2}$  odpowiadające miarodajnym naprężeniom w stanie użyteczności można wyznaczać według wzoru:

$$E_{S,i} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{\sigma_{i,Ed,ser}} \left( \frac{\sigma_{i,Ed,ser}}{f_y} \right)^n}$$

gdzie:

$\sigma_{i,Ed,ser}$  – miarodajne naprężenia w stanie gr. użytkowalności w pasie rozciągany lub ściskanym,

$E$  - moduł sprężystości = 200 000 N/mm<sup>2</sup>,

$n$  - parametr Ramberga Osgooda (wykładnik umocnienia)

Można przyjąć, że  $E_{s1}=E_{s2}$ .

Parametr  $n$  jest miarą nieliniowości krzywej opisującej zależność naprężenie–odkształcenie. Im mniejsza wartość  $n$ , tym większy stopień nieliniowości materiału. Zależy on od rodzaju stali nierdzewnej i sposobu jej wytwarzania, stopnia formowania na zimno oraz kierunku działania obciążenia (rozciąganie czy ściskanie). Z powodu dużych rozbieżności w wartościach tego parametru w tabl. zostały podane zalecane wartości wykładnika, które prawdopodobnie znajdują się w nowej wersji normy.

## SLAJD 54

Projektowanie połączeń.

## SLAJD 55

Przedstawione zalecenia odnoszą się do śrub w otworach z prześwitami, poddanych ścinaniu, rozciąganiu lub interakcji ścinania i rozciągania. Zalecenia dotyczą połączeń wykonywanych ze śrub o klasach 50, 70 oraz 80. Nośność połączeń wykonywanych ze śrub o klasie 100 należy potwierdzić do- świadczalnie. Dobrą praktyką jest stosowanie podkładek pod łbem, jak i pod nakrętką. Rozpatruje się połączenia zakładkowe, których siły przekazywane są przez docisk pomiędzy śrubą a łączonymi elementami. Nie podano zaleceń dotyczących połączeń ciernych, ale można wykorzystać wskazówki jak dla śrub sprężonych. Ogólnie, zasady wyznaczania nośności połączeń śrubowych w połączeniach ze stali nierdzewnych są takie same, jak dla stali węglowych, z wyjątkiem nośności na docisk. Nośność połączenia powinna być brana jako mniejsza wartość z nośności łączonych części i nośności łączników. Aby ograniczyć trwałe odkształcenia w połączeniach śrubowych, naprężenia pod wpływem charakterystycznej kombinacji oddziaływań zarówno w śrubach, jak i w przekroju netto łączonych elementów nie powinny przekraczać granicy plastyczności.

## SLAJD 56

Nośność połączenia śrubowego na ścinanie jest uzależniona od liczby płaszczyzn ścinania i ich usytuowania na długości śruby. W przypadku pojedynczej płaszczyzny ścinania, przy braku siły rozciągającej śrubę nośność na ścinanie powinna być określana według zależności:



$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

A – pole przekroju trzpienia śruby (jeśli płaszczyzna ścinania nie przechodzi przez gwintowaną część śruby) lub pole przekroju czynnego śruby (jeśli płaszczyzna ścinania przechodzi przez gwintowaną część śruby),

$f_{ub}$  – wytrzymałość na rozciąganie śruby. Wartość współczynnika  $\alpha$  może zostać określona w załączniku krajowym. Zalecaną wartością jest  $\alpha = 0,6$ . Ma ona zastosowanie, gdy płaszczyzna ścinania przechodzi zarówno przez gwintowaną, jak i niegwintowaną część śruby.

## SLAJD 57

Nośność na docisk połączeń śrubowych ze stali nierdzewnej należy określać na podstawie kryterium wytrzymałości lub deformacji. Nośność obliczeniowa połączeń śrubowych na docisk  $U_{b,Rd}$  jest określana jako:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5\alpha_b k_t f_u d t}{\gamma_{M2}}$$

$\alpha_b$  – współczynnik docisku w kierunku działania obciążenia,  $k_t$  – współczynnik docisku w kierunku prostopadłym do kierunku działania obciążenia,  $d$  – średnica śruby,  $t$  – grubość łączonej ścianki,  $f_u$  – wartość charakterystyczna wytrzymałości na rozciąganie stali łączonej ścianki.

Połączenia śrubowe dzielą się na dwie grupy pod względem grubości łączonych blach. Połączenia grubych blach to takie, w których grubości ścianek przekraczają 4 mm. Połączenia blach cienkich to te o ściankach mających grubość mniejszą lub równą 4 mm.

W przypadku połączeń grubych blach, gdy ich deformacja nie odgrywa istotnej roli, współczynnik  $\alpha_b$  oraz  $k_t$  wyznacza się z zależności: tabela lewa kolumna

W przypadku połączeń grubych blach, gdy ograniczenie ich deformacji jest istotne: prawa kolumna

W przypadku połączeń cienkich blach, gdy ich deformacja nie odgrywa istotnej roli, współczynniki docisku  $\alpha_b$  oraz  $k_t$  dla ścianek wewnętrznych w połączeniach zakładkowych dwuciętych są równe wartościom specyfikowanym tak jak przy blachach grubych (lewa kolumna)

W przypadku połączeń cienkich blach, gdy deformacja nie odgrywa istotnej roli, dla złączy ze śrubami ścinanymi w jednej płaszczyźnie i zewnętrznych blach w złączach zakładkowych, gdy śruba jest ścinana w dwu płaszczyznach współczynnik docisku  $\alpha_b$  określa się z zależności jak w prawej kolumnie, a  $k_t = 0,64$ . W przypadku połączeń cienkich blach, gdy ich deformacja jest istotna w projektowaniu, współczynnik docisku  $\alpha_b$  wyznacza się z zależności również z zależności w prawej kolumnie, a  $k_t = 0,5$ .

## SLAJD 58

Nośność śruby na rozciąganie  $F_t, R_d$  jest określona jako: .....wzór

gdzie  $k_2 = 0,63$  dla śrub z łbem wpuszczonym, w innych przypadkach  $k_2 = 0,9$ .

W przypadku równoczesnego obciążenia śruby siłą ścinającą  $F_v, E_d$  i rozciągającą  $F_t, E_d$  (z uwzględnieniem efektu dźwigni) należy rozpatrzyć interakcyjny warunek nośności. Można skorzystać z następującej zależności: .....wzór

Należy zwrócić uwagę, że obliczeniowa siła rozciągająca (z uwzględnieniem efektu dźwigni) musi być dodatkowo mniejsza od nośności śruby na rozciąganie.

## SLAJD 59

Projektując połączenia spawane: stopiwo powinno być co najmniej takiej jakości, jak materiał rodzimy. Należy unikać spoin pachwinowych przerywanych i czołowych o niepełnym przetopie. Przy wyznaczaniu nośności obliczeniowej spoin pachwinowych współczynnik korelacji należy przyjmować  $\beta_w = 1,0$ , niezależnie od gatunku stali, chyba że niższa wartość zostanie potwierdzona doświadczalnie. Nośność obliczeniową spoiny pachwinowej uznaje się za wystarczającą, jeśli spełnione są następujące warunki: wzór

gdzie:  $\sigma_{\perp}$  – naprężenie normalne, prostopadłe do przekroju spoiny,  
 $\tau_{\perp}$  – naprężenie styczne (w płaszczyźnie przekroju), prostopadłe do osi spoiny,  
 $\tau_{\parallel}$  – naprężenie styczne (w płaszczyźnie przekroju), równoległe do osi spoiny,  
 $f_u$  – nominalna wytrzymałość słabszej z łączonych części,

## SLAJD 60

W Rozdziale dziewiątym czwartej części Eurokodu 3 dotyczącej projektowania konstrukcji ze stali nierdzewnej zawarto informację odsyłającą do Załącznika C części 2 Eurokodu 3, dotyczącej projektowania z uwagi na warunki pożarowe stali węglowej oraz nierdzewnej.

W Eurokodzie tym możemy znaleźć również właściwości mechaniczne i termiczne stali nierdzewnej w temperaturze podwyższonej.

Podręcznik Projektowania zakłada natomiast mniej konserwatywne podejście przy wyznaczaniu odporności ogniowej niż to stosowane w Eurokodzie 3.

## SLAJD 61

Wraz ze zwiększeniem temperatury stali nierdzewnej pogorszeniu ulegają jej właściwości mechaniczne, wytrzymałość i sztywność. Podobnie jak dla stali węglowej, tak i dla nierdzewnej wprowadza się współczynniki redukujące te właściwości w zależności od

temperatury. PN-EN 1993-1-2:2007 zawiera 6 zestawów współczynników redukcyjnych dla różnych gatunków stali nierdzewnej i tylko jeden zestaw dla stali węglowej. Liczba zestawów współczynników redukcyjnych dla stali nierdzewnych jest zasadna, ponieważ przy podwyższonej temperaturze właściwości materiału mogą się znacznie różnić, z uwagi na zróżnicowany skład chemiczny. W kolejnej wersji PN-EN 1993-1-2 gatunki stali nierdzewnych posiadające podobne właściwości w podwyższonej temperaturze będą przyporządkowane do tych samych grup, a współczynniki redukcyjne odnoszące się do tych grup zastąpią indywidualne współczynniki odpowiadające danemu gatunkowi stali nierdzewnej. Podział na grupy gatunków stali będzie następujący: 3 grupy austenicznych, 2 grupy duplex, 2 grupy stali ferrytycznych. Podział ten jest przedstawiony w Podręczniku.

## **SLAJD 62**

Pierwszy współczynnik redukcyjny dotyczy umownej granicy plastyczności nierdzewnej stali przy wydłużeniu trwałym wynoszącym 0,2% w podwyższonej temperaturze w stosunku do granicy plastyczności tej stali w temperaturze pokojowej. Współczynnik ten jest stosowany przy określaniu nośności elementów.

Wykres przedstawia zmienność współczynników redukcyjnych pod wpływem temperatury II grupy austenicznej, oraz pierwszej i drugiej grupy duplex w porównaniu do stali węglowej. Pomimo dość gwałtownego pogorszenia się właściwości w zakresie temperatury do 400°C, większą proporcję granicy plastyczności dla stali nierdzewnej uzyskujemy w bardziej istotnych, wyższych temperaturach, które osiągnęte są już po pewnym czasie oddziaływania ognia.

## **SLAJD 63**

Drugi współczynnik redukcyjny dotyczy efektywnej granicy plastyczności stali nierdzewnej przy wydłużeniu trwałym wynoszącym 2% pod wpływem podwyższonej temperatury w stosunku do granicy plastyczności tej stali w temperaturze pokojowej i stosowany jest przy wyznaczaniu nośności przekrojów.

## **SLAJD 64**

Współczynnik redukcyjny dotyczący sztywności wyraża stosunek modułu sprężystości liniowej w podwyższonej temperaturze do modułu sprężystości liniowej w temperaturze 20°C. Wykres przedstawia zmianę sztywności stali nierdzewnej i węglowej pod wpływem temperatury. Dotyczy nierdzewnej stali austenicznej i duplex, gdyż stal ferrytyczna różni się nieznacznie. Wykres pokazuje dużą przewagę sztywności stali nierdzewnej nad stałą węglową, co jest sporym atutem przy określaniu stateczności elementów.

## **SLAJD 65**

Wynikiem prac w ramach projektu PUREST jest między innymi czwarte wydanie Podręcznika projektowania konstrukcji ze stali nierdzewnych, dostępne także w języku polskim.

## **SLAJD 66**

W ramach projektu PUREST powstały programy komputerowe na PC oraz aplikacje na smartfony, ułatwiające projektowanie i obliczanie elementów ze stali nierdzewnych.

## **SLAJD 67**

Wszystkie wyniki projektu PUREST, w tym wersja Podręcznika w PDF, są dostępne do darmowego pobrania na stronie internetowej, której link widzą państwo poniżej.